



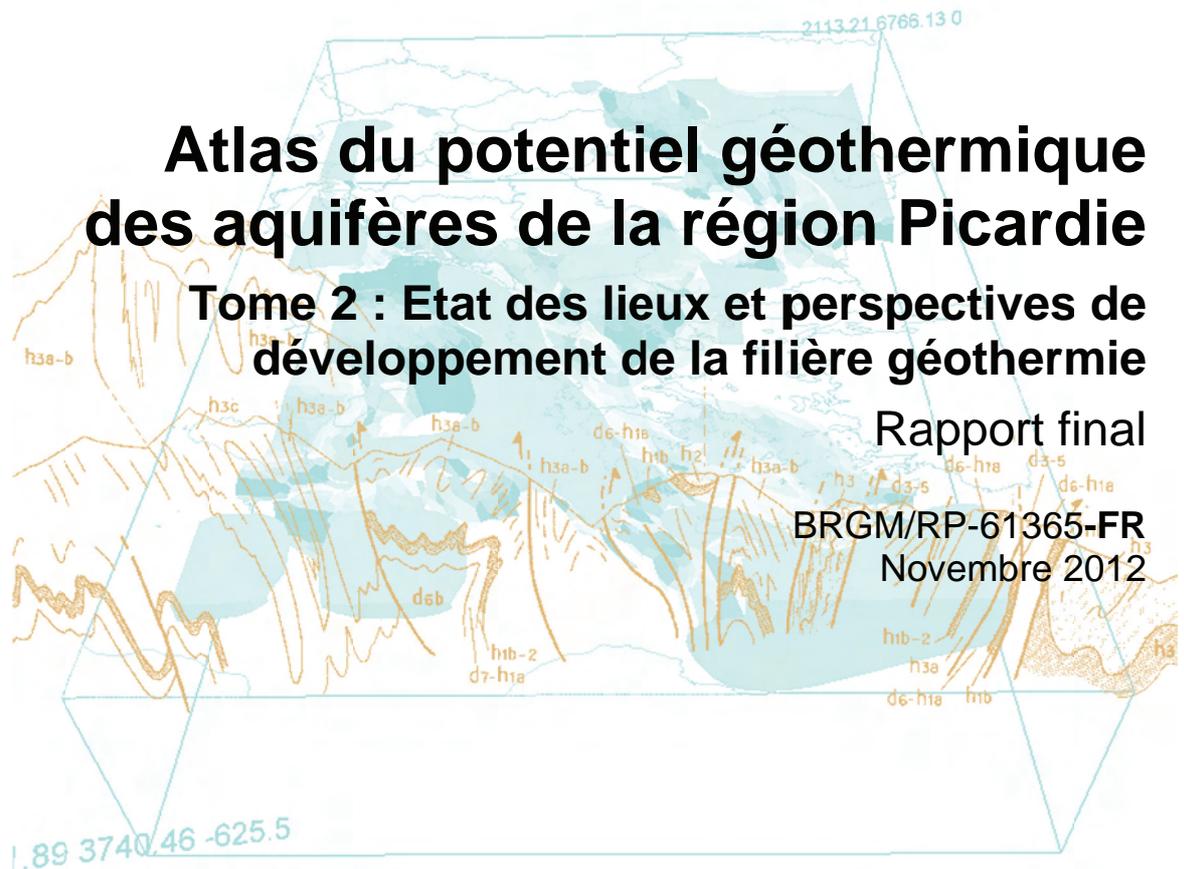
Atlas du potentiel géothermique des aquifères de la région Picardie

Tome 2 : Etat des lieux et perspectives de développement de la filière géothermie

Rapport final

BRGM/RP-61365-FR

Novembre 2012



ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Atlas du potentiel géothermique des aquifères de la région Picardie

Tome 2 : Etat des lieux et perspectives de développement de la filière géothermie

Rapport final

BRGM/RP-61365-FR

Novembre 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 11GTHB15 / PSP11PIC60

D. Maton, M. Analy, P. Durst, O. Goyeneche, C. Zammit
Avec la collaboration de
R. Pissy

Vérificateur :

Nom : H. LESUEUR et JL. MARTIN

Date :

Signature :

Approbateur :

Nom : D. MIDOT

Date :

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés : géothermie, pompe à chaleur, géothermie très basse énergie, géothermie basse énergie, géothermie profonde, piézométrie, température, débit, géologie régionale, aquifère, Picardie, réglementation, financement, Aquapac, Qualiforage, emploi, formation.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : D. Maton, M. Analy, P. Durst, O. Goyeneche, C. Zammit avec la collaboration de R. Pissy (2012) – Atlas du potentiel géothermique des aquifères de la région Picardie. Tome 2 : État des lieux et perspectives de développement de la filière géothermie. Rapport final. BRGM/RP-61365-FR, 247 p., 54 fig., 19 tabl., 13 annexes, 1 Dvd.

Synthèse

La DREAL Picardie, l'ADEME et le BRGM ont établi une convention visant à la création d'un outil prospectif innovant d'aide à la décision en matière de développement de la géothermie et réalisation d'une étude sur les perspectives de développement de la géothermie en Picardie. Cet outil, mis en place sous la forme d'un site internet, désigné « Atlas géothermique », concerne la géothermie très basse énergie (TBE) et basse énergie (BE) sur aquifère. Accessible au grand public, il est surtout destiné aux maîtres d'œuvres (bureaux d'études, architectes) et aux maîtres d'ouvrages qui envisagent l'installation d'une pompe à chaleur sur aquifère lors du choix d'approvisionnement énergétique d'une construction dans la région Picardie ou lors de la réalisation d'une opération de géothermie à usage direct destinée à alimenter un réseau de chaleur.

Cet outil a pour objectif de fournir les paramètres nécessaires pour apprécier, en première approche, l'intérêt de mettre en place un projet de géothermie sur aquifère, mais n'a pas vocation à se substituer aux études de faisabilité à réaliser préalablement à tout projet.

La méthodologie du projet et les résultats de l'atlas, notamment cartographiques, sont présentés dans le tome 1.

Le tome 2, présent document, expose les principes généraux de la géothermie, les conditions de montage d'une opération géothermique en incluant les principaux mécanismes d'aides et procédures incitatives ainsi que le contexte réglementaire de la géothermie. Un état des lieux de la filière géothermie en Picardie et les perspectives de développement de cette filière sont ensuite esquissés.

Le SCRAE de Picardie a fixé des objectifs ambitieux pour la filière géothermie aux horizons 2020 et 2050. Néanmoins, comme l'a mis en évidence le diagnostic de la filière, il existe à l'heure actuelle des freins au développement de la géothermie en Picardie : une structuration de la filière encore insuffisante, un manque de visibilité des actions existantes, et des difficultés d'accès à la connaissance de cette filière.

L'atteinte des objectifs du SCRAE ne se fera pas sans une mobilisation de tous les acteurs pour accompagner un changement de comportement face à la géothermie très basse et basse énergie. L'accent devra probablement être porté plus spécifiquement sur la promotion de la géothermie basse énergie couplée à des réseaux de chaleur, cela dans avec pour finalité d'apaiser les réticences des donneurs d'ordre vis-à-vis de cette technique et de stimuler le développement de la demande. La formation des maîtres d'ouvrage, des acteurs du bâtiment et l'information des particuliers apparaît indispensable pour créer de l'intérêt vis à vis de cette énergie renouvelable encore insuffisamment exploitée en Picardie au regard de la disponibilité des ressources.

Parallèlement, pour soutenir et consolider l'offre, il est suggéré aux pouvoirs publics de favoriser l'émergence de projets démonstrateurs permettant de valider les conditions de bon fonctionnement d'installations géothermiques sur des aquifères profonds.

La croissance verte représente un potentiel de création d'emplois au cours de la prochaine décennie, potentiel que la présente études évalue pour la branche géothermique à 140 emplois pour atteindre l'objectif du SCRAE 2020 et à 480 emplois pour atteindre l'objectif 2050.

Une partie de ces emplois, exprimés ci-avant et équivalent temps plein (ETP) en Picardie ne concerne pas exclusivement le marché régional en Picardie. C'est le cas notamment, pour l'activité liée aux forages géothermiques profonds réalisés par des entreprises disposant d'une envergure nationale, voire européenne. Une part majoritaire de l'activité concernera la distribution et l'installation des PAC.

Naturellement, cette activité en Picardie dépendra de la satisfaction de certaines conditions (réalisation des engagements, prix des énergies, stratégie industrielle, évolution de la productivité).

Sommaire

1. Introduction	13
2. Présentation de la géothermie	15
2.1. PRINCIPES GENERAUX DE LA GEOTHERMIE	15
2.2. DIFFERENTES RESSOURCES GEOTHERMALES.....	15
2.3. DIFFERENTS TYPES DE GEOTHERMIE	16
2.3.1. Géothermie moyenne et haute énergie	16
2.4. DIFFERENTES TECHNOLOGIES D'EXPLOITATION GEOTHERMIQUE	17
2.4.1. Échange direct de chaleur	17
2.4.2. Pompe à chaleur (PAC) - Principes de fonctionnement	21
2.4.3. Pompe à chaleur sur aquifère	25
2.4.4. Pompe à chaleur sur le sous-sol	28
2.4.5. Autres sources thermiques pour des pompes à chaleur	31
2.4.6. Installations pour le rafraîchissement	34
2.4.7. Installations terminales de chauffage et de rafraîchissement.....	37
2.4.8. Géothermie très basse énergie (TBE) - Plusieurs technologies adaptées à la diversité des besoins	38
2.4.9. Les techniques géothermiques adaptés aux réseaux	41
2.4.10. Surveillance et maintenance des installations	44
3. La production géothermique dans le monde, en Europe et en France	49
3.1. PRODUCTION MONDIALE DE CHALEUR GEOTHERMIQUE	49
3.2. USAGE DIRECT DE LA CHALEUR GEOTHERMIQUE EN EUROPE.....	50
3.2.1. Usage direct de la chaleur géothermique en Europe - Chiffres clés	50
3.2.2. Etat des marchés de l'usage direct de la géothermie en Europe	51
3.3. POMPES A CHALEUR GEOTHERMIQUES EN EUROPE	53
3.3.1. Pompes à chaleur géothermiques en Europe - Chiffres clés	53
3.3.2. Etat des marchés des pompes à chaleur en Europe.....	54
3.4. PRODUCTION DE CHALEUR GEOTHERMIQUE FRANÇAISE	57
3.5. ENJEUX DE LA GEOTHERMIE EN FRANCE, DANS LES DOMAINES DES ECONOMIES D'ENERGIE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE	58

3.6. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE EN FRANCE	60
3.7. APERÇU DES OBJECTIFS ENERGETIQUES MONDIAUX, EUROPEENS, NATIONAUX ET LOCAUX POUR LIMITER L'EMISSION DE GAZ A EFFET DE SERRE	63
3.7.1. Politique internationale.....	63
3.7.2. Politique nationale.....	64
4. Principaux mécanismes d'accompagnement et procédures incitatives pour le développement de la géothermie	67
4.1. MESURES DE GARANTIES CONTRE LE RISQUE GEOLOGIQUE	67
4.1.1. Garantie AQUAPAC®, pour les opérations de Pompes à Chaleur sur aquifères superficiels (cf. Annexe 1)	67
4.1.2. SAF-environnement, pour les opérations de géothermie sur aquifères profonds	68
4.2. DEMARCHE QUALITE POUR LES SONDES GEOTHERMIQUES VERTICALES : QUALIFORAGE	69
4.3. LES AIDES FINANCIERES.....	71
4.3.1. Pour les particuliers.....	71
4.3.2. Pour les opérations collectif et tertiaires (dont réseaux de chaleur, hors particulier)	72
4.3.3. Conclusions.....	78
5. Contexte réglementaire de la géothermie.....	79
5.1. LE CODE MINIER	79
5.1.1. Dispositions spécifiques à chaque type d'exploitation géothermique	80
5.1.2. Dispositions applicables à toutes les opérations de travaux de recherches et d'exploitation de gîtes géothermiques.....	81
5.2. LE CODE DE L'ENVIRONNEMENT	83
5.2.1. Réglementation relative à l'eau et aux milieux aquatiques	83
5.2.2. Réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'environnement.....	87
5.2.3. Articulation avec le code de la santé publique	89
5.2.4. Bilan sur l'application du code de l'environnement aux opérations de géothermie	89
5.3. LE CODE DE LA SANTE PUBLIQUE	90
5.4. LE CODE GENERAL DES COLLECTIVITES TERRITORIALES.....	90
5.5. EVOLUTIONS EN COURS	91

6. Etat des lieux de la filière géothermie en Picardie	93
6.1. ETAT D'EXPLOITATION DE LA RESSOURCES.....	93
6.1.1. Installations recensées	93
6.1.2. Puissance potentiellement installée	96
6.2. ETAT DES LIEUX DES ACTEURS DE LA FILIERES GEOTHERMIQUE	98
6.2.1. Les acteurs d'une opération géothermique	98
6.2.2. Schéma du positionnement des acteurs de la géothermie.....	101
6.2.3. Méthodologie et sources exploitées pour le recensement des acteurs en Picardie.....	103
6.2.4. Typologie des acteurs potentiels de la géothermie en Picardie	104
6.3. ETAT DE LIEUX DE L'OFFRE DE FORMATIONS PROFESSIONNELLES INITIALES ET CONTINUES EN GEOTHERMIE EN PICARDIE	113
6.3.1. Les métiers spécifiques de la filière géothermique.....	113
6.3.2. Formations initiales.....	114
6.3.3. Formations continues	117
6.4. ETAT DES OPERATIONS EXISTANTES	118
6.5. EXPLOITATION DES INFORMATIONS ISSUES DU QUESTIONNAIRE.....	120
6.5.1. La motivation	120
6.5.2. Types de bâtiments et/ou d'usage.....	120
6.5.3. Coût de l'opération	120
6.5.4. Bilan et principales difficultés rencontrées	121
6.5.5. La ressource.....	121
6.6. DIAGNOSTIC DES ACTEURS DE LA GEOTHERMIE EN PICARDIE	121
7. Perspectives de développement de la filière géothermie en Picardie.....	123
7.1. OBJECTIF GRENELLE	123
7.2. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE AU NIVEAU NATIONAL PAR TYPE DE BATIMENT	123
7.2.1. Dans le résidentiel individuel	124
7.3. L'ELABORATION DU SCHEMA REGIONAL DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE EN PICARDIE.....	128
7.3.1. Contexte	128
7.3.2. Objectif du SCRAE de la région Picardie	128
7.3.3. Enjeux pour le développement de la géothermie en Picardie	129

7.4. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT AU NIVEAU DES ENTREPRISES DE LA FILIERE ET DES ACTEURS ECONOMIQUES	134
7.5. EVALUATION DES PERSPECTIVES DE L'ACTIVITE LIEES A LA FILIERE GEOTHERMIQUE A L'HORIZON 2020 ET 2050 EN PICARDIE	136
7.5.1. Performance énergétique d'un doublet géothermique	136
7.5.2. Estimations du nombre nécessaire de sondes et de doublets pour atteindre les objectifs du SRCAE	141
7.6. OBJECTIFS SRCAE ET CREATION D'ACTIVITE DANS LA FILIERE VERTE	144
7.6.1. Répartition énergétique entre sondes et doublets géothermiques (superficiels/ profonds).....	144
7.6.2. Activité liée au pompes à chaleur et leur installation	145
7.6.3. Activité liée aux ouvrages géothermiques et leurs réalisations.....	147
7.6.4. Activité lié au développement de l'ensemble la filière	150
7.7. DÉFINITION D'ÉLÉMENTS D'UN PLAN D' ACTIONS STRATÉGIQUES.....	151
7.7.1. Géothermie superficielle pour le particulier et le collectif/tertiaire :	152
7.7.2. Géothermie profonde pour l'alimentation des réseaux de chaleur :.....	154
8. Conclusion.....	157
9. Bibliographie	159

Liste des illustrations

<i>Figure 1 - Principe de l'échange direct de chaleur (source : BRGM - im@gé)</i>	18
<i>Figure 2 - Dispositifs de pompage (source : BRGM – im@gé)</i>	19
<i>Figure 3 - Doublets géothermiques avec différentes technologies de forage (source : BRGM – im@gé)</i>	21
<i>Figure 4 - Evolution du COP réel d'une pompe à chaleur eau/eau en fonction de la température d'évaporation (Te) et de la température de condensation à la source chaude (Tc).....</i>	23
<i>Figure 5 - Schéma de principe d'une pompe à chaleur à compression (source : Guide technique sur les pompes à chaleur géothermiques sur aquifère – ADEME, ARENE, BRGM mars 2008).....</i>	24
<i>Figure 6 - Schéma de principe d'une pompe à chaleur à absorption (source : www.geothermie-perspectives.fr)</i>	25
<i>Figure 7 - Schémas de principe d'une pompe à chaleur sur eau de nappe.....</i>	26

<i>Figure 8 - Schéma d'une coupe et photographie d'un déroulement d'une sonde géothermique</i>	29
<i>Figure 9 - Schéma de principe général d'une pompe à chaleur sur sonde géothermique</i>	29
<i>Figure 10 - Schéma d'un champ de sondes géothermiques (Source Retscreen)</i>	30
<i>Figure 11 – Exemple d'implantation de capteurs géothermiques compacts (source plate-forme expérimentale du BRGM à Orléans)</i>	31
<i>Figure 12 – Schéma de fonctionnement d'une PAC sur eaux usées – Cas de la rue de Wattignie et du Palais de l'Elysée (Source Degrés-Bleus et UHRIG)</i>	32
<i>Figure 13 - Principe de fonctionnement d'une PAC sur réseaux d'eaux usées : Illustration de canalisation avec capteurs préfabriquées (source Rabtherm)</i>	32
<i>Figure 14 - Schéma de principe du fonctionnement de la PAC réversible avec un unique puits de production</i>	35
<i>Figure 15 - Schéma de principe du fonctionnement de la PAC réversible avec deux puits de production</i>	36
<i>Figure 16 - Schéma de principe du fonctionnement d'une thermofrigopompe</i>	36
<i>Figure 17 - Solution de capteur horizontal et de capteur vertical</i>	38
<i>Figure 18 - Représentations de pieux géothermiques</i>	41
<i>Figure 19 - Schéma d'une installation de réseau de chaleur urbain géothermique (tel qu'existant en région parisienne)</i>	43
<i>Figure 20 - Opération de stockage souterrain</i>	44
<i>Figure 21 - Caractéristiques des principaux types d'échangeurs géothermiques très basse énergie</i>	47
<i>Figure 22 - Les usages de la chaleur géothermique dans le monde (Source : Word Geothermal Congress, 2010)</i>	49
<i>Figure 23 - Utilisation directe de la chaleur géothermique (hors pompes à chaleur) dans les pays de l'Union Européenne) en 2009 et estimé en 2010 (Source : Etat des énergies renouvelables en Europe, édition 2011, 11ème bilan EurObserv'ER)</i>	50
<i>Figure 24 - Taux d'utilisation moyen des réseaux de chaleur géothermiques exprimé comme le rapport de l'énergie géothermique utilisée à la capacité installée (Source : BRGM d'après 11ème barobilan de l'EurObserv'ER)</i>	51
<i>Figure 25 - Usage des réseaux de chaleur géothermiques par les habitants des principaux pays européens concernés (Source : BRGM d'après 11ème barobilan de l'EurObserv'ER)</i>	52
<i>Figure 26 – Paramètres clé pour les pompes à chaleur géothermiques dans les pays de l'Union Européenne en 2009 et estimé en 2010 (Source : Etat des énergies renouvelables en Europe, édition 2011, 11ème bilan EurObserv'ER)</i>	53
<i>Figure 27 - Principaux marchés de pompes à chaleur géothermique dans les pays de l'Union européenne en nombres d'unités installés en 2009 et estimées en 2010 (Source : Etat des énergies renouvelables en Europe, édition 2011, 11ème bilan EurObserv'ER)</i>	54
<i>Figure 28 - Taux d'utilisation moyen des pompes à chaleur exprimé comme le rapport de l'énergie géothermique utilisée à la capacité installée (Source : BRGM d'après 11ème barobilan de l'EurObserv'ER)</i>	55

<i>Figure 29 – Usage des pompes à chaleur géothermiques par les habitants des principaux pays européens concernés (Source : BRGM d'après 11ème barobilan de l'EurObserv'ER)</i>	56
<i>Figure 30 - Marché français des Pompes à Chaleur géothermiques(Données AFPAC, 2011)</i>	57
<i>Figure 31 - Evolution de la consommation finale énergétique nationale par secteur.</i>	58
<i>Figure 32 - Consommation en énergie finale par usage des résidences principales en 2011 (d'après "Principaux chiffres ADEME secteur bâtiment"), IC = Immeubles collectifs, MI = Maison Individuelles</i>	58
<i>Figure 33 - Répartition de la chaleur renouvelable et supplément à acquérir d'ici 2012 et 2020</i>	61
<i>Figure 34 - Objectifs de production de chaleur renouvelable d'origine géothermique en ktep (Source : COMOP 10)</i>	62
<i>Figure 35 - Evolution du nombre d'ouvrages créés en BSS concernant des projets de géothermie pour la Picardie</i>	94
<i>Figure 36 - Carte de localisation des installations de géothermie recensées en Picardie (données BRGM, DREAL)</i>	95
<i>Figure 37 - Evolution du nombre de projets de géothermie par département picard (données BRGM, DREAL)</i>	96
<i>Figure 38 – Puissance prélevée estimée des installations géothermiques installées par an en Picardie (données BRGM, DREAL)</i>	97
<i>Figure 39 – Gamme de puissance estimée des installations géothermiques en Picardie (données BRGM, DREAL)</i>	98
<i>Figure 40 - Géothermie de très basse énergie - exemples d'acteurs et schématisation du positionnement (source : rapport « L'industrie des énergies décarbonées en 2010 » de la Direction Générale de l'Energie et du Climat - avec adaptation)</i>	102
<i>Figure 41 - Géothermie de basse et moyenne énergie - exemples d'acteurs et schématisation du positionnement (source : rapport « L'industrie des énergies décarbonées en 2010 » de la Direction Générale de l'Energie et du Climat)</i>	103
<i>Figure 42 - Typologie des acteurs de l'offre potentielle en géothermie en Picardie</i>	105
<i>Figure 43 - Nombre d'élèves par spécialité dans les domaines touchant à la géothermie et type de formation en Picardie</i>	115
<i>Figure 44 - Solutions de géothermie développées actuellement pour la maison individuelle (source BRGM)</i>	125
<i>Figure 45 - Exemple de courbe monotone (besoins: chauffage et Eau Chaude Sanitaire)</i>	139
<i>Figure 46 - Nombre d'heures en équivalent pleine puissance</i>	140
<i>Figure 47- Répartition de la production énergétique des sondes et doublets géothermiques</i>	142
<i>Figure 48 - Nombre nécessaire de doublets pour atteindre 90% de l'objectif du SRCAE 2020, 10% restant étant réalisés par des SVG</i>	143
<i>Figure 49 - Nombre nécessaire de doublets pour atteindre 80% de l'objectif du SRCAE 2050, 20% restant étant réalisés par des SVG</i>	143

<i>Figure 50 - Contribution énergétique de la géothermie selon les divers types de technologies</i>	144
<i>Figure 51 - Nombre, puissance installée et énergie renouvelable produite en kTep par les PACg dans les pays de l'Union européenne en 2009 et 2010 (source EUROBSERV'ER 2011)</i>	146
<i>Figure 52 - Répartition de l'activité pour les forages profonds selon la spécialité des intervenants</i>	148
<i>Figure 53 - Nombre de jours d'activité créés par l'objectif SRCAE 2020</i>	149
<i>Figure 54 - Nombre de jours d'activité créés par l'objectif SRCAE 2050</i>	150

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 - Objectifs de développement de la production de chaleur d'origine géothermique en France (Source : PPI chaleur 2009-2020</i>	62
<i>Tableau 2 - Faits marquants de la politique mondiale et européenne en matière de réduction des gaz à effet de serre</i>	63
<i>Tableau 3 - Sinistres garantis par le fonds de garantie Long Terme</i>	69
<i>Tableau 4 - Synthèse des installations géothermiques déclarées en Picardie (données BRGM, DREAL)</i>	95
<i>Tableau 5 - Liste des foreurs implantés en Picardie et dans les régions limitrophes (non exhaustif)</i>	106
<i>Tableau 6 - Liste des bureaux d'études sous-sol implantés en Picardie et dans les régions limitrophes (non exhaustif)</i>	108
<i>Tableau 7 - Liste des bureaux d'études thermiques « surface » implantés en Picardie et dans les régions limitrophes (non exhaustif)</i>	108
<i>Tableau 8 - Liste des fabricants de PAC implantés en Picardie et en France (non exhaustif)</i>	109
<i>Tableau 9 - Liste des installateurs de PAC implantés en Picardie et dans les régions limitrophes (non exhaustif)</i>	111
<i>Tableau 10 - Liste des aménageurs, exploitants de réseaux de chaleur et autres acteurs implantés en Picardie (non exhaustif)</i>	112
<i>Tableau 11 - Liste des formations de niveaux 5 (CAP) et 4 (Bac pro) en Picardie</i>	116
<i>Tableau 12 - Liste des formations de niveaux 3 (BTS, DUT, licence pro.) et 1 (supérieur à la maîtrise) en Picardie</i>	117
<i>Tableau 13 - Liste des projets recensés en Picardie</i>	119
<i>Tableau 14 - Exploitation géothermique de l'aquifère du Dogger dans le département de l'Oise</i>	132
<i>Tableau 15 - Matrice Forces/Faiblesses, Opportunités/Menaces sur la filière en France (source MEEDDM / CGDD, 2010)</i>	134

<i>Tableau 16 - Matrice Forces/Faiblesses, Opportunités/Menaces sur la filière en Picardie.....</i>	<i>135</i>
<i>Tableau 17 - Débit et T moyens sur les aquifères de la Craie du Sénonien et des Calcaires du Dogger.....</i>	<i>137</i>
<i>Tableau 18 - Performances énergétique d'un doublet géothermique exploité avec une PAC.....</i>	<i>140</i>
<i>Tableau 19 - Les profils de métier intervenants dans la réalisation d'un forage profond.....</i>	<i>147</i>

Liste des annexes

Annexe 1 Procédure AQUAPAC	163
Annexe 2 Aides pour les opérations de rénovation.....	169
Annexe 3 Fiches types d'opération standardisées concernant la géothermie (Annexe 1 de l'arrêté du 28 juin 2010).....	175
Annexe 4 Régimes juridiques applicables à la géothermie sur sonde : code minier (nouveau).....	185
Annexe 5 Régimes juridiques applicables à la géothermie sur nappe : code minier (nouveau) et code de l'environnement	189
Annexe 6 Nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement (Titres 1 et 5).....	193
Annexe 7 Fiche de déclaration en mairie des prélèvements, puits et forages réalisés à des fins domestiques.....	199
Annexe 8 Déroulement d'une opération de géothermie pompe à chaleur sur aquifère.....	203
Annexe 9 Cahier des charges d'études de faisabilité d'une opération de géothermie pompe à chaleur sur aquifère.....	207
Annexe 10 Cahier des charges d'études de faisabilité d'une opération de géothermie pompe à chaleur sur aquifère.....	211
Annexe 11 Enquête auprès des professionnels de la géothermie en Picardie.....	217
Annexe 12 Programme PAQ dans les lycées professionnels et centres de formation en Picardie.....	231
Annexe 13 Glossaire hydrogéologique et géothermique	235

1. Introduction

La production de chaleur d'origine géothermique peut provenir de différents types de ressources en fonction de la profondeur et de la température exploitée.

L'énergie thermique contenue dans les couches superficielles et profondes du sous-sol, que ce soit dans les terrains eux-mêmes, les nappes alluviales ou les aquifères à différentes profondeurs, peut ainsi être exploitée dans des conditions très intéressantes, éventuellement grâce à la mise en œuvre de pompes à chaleur (PAC), systèmes thermodynamiques qui permettent d'obtenir une température compatible avec les besoins de locaux à chauffer ou à rafraîchir.

Ce document présente une évaluation des potentialités que représentent les ressources géothermiques superficielles, situées à une profondeur inférieure à 300 m, ce qui correspond à la géothermie très basse énergie (TBE : température de l'aquifère inférieure 30°C) ainsi que des aquifères profonds permettant une géothermie basse énergie (BE : température de l'aquifère entre 30 et 90°C). Ce projet fait l'objet d'une convention entre la DREAL Picardie, l'ADEME et le BRGM.

Il s'agit ainsi de caractériser et de cartographier sous la forme d'un atlas les possibilités en géothermie TBE et BE sur le territoire de la Picardie. Cette caractérisation porte sur l'énergie thermique contenue dans les aquifères, en d'autres termes le « potentiel géothermique des aquifères ».

L'atlas comprend également un système d'information géographique (SIG) mis en ligne via le site Internet de l'ADEME et du BRGM spécifique à la géothermie : www.geothermie-perspectives.fr.

Cet atlas s'inscrit comme un outil d'aide à la décision, en première approche, destiné maîtres d'œuvres (bureaux d'études, architectes) et maîtres d'ouvrages afin qu'ils puissent étudier une solution géothermique lors d'un choix énergétique de même qu'au grand public. Les informations présentées revêtent un caractère indicatif, la détermination exacte des caractéristiques locales de la ressource nécessite une étude de faisabilité qui sera confiée par le maître d'ouvrage à un bureau d'études spécialisé.

L'atlas est scindé en deux documents (deux tomes). Le **premier tome** est consacré à la méthodologie employée, aux résultats obtenus pour chaque aquifère et enfin aux modalités de la diffusion des résultats sur le site www.geothermie-perspectives.fr.

Ce **second tome** (présent document) traite, quant à lui, des principes généraux de la géothermie, des conditions de montage d'une opération géothermique en incluant les principaux mécanismes d'aides et les procédures incitatives et du contexte réglementaire de la géothermie. Cette étude se concentre toutefois sur la ressource des aquifères qui représente l'essentiel des opérations géothermiques recensées en Picardie. Néanmoins, un état des lieux de toute la filière et ses perspectives de développement en Picardie sont également esquissés. L'accent est particulièrement

mis sur les conditions nécessaires pour favoriser l'activité et l'emploi en région Picardie dans ce secteur qui devrait bénéficier des orientations inscrites dans le SCRAE.

2. Présentation de la géothermie

2.1. PRINCIPES GENERAUX DE LA GEOTHERMIE

Historiquement, la géothermie peut se définir comme l'exploitation de la chaleur stockée dans l'écorce terrestre et ayant pour origine à la fois le refroidissement du noyau terrestre et la désintégration naturelle des éléments radioactifs contenus dans les roches profondes¹. L'énergie géothermique est présente partout à la surface du globe ; elle se manifeste par le gradient géothermique (élévation de la température avec la profondeur) qui est en moyenne de 3,3°C par 100 m à l'échelle de la Terre. Ce gradient géothermique provient du flux géothermique égal en moyenne à 60 mW/m². Des variations locales de gradient géothermique sont néanmoins observées ; elles sont reliées à l'âge des formations géologiques et à leur composition.

L'énergie géothermique peut être utilisée pour le chauffage, la climatisation, ou la production d'électricité par le biais de différentes technologies. La possibilité de mettre en œuvre chacune de ces technologies dépend du contexte géologique et hydrogéologique local.

2.2. DIFFERENTES RESSOURCES GEOTHERMALES

Dans le cas de l'utilisation de la géothermie pour la production de chaleur, le système est constitué d'une source de chaleur géothermale, associée à un dispositif de prélèvement de chaleur permettant son transfert pour utilisation, généralement en surface. La source de chaleur est caractérisée, d'une part par son niveau de température (en °C) et par la nature et les caractéristiques du milieu hydrogéologique concerné.

La température initiale dépend de la profondeur et du gradient géothermique local. En ce qui concerne le milieu souterrain où l'on envisage de prélever de la chaleur, il peut être constitué de roches perméables ou imperméables, compactes, poreuses ou fissurées.

Lorsque les formations géologiques sont suffisamment poreuses et/ou fissurées et gorgées d'eau, elles sont dites « aquifères » ou « nappes d'eau souterraine » ou désignées comme « réservoirs ». Les caractéristiques physiques de ces aquifères permettent le prélèvement de l'eau en quantité suffisante par captage.

Les formations aquifères se rencontrent dans des couches géologiques sédimentaires (craie, calcaire, sable, ...), cristallines ou volcaniques.

¹ Varet J., 1982 – Géothermie basse énergie : usage direct de la chaleur. Masson.

On distinguera les aquifères superficiels des aquifères profonds. Les aquifères profonds se trouvent, dans les bassins sédimentaires, au-delà d'une centaine de mètres et peuvent atteindre pour certains des profondeurs dépassant 2 000 m.

Les principaux bassins sédimentaires français sont le Bassin Parisien et le Bassin Aquitain mais on trouve également d'autres bassins ou fossés d'effondrement de taille plus modeste : Alsace, Couloir rhodanien, Bresse, Limagne, Hainaut, etc. Le sud de la Picardie est situé dans la partie septentrionale du bassin parisien.

2.3. DIFFERENTS TYPES DE GEOTHERMIE

On distingue généralement : la géothermie très basse énergie, la géothermie basse énergie, la géothermie moyenne énergie, et la géothermie haute énergie.

2.3.1. Géothermie moyenne et haute énergie

Ces types d'énergie géothermique correspondent à l'utilisation des ressources thermiques (eau et vapeur) dont la température est comprise entre 90 et 150°C (moyenne énergie) ou supérieure à 150°C (haute énergie). Ces ressources peuvent être utilisées pour la production d'électricité et sont localisées à proximité des grands arcs volcaniques ou des zones à fort gradient thermique.

Du fait de son contexte géologique, la Picardie ne dispose pas de telles ressources, le gradient géothermique y étant sensiblement égal au gradient moyen soit 3,3°C pour 100 m. Pour ce gradient, il faudrait descendre au-delà de 3000 m de profondeur pour espérer atteindre une température de 100°C. Dans les faits, le sous-sol de la Picardie ne présente pas de ressources capables de fournir des eaux à des températures supérieures à 70°C.

2.3.2. Géothermie basse énergie

La géothermie basse énergie correspond à l'utilisation des ressources thermiques dont la température est comprise entre 30 et 90°C. Ces ressources sont exploitables de plusieurs manières, en fonction de la température de la ressource : soit par échange direct de chaleur, soit par l'intermédiaire d'une **Pompe à Chaleur (PAC)**.

Les ressources présentant de telles températures sont localisées dans les formations aquifères profondes, en particuliers entre 1 500 et 2 500 m de profondeur dans la partie sud Picardie. Il peut s'agir des mêmes nappes que celles exploitées en très basse température (aquifères superficiels) mais situées plus en profondeur en raison du contexte géologique.

2.3.3. Géothermie très basse énergie

La géothermie très basse énergie correspond à l'utilisation des ressources thermiques dont la température est inférieure à 30°C. A cette température, la ressource ne peut généralement pas être exploitée pour du chauffage par un simple échangeur de chaleur, et nécessite donc la mise en place d'une pompe à chaleur (PAC) (cf.

paragraphe 2.4.2) qui prélève l'énergie de la source de chaleur à basse température (roche, nappe aquifère) pour augmenter la température d'un fluide secondaire jusqu'à une température compatible avec l'usage.

La ressource géothermique de très basse énergie correspond à l'énergie naturellement présente dans le proche sous-sol, ou dans les aquifères peu profonds.

Ces nappes superficielles "froides" sont généralement situées à une profondeur inférieure à 100 m et leur température est typiquement de 11 à 12°C. Tous les aquifères superficiels exploitables peuvent être sollicités : nappes alluviales, aquifères de la craie et du Tertiaire en Picardie.

Ce sont ces ressources « très basse énergie » et « basse énergie » qui ont été traitées plus particulièrement dans cet atlas (Tome 1)

2.4. DIFFERENTES TECHNOLOGIES D'EXPLOITATION GEOTHERMIQUE

Selon la température de la ressource et l'existence ou pas d'un aquifère au droit du site visé, plusieurs technologies d'exploitation sont envisageables : les technologies par échange de chaleur direct ou assistées par PAC, par prélèvement sur nappes ou par échangeurs enterrés dans le sous-sol.

Pour les dispositifs équipés de PAC, selon les besoins, il est possible de fournir du chaud, du froid ou les deux alternativement ou simultanément.

Enfin, quelle que soit la technologie utilisée pour produire de la chaleur ou du rafraîchissement, les dispositifs terminaux doivent être compatibles avec le niveau de température de la chaleur fournie.

2.4.1. Échange direct de chaleur

Les installations sur aquifères fonctionnant par échange direct de chaleur utilisent les eaux géothermales et s'intéressent donc aux nappes d'eau souterraine dont la température est naturellement élevée pour les usages de chauffage (géothermie basse énergie) ou naturellement basse pour les usages de rafraîchissement.

L'eau géothermale est prélevée dans l'aquifère au niveau d'un forage de prélèvement ou **puits de production**, puis elle circule jusqu'à un échangeur de chaleur qui permet de transférer la chaleur depuis l'eau prélevée vers le « circuit géothermique ». L'eau géothermale refroidie (cas du chauffage) est ensuite renvoyée dans l'aquifère d'origine par le biais d'un second forage dit **puits de réinjection** (Figure 1).

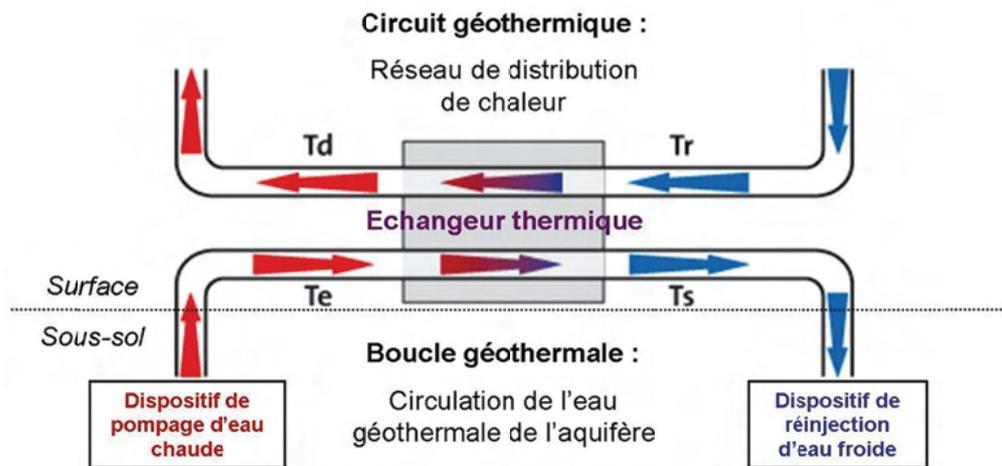


Figure 1 - Principe de l'échange direct de chaleur (source : BRGM - im@gé)

Le chemin suivi par l'eau géothermale depuis son prélèvement jusqu'à sa réinjection constitue la « **boucle géothermale** ». Ce fonctionnement comprenant un puits de prélèvement et un puits de réinjection est appelé « doublet géothermique ».

Le « circuit géothermique » correspond au réseau de distribution de la chaleur ; il permet l'approvisionnement en chaleur des utilisateurs.

Les installations de ce type nécessitent donc la création de deux forages (à minima). Ceux-ci doivent être réalisés selon les règles de l'art (norme AFNOR NF X10-999² et fascicule de documentation FD X10-980³) afin d'assurer une durée de vie correcte à l'installation et d'éviter tout risque de dégradation de la ressource en eau souterraine.

a) Dispositif de pompage

Pour fonctionner, ce type d'installation géothermique doit bénéficier d'un débit d'eau régulier et suffisant. Dans certains cas, si la pression de l'eau contenue dans le réservoir permet au fluide de jaillir au-delà de l'altitude du sol, le puits est *artésien* et peut se suffire à lui-même jusqu'à un certain débit. Dans le cas contraire, ou pour exploiter un débit supérieur au débit artésien, il est nécessaire d'avoir recours à un dispositif de pompage (Figure 2).

² NF X10-999 - Forage d'eau et de géothermie - Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages (AFNOR).

³ FD X10-980 - Forage d'eau et de géothermie - Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages – Démarches administratives.

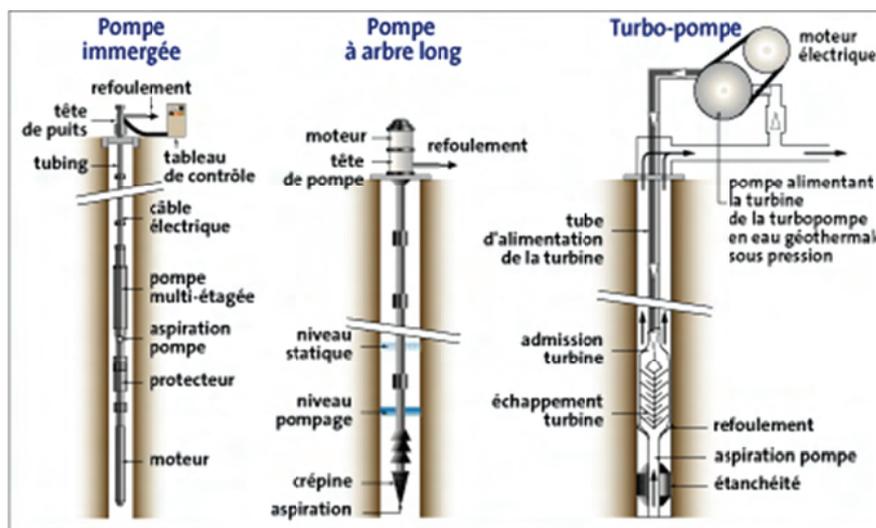


Figure 2 - Dispositifs de pompe (source : BRGM – im@gé)

Les pompes comportent toutes une partie hydraulique immergée descendue en profondeur selon le rabattement appliqué à la nappe et un moteur (jusqu'à plus de 100 m, voire 400 m, de profondeur selon le rabattement appliqué à la nappe). On distingue généralement trois types de pompes selon l'emplacement du moteur :

- pompes immergées (cas le plus fréquent) : le moteur est immergé, généralement sous le dispositif hydraulique,
- pompes à arbre long : le moteur est placé en surface,
- turbopompe : ce système fonctionne grâce à une circulation d'eau géothermale surpressée en surface, il présente un rendement inférieur aux deux autres types de pompes mais une durée de vie supérieure aux pompes immergées.

La *colonne d'exhaure* amène ensuite l'eau de la pompe à la surface du sol où elle est reprise par d'autres canalisations jusqu'à l'échangeur de chaleur. Les pompes immergées sont largement utilisées dans le Bassin Parisien pour pomper la nappe du Dogger. Elles permettent d'obtenir des débits importants pouvant atteindre 300 m³/h au nominal.

b) Les échangeurs de chaleur

Dans le cas d'une installation géothermique de basse énergie, un échangeur de chaleur est placé directement entre la « boucle géothermale » et le « circuit géothermique » de distribution de chaleur. L'eau chaude issue de l'aquifère, souvent chargée de sels minéraux, circule alors uniquement dans la « boucle géothermale ». Outre l'intérêt hydraulique de découpler les deux circuits, les eaux géothermales pouvant être corrosives, ce fonctionnement permet d'éviter la corrosion du réseau de chaleur. Les échangeurs peuvent être de types différents : échangeurs multitubulaires, échangeurs spirales, échangeurs à plaques. Les échangeurs à plaques, plus performants et plus commodes pour la maintenance, sont les plus utilisés. En cas

d'eaux très corrosives, les plaques sont en titane ; cette solution ayant également l'avantage de procurer un très bon échange thermique vis-à-vis des plaques en acier inoxydable.

La performance d'un échangeur placé dans une installation de géothermie est caractérisée par l'écart entre les températures à l'entrée de la boucle géothermale (**T_e**) et à la sortie du circuit géothermique (**T_d**) (cf. Figure 1). Cet écart appelé « pincement », doit être aussi faible que possible (de l'ordre de 2°C ou moins).

Les échangeurs à plaques sont constitués de plaques de faible épaisseur, assemblées verticalement les unes à la suite des autres. Les espaces entre les plaques sont alternativement traversés par le circuit primaire (eau géothermale) et par le circuit secondaire (circuit géothermique). Ces échangeurs permettent d'avoir une surface d'échange importante pour un espace réduit. Leur puissance thermique est ajustée en agissant sur le nombre de plaques.

c) Réinjection

Pour des raisons de préserver la ressource en eau souterraine, il est recommandé de pratiquer la réinjection de l'eau géothermale refroidie (à la température **T_s**) dans l'aquifère d'origine. Cette technique permet de maintenir les pressions au sein du réservoir aquifère et, de ce fait, peut limiter la dépense énergétique de pompage. Aussi, les dispositifs de pompage sans réinjection ne seront pas évoqués dans le présent rapport.

Sur le plan thermique, ce dispositif entraîne la création d'une zone froide d'extension progressivement croissante autour du forage d'injection. Le doublet doit donc être dimensionné de façon à ce que le front froid n'atteigne pas le puits de production avant amortissement de celui-ci (20 à 30 ans) et ne perturbe pas les exploitations voisines. Il s'agit de gérer durablement la ressource et son exploitation.

Le dimensionnement de ces dispositifs est basé sur une bonne connaissance du contexte hydrogéologique. La distance à respecter entre les puits (de production, d'injection et d'autres usages) pour maîtriser le temps de percée thermique du doublet (temps nécessaire pour constater l'arrivée d'un front froid au niveau du puits de production) doit être calculée lors de l'étude de dimensionnement des installations.

Ces considérations spatiales, associées à l'obligation de respect des périmètres de protection autour des puits de prélèvement et de réinjection conditionnent l'acceptabilité foncière, notamment en contexte urbain où les opérations géothermiques peuvent être proches les unes des autres. Dans de telles situations, le recours à des technologies de forage particulières, comme les forages inclinés ou déviés, peut pallier au manque d'espace disponible en surface. En effet, ceux-ci permettent un écartement important entre les puits de production et d'injection, tout en mobilisant peu de foncier en surface (Figure 3).

Les forages déviés ne sont mis en œuvre que pour les aquifères profonds (Dogger par exemple). Pour les aquifères supérieurs, on préférera souvent un écartement des deux puits (quelques centaines de mètres tout au plus).

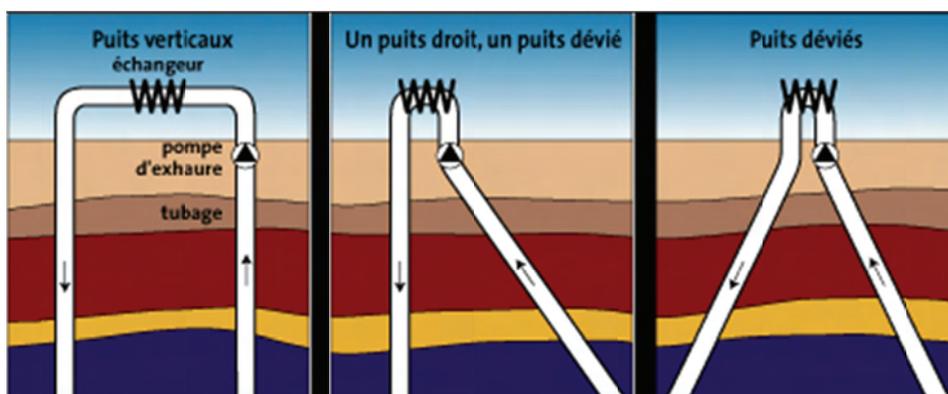


Figure 3 - Doublets géothermiques avec différentes technologies de forage (source : BRGM – im@gé)

Dans le cas où l'aquifère pourrait présenter des eaux de qualité suffisante pour être une ressource en eau potable, il est possible d'envisager un couplage du doublet fonctionnant toute l'année à un système d'Alimentation en Eau Potable (AEP) utilisé seulement en cas de nécessité (réserve de secours). Des mesures de précaution sont alors nécessaires.

2.4.2. Pompe à chaleur (PAC) - Principes de fonctionnement

Si la température naturelle de la ressource en eau souterraine n'est pas suffisamment élevée pour mettre en pratique l'utilisation directe de chaleur, on aura alors recours aux pompes à chaleur. Le même raisonnement s'applique au cas du rafraîchissement.

Une pompe à chaleur est un système thermodynamique qui fonctionne entre deux sources : une source froide (source que l'on refroidit) et une source chaude (source que l'on réchauffe). Le principe consiste à prélever des calories à basse température dans un milieu (source froide) et de les transférer à plus haute température dans un autre (source chaude). Ce transfert se fait via un fluide frigorigène qui présente un point d'ébullition adapté aux températures en jeu.

Le fluide, en faible quantité, circule en circuit fermé, et le transfert de chaleur de la source froide vers la source chaude nécessite un apport extérieur d'énergie⁴ (compresseur entraîné par un moteur électrique pour les systèmes les plus courants). Dans un fonctionnement classique en mode chauffage, la source froide correspond au

⁴ ADEME, ARENE, BRGM, EDF, 2008 – Guide technique – Pompe à chaleur géothermique sur aquifère – Conception et mise en œuvre.

milieu extérieur (nappe aquifère, sous-sol) et la source chaude correspond au bâtiment à chauffer. Ce sera l'inverse en mode rafraîchissement.

Une pompe à chaleur est caractérisée par son **Coefficient de Performance COP** qui est le rapport entre la puissance utilisée par le chauffage (P_{CH}) et la puissance dépensée sous forme mécanique. L'énergie mécanique est généralement apportée par un compresseur entraîné par un moteur électrique (P_{Elec}).

$$COP = \frac{P_{CH}}{P_{Elec}}$$

Les autres constituants de la PAC sont un échangeur côté source froide dénommé « évaporateur » et un échangeur côté source chaude nommé « condenseur ».

La puissance prélevée sur la source froide (capteur géothermique) (P_{FR}) est

$$P_{FR} = P_{CH} - P_{Elec}$$

Où

$$P_{FR} = P_{CH} \times \left(1 - \left(\frac{1}{COP} \right) \right)$$

Dans la pratique, la performance des PAC n'atteint pas celle du cycle théorique de Carnot du fait des rendements des équipements du système (moteurs, échangeurs, nature du fluide frigorigène, pertes de charges des circuits frigorifiques...). De plus, la performance du système est fonction à la fois de la température où l'on prélève les calories (source froide) et du milieu où l'on transfère la chaleur (source chaude). Ainsi, ce qui permet de comparer les machines entre elles, le COP des machines thermodynamiques est déterminé en laboratoire pour des régimes imposés de températures Entrée-PAC/Départ-PAC des sources chaudes et froides, par exemple pour la Norme EN 14511 appliquée à la géothermie sur aquifère, le régime 40°C/45°C pour la source chaude et 10°C/7°C pour la source froide.

Le COP sera d'autant plus élevé que l'écart de température entre la source et le milieu à chauffer sera faible (Figure 4).

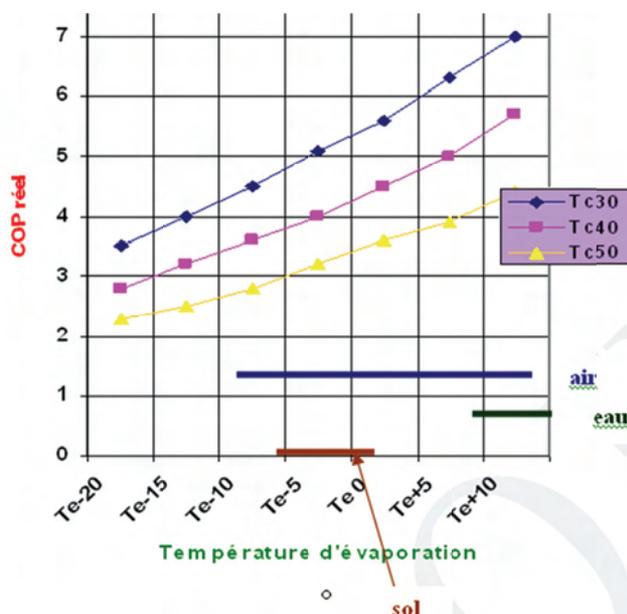


Figure 4 - Evolution du COP réel d'une pompe à chaleur eau/eau en fonction de la température d'évaporation (Te) et de la température de condensation à la source chaude (Tc)

Il existe aujourd'hui deux grandes familles de pompes à chaleur selon la nature de l'énergie apportée au système :

- les pompes à chaleur à **compression** (énergie mécanique),
- les pompes à chaleur à **absorption** (compression thermochimique résultant d'un apport d'énergie thermique) largement moins diffusées.

a) Pompe à chaleur à compression

Une PAC à compression mécanique fonctionne grâce à un apport extérieur **d'énergie mécanique**, le compresseur étant usuellement entraîné par un moteur électrique (Figure 5). La chaleur est prélevée à la source froide (aquifère, sous-sol) via un échange de chaleur entre l'eau et le fluide frigorigène au niveau de l'« évaporateur ». Le fluide réchauffé passe à l'état de vapeur à une température légèrement inférieure à celle de la source froide. La vapeur est dirigée vers le « compresseur » qui la comprime et augmente sa pression et sa température.

La vapeur haute pression et haute température est alors dirigée vers le « condenseur » où un échange thermique est opéré avec la source chaude. En se condensant, la vapeur transmet sa chaleur au milieu à chauffer, ce qui a pour effet de diminuer sa température et le fluide passe à l'état liquide.

Le liquide, encore à haute pression redescend à basse pression et à basse température via un « détendeur » (perte de charge) avant d'être introduit en entrée de l'évaporateur à une température significativement inférieure à celle de la source froide.

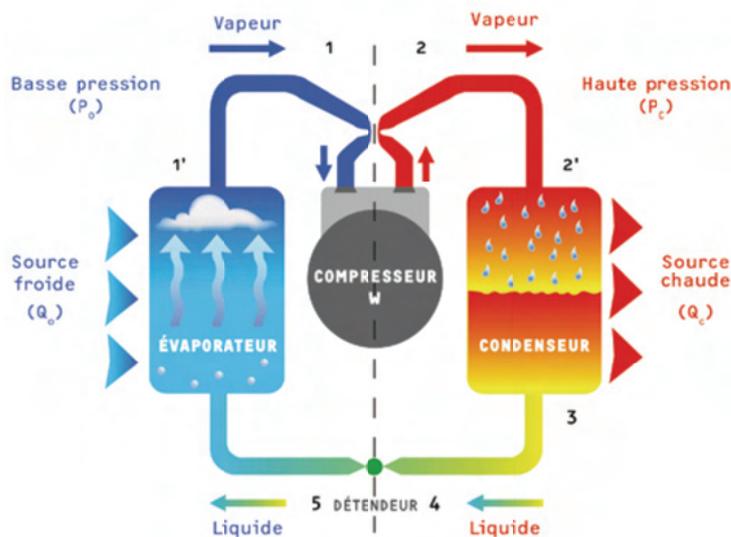


Figure 5 - Schéma de principe d'une pompe à chaleur à compression (source : Guide technique sur les pompes à chaleur géothermiques sur aquifère – ADEME, ARENE, BRGM mars 2008).

b) Pompe à chaleur à absorption

La PAC à absorption (Figure 6) se distingue de la PAC à compression mécanique par le fait que l'énergie apportée au système est directement de **l'énergie thermique**. Ce système présente l'intérêt de pouvoir produire de la chaleur (ou du froid) avec peu de pièces en mouvement. Historiquement, les PAC à absorption ont d'abord été utilisées pour la production de froid (à partir de la vapeur notamment). Le principe de fonctionnement général de la PAC à absorption est le même que celui de la PAC à compression sauf que la chaleur est produite par une compression thermochimique : absorption de vapeur dans une solution contenant du fluide frigorigène au lieu de compression mécanique du fluide frigorigène. Le COP machine fourni par une PAC à absorption (typiquement de 1,1 à 1,3 sur pouvoir calorifique inférieur (PCI)⁵ ou 1,3 à 1,6 sur pouvoir calorifique supérieur (PCS)⁶, est rapporté à une énergie finale qui est égale à une énergie primaire (gaz, bois, ...). Par comparaison, si on ramène à l'énergie primaire le COP d'une PAC à compression électrique en affectant le coefficient multiplicatif de 2,58, on retombe sur des ordres de grandeur comparables. Cette technologie reste peu utilisée pour la géothermie en France.

⁵ Pouvoir calorifique inférieur (PCI) qui exclut de la chaleur dégagée la chaleur de condensation de l'eau supposée restée à l'état de vapeur à l'issue de la combustion.

⁶ Pouvoir calorifique supérieur (PCS) qui donne le dégagement maximal théorique de la chaleur lors de la combustion, y compris la chaleur de condensation de la vapeur d'eau produite lors de la combustion.

Boucle géothermale

- prélèvement d'eau souterraine ;
- production de chaleur au niveau de la PAC ;
- réinjection dans l'aquifère d'origine.

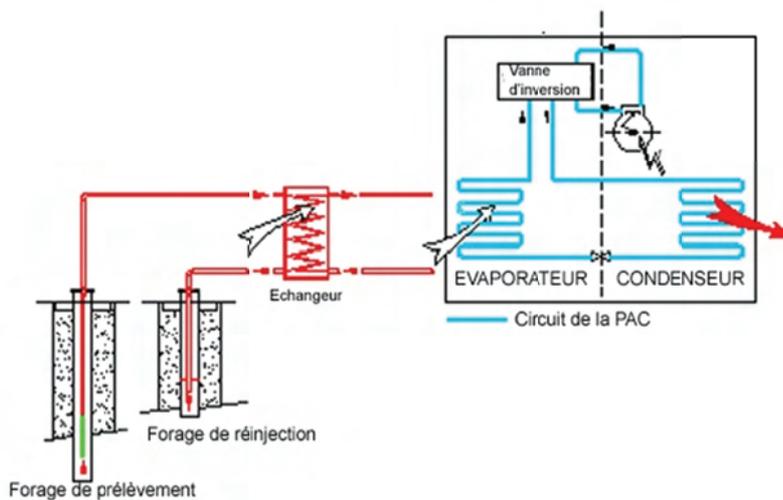
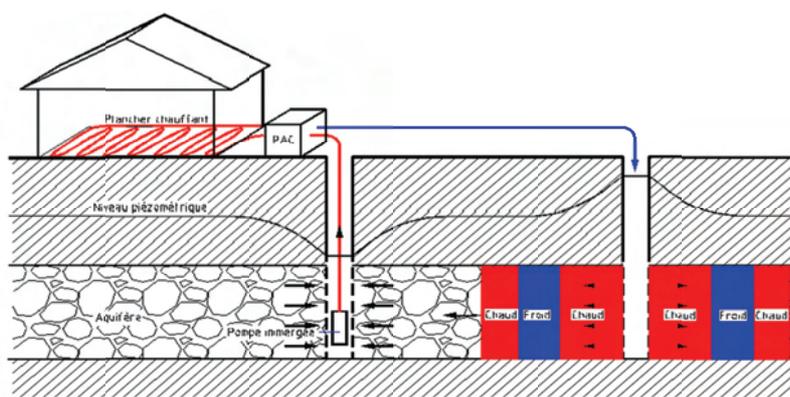


Figure 7 - Schémas de principe d'une pompe à chaleur sur eau de nappe

L'eau est prélevée via un premier forage de production et, après passage par la PAC, est en principe réinjectée dans via un deuxième forage (principe du doublet). Si, conformément aux règles de l'art, les précautions de dimensionnement et de réalisation sont prises pour éviter les interférences hydrauliques et thermiques entre les puits d'injections et de production et avec des doublets géothermiques ou forages environnants, la technique du doublet est une de celles qui respectent le mieux nature.

Une opération sur aquifère permet de couvrir des besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire (ECS) et/ou de froid, le cas échéant en usage direct (sans recourir à une PAC). En fonction des caractéristiques de l'aquifère (débit, température), il est possible

de fournir des puissances de chauffage de plusieurs dizaines ou centaines de kW à plusieurs MW.

Le débit d'eau nécessaire pour couvrir les besoins en énergie thermique peut être calculé ; par exemple selon la formule suivante en période hivernale :

$$D_{FR} = \frac{\left(1 - \frac{1}{COP}\right) \times P_{CH}}{1,16 \times \Delta T}$$

Avec

D_{FR} : Débit d'hiver, en m³/h,

P_{CH} : Puissance de chauffage en kW,

COP : Coefficient de performance de la machine,

ΔT : Différence entre les températures de pompage et de réinjection

Illustration : Pour une puissance de chauffage de 100 kW, une température de pompage de 12°C et une température de réinjection de 6°C, le débit nécessaire serait de 10 m³/h. Il y a un compromis à trouver entre la variation de température et le débit de pompage, en fonction du contexte local.

A titre indicatif, on retiendra ainsi en première approche qu'un débit d'eau de 10 m³/h peut apporter une puissance thermique de l'ordre 100 kW avec un système de pompe à chaleur sur aquifère superficiel.

b) Procédure technique pour la mise en œuvre de pompes à chaleur sur aquifère

La validation d'un projet de pompe à chaleur sur nappe nécessite, en plus des études de conception nécessaires à tout projet, une approche spécifique de la connaissance de la ressource en eau souterraine qui sera sollicitée (cf. Annexe 8, 9 et 10).

Les principales étapes de la mise en œuvre sont les suivantes :

- **Déterminer les besoins ;**
Il s'agit de déterminer les puissances chaud et froid qu'il faudra fournir au bâtiment.
- **Convertir ces deux puissances en débit d'eau à prélever sur la nappe ;**
- **Identifier la (les) ressource(s) ;**
L'analyse des données de l'atlas et l'estimation du débit nécessaire pour satisfaire tout ou partie des besoins thermiques permettront une première orientation.
Dans l'analyse de l'adéquation besoins/ressources, il n'est pas toujours pertinent de chercher à couvrir la totalité des besoins avec la solution PAC sur nappe. L'analyse du fonctionnement dynamique du bâtiment et des systèmes peut mettre en évidence des fluctuations importantes d'appel de puissance sur de faibles parts du temps de fonctionnement.
- **Étude de faisabilité hydrogéologique ;**

Cette étape requiert l'intervention d'un bureau d'étude spécialisé, car il s'agit d'affiner la démarche d'identification préalable de la ressource, en intégrant en particulier le nombre et le dimensionnement préalable des ouvrages, leur positionnement prévisionnel en fonction des contraintes du site.

Une première approche réglementaire doit également être réalisée à ce niveau ; ce qui permettra de connaître les documents administratifs à prévoir.

- **Conception, suivi, réception des travaux en sous-sol ;**

Dans cette étape, le bureau d'étude hydrogéologique intervient en tant qu'assistant au maître d'ouvrage (AMO), de la phase de conception jusqu'à la réception des travaux, tant pour les aspects techniques et financiers des ouvrages (forages, équipements, maintenance) que pour la partie administrative et réglementaire.

Enfin, il faut noter qu'il existe une procédure de « garantie sur la ressource en eau souterraine à faible profondeur utilisée à des fins énergétiques ». Il s'agit de la procédure AQUAPAC (cf. Annexe 1), destinée à couvrir le risque d'aléa sur la ressource et sa pérennité.

Ces différentes étapes doivent être menées en concertation avec les autres intervenants du projet, afin d'obtenir le meilleur ajustement besoin/ressource. Une analyse économique devra comprendre une étude comparative afin de justifier la solution pompes à chaleur sur nappe, intégrant les coûts d'investissement et les coûts de fonctionnement (énergie, maintenance), ainsi que l'aspect environnemental.

2.4.4. Pompe à chaleur sur le sous-sol

Dans les endroits où le sous-sol ne révèle pas d'aquifères exploitables, ou si l'exploitation des aquifères superficiels présente des difficultés, il est possible, pour des usages thermiques, d'échanger de la chaleur avec le sous-sol via des échangeurs de chaleurs qui seront enterrés et seront parcourus par un fluide caloporteur. Dans ce cas, l'énergie thermique du sous-sol est directement exploitée sans avoir à pomper l'eau d'un aquifère. Ces dispositifs sont préférentiellement mis en œuvre dans les zones dépourvues de nappe d'eau souterraine exploitable. Il existe deux grands types d'échangeurs, les **sondes verticales** et les **capteurs horizontaux et assimilés**.

a) Sondes géothermiques verticales (SGV)

Les sondes géothermiques correspondent à des capteurs géothermiques verticaux qui descendent à une profondeur généralement inférieure à 100 m. Elles sont également appelées « géosondes » ou « sondes sèches » (Figure 8). Elles présentent l'avantage d'avoir une faible emprise foncière. La technique de sonde la plus courante est composée de deux tubes en U en PEHD (polyéthylène haute densité) placés dans un forage. Le contact entre ce capteur et le sous-sol se fait par l'intermédiaire d'un mélange ciment-bentonite. Le fluide caloporteur circule alors en boucle dans la (les) sonde(s) et la PAC située en surface (Figure 9).

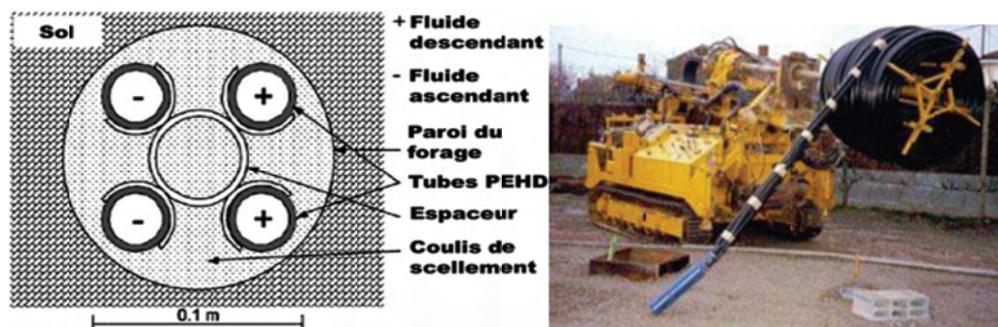


Figure 8 - Schéma d'une coupe et photographie d'un déroulement d'une sonde géothermique

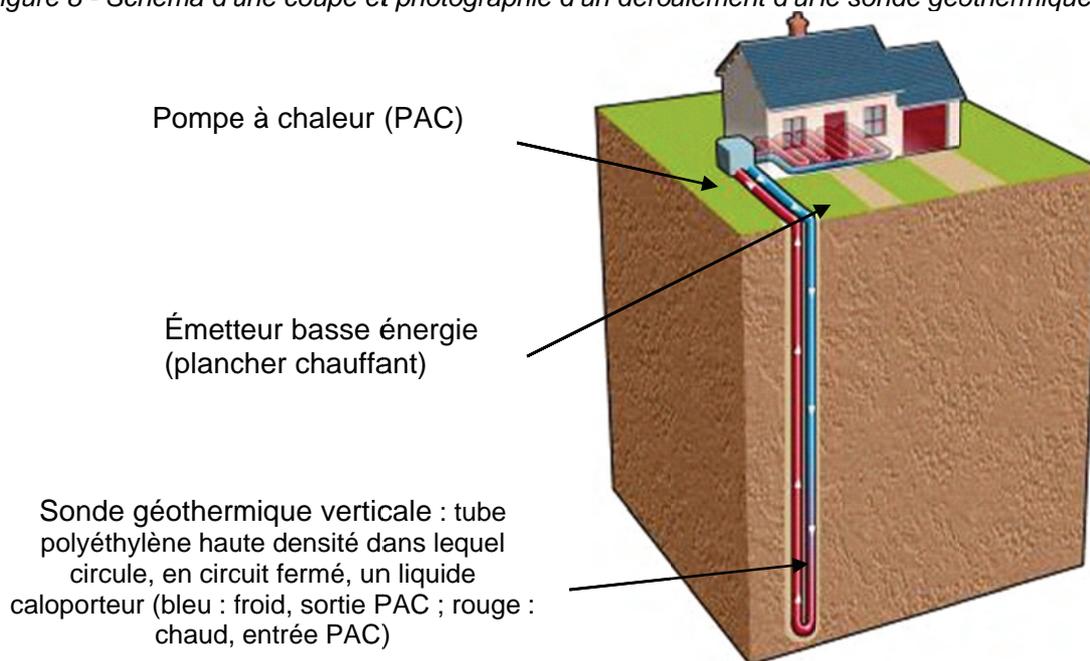


Figure 9 - Schéma de principe général d'une pompe à chaleur sur sonde géothermique

La PAC sera dimensionnée pour chauffer une habitation, de préférence au moyen d'émetteurs à basse température et/ou produire de l'ECS. En été, le système peut être inversé pour fonctionner en mode rafraîchissement (cas d'une PAC réversible).

L'aptitude au prélèvement de chaleur d'un sol dépend du contexte géologique et de la nature des roches traversées. Les principaux indicateurs sont la conductivité thermique du sol qui s'exprime en $W/m.K$ et la capacité thermique du sol qui s'exprime en $MJ/m^3.K$. Ces valeurs peuvent être estimées à partir de banques de données relatives aux sols ou mesurées in-situ avec un test de réponse thermique.

Le test de réponse thermique caractérise le système Sol / Sonde géothermique. Le principal résultat est une grandeur moyenne qui va caractériser la puissance thermique qui peut être échangée par mètre de profondeur de la sonde géothermique ; la valeur typique indicative étant de l'ordre de $50 W/m$.

Pour assurer des puissances comparables à celles d'une géothermie sur aquifère, il pourra être nécessaire d'implanter plusieurs sondes ; les règles de l'art proposent plusieurs arrangements. Les installations les plus puissantes recourent à la technique du « champ de sondes » (Figure 10) ; certaines opérations pouvant compter plus de 200 sondes. Ces installations doivent impérativement être étudiées par un bureau d'études compétent.

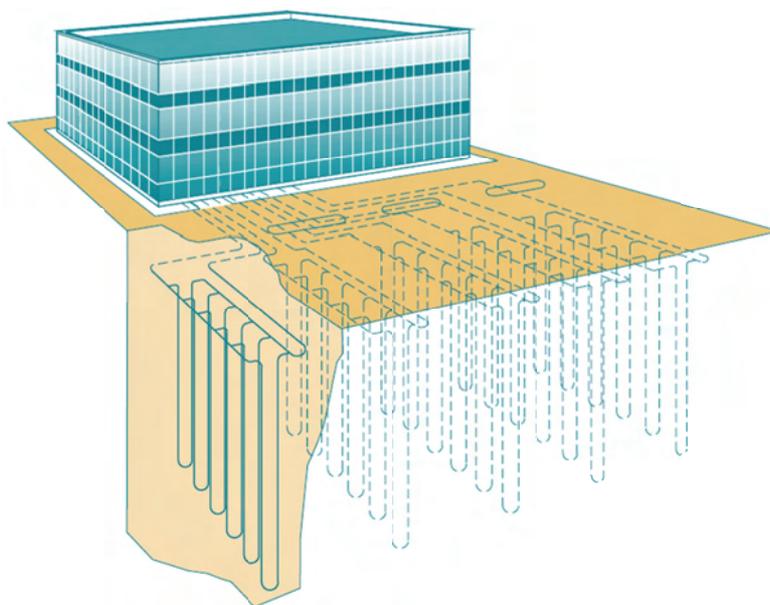


Figure 10 - Schéma d'un champ de sondes géothermiques (Source Retscreen)

La norme NF X 10-970⁷ précise les conditions de dimensionnement et de mise en œuvre d'une sonde géothermique verticale.

b) Capteurs horizontaux et compacts

Les capteurs enterrés à faible profondeur peuvent être organisés en réseau de tubes horizontaux installés en boucles et enterrés à une profondeur allant de 60 cm à 1,20 m, éventuellement en plusieurs couches, ou exécutés en arrangements d'échangeurs compacts ressemblant ; le plus souvent, à des gros ressorts ou à des grosses corbeilles de 2 m à 3 m de haut (Figure 11). Ces échangeurs vont permettre de capter de l'énergie contenue dans le proche sous-sol ; laquelle résulte en grande partie des conditions imposées par les échanges géo-climatiques (ensoleillement, pluie, vent).

Dans les tubes, un fluide caloporteur circule en circuit fermé. Selon la technologie employée, il peut s'agir, soit d'eau additionnée d'antigel (tubes en polyéthylène), soit du fluide frigorigène qui circule également dans la PAC (technologie de la détente directe).

⁷ NF X10-970 - Forage de Géothermie - Réalisation, mise en œuvre, entretien, abandon de la sonde géothermique verticale.

Généralement, la surface de terrain à mobiliser pour installer un capteur horizontal doit correspondre à 1,5 à 2 fois la surface habitable à chauffer. De telles surfaces ne sont pas toujours disponibles, d'autant plus dans un contexte à forte pression foncière. Cette technique est généralement réservée aux pavillons individuels disposant d'un terrain suffisant. Les techniques de type "corbeille géothermique" contournent en partie cette difficulté et, de plus, peuvent facilement être déconstruites.

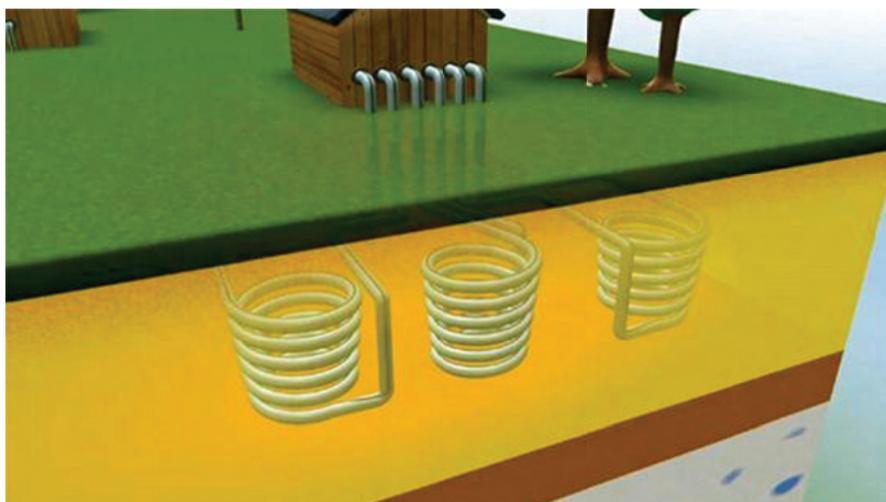


Figure 11 – Exemple d'implantation de capteurs géothermiques compacts (source plate-forme expérimentale du BRGM à Orléans)

2.4.5. Autres sources thermiques pour des pompes à chaleur

a) Captage sur réseaux d'eaux usées

L'eau usée est une source d'énergie qui peut être utilisée pour chauffer les bâtiments à l'aide d'un système de pompe à chaleur très semblable à celui utilisé en géothermie sur sondes géothermique ou sur échangeurs de subsurface (Figure 12).



Figure 12 – Schéma de fonctionnement d'une PAC sur eaux usées – Cas de la rue de Wattignie et du Palais de l'Élysée (Source Degrés-Bleus et UHRIG)

Les premières installations commerciales semblent avoir été réalisées à Bâle en Suisse il y a une vingtaine d'années (procédé Rabtherm). De nombreuses variantes techniques existent et, pour les installations neuves à écoulement gravitaire, la technique plus courante est celle de l'échangeur thermique placé dans le radier d'un collecteur (Figure 13).



Figure 13 - Principe de fonctionnement d'une PAC sur réseaux d'eaux usées : Illustration de canalisation avec capteurs préfabriqués (source Rabtherm)

Les effluents circulant dans les réseaux d'assainissement ont une température variant entre 13°C et 20°C (selon la région et les saisons). Ces effluents représentent une source d'énergie pouvant être utilisée pour chauffer l'eau ou l'air ambiant des locaux situés à proximité.

La récupération de l'énergie des eaux usées peut être envisagée par un dispositif pouvant être partagé avec celui exploitant une géothermie. L'énergie des eaux usées est transmise à un liquide caloporteur et qui va transporter l'énergie jusqu'à une pompe à chaleur située en pied des bâtiments. Celle-ci va utiliser l'énergie provenant du réseau d'assainissement pour le chauffage, pour l'ECS ou pour le rafraîchissement.

Ces techniques sont surtout adaptées aux agglomérations car l'efficacité énergétique du système est conditionnée par l'amont du réseau d'assainissement qui doit être en mesure de satisfaire la demande de chaleur au lieu du prélèvement thermique. Ainsi, pour être rentable, les opérateurs considèrent que la puissance thermique doit être, si possible, supérieure à 100 kW ou 150 kW ce qui, typiquement, correspond à un débit des eaux usées d'au moins 10 à 15 l/s (moyenne quotidienne par temps sec) représentant en amont un bassin versant urbain d'environ 8 000 et 10 000 habitants.

Globalement, pour les gros collecteurs, le prélèvement thermique varie de 2 à 5 kW/m² d'échangeur installé, ce qui correspond à 1,8 à 6,4 kW par mètre linéaire de canalisation du réseau d'assainissement. Généralement entre 40 et 80 mètres sont nécessaires. Ce procédé reste donc adapté à un habitat urbain dense.

b) Captage de l'énergie thermique de la mer

L'eau de mer est une source de chaleur qui peut être principalement utilisée pour des projets de moyenne à grande importance, tant en chauffage que pour du rafraîchissement. A une profondeur de 25 à 50 m, la température de l'eau de mer est constante et proche, en moyenne, de 8°C sur le littoral de la Manche pour la période hivernale. Des projets ont été développés en Europe du Nord où la mer est à des températures moyennes inférieures à celles du littoral picard en hiver.

Plusieurs techniques existent entre les systèmes qui pompent de l'eau pour la transporter à terre avant de la rejeter et les systèmes qui immergent des échangeurs de chaleur parcourus par un fluide caloporteur ; les zones portuaires étant généralement de bons candidats pour implanter un tel système.

Dans tous les cas, il est fondamental d'utiliser des échangeurs de chaleur résistants à la corrosion et de maîtriser la prolifération d'organismes marins (algues, moules,...) au niveau des tuyauteries, des échangeurs, voire des évaporateurs.

L'approche réglementaire de ce type d'opération consiste à entreprendre une étude d'impact après avoir appréhendé l'aspect environnemental de ce procédé. Par exemple, la variation de la température d'eau de rejet du système, peut ponctuellement avoir une influence sur le biotope du site.

Cette technologie est encore peu répandue. Elle semble préférée pour des projets de 3 à 5 MW minimum, en raison des coûts d'installation (génie civil, équipements de traitement d'eau) et de maintenance. Pour les techniques sur échangeurs immergés, on constate toutefois des solutions de quelques dizaines ou centaines de kilowatts.

2.4.6. Installations pour le rafraîchissement

Lorsque les niveaux des températures de la source géothermique et du système de distribution sont incompatibles avec du rafraîchissement direct, il sera possible de recourir à des installations mixtes qui peuvent être des machineries thermodynamique spécifique pour la production de chaud et pour la production de froid, des PAC réversibles ou des assemblages de type thermo-frigo-pompes qui fournissent simultanément tous les services (chauffage, ECS, Froid).

a) Rafraîchissement direct (ou freecooling)

Le rafraîchissement direct (connu souvent sous le nom de freecooling) fonctionne sur un principe similaire à celui employé en géothermie basse énergie pour le chauffage lorsque la température de la source géothermique est adaptée.

Ce principe peut être mis en œuvre lorsque la température de la source est compatible avec l'usage. Pour du rafraîchissement, une température entre 15°C et 20°C reste parfaitement adaptée ; les valeurs inférieures étant évidemment envisageables. Pour une utilisation en climatisation, une température inférieure à 7°C semblerait nécessaire au regard des pratiques actuelles. Sous nos latitudes, ce niveau de température n'est pas disponible dans les conditions naturelles.

Le rafraîchissement direct, lorsque qu'il est thermiquement envisageable, doit toujours être préféré à une climatisation. L'intérêt du rafraîchissement direct réside dans l'économie réalisée sur la dépense d'énergie (énergie électrique employé pour la circulation des fluides caloporteurs) vis-à-vis de l'énergie thermique utile ; un ratio égal à 20 étant un bon ordre de grandeur.

Aucune machinerie thermodynamique n'est actionnée dans ce mode. Les seuls équipements en service dans un tel système sont :

- les ouvrages géothermiques,
- des échangeurs de chaleur,
- des pompes de circulation,
- des émetteurs dans les locaux (ventilo-convecteurs, planchers ou plafond rafraîchissants, ...).

b) Pompe à chaleur réversible

En hiver, une pompe à chaleur réversible assure la production de chaleur en hiver et, en été, la production de froid pour alimenter un circuit d'eau glacée ; cette production pouvant, éventuellement, être en temps partagé avec la production d'ECS. Pour ce faire, il convient d'inverser le sens de circulation du fluide frigorigène dans la PAC grâce à un jeu de vannes commandées par l'automatisme.

En mode froid, la chaleur est prélevée au milieu intérieur (source froide) et rejetée dans le milieu extérieur (source chaude). Dans les mêmes conditions qu'une PAC classique, les PAC réversibles pourront utiliser soit la chaleur du sous-sol, soit la chaleur d'une nappe d'eau souterraine.

Pour les dispositifs sur nappe souterraine qui fonctionnent en doublet, il existe deux configurations possibles :

- **Un seul puits de production** : Seul le puits de production est équipé d'une pompe d'exhaure. Le fluide réinjecté en été est plus chaud que la température normale de l'aquifère, et le fluide réinjecté en hiver est plus froid (Figure 14). Il faudra néanmoins tenir compte de l'hydrodynamisme de la nappe pour l'implantation des forages ;

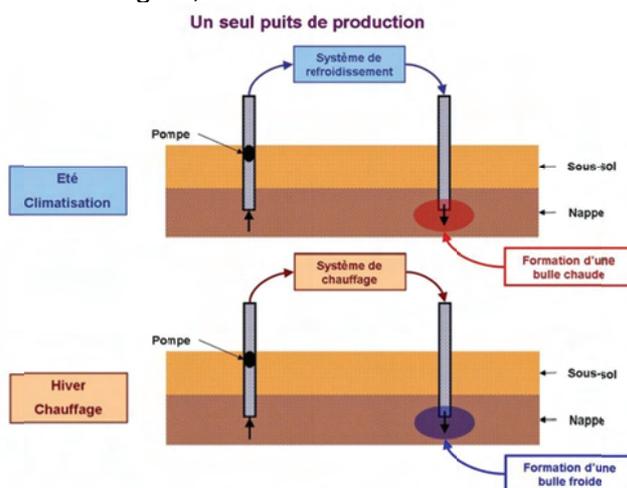


Figure 14 - Schéma de principe du fonctionnement de la PAC réversible avec un unique puits de production.

- **Deux puits de production** qui fonctionnent alternativement. L'été, l'eau est prélevée dans le puits dit « froid » et l'eau réchauffée après passage dans le système de refroidissement est réinjectée dans le puits « chaud ». En hiver, le sens de circulation dans la boucle géothermale est inversé. L'eau de chauffage est prélevée au puits « chaud » et l'eau refroidie est réinjectée dans le puits « froid ». Un tel système s'avèrera très efficace lorsque l'écoulement de la nappe est faible ou nul car on observera la formation d'une bulle chaude et froide respectivement au droit des puits « chaud » et « froid », augmentant la performance du système au cours du temps (Figure 15).

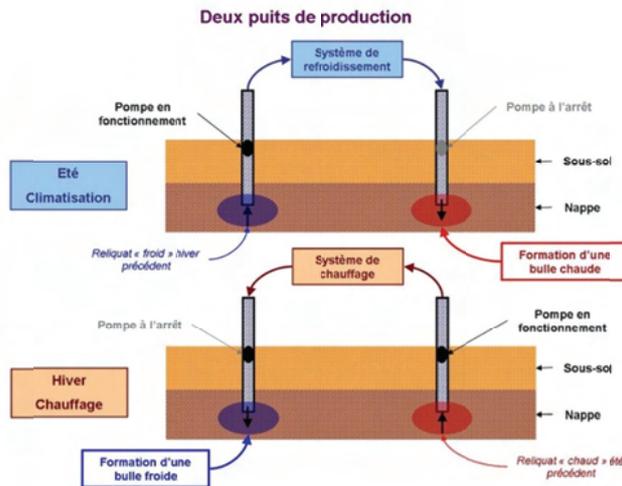


Figure 15 - Schéma de principe du fonctionnement de la PAC réversible avec deux puits de production.

c) Thermofrigopompe

Physiquement, une pompe à chaleur produit simultanément du chaud et du froid. Or, certains bâtiments, du tertiaire notamment, ont des besoins simultanés de froid et de chaud toute l'année (cliniques, hypermarchés, locaux tertiaires ...).

Le principe de la thermofrigopompe est de satisfaire les besoins de chaleur et du froid par deux réseaux distinctifs (Figure 16). En général, pour satisfaire les niveaux de température et de puissance requis, les machineries thermodynamiques comprendront deux pompes à chaleur, une des deux pouvant être réversible afin d'autoriser une adaptation à la saisonnalité des demandes en chaud et en froid.

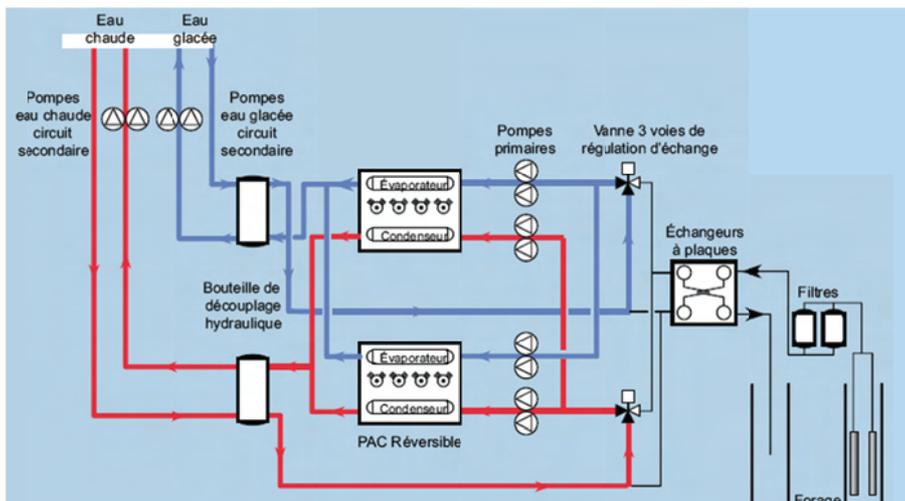


Figure 16 - Schéma de principe du fonctionnement d'une thermofrigopompe.

2.4.7. Installations terminales de chauffage et de rafraîchissement

Quelle que soit la technologie utilisée pour émettre de la chaleur ou du froid, un système terminal est nécessaire pour chauffer ou climatiser un bâtiment.

L'efficacité d'un système géothermique est conditionné par les températures aller et retour des émetteurs de chauffage. Le dispositif sera d'autant plus performant que les températures de ces émetteurs seront basses.

On distinguera généralement deux modes d'émission de chaleur ou de froid : le mode hydraulique et le mode aéraulique.

a) *Émission en mode hydraulique*

Ces technologies se basent sur la circulation d'un fluide (chaud ou froid) pour satisfaire les besoins. On distingue :

- **Radiateurs à eau** : ils sont généralement caractérisés par leurs températures aller et retour pour la température extérieure la plus basse (exemple : aller 90°C – retour 70°C) Pour être compatible avec une ressource géothermique (limité à 55°C pour les systèmes avec PAC), il est nécessaire de mettre en place des émetteurs de relativement grande surface. D'une manière générale, les radiateurs ne sont pas conçus pour permettent d'envisager la réversibilité ;
- **Planchers chauffants** : ils sont bien adaptés à un chauffage par PAC du fait de leur grande surface d'émission. Certains planchers peuvent être réversibles si l'on prend les précautions nécessaires notamment en terme de condensation sur le plancher lors du refroidissement l'été ;
- **Plafonds rayonnants hydrauliques** : du fait de leur grande surface d'émission et de leur localisation dans la pièce, ils sont bien adaptés à un système de rafraîchissement, voire de climatisation associée à une PAC.
- **Ventilo-convecteurs** : lorsqu'ils sont utilisés en lieu et place des radiateurs à eau ils peuvent permettre des températures abaissées de fonctionnement sans pour autant mobiliser des grandes surfaces. Certains équipements peuvent être équipés de deux circuits, un pour délivrer du chaud et un pour délivrer du frais/froid. De tels équipements sont rencontrés surtout dans le tertiaire ou le commercial, là où il faut basculer d'un mode à l'autre dans la journée.

b) *Émission en mode aéraulique centralisé*

Le mode évoqué ici s'applique aux installations centralisées comprenant généralement une centrale de traitement d'air (CTA). Le mode aéraulique permet la distribution par air de chaleur, de frais ou de froid. Un échangeur de chaleur centralisé est raccordé à un circuit d'eau chauffée ou rafraîchie par PAC, voire parfois lorsque la PAC est accolée à la CTA, d'un système en détente directe.

Le système le plus couramment utilisé est donc de type **ventilo-convecteur**. A toutes les échelles de bâtiments, on constate un certain renouveau de cette technique avec l'émergence des centrales double-flux pour le renouvellement de l'air ; une partie seulement du confort thermique pouvant alors être affectée au système aéraulique, le reste restant assuré par des émetteurs hydrauliques. Certaines techniques émergentes comme les **plafonds diffusants** ou **poreux** sont performantes mais leurs coûts demeurent à l'heure actuelle très élevés.

Les inconvénients souvent attachés à ce mode d'émission sont, en cas de défaut de dimensionnement : courants d'air, niveau sonore, sensations de trop chaud ou trop froid.

2.4.8. Géothermie très basse énergie (TBE) - Plusieurs technologies adaptées à la diversité des besoins

La géothermie très basse énergie (TBE), associée aux systèmes de pompes à chaleur, peut apporter une réponse énergétique et environnementale satisfaisante dans le domaine du chauffage (et rafraîchissement) résidentiel et tertiaire (logements, bureaux, commerces). La chaleur prélevée provient, soit d'aquifères superficiels par le biais de forages, soit du sol et du sous-sol (sans nappe aquifère) par le biais de capteurs enterrés, horizontaux, de subsurface ou verticaux (sonde géothermique, Figure 17).

Les pompes à chaleur ayant un meilleur rendement avec des émetteurs de chaleur basse température (par exemple de type "planchers chauffants"), le marché principal a longtemps été celui du neuf. Cependant, cas le cas d'une rénovation importante de bâtiments existants, prenant en compte les émetteurs de chaleur (avec la mise en place par exemple d'un plancher basse température ou de systèmes aérauliques), la géothermie peut alors être efficacement mise en œuvre.



Solution capteur horizontal enterré

Solution capteur vertical (sonde géothermique)

Figure 17 - Solution de capteur horizontal et de capteur vertical

Le choix d'une solution géothermique est, généralement, associé à un raisonnement opéré sur le long terme ; les équipements souterrains ayant des durées de vie sans maintenance très longues au regard des autres équipements, à savoir du même ordre de grandeur que le bâtiment lui-même. De plus, la majorité des ouvrages

géothermiques aujourd'hui proposés peuvent déjà être raccordés à un large panel de machineries thermodynamiques ; ce qui assure une pérennisation de ces ouvrages en prévision des évolutions techniques de ces machines.

a) La géothermie pour le particulier

En France, la technique géothermique la plus courante a longtemps été celle du captage enterré horizontal. Cette technique reste majoritairement réservée à la maison individuelle car l'emplacement nécessaire pour implanter les capteurs requiert de 1,5 à 2 fois la surface à chauffer. De plus, les autres usages de cette surface restent contraints par l'obligation de respecter l'intégrité des conduites souterraines.

Les capteurs compacts qui, en France, ont fait leur réapparition au début des années 2000 remédient en partie aux contraintes ci-avant et impactent modérément le foncier. De plus, lorsqu'ils sont correctement dimensionnés et implantés, ils procurent une assez bonne stabilité des conditions de fonctionnement ; ce qui est moins vrai pour les systèmes les plus proches de la surface. On notera que les échangeurs compacts semblent assez bien calibrés pour satisfaire les besoins des habitations individuelles RT-2012 ; en neuf comme en rénovation ; cela en raison d'une puissance des échanges thermiques qui se limite à quelques kW et ne nécessite donc qu'un nombre restreint de capteurs à enterrer.

Dans tous les cas, la clé de la performance thermique et économique réside dans le maintien des conditions de conduction de la chaleur ; lesquelles sont grandement liées au maintien du taux d'humidité dans le sol.

Même si la disponibilité foncière est réduite, le captage enterré vertical (sonde géothermique verticale - SGV) restera toujours possible. Cette technique progresse en France, malgré un investissement encore considéré comme élevé, mais qui est compensé par la grande durée de vie des équipements enterrés (matériaux et ouvrages certifiés 50 ans).

Les puits canadiens, dits également provençaux, restent à la marge des techniques géothermiques. Sauf cas très particulier, leur fonction doit se limiter à du rafraîchissement ou à du préchauffage où ils peuvent contribuer à hauteur de 20% des besoins. Le principe consiste à faire circuler de l'air extérieur via un tuyau, étanche, enterré à 1 ou 2 mètres de profondeur jusqu'à l'intérieur de l'habitat. En hiver, l'air froid prélevé se réchauffe en circulant dans le tuyau, en été, il se rafraîchit. Selon les techniques, l'air sert au renouvellement et/ou est exploité thermiquement via un échangeur, avec ou sans PAC.

b) La géothermie pour le tertiaire et le résidentiel collectif

Ces usages valorisent, la plupart du temps, de la géothermie très basse énergie au travers de pompes à chaleur. Usuellement, selon la taille du bâtiment, il s'agit d'opérations de taille moyenne, typiquement de 50 kW à 500 kW. On distingue :

• Les opérations de " pompes à chaleur sur aquifères superficiels "

Ces opérations permettent de couvrir des besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire (ECS) et/ou de froid/frais. En fonction des caractéristiques de l'aquifère (débit, température), il est possible de fournir des puissances de chauffage de plusieurs centaines de kW à plusieurs MW.

• Les champs de sondes géothermiques

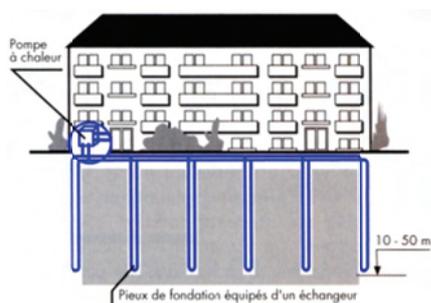
Les opérations avec champs de sondes géothermiques se développent à l'étranger depuis plusieurs années. En France, le développement est plus récent. Typiquement, la puissance thermique installée pour ce type d'opération commence vers 100 kW ; soit à titre indicatif : environ 25 sondes de 100 m de profondeur chacune. Des champs composés de plusieurs centaines de sondes existent à l'étranger. La puissance thermique maximale semble toutefois se situer vers quelques mégawatts tout au plus.

Important : il est recommandé de concevoir un champ de sondes géothermiques de manière à bénéficier des apports estivaux (climatisation, rafraîchissement) en accumulant un peu de chaleur dans le volume de sol où sont implanté les sondes. De même, les apports hivernaux (abaissement de la température du sous-sol) permettront l'accumulation d'une énergie propice au rafraîchissement estival.

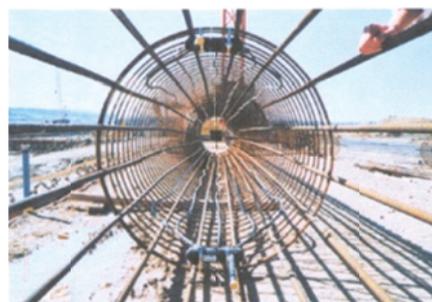
• Les fondations géothermiques ou thermo-actives

Certains bâtiments nécessitent, pour des raisons de portance, d'être construits avec des fondations sur pieux en béton. Le principe des pieux énergétiques consiste à y intégrer lors de leur fabrication ou de leur mise en place sur site un système de captage de l'énergie dans lequel il est possible de faire circuler de l'eau ((tubes en polyéthylènes noyés dans le pieu - Figure 18). Ces tubes sont mis en place avec l'armature en fer. Le système de captage est connecté à une pompe à chaleur pour le mode chauffage et peut être utilisé en rafraîchissement direct ou en mode climatisation.

Important : Le respect des règles de portance des pieux dans le sol peut imposer des contraintes fortes sur les plages de température de fonctionnement autorisées. Pour cette raison, il est pratiquement obligatoire de concevoir l'exploitation en alternant des périodes d'utilisation pour le chauffage qui abaissent la température du sol et des périodes d'utilisation pour du rafraîchissement ou de la climatisation qui relèvent la température du sol. De plus, cette alternance est bénéfique car elle améliore les COP saisonniers des machines thermodynamiques et limitent donc les dépenses.



Exemple de dispositions de pieux géothermiques



Armatures d'un pieu géothermique

Figure 18 - Représentations de pieux géothermiques

2.4.9. Les techniques géothermiques adaptés aux réseaux

c) La géothermie pour alimenter les réseaux de chaleur

Un réseau de chaleur urbain (RCU) est un ensemble d'installations qui produisent et distribuent de la chaleur à plusieurs bâtiments pour le chauffage et/ou l'eau chaude sanitaire. Le réseau de chaleur est constitué d'un réseau de canalisations empruntant le domaine public ou privé, transportant de la chaleur, qui alimente des postes de livraison (appelés sous stations) installés au pied des bâtiments (Figure 19).

Dans le cas d'un réseau de chaleur raccordé à la géothermie basse énergie (BE), ce réseau de chaleur urbain constitue la boucle secondaire ; la boucle primaire étant la boucle géothermique matérialisée par les puits géothermiques. Un échangeur de chaleur découple ces deux circuits hydrauliques.

Sur les mêmes principes, il existe des réseaux urbains distribuant du froid, transporté sous forme d'eau glacée et destiné à la climatisation de locaux. Actuellement, on voit émerger des projets de réseaux aptes à distribuer une température qui serait adaptée à du rafraîchissement direct. Ces réseaux restent exploitables pour produire du froid ou du chauffage moyennant des pompes à chaleur réparties au plus près des usages.

Les collectivités territoriales (communes ou groupement de communes) ont compétence pour créer un service public local de distribution d'énergie calorifique. Il y a actuellement en France⁸ près de 450 réseaux de chaleur qui chauffent l'équivalent de plus de 2 millions d'habitants dans leur vie quotidienne, au travail ou dans leurs loisirs, dans plus de 350 villes. Cela représente annuellement près de 25 000 GWh d'énergie distribuée à 24 000 sous-stations. En France, les 2/3 des bâtiments chauffés par des réseaux de chaleur sont des logements ; le tiers restant est constitué essentiellement

⁸ Source SNCU

de bâtiments du secteur tertiaire (dans lesquels on compte les établissements de santé, d'enseignement ...).

Dans le domaine de la géothermie, les investissements concédés pour accéder à une ressource, par exemple un aquifère profond, donne généralement accès à une ressource relativement importante (typiquement quelques mégawatts) qui sera d'autant mieux valorisée qu'un réseau urbain en permettra la distribution. Historiquement, ce sont les applications de valorisation de l'énergie géothermale par échange direct, associées à un réseau de chaleur, qui ont été les premières mises en place ; le réservoir géothermique du Dogger en Ile-de-France constituant une référence mondiale.

Les réseaux de chaleur urbains, aptes à desservir plusieurs milliers de logements par opération, permettent ainsi de répartir sur un plus grand nombre de postes de consommation la charge des investissements sous-sol pour la production d'énergie géothermique.

Associée à un échangeur thermique, la production peut se faire soit via un puits unique (autorisé uniquement pour certains aquifères bien particuliers), soit par la technique du "doublet géothermique" qui associe un forage de production et un forage de réinjection ; des variantes pouvant comprendre plusieurs puits de production et/ou de réinjection, souvent en résultantes de considérations locales.

La technique de la réinjection a pour objet de préserver durablement les équilibres géochimiques et hydrauliques ; ce dernier point ayant l'intérêt de maintenir la pression du réservoir géothermal exploité et donc de maintenir au plus bas le niveau de la puissance de pompage nécessaire à la production.

Parmi les installations de géothermie existant en France et produisant plus de 100 tep/an (tonne équivalent pétrole), la moitié (soit 80% de la production géothermale) est concentrée dans le Bassin parisien et exploite l'aquifère dit du Dogger (du nom de la période concernée de l'ère Jurassique). Cet aquifère s'étend sur une surface de 15 000 km² et alimente plus de trente réseaux de chaleur géothermique.

A titre indicatif, une opération-type de la région parisienne permet de chauffer environ 4 000 à 5 000 équivalent-logements. L'eau géothermale exploitée est captée entre 1 600 m et 2 000 m de profondeur. Sa température peut localement atteindre 80°C.

En Picardie, deux opérations géothermiques sur l'aquifère du Dogger, à Creil et à Beauvais, ont été réalisées au début des années 1980 (voir paragraphe 7.3.3. c))



Figure 19 - Schéma d'une installation de réseau de chaleur urbain géothermique (tel qu'existant en région parisienne)

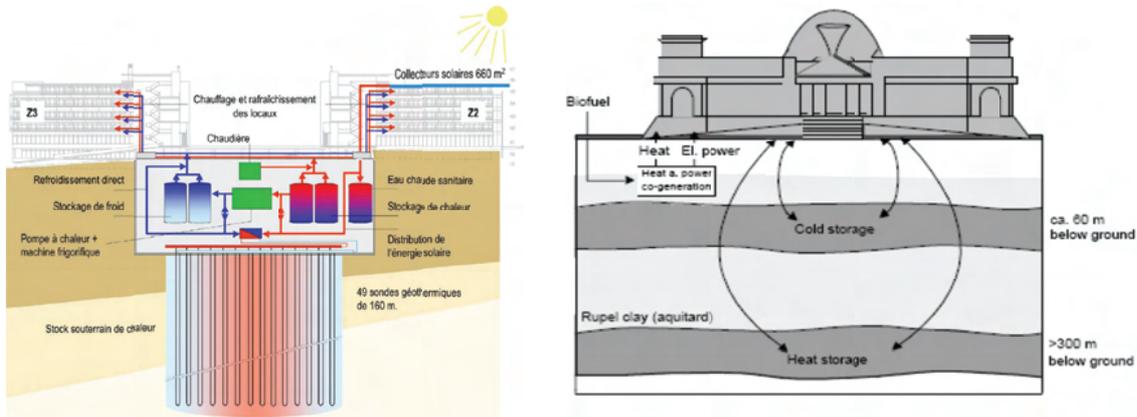
Usuellement, les réseaux de chaleur géothermiques sont des réseaux multi-énergies. La base est assurée par la géothermie et le complément par diverses énergies, comme celle des incinérateurs. Les énergies fossiles sont réservées au secours ou à l'appoint lors des jours les plus froids ; le cas échéant via des installations de cogénération. Selon la nature du réseau de chaleur urbain et le niveau de la température de la ressource géothermique, le recours à des pompes à chaleur peut être envisagé. L'effet visible sera alors un abaissement de la température de réinjection ; ce qui se traduit par une augmentation de la quantité d'énergie géothermique captée.

Sauf exception, la puissance géothermique de l'installation sera dimensionnée très en dessous de la puissance maximale du réseau. Typiquement, en dimensionnant la puissance géothermique à seulement la moitié de la puissance maximale, il est généralement possible d'assurer jusqu'à 80% des besoins.

d) Les stockage géothermiques périodiques

Le stockage d'énergie thermique dans le sous-sol consiste à mettre à profit l'aptitude des formations géologiques à emmagasiner de l'énergie thermique ; laquelle doit évidemment provenir d'une source excédentaire sans utilisation immédiate. Cette énergie, devenue géothermique, sera exploitée ultérieurement à la demande. On distingue deux types de stockage : les stockages diffusifs (échangeurs de chaleur) et les stockages sur aquifères (Figure 20). Les champs de sondes géothermiques et les fondations géothermiques exploitent nativement cette technique avec une périodicité saisonnière : la chaleur issue du rafraîchissement estival est stockée en prévision de la saison de chauffage et le rafraîchissement du sol en fin de période hivernale sera

propice au rafraîchissement. Les stockages sur aquifère nécessitent des conditions hydrogéologiques propices et une conception spécifique. Les utilisations principales des stockages sont les bâtiments et le tertiaire mais d'autres applications existent comme celles des serres agricoles ou des locaux commerciaux et logistiques.



Vue schématique d'un stockage diffusif réalisé pour le D4 business center Luzern à Root en Suisse (2003)

Schéma du stockage thermique sur aquifère au Reichstag à Berlin (1999)

Figure 20 - Opération de stockage souterrain

e) Synthèse des modes d'exploitation de la géothermie très basse énergie

La Figure 21 ci-après synthétise les différents modes d'exploitation de la géothermie très basse énergie et rappelle les principales caractéristiques spécifiques à chacune d'entre elles.

Parmi les caractéristiques communes, on rappellera que si toutes les solutions géothermiques de basse énergie requièrent une technicité spécifique faible à modérée, le recours aux bureaux d'études pour, à tout le moins, caractériser la ressource au regard des usages thermiques escomptés reste indispensable.

2.4.10. Surveillance et maintenance des installations

Comme tout dispositif thermique, une installation géothermique requiert une maintenance tant préventive que curative. En principe, les actions de maintenance et d'entretien pourront être définies dès la phase d'es études de caractérisation qui est évoquée ci-dessus.

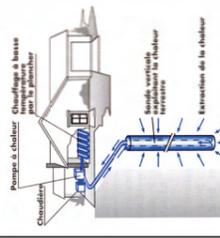
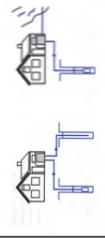
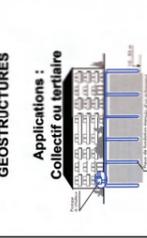
La finalité de la maintenance sera de contribuer à garantir sur le long terme :

- La fiabilité du fonctionnement et la continuité du service ;
- La performance énergétique.

Techniquement, toutes les techniques géothermiques ne vont pas requérir les mêmes actions de maintenance et d'entretien :

- Certaines solutions sur aquifères, selon le contexte local, peuvent justifier des actions continues, par exemple du filtrage ou du conditionnement de la qualité de l'eau géothermale pour écarter l'éventualité d'un colmatage. Selon les matériaux des puits, on peut aussi avoir à vérifier l'efficacité du système anticorrosion.
- Les techniques sur échangeurs enterrés (à fluide caloporteur intermédiaire) requièrent assez peu d'opérations de maintenance. Celles-ci restent très similaires à ce qui est opéré sur le circuit de distribution dans les locaux, par exemple : vérification de la pression ou de la teneur en additifs.

En tout état de cause, il est fortement recommandé au maître d'ouvrage de souscrire à un contrat d'entretien couvrant l'intégralité des installations de forage et de génie climatique.

Type d'échangeur géothermique	Principe Conditions d'implantation Profondeur moyenne	Paramètres dimensionnement Puissance extraction Coût investissement	Réglementation et procédures administratives liées au sous-sol	Avantages / Inconvénients
CAPTEURS HORIZONTALS Applications : Individuel 	Principe : Prélèvement de la chaleur dans le sol à partir d'un réseau de tuyaux (en polyéthylène) dans lequel circule un fluide frigorigène ou de l'eau glycolée (selon la technologie de PAC utilisée), enterré horizontalement dans le jardin. Conditions d'implantation : Sol meuble ou reconstruit. Espace demandé ~2 fois la surface à chauffer. Proscrit dans les terrains en pente. Attention aux racines d'arbres et à l'incrustation des tuyaux. Profondeur moyenne (m) : 0.80 - 1.50	Paramètres de dimensionnement du sous-sol : Nature du sol (conductivité thermique qui va influencer la puissance d'extraction par m ² de sol en W/m ²), diamètre des tubes PE (20 - 32 mm), espacement des tubes (0.30 - 0.75 m) Puissance d'extraction (W/m) : 3.3 - 21.1 W/m ¹ Coût d'investissement (€) : 30 - 45 €/m ²	Déclaration à la Préfecture : Profondeur < 10 m + gîte géothermique à basse température de moindre importance (débit calorifique maximum un calculé par référence à 20 °C + 200 th/h et profondeur < 100 m) Références : Code minier : L.134.3. et L.411.1 Décret no78-498 du 28 mars 1978 modifié - Art. 17	Avantages : Coût d'investissement selon les cas (nature du sol, coût du décapage) Inconvénients : COP influencé par les conditions climatiques (température extérieure, pluies) et ne bénéficiant pas du gradient géothermique. Nécessite une grande surface de pose. Jouissance de la parcelle limitée
SONDES GEOTHERMIQUES VERTICALES Applications : Individuel, collectif, tertiaire 	Principe : Prélèvement de la chaleur par conduction dans le sous-sol à partir d'un échangeur thermique vertical dans lequel circule, en circuit fermé, un liquide caloporteur de qualité alimentaire. Conditions d'implantation : Tous types de sous-sol avec présence ou absence d'eau souterraine. Espace demandé sur le terrain pour une sonde (0,120 - 0,180 m) et espace recommandé entre 2 sondes 10 m Profondeur moyenne (m) : 80 - 100 3)	Paramètres de dimensionnement du sous-sol : Conductivité thermique des terrains qui va influencer la puissance d'extraction en W/m de sonde, présence d'eau souterraine, écoulement souterrain, diamètre des tubes (25 - 32 mm), conductivité thermique du laitier de scellage. Ratios de dimensionnement utilisés pour prédimensionnement : 50 W/m (terrains saturés); 30 W/m (terrains secs). Pour les champs de sondes, le dimensionnement sera réalisé par un bureau d'étude et validé in-situ par un ou plusieurs tests de réponse thermique. Puissance d'extraction (W/m) : 20 - 85 W/m ⁴ Coût d'investissement (€) : 30 - 80 €/m de sonde posée (inclus travaux de forage) ⁵⁾	Déclaration à la Préfecture : Profondeur de forage (puits, forage) dépasse 10 m Ou Débit calorifique prélevé (calculé par référence à 20 °C) est < 200 th/h (232.5 kW) Références : Code minier : L.134.3. et L.411.1 Décret no78-498 du 28 mars 1978 modifié - Art. 17 Demande d'autorisation à la Préfecture : Pour les travaux de recherche et d'exploitation de gîtes géothermiques Si profondeur est > 100 m ou débit calorifique prélevé (calculé par référence à 20 °C) est > 200 th/h (232.5 kW) Si forage est situé dans une zone de protection d'une source d'eau minérale naturelle déclarée d'intérêt public Si forage est de nature à détruire les frayères ou les zones d'alimentation de la faune piscicole Références : Code minier : Art. R214-1 (1.1.2.0) Décret no78-498 du 28 mars 1978 modifié - Art. 17 Code santé publique : Art. L.1322-4 Code environnement : Art. L.214-6 et R214-1 (3.1.5.0)	Avantages : Technique simple et sûre (pas besoin d'eau souterraine). Rendements élevés (température d'entrée dans la PAC stable) et bénéficient du gradient géothermique. Nécessite un espace d'implantation réduit (zones urbaines). Jouissance totale de la parcelle. Entretien plur-annuel minimum. Inconvénients : Coût d'investissement élevé en fonction de la profondeur totale forée et du type de terrain (tubage à l'avancement)
PAC SUR AQUIFERES Applications : Individuel, collectif, tertiaire 	Principe : Prélèvement de la chaleur dans l'eau souterraine par l'intermédiaire d'un puits de pompage et d'un forage de réinjection (doublet). Après son passage dans la pompe à chaleur, l'eau peut être également rejetée, après autorisation, dans un réseau, un cours d'eau ou un lac. Conditions d'implantation : Tous les types de sols à perméabilité de pore ou de fissure permettent l'écoulement de l'eau souterraine. Distance entre le puits de prélèvement et le forage de réinjection à déterminer en fonction des conditions hydrogéologiques locales (perméabilité, sans découlement de la nappe...) Profondeur moyenne (m) : *Profondeur de l'aquifère déterminée par la géologie*	Paramètres de dimensionnement du sous-sol : La garantie AQUAPAC pourra être souscrite (pour les puissances >30 kW) permettant de garantir le risque d'échec sur la ressource (débit insuffisant) et la pérennité de la ressource à long terme (diminution du débit). Puissance d'extraction (W/m) : 10 000 W par m ³ /h pompé ⁶⁾ Coût d'investissement (€) : 40 - 150 €/m ⁷⁾	Références : Décret n° 2008-652 du 2 juillet 2008 Déclaration à la Préfecture : Pour prélèvement souterrain temporaire ou permanent non destiné à un usage domestique (débit >1000 m ³ /an) Si débit > 200 000 m ³ /an Si débit entre 400 et 1000 m ³ /an ou 2 et 5% débit cours d'eau Références : Code environnement : Art. R214-1 (1.1.2.0) Code environnement : Art. R214-1 (1.2.1.0) Code environnement : Art. R214-1 (1.3.1.0) Demande d'autorisation à la Préfecture : Si débit > 200 000 m ³ /an Pour prélèvement en plan d'eau si débit >1000 m ³ /an ou 5% débit du cours d'eau Zones où mesures permanentes de répartition quantitative des eaux souterraines si débit >8 m ³ /h	Avantages : Excellent rendement (COP gén. > 4) favorisé par une température de l'eau souterraine stable et plus ou moins élevée). Adaptable aux grosses puissances Inconvénients : Réinjection parfois problématique. Problèmes de colmatage, de corrosion ou d'incrustation liés à la qualité de l'eau souterraine à vérifier. Coûts d'investissement élevés si aquifère profond ou mauvaise qualité de l'eau
GEOSTRUCTURES Applications : Collectif ou tertiaire 	Principe : Pleux géotechniques équipés de tubes PE/PE, identiques à ceux des sondes géothermiques verticales. Conditions d'implantation : Terrains dont les caractéristiques mécaniques montrent une faible portance sur une épaisseur de plus de 5 - 8 m depuis la surface. Terrains cibles : sables, argiles, limons, marnes, graviers. Profondeur moyenne (m) : 20 - 30 m	Paramètres de dimensionnement du sous-sol : Même approche que pour les sondes géothermiques verticales, avec en plus les paramètres liés à la résistance thermique (conductivité thermique du ciment) et mécanique (résistance à la compression simple, angle de frottement, interne, cohésion) des pleux, ainsi qu'aux modifications physico-chimiques de ces paramètres notamment en présence d'eau souterraine. Valeurs cibles : Conductivité thermique et capacité thermique volumique de l'ordre de 2.0 [W/mK] et de 2.3 [MJ/m ³ K] respectivement. En tous les cas, la conductivité thermique du sol devrait être d'au moins 1.3 [W/mK] et si possible supérieure à 1.8 [W/mK] pour un bon fonctionnement d'un système	Références : Rubric 2920 des ICPE	Avantages : Valorisation énergétique d'un système nécessitant une structure porteuse. Implantation au-dessous du bâtiment. Inconvénients : Coût d'investissement élevé. Système nécessitant une étude globale englobant la géotechnique, la thermique, l'hydrogéologie et les altérations physico-chimiques des pleux à terme.

¹⁾ Pour une boucle de 100 m. Principaux paramètres : nature du sol (goussano d'extraction par m² de sol en W/m²), diamètre du PE (20 - 32 mm), espacement des tubes (0.30 - 0.75 m)
²⁾ Le prix dépendra essentiellement de la nature du sol et du coût du décapage
³⁾ Il s'agit d'une profondeur moyenne des sondes réalisées en France pour le domestique. A noter qu'en Suisse ou en Allemagne, des sondes sont couramment réalisées à une profondeur de 150 m et qu'une sonde a déjà été réalisée en Suisse à une profondeur de 706 m.
⁴⁾ La puissance linéaire d'extraction va dépendre de type de roche (20 W/m pour des sables secs à 85 W/m pour des roches consolidées type grès par exemple)
⁵⁾ Le prix dépendra essentiellement de la technique de forage utilisée (MFT ou rotary, le deuxième se situant dans la fourchette haute des prix).
⁶⁾ Puissance extraite avec un delta T°C de 8°C et un COP de l'ordre de 3.0
⁷⁾ Le prix tient compte du forage de prélèvement, du forage de réinjection et de la pompe de prélèvement (immersible). Il dépendra essentiellement de la profondeur de la nappe et du tubage à l'avancement

Figure 21 - Caractéristiques des principaux types d'échangeurs géothermiques très basse énergie

3. La production géothermique dans le monde, en Europe et en France

3.1. PRODUCTION MONDIALE DE CHALEUR GEOTHERMIQUE

En matière de production de chaleur par usage direct sur un total de 78 pays, et pour l'année 2009, la capacité globale est de 50,6 MWth et la production annuelle de 121 600 GWh.

En termes de capacité installée, les cinq principaux pays producteurs sont les USA, la Chine, la Suède, la Norvège et l'Allemagne qui représentent 60% de la capacité mondiale installée. En termes d'énergie géothermique en usage direct, la Chine, les États-Unis, la Suède, la Turquie et le Japon représentent 55% de l'énergie mondiale⁹.

La Figure 22 ci-dessous présente la répartition des usages de la chaleur géothermique au niveau mondial ; le chauffage par pompes à chaleur y occupant une place prépondérante.

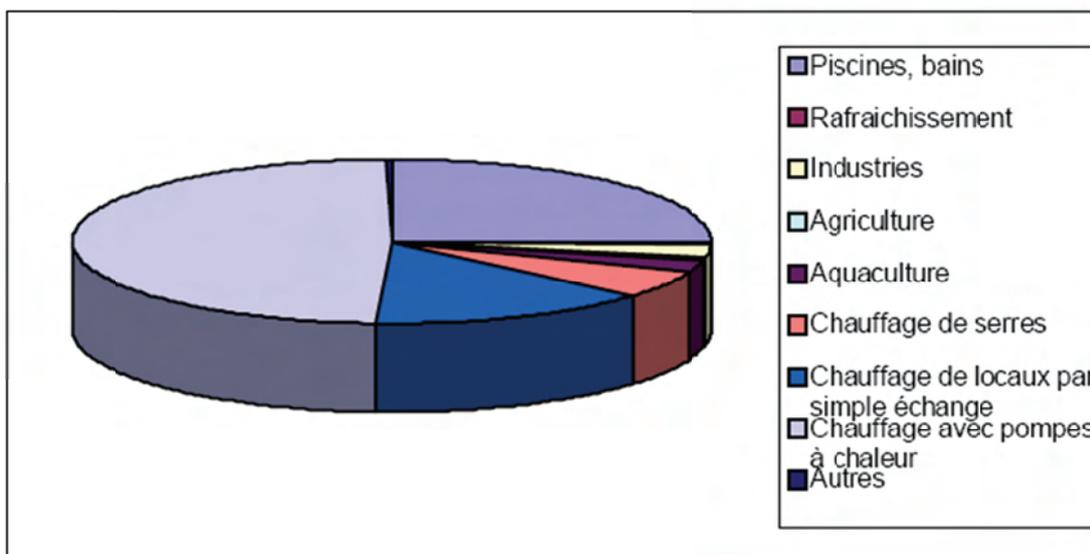


Figure 22 - Les usages de la chaleur géothermique dans le monde
(Source : World Geothermal Congress, 2010)

⁹ Source : Lund et al, Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review, Proceedings World Geothermal Congress 2010

3.2. USAGE DIRECT DE LA CHALEUR GEOTHERMIQUE EN EUROPE

3.2.1. Usage direct de la chaleur géothermique en Europe - Chiffres clés

Le bilan ci-après récapitule, pour les principaux pays européens concernés, les puissances géothermiques installées et les quantités d'énergie prélevées pour les usages directs de la chaleur géothermale (Figure 23). Ces chiffres comprennent l'énergie produite pour alimenter des réseaux de chaleur mais également les autres usages (balnéothérapie, agriculture..).

Utilisation directe de la chaleur géothermale (hors pompes à chaleur géothermales) en 2009 et 2010 dans les pays de l'Union européenne Direct use of geothermal energy (excluding ground source heat pumps) in 2009 and 2010* in the European Union*

	2009		2010*	
	Puissance Capacity (MWth)	Énergie prélevée Energy using (ktep/ktoe)	Puissance Capacity (MWth)	Énergie prélevée Energy using (ktep/ktoe)
Hungary	635,4	96,3	654,0	101,0
Italy	636,0	213,0	636,0	213,0
France**	345,0	89,0	345,0	91,0
Slovakia	130,6	72,9	130,6	72,9
Germany	255,4	25,0	255,4	24,5
Romania	147,7	29,5	153,2	32,1
Slovenia	66,0	18,5	66,8	18,5
Bulgaria	77,7	25,9	77,7	25,9
Austria	97,0	19,5	97,0	20,5
Denmark	21,0	5,8	21,0	5,1
Greece	84,6	16,0	84,6	16,0
Poland	77,5	10,9	66,3	10,1
Portugal	27,8	10,3	27,8	10,3
Netherlands	16,0	3,4	16,0	7,6
Spain	22,8	4,0	22,8	4,0
Belgium	3,9	2,0	3,9	2,1
Lithuania	13,6	2,5	13,6	2,5
United Kingdom	2,0	0,8	2,0	0,8
Czech Republic	4,5	2,1	4,5	2,1
Latvia	1,3	0,7	1,3	0,7
Ireland	1,5	0,2	1,5	0,2
Total	2 667,2	648,2	2 680,9	660,9

* Estimation. Estimate ** DOM Inclus. French overseas departments included. -
Les décimales sont séparées par une virgule. Decimals are written with a comma. Source: EuroObserv'ER 2011

Figure 23 - Utilisation directe de la chaleur géothermique (hors pompes à chaleur) dans les pays de l'Union Européenne) en 2009 et estimé en 2010 (Source : Etat des énergies renouvelables en Europe, édition 2011, 11ème bilan EurObserv'ER)

En 2010 comme en 2009, on retrouve la France en 3^{ème} position. Les usages directs de la chaleur géothermique restent essentiellement concentrés en Ile de France et, dans une moindre mesure, en Aquitaine.

3.2.2. Etat des marchés de l'usage direct de la géothermie en Europe

A titre indicatif, il est proposé ci-après deux éléments d'appréciation de la physionomie des marchés des principaux états européens concernant les usages directs de la chaleur géothermique ; le classement étant opéré du pays le moins utilisateur (Irlande) au pays le plus utilisateur (Hongrie).

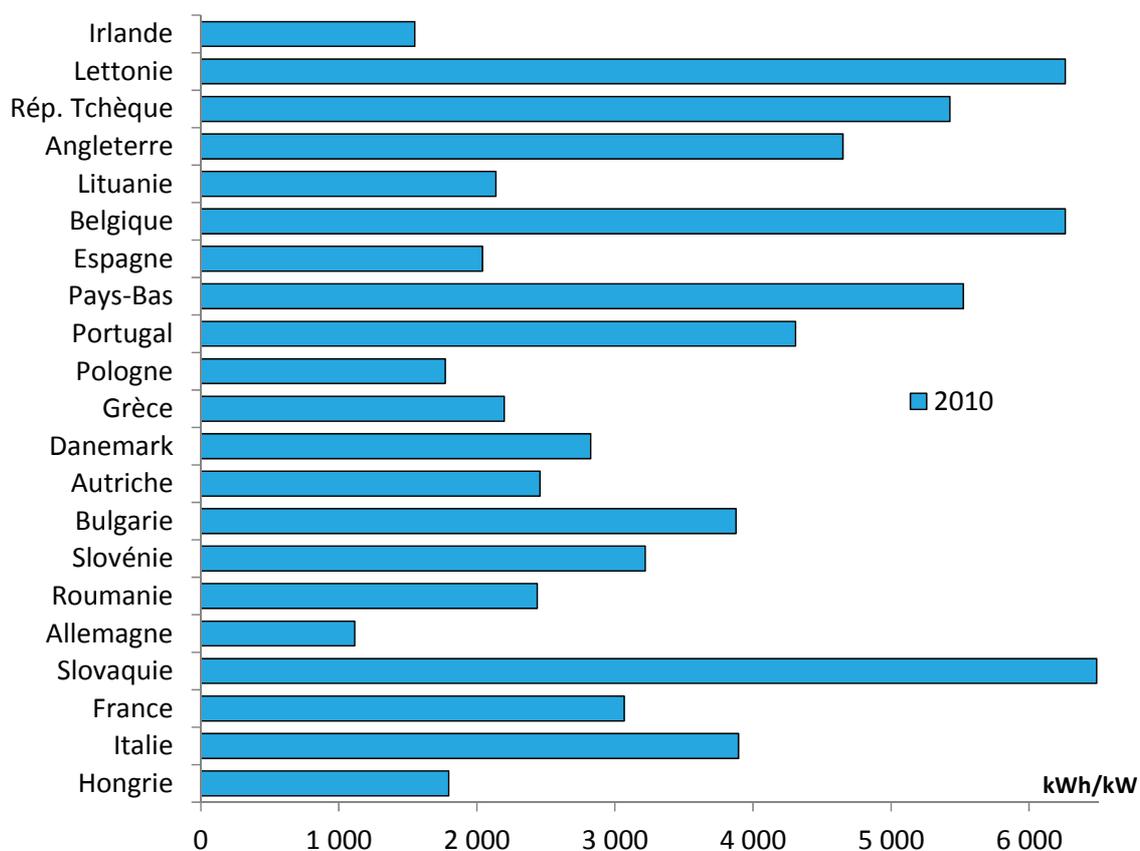


Figure 24 - Taux d'utilisation moyen des réseaux de chaleur géothermiques exprimé comme le rapport de l'énergie géothermique utilisée à la capacité installée (Source : BRGM d'après 11ème barobilan de l'EurObserv'ER)

L'observation du graphique ci-avant semble montrer que les réseaux de chaleur en France restent, en moyenne, sous-exploités au regard des résultats affichés par d'autres pays, mêmes très voisins.

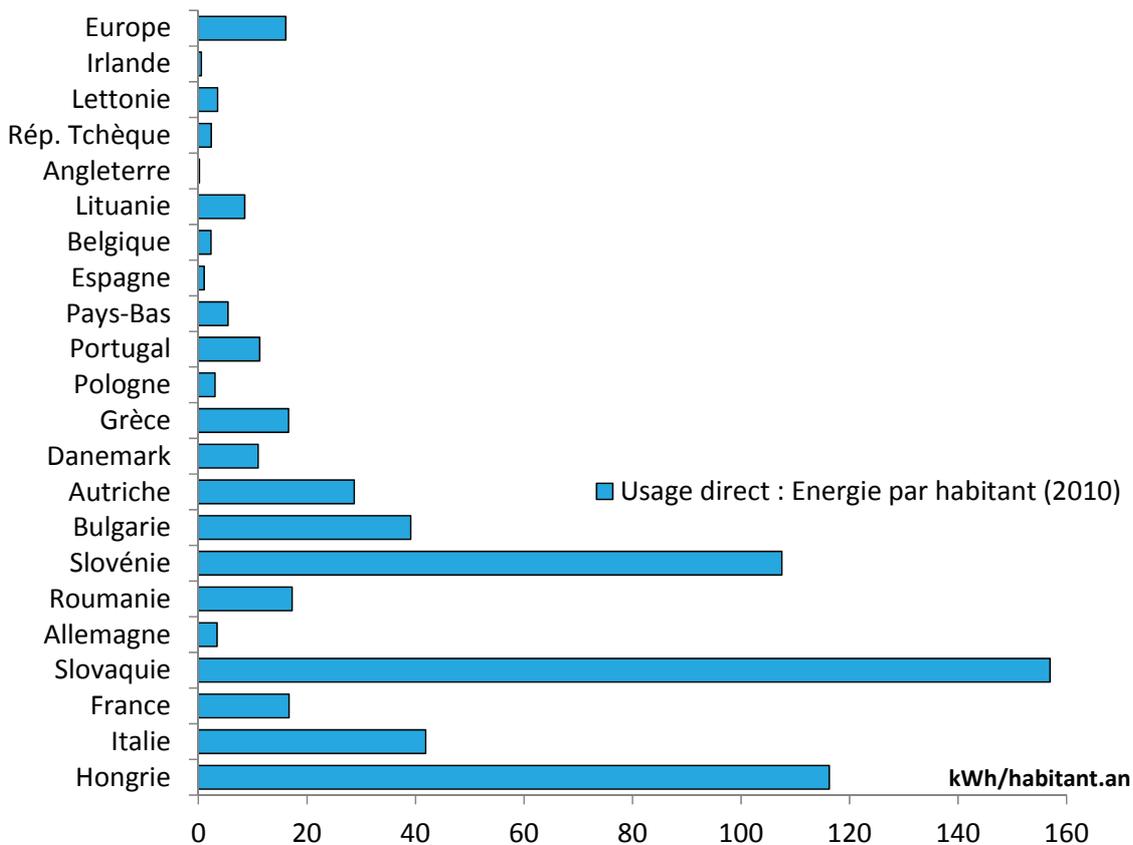


Figure 25 - Usage des réseaux de chaleur géothermiques par les habitants des principaux pays européens concernés (Source : BRGM d'après 11ème barobilan de l'EurObserv'ER)

Le graphique ci-avant montre que les réseaux de chaleur géothermiques en usage direct sont relativement peu présents en France ; une des raisons revenant à la disponibilité des ressources exploitables au regard des techniques disponibles.

Les évolutions en cours, tendant à abaisser progressivement la température des réseaux de chaleur urbains, est de nature à favoriser une amélioration de la pénétration des solutions géothermiques en usage direct, comme sur pompes à chaleur d'ailleurs.

3.3. POMPES A CHALEUR GEOTHERMIQUES EN EUROPE

3.3.1. Pompes à chaleur géothermiques en Europe - Chiffres clés

La figure ci-après récapitule, pour les principaux pays européens concernés, les paramètres relatifs aux pompes à chaleur géothermiques : nombre d'unités, puissances installées et énergie renouvelable prélevées (Figure 26).

Nombre, puissance installée et énergie renouvelable capturée par les PAC dans les pays de l'Union européenne en 2009 et 2010***
Quantity, installed capacity and renewable energy captured by ground source heat pumps in the European Union countries in 2009* and 2010***

	2009			2010*		
	Nombre Number	Puissance Capacity (MWth)	Énergie renouvelable capturée Renewable energy captured (ktep/ktoe)	Nombre Number	Puissance Capacity (MWth)	Énergie renouvelable capturée Renewable energy captured (ktep/ktoe)
Sweden	348 636,0	3 702,0	784,8	378 311,0	4 005,0	867,8
Germany	179 634,0	2 250,5	293,5	205 150,0	2 570,1	335,2
Finland	52 355,0	967,8	194,2	60 246,0	1 113,0	223,3
France***	139 688,0	1 536,6	200,4	151 938,0	1 671,3	218,0
Austria	55 292,0	618,8	68,4	61 808,0	729,5	80,1
Netherlands	24 657,0	633,0	63,6	29 306,0	745,0	74,9
Denmark	20 000,0	160,0	40,6	20 000,0	160,0	40,6
Poland	15 200,0	202,3	26,4	19 320,0	257,0	33,5
United Kingdom	14 330,0	186,3	24,3	18 390,0	239,1	31,2
Ireland	11 444,0	196,1	25,6	11 658,0	202,7	26,4
Czech Republic	11 127,0	174,0	20,5	13 349,0	197,0	24,4
Italy	12 000,0	231,0	23,0	12 357,0	231,0	23,0
Belgium	11 836,0	142,0	18,5	13 085,0	157,0	20,5
Estonia	5 422,0	78,0	15,6	6 382,0	91,8	18,4
Slovenia	3 849,0	43,3	7,4	3 948,0	54,8	9,5
Lithuania	1 865,0	34,5	6,9	2 221,0	41,5	8,3
Bulgaria	543,0	20,6	6,8	543,0	20,6	6,8
Greece	350,0	50,0	6,4	350,0	50,0	6,4
Slovakia	1 845,0	23,5	3,6	2 000,0	25,7	3,9
Hungary	3 030,0	26,0	1,7	4 030,0	43,0	3,1
Romania	n.a.	5,5	0,7	n.a.	5,5	0,7
Latvia	20,0	0,3	0,1	20,0	0,3	0,1
Portugal	24,0	0,3	0,0	24,0	0,3	0,0
Total EU	913 147,0	11 282,2	1 833,06	1 014 436,0	12 611,1	2 056,0

* PAC hydrothermiques incluses. Tous types d'usages : individuel, collectif, tertiaire ou industriel. Includes hydrothermal HPS. All applications, individual, multi-occupancy, service and industrial sectors. ** Estimation. Estimate. *** DOM non inclus. Overseas departments not included. – Les données de parc sont déduites des installations mises hors service. Decommissioned units have been deducted from the base figures. – n.a. (not available) = non disponible. Les décimales sont séparées par une virgule. Decimals are written with a comma. Source: EurObserv'ER 2011.

Figure 26 – Paramètres clé pour les pompes à chaleur géothermiques dans les pays de l'Union Européenne en 2009 et estimés en 2010 (Source : Etat des énergies renouvelables en Europe, édition 2011, 11ème bilan EurObserv'ER)

Le classement ci-avant est opéré en fonction de l'énergie prélevée, ce qui repousse la France en 4^{ème} position malgré une troisième place au regard du nombre d'unités. Une des explications réside dans la rigueur du climat qui est plus marquée pour les trois premiers pays de la liste.

3.3.2. Etat des marchés des pompes à chaleur en Europe

En termes de marché, la Suède, l'Allemagne et la France représentent 67% du marché européen des pompes à chaleur géothermiques exprimé en nombre d'unités par an (Figure 27/ Figure 27).

Principaux marchés de la PACg dans les pays de l'Union européenne (en nombre d'unités installées) en 2009 et 2010***
*Main European Union GSHP markets (number of units installed) in 2009 and 2010***

	2009	2010**
Sweden	27 544	31 954
Germany	29 371	25 516
France***	15 507	12 250
Finland	6 137	8 091
Austria	7 212	6 516
Netherlands	5 309	4 690
Poland	4 200	4 120
United Kingdom	3 980	4 060
Czech Republic	1 959	2 224
Belgium	2 336	1 249
Hungary	259	1 000
Estonia	682	985
Italy	n.a.	357
Lithuania	413	356
Ireland	1 321	224
Slovakia	n.a.	155
Slovenia	710	99
Total	106 940	103 846

* PAC hydrothermiques incluses. Tous types d'usages : individuel, collectif, tertiaire ou industriel. Includes hydrothermal HPs. All applications, individual, multi-occupancy, service and industrial sectors. ** Estimation. Estimate. *** DOM non inclus. Overseas departments not included. - n.a. (not available) = non disponible. Les décimales sont séparées par une virgule. Decimals are written with a comma. Source: EurObserv'ER 2011

Figure 27 - Principaux marchés de pompes à chaleur géothermique dans les pays de l'Union européenne en nombre d'unités installés en 2009 et estimées en 2010 (Source : Etat des énergies renouvelables en Europe, édition 2011, 11ème bilan EurObserv'ER)

A titre indicatif, il est proposé ci-après deux éléments d'appréciation de la physionomie des marchés des principaux états européens concernant les pompes à chaleur

géothermique ; le classement étant opéré du pays le moins utilisateur (Portugal) au pays le plus utilisateur (Suède).

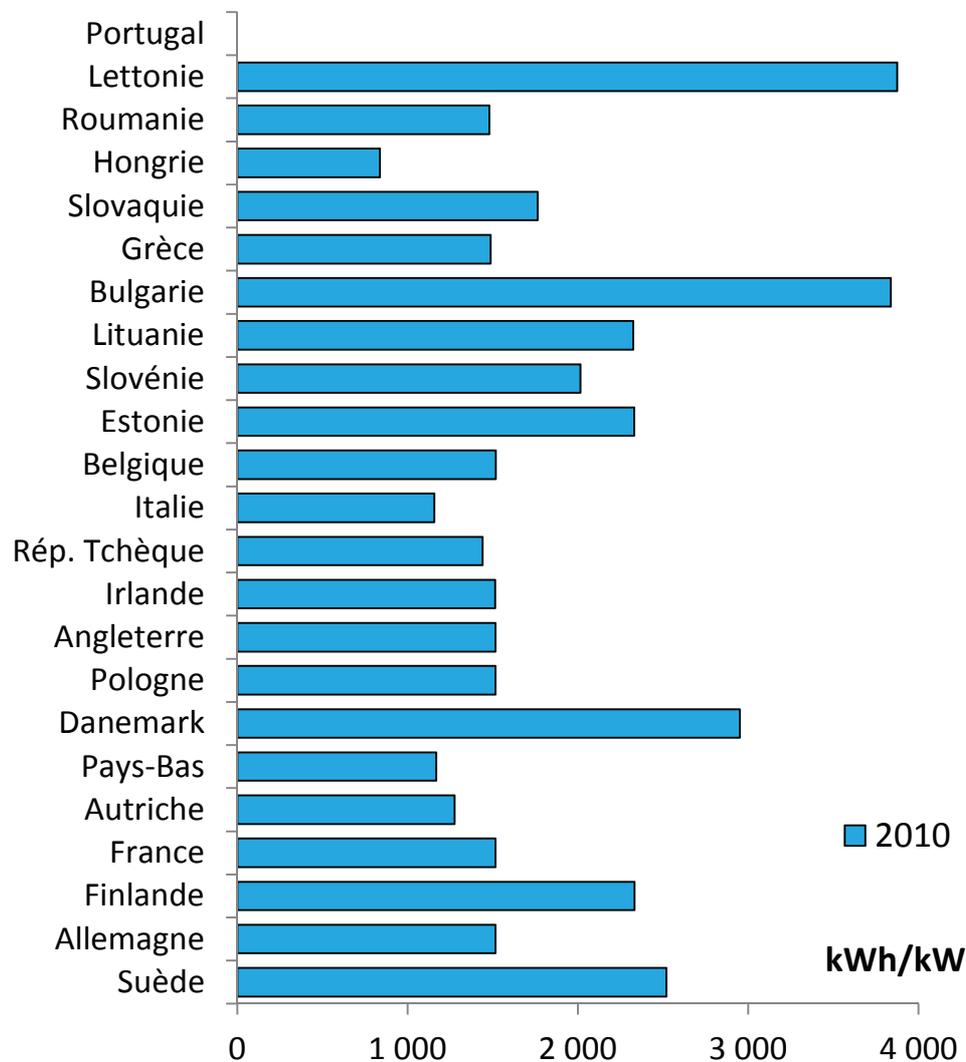


Figure 28 - Taux d'utilisation moyen des pompes à chaleur exprimé comme le rapport de l'énergie géothermique utilisée à la capacité installée (Source : BRGM d'après 11ème barobilan de l'EurObserv'ER)

Sur le graphique ci-avant, on constate que, d'après les estimations prises en considération, la France exploite les pompes à chaleur sensiblement de la même façon que les pays voisins.

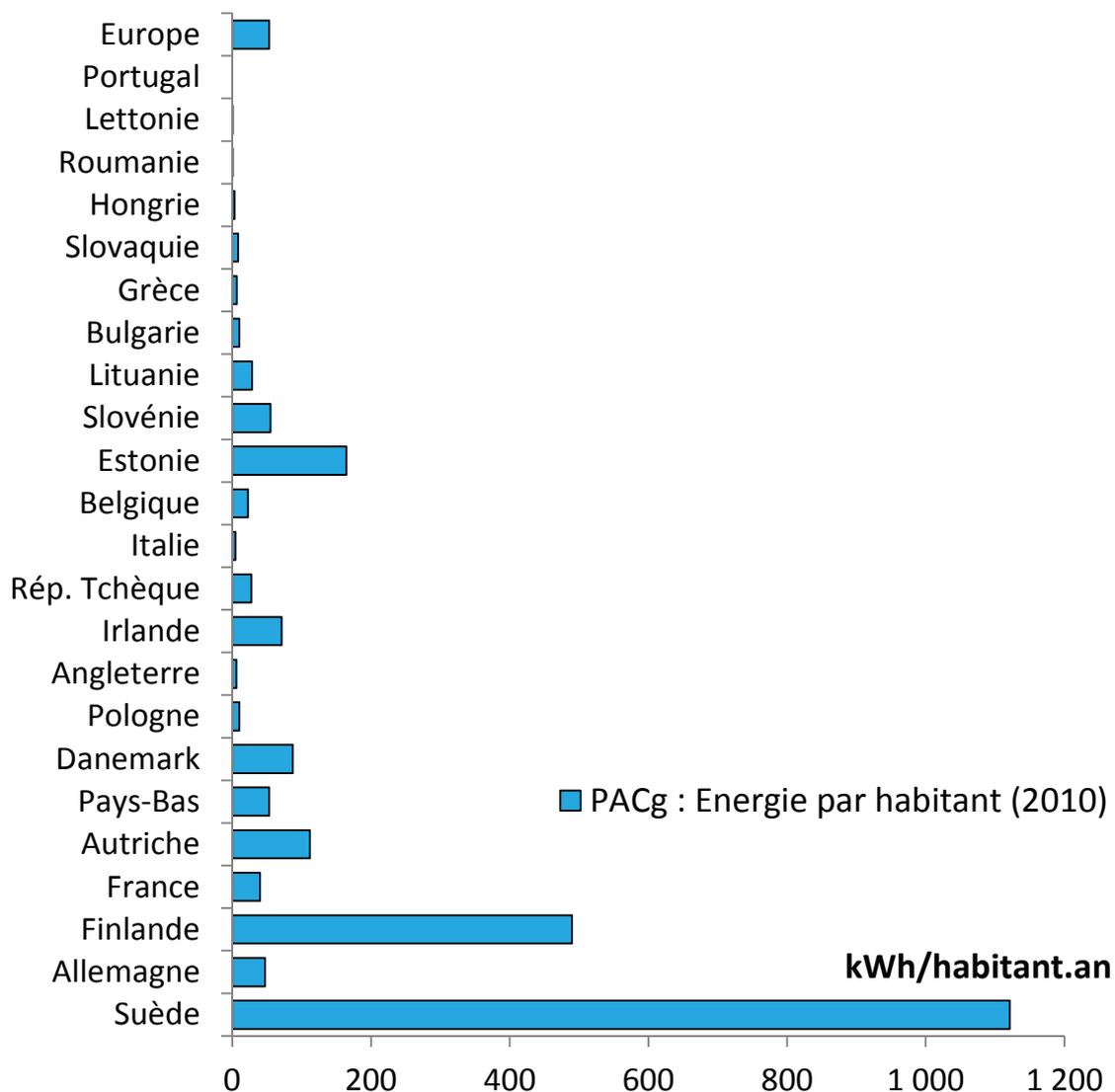


Figure 29 – Usage des pompes à chaleur géothermique par les habitants des principaux pays européens concernés (Source : BRGM d'après 11ème barobilan de l'EurObserv'ER)

Sur le graphique ci-avant, on constate que l'utilisation des pompes à chaleur géothermique en France reste relativement faible ; cette remarque valant également pour l'Allemagne. Cet indicateur peut être assimilé à un taux de pénétration des techniques basées sur les pompes à chaleur géothermique. Il confirme le potentiel de développement en France.

L'observation du cas de la Suède confirme la faisabilité d'un développement.

3.4. PRODUCTION DE CHALEUR GEOTHERMIQUE FRANÇAISE

En France, la puissance installée sur **géothermie profonde** et exploitée en usage direct (basse énergie) recommence à augmenter depuis 2008, notamment avec la réhabilitation, en région parisienne, de deux installations alimentant chacune un réseau de chaleur. La production de la centrale thermique d'Orly (Val-de-Marne) est ainsi passée de 3 à 4 ktep grâce au remplacement d'un doublet existant, faisant passer le débit total de l'installation de 250 m³/heure à 300 m³/heure. La mise en service d'un nouveau puits dans la centrale thermique de Sucy-en-Brie (Val-de-Marne) a également permis à la production d'augmenter de 2 à 3 ktep, le débit s'établissant à 300 m³/heure contre 200 auparavant. Ces deux réhabilitations représentent une puissance supplémentaire de l'ordre de 5 MWth, soit une puissance totale de l'ordre de 312 MWth. Depuis 2008, les installations nouvelles ou rénovées se succèdent à raison de deux ou trois opérations par an.

En France, selon les chiffres de l'AFPAC (Association Française pour les Pompes à Chaleur), les ventes de **pompes à chaleur** (de 5 à 50 kW) subissent, depuis 2008, des baisses importantes (Figure 30). Pour l'association AFPAC, il s'agit de l'effet de la crise ayant impacté le marché de la construction neuve et donc celui de l'équipement et du chauffage. De plus, le taux du crédit d'impôt a baissé (de 50% à 40% en 2009) et un déstockage massif, *conséquence des stocks importants constitués fin 2008 après trois années de forte croissance consécutives*, a été nécessaire, indique l'association. Les chiffres de 2010 sont considérés comme représentatifs d'un marché devenu mature, à savoir de l'ordre de 9 000 unités par an dans la gamme de puissance de 5 – 50 kW.

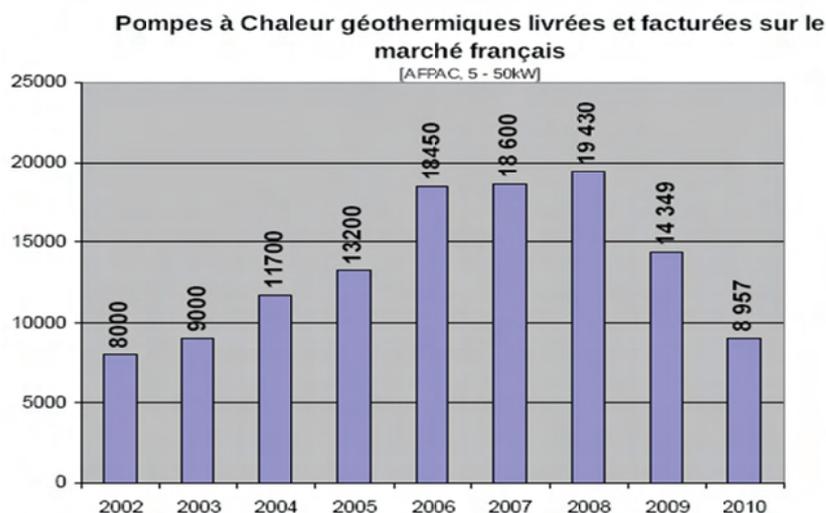


Figure 30 - Marché français des Pompes à Chaleur géothermique (Données AFPAC, 2011)

3.5. ENJEUX DE LA GEOTHERMIE EN FRANCE, DANS LES DOMAINES DES ECONOMIES D'ENERGIE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

La France va être confrontée dans les années à venir à de grands enjeux énergétiques : maîtriser sa consommation énergétique globale, sécuriser ses approvisionnements et diviser par un facteur 4 d'ici 2050 ses émissions de CO₂ pour limiter le réchauffement climatique. Cependant la consommation finale d'énergie dans le résidentiel et le tertiaire continue à augmenter (Figure 31), du fait de l'augmentation du parc (en nombre et en surface) et de l'augmentation du confort (y compris le recours accru à la climatisation durant l'été).

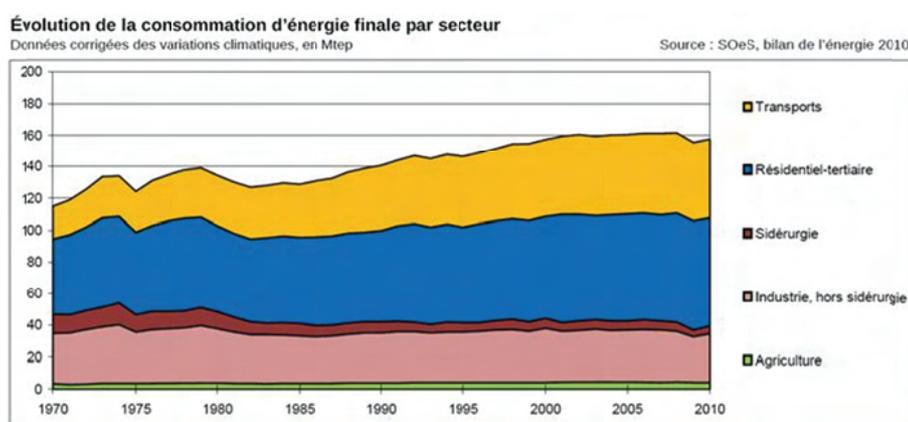


Figure 31 - Evolution de la consommation finale énergétique nationale par secteur.

Selon l'ADEME, le secteur du bâtiment produit plus de 24% des émissions de CO₂ totales et 43 % de la consommation d'énergie finale en France. Près de 63 % de la consommation d'énergie du résidentiel est liée aux besoins du chauffage.

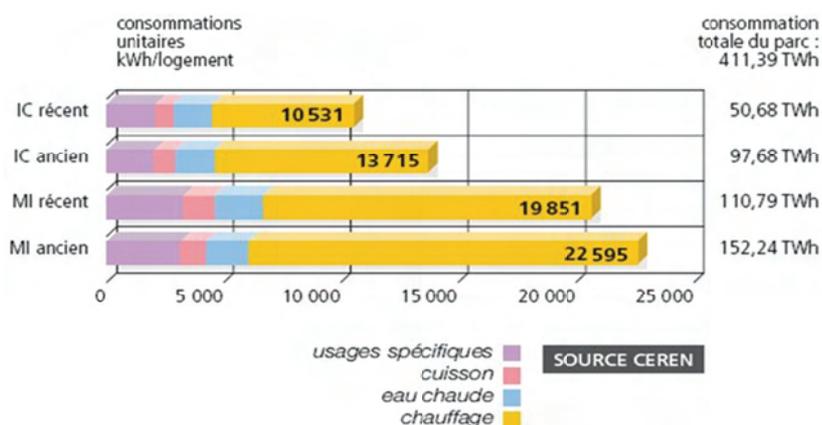


Figure 32 - Consommation en énergie finale par usage des résidences principales en 2011 (d'après "Principaux chiffres ADEME secteur bâtiment"), IC = Immeubles collectifs, MI = Maison Individuelles

Actuellement, on considère que l'amélioration de la qualité thermique des bâtiments constitue, probablement, un préalable à la pénétration des énergies renouvelables dans le marché et de l'efficacité énergétique des dispositifs de chauffage et/ou de rafraîchissement. La RT-2012 et la prochaine RT-2020 vont dans ce sens.

Dans ce contexte, l'énergie géothermique représente une composante essentielle au développement de solutions durables. C'est une énergie :

- Locale : selon les ressources et en adéquation avec les besoins en surface, aucun transport d'énergie n'est nécessaire.
- Peu génératrice de gaz à effet de serre.
- Disponible et stable : La géothermie reste peu tributaire des conditions climatiques et dépend principalement des caractéristiques intrinsèques du sous-sol ; une technique géothermique étant pratiquement partout disponible.
- Renouvelable : Correctement exploitée, la ressource reste durablement préservée (régénération naturelle au travers des phénomènes souterrains) ; une exploitation pouvant même être envisagée sous la forme d'un stockage périodique.
- Economique et compétitive : Si la géothermie reste une énergie réputée "capitalistique", les investissements sont compensés par des coûts d'exploitation durablement faibles. Certains pays, par exemple la Suède, considèrent que les solutions géothermiques sont sans concurrence.

Rôle des réseaux de chaleur :

En secteur urbanisé, les réseaux de chaleur urbains auront un rôle essentiel pour acheminer la chaleur d'origine renouvelable, tout en affranchissant l'utilisateur final des contraintes éventuelles liées à l'approvisionnement et à la manipulation de la source (bois par exemple).

Parmi l'ensemble des solutions renouvelables disponibles pour alimenter les réseaux de chaleur, la solution géothermie a un rôle central. Historiquement, les ressources géothermiques à relativement haute température étaient recherchées et la puissance thermique raccordée était toujours d'au moins quelques mégawatts.

Les réseaux de chaleur desservent actuellement un peu plus d'un million de logements, c'est-à-dire environ 4% du parc national. Les énergies renouvelables ou de récupération représentent de l'ordre de 20% du bouquet énergétique de ces réseaux. Différents mécanismes, français comme européens, entendent combler ce déficit.

Tous considèrent que l'accroissement de la part d'énergie renouvelable dans le mix des réseaux repose sur une composante géothermique significative. En effet, avec l'amélioration de l'efficacité énergétique du bâti et avec l'émergence de techniques performantes pour assurer les services thermiques du bâtiment, la taille des réseaux de chaleur peut être abaissée (puissance thermique raccordée et extension) de même que le niveau de température de l'énergie transportée. Cela se traduit par un nombre croissant de ressources géothermiques pouvant être exploitées en réseau de chaleur.

Suite à la prise de conscience des risques de pollution et de dégradation de la qualité de notre environnement (émissions de gaz à effet de serre - protocole de Kyoto), il est maintenant admis que les réseaux de chaleur deviennent incontournables.

En effet, les réseaux de chaleur, notamment en s'appuyant sur des installations de production d'énergie de taille significative et bien équipées, permettent également une meilleure maîtrise des émissions polluantes (particules, oxydes d'azote, ...), cela d'autant plus que la part d'énergies renouvelables et de récupération (EnR&R) dans le bouquet énergétique sera importante.

Typiquement, un réseau de chaleur urbain raccordé à une géothermie présente un taux d'EnR&R supérieur à 50%, voire supérieur à 60%. Cette performance environnementale se double d'une performance économique, de plus en plus évidente face au renchérissement des prix des énergies fossiles. Aussi, progressivement, on constate la mise en place de nouveaux objectifs énergétiques, tant au niveau européen, que national ou local qui, tous, introduisent une part significative de réseaux de chaleur urbains raccordés à de la géothermie.

Dans le cadre du Grenelle de l'environnement, les objectifs fixés à l'horizon 2020 sont un triplement du nombre d'équivalents-logements raccordés (soit un total de 6 millions au lieu de 2.1 millions) et une part des énergies renouvelables et de récupération de 75% dans les sources d'approvisionnement des réseaux (au lieu de 31%).

3.6. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE EN FRANCE

A la suite du Grenelle, le développement de la géothermie bénéficie de nouveaux dispositifs incitatifs, comme le Fonds Chaleur Renouvelable pour le secteur du logement collectif et du tertiaire ou comme l'aménagement du crédit d'impôt pour les particuliers. L'ambition du Grenelle de l'environnement est 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'énergies renouvelables d'ici 2020, en portant celle-ci à 37 Mtep. Parmi ces 20 Mtep, 10 millions seront valorisées sous forme de chaleur.

Concernant le partage entre les différentes énergies renouvelables, la prospective 2020 dressée par le comité opérationnel énergie renouvelable est la suivante :

- Chaleur : + 10 millions tep
- Électricité : + 7 millions de tep
- Biocarburants : + 3 millions de tep

Concernant la chaleur renouvelable, les perspectives sont détaillées ci-après.

Équivalent ENR en kTep	2006	2012	2020	Supplément 2012	Supplément 2020
Bois individuel	7 400	7 400	7 400	0	0
Biomasse collectif industrie	1 400	3 040	7 600	1 640	6 200
Géothermie	220	535	1 300	315	1 080
PAC aérothermiques	160	960	1 050	800	890
Solaire thermique	27	185	927	158	900
UIOM et bois DIB (part EnR)	400	470	900	70	500
Biogaz	55	60	555	5	500
TOTAL	9 662	12 650	19 732	2 988	10 070

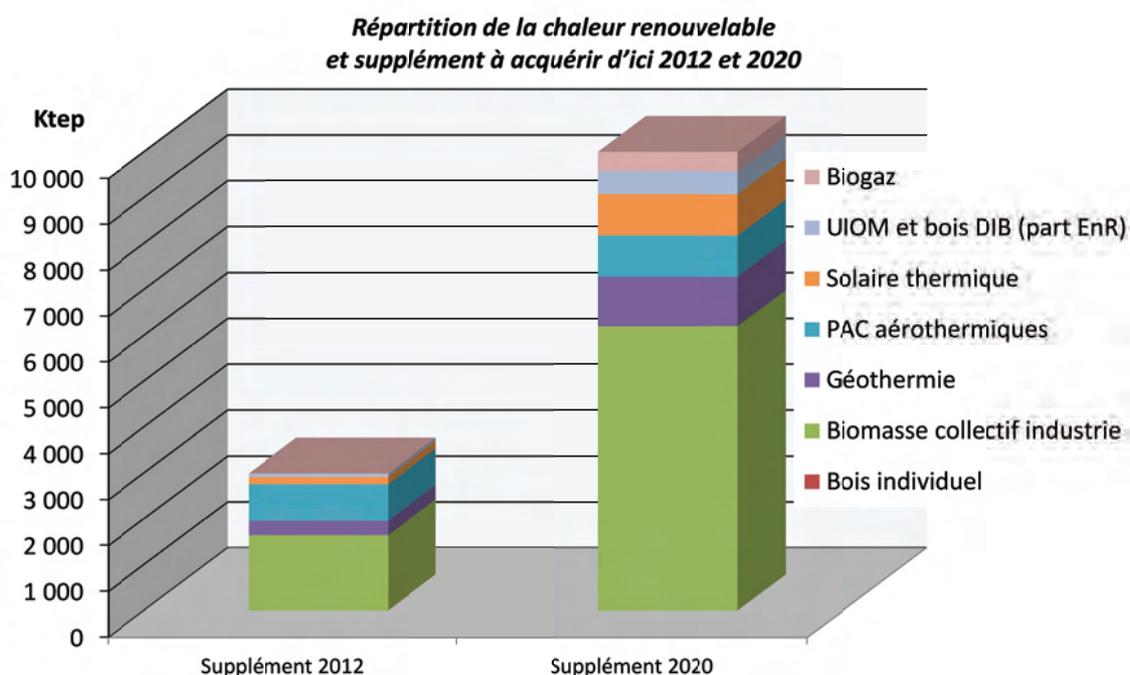


Figure 33 - Répartition de la chaleur renouvelable et supplément à acquérir d'ici 2012 et 2020

Le Comité Opérationnel "énergies renouvelables" (COMOP) 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'énergies renouvelables à cet horizon.

En définitive, pour la chaleur géothermique, l'évolution serait comme indiqué dans le Tableau 1 dont les données sont reprises en Figure 34.

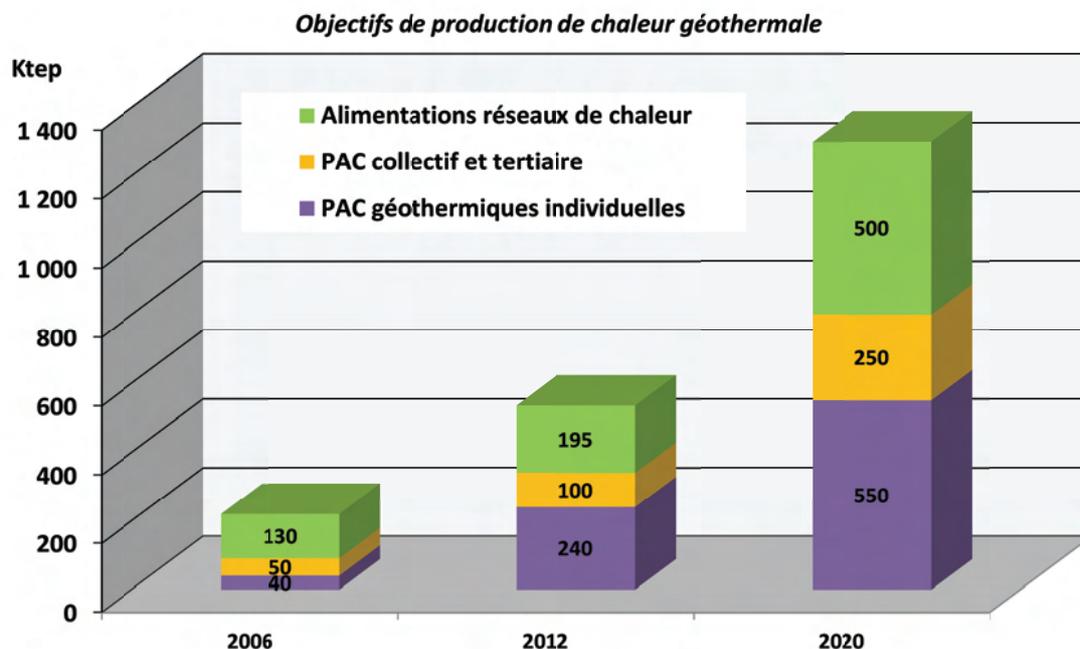


Figure 34 - Objectifs de production de chaleur renouvelable d'origine géothermique en ktep
(Source : COMOP 10)

Les objectifs de développement de la géothermie, proposés par les Comités Opérationnels du Grenelle, ont été fixés par l'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'énergie géothermiques en France (Programmation pluriannuelle des investissements de production de chaleur - PPI Chaleur 2009-2020) sont synthétisés en termes de production globale dans le Tableau 1 ci-dessous.

	Au 31 décembre 2012	Au 31 décembre 2020
Géothermie profonde (réseaux de chaleur)	195 ktep	500 ktep
Géothermie intermédiaire (pompes à chaleur pour le bâtiment collectif et tertiaire)	100 ktep	250 ktep
Pompes à chaleur géothermiques individuelles	240 ktep	550 ktep
Pompes à chaleur individuelles (aérothermie et géothermie)	1 200 ktep	1 600 ktep

Tableau 1 - Objectifs de développement de la production de chaleur d'origine géothermique en France (Source : PPI chaleur 2009-2020)

3.7. APERÇU DES OBJECTIFS ENERGETIQUES MONDIAUX, EUROPEENS, NATIONAUX ET LOCAUX POUR LIMITER L'EMISSION DE GAZ A EFFET DE SERRE

3.7.1. Politique internationale

Les éléments marquants de la politique internationale sont présentés dans le tableau ci-après :

Échelle	Date	Évènement ou Document Clé	Point(s) clé
Mondiale	1992	Sommet de la Terre, à Rio de Janeiro	Texte fondateur de 27 principes « Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement » et adoption d'un programme d'action pour le 21ème siècle, appelé Agenda 21
	1997	3e Conférence des Nations unies sur les changements climatiques à Kyoto	Adoption du protocole de Kyoto
	2002	Sommet de Johannesburg	
	2005	Ratification du protocole de Kyoto	Objectif de - 8% d'émissions de GES en 2008-2012 par rapport à 1990 pour la communauté européenne
	2009	Conférence de Copenhague sur le climat	
Européenne	2003	Directive 2003/87/CE établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre dans la Communauté	Mise en place du Plan National d'affectation des quotas
	2008	Paquet climat-énergie (ou Plan Climat-énergie)	Triple objectif aux pays de l'Union Européenne à l'horizon 2020 : réduire de 20 % leur émissions de gaz à effet de serre par rapport à leur niveau de 1990, porter la part des énergies renouvelables à 20% de leur consommation et réaliser 20 % d'économie d'énergie.
	2001	Directive sur la promotion de l'électricité à partir d'énergies renouvelables 2001/77/CE	Mise en place d'un cadre communautaire pour la promotion des sources d'énergie renouvelables dans la production d'électricité. Elle fixe comme objectif une contribution de 21% des sources d'énergie renouvelables et prévoit des mesures spécifiques concernant, entre autres, l'évaluation de l'origine de l'électricité, le raccordement au réseau et les procédures administratives. La directive 2001/77/CE est abrogée par la directive 2009/28/CE, en vigueur à partir du 1er janvier 2012.
	2009	Directive relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables 2009/28/CE	La présente directive établit un cadre commun d'utilisation des énergies provenant des sources renouvelables afin de limiter les émissions de gaz à effet de serre et de promouvoir un transport plus propre. À cet effet, des plans d'action nationaux sont définis. Ils prévoient 23% d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale française d'ici 2020.

Tableau 2 - Faits marquants de la politique mondiale et européenne en matière de réduction des gaz à effet de serre

3.7.2. Politique nationale

a) Quotas carbone

Dans le cadre du Protocole de Kyoto, les États signataires se voient assigner un objectif de réduction d'émissions de gaz à effet de serre. Différentes mesures en découlent et peuvent concerner le secteur de la géothermie sur aquifères profonds dont le plan national d'affectation de quotas d'émission de CO₂ (PNAQ).

La directive européenne sur les quotas d'émissions (2003/87/CE) a mis en place l'établissement d'un marché de quotas d'émission de gaz à effet de serre au sein de l'Union européenne, à partir du 1^{er} janvier 2005.

Le tonnage d'émission national est réparti par l'État, à travers un plan national d'affectation de quotas (PNAQ), entre les différents exploitants d'installations émettrices de gaz à effet de serre (entreprises des secteurs de l'industrie et de la production d'énergie, dont les grands réseaux de chauffage urbain de plus de 20 MW).

b) Plan National de Lutte contre le Changement Climatique 2000 (PNLCC) :

Il définit une stratégie nationale, axée sur des actions domestiques, sans recourir aux mécanismes de flexibilité prévus par le protocole de Kyoto. Ce plan répartit l'engagement national de stabilisation en matière d'émissions de gaz à effet de serre, en attribuant des objectifs différenciés par secteurs : transports, bâtiment, énergie, industrie, agriculture, déchets.

Ce plan devrait permettre à la France de respecter ses engagements internationaux pris dans le cadre du protocole. Mais de nombreuses mesures du PNLCC n'ont pas été mises en œuvre. Des dérives sectorielles ont par ailleurs été constatées dans les secteurs des transports et du bâtiment. C'est pourquoi, pour rendre le PNLCC plus efficace, un Plan Climat a été adopté en juillet 2004.

c) Plan Climat

L'application du PNLCC ayant été insuffisante pour assurer le maintien des émissions françaises de gaz à effet de serre et en particulier pour enrayer l'augmentation des émissions de certains secteurs, le Plan Climat 2004 est un plan d'action qui doit permettre à la France d'atteindre cet objectif. Il reprend certaines mesures du PNLCC et en introduit de nouvelles. Il engage aussi une réflexion sur la mise en œuvre de mesures d'adaptation aux impacts du changement climatique.

Il retient huit orientations fortes (campagne nationale de sensibilisation et adaptation ; transports durables ; bâtiment et écohabitat ; industrie, énergie et déchets ; agriculture

durable et forêts ; climatisation durable ; plans climats territoriaux et État exemplaire ; recherche, international et prospective après 2010).

Le plan a été réactualisé en 2006 puis en 2009. Le plan Climat 2009 fait la synthèse des mesures prises par la France en termes de lutte contre les changements climatiques et permet d'évaluer l'impact des objectifs du Grenelle sur les émissions de GES¹⁰.

En effet, la loi POPE (présentée ci-dessous) stipule que "La lutte contre le changement climatique est une priorité de la politique énergétique qui vise à diminuer de 3% par an en moyenne les émissions de gaz à effet de serre de la France. En conséquence, l'État élabore un "plan climat", actualisé tous les deux ans, présentant l'ensemble des actions nationales mises en œuvre pour lutter contre le changement climatique."

d) Loi de programmation fixant les orientations de la politique énergétique Française (Loi 2005-781 du 13 Juillet 2005 dite loi POPE) et décrets du 23 mai 2006

La Loi POPE est l'aboutissement d'un processus engagé en janvier 2003 avec le Débat national sur les Énergies. La loi fixe les quatre grands objectifs de politique énergétique française et les moyens à mettre en œuvre pour y parvenir :

- Contribuer à l'indépendance énergétique ;
- Assurer des prix d'énergies compétitifs ;
- Préserver la santé humaine et l'environnement, en particulier en luttant contre l'aggravation de l'effet de serre ;
- Garantir la cohésion sociale et territoriale en assurant l'accès de tous à l'énergie.

Ces objectifs induisent les axes d'action suivants :

- Maîtriser la demande d'énergie ;
- Diversifier les sources d'approvisionnement ;
- Développer la recherche dans les domaines de l'énergie.

Cette loi fixe des objectifs chiffrés :

- Diminuer les émissions de gaz à effet de serre de 3 % par an ;
- Porter la production intérieure d'électricité d'origine renouvelable de 16% à 21% de la consommation intérieure d'électricité totale à horizon 2010 ;
- Augmentation de 50% de la production de chaleur d'origine renouvelable à l'horizon 2012.

¹⁰ Gaz à effet de serre.

e) Le Grenelle de l'environnement

Les autorités françaises ont mis en place en 2007 une démarche originale, le « Grenelle de l'environnement ». Pour la première fois, l'État, les collectivités territoriales et les représentants de la société civile ont été réunis afin de définir une feuille de route en faveur de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables, en établissant notamment un plan de mesures concrètes recueillant un accord le plus large possible des participants. 34 « comités opérationnels » (COMOP), dédiés chacun à un thème spécifique, ont été constitués afin de traduire les objectifs fixés en mesures concrètes. Plusieurs programmes ont été définis, dont le programme en faveur des énergies renouvelables (COMOP n°10).

Ces discussions ont abouti à la mise en place de deux lois importantes :

- La loi de programmation de mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, dite « loi Grenelle 1 » a été adoptée par le parlement le 23 juillet 2009 (et promulguée le 3 août 2009). Cette loi reprend les engagements du Grenelle, avec une rédaction adaptée au cadre législatif, et notamment les éléments du Plan National pour le développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale, annoncé par JL. Borloo en 2008. Si la thématique énergie est un point clé pour la géothermie, les thématiques bâtiments et urbanisme vont également influencer sur le développement de cette énergie renouvelable. D'après le site officiel du Grenelle¹¹, « L'année 2009 a été riche en réalisations pour le Grenelle environnement. 88% des engagements qui devaient être réalisés avant la fin 2009 ont été tenus ».
- La loi portant engagement national pour l'environnement, dite « loi Grenelle 2 », a été votée par le Parlement le 29 juin 2010. Elle rassemble la quasi-totalité des mesures législatives normatives nécessaires à la mise en œuvre des engagements du Grenelle et ne relevant pas d'une loi de Finance. Elle est décomposée en 6 titres : Bâtiment et Urbanisme, Transports, Énergie, Biodiversité, Risques / Santé / Déchets, Gouvernance et met en place des mesures phares, dans l'ensemble de ces thématiques.

¹¹ <http://www.legrenelle-environnement.fr>

4. Principaux mécanismes d'accompagnement et procédures incitatives pour le développement de la géothermie

4.1. MESURES DE GARANTIES CONTRE LE RISQUE GEOLOGIQUE

4.1.1. Garantie AQUAPAC®, pour les opérations de Pompes à Chaleur sur aquifères superficiels (cf. Annexe 1)

Pour pallier à l'incertitude locale sur la présence et/ou la pérennité de la nappe d'eau souterraine, la garantie Aquapac® a été initiée en 1983 sous l'égide de l'ADEME (AFME à l'époque), d'EDF et du BRGM.

Elle offre une double garantie portant sur les ressources pérennes en eau souterraine :

La garantie « recherche » couvre le risque d'échec consécutif à une ressource en eau souterraine insuffisante pour fournir le débit d'eau nécessaire. Le taux de cotisation pour cette garantie est de 5 %¹² du montant des ouvrages garantis en recherche ;

La garantie « pérennité » couvre le risque de diminution du débit exploitable à terme qui serait liée à une détérioration prouvée de la ressource (non considérées les variations saisonnières du débit et/ou les cycles hydrologiques statistiquement normaux). La garantie ne concerne pas les éventuels incidents de chantier, ni les conséquences des défauts de conception, de réalisation ou de maintenance. En aucun cas, AQUAPAC n'a pour objet de se substituer aux polices d'assurances dommage-ouvrage ou de responsabilité décennale au titre desquelles les opérateurs doivent normalement être couverts. La durée de cette garantie est de 10 ans¹³, et le taux de cotisation pour cette garantie est de 4 % du montant des ouvrages garantis en pérennité.

La garantie AQUAPAC est limitée aux installations d'une puissance thermique minimale de 30 kW et aux ouvrages de moins de 100 m de profondeur.

Dans tous les cas les indemnisations sont plafonnées à 140 000 Euros par sinistre.

¹² Le taux initial de 10 % a été abaissé à 5 % depuis le 1^{er} septembre 2005.

¹³ La durée initiale de la garantie était de 5 ans et a été portée à 10 ans en 1997.

La gestion de la garantie est confiée à la SAF environnement¹⁴. L'instruction des dossiers de demande de garantie et la décision d'octroi de garantie sont décidées par un comité Aquapac composé de trois représentants de l'ADEME, d'EDF et du BRGM. Ce comité se réunit périodiquement, avec la participation de la SAF environnement. Il statue également sur la recevabilité des sinistres ayant souscrit une garantie AQUAPAC.

4.1.2. SAF-environnement, pour les opérations de géothermie sur aquifères profonds

Compte tenu du poids financier important d'une opération de géothermie et de la durée élevée d'amortissement des installations, les pouvoirs publics ont mis en place, dès 1981, une procédure de couverture des risques inhérents à cette activité spécifique.

Ce fond, équilibré par les dotations de l'ADEME, les cotisations des assurés et les placements, est géré par la SAF environnement créée à cet effet en 1981.

Deux catégories de risques sont couvertes par ce fond :

- Le risque d'obtenir, lors du premier forage, une ressource géothermale aux caractéristiques de débit et de température insuffisantes, ne permettant plus alors la rentabilité de l'opération. C'est le risque appelé « Court Terme ».
- Le risque de voir cette ressource diminuer ou disparaître avant l'amortissement des installations, ainsi que les risques de sinistres affectant les puits, les matériels et équipements de la boucle géothermale. Ce sont les risques à « Long Terme ».

a) Le risque Court Terme

Le système mis en place garantit, la majeure partie du coût du premier forage en cas d'échec total ou partiel (c'est-à-dire si la ressource géothermale découverte se révèle insuffisante pour assurer une rentabilité minimale des installations). Les critères d'appréciation de succès ou d'échec sont déterminés, en fonction des résultats du premier forage à partir d'une courbe établie après une étude de sensibilité aux variations du couple (débit, température) sur la rentabilité du projet.

En cas d'échec total, le fond prend en charge 65% du coût du forage (après taxes et moins les subventions reçues). Certaines régions, comme la région Ile-de-France, la Provence Alpes Côte d'Azur et l'Alsace, apportent une participation complémentaire de 25%.

Le plafond est fixé à 4 200 000 € par forage.

¹⁴ SAF environnement, 195 boulevard Saint-Germain, 75007 Paris tél : 01 58 50 76 76

La souscription au fond Court terme est validée après acceptation du dossier par le comité technique. Le montant de cette souscription est de 3.5 % du coût assuré pour les opérations du Bassin Parisien, et varie de 3,5 à 5 % pour les autres régions en fonction de la connaissance du risque géologique.

b) Le risque Long Terme

La garantie long terme porte sur Tableau 3 :

- les puits,
- les matériels et les équipements de la boucle géothermale (à condition que l'incident survienne pendant la durée de vie normale du matériel),
- le débit et la température du fluide géothermal, c'est-à-dire la puissance thermique de l'installation.

Qualification du dommage		Compensation financière assurée par le Fond
Incident réparable (baisse de puissance de l'installation provisoire et récupérable)		Coût de la réparation des sinistres (pour autant qu'ils résultent d'une cause géologique ou géothermique) Indemnité d'immobilisation de l'installation consécutive au sinistre
Incident non réparable (baisse de puissance de l'installation irréversible irrécupérable et définitive)	Sinistre partiel (P>50% P ₀)	Proportionnelle à la perte de puissance occasionnée.
	Sinistre total (P<50% P ₀)	Globale, avec plafond fixé à 1 250 000 € et franchise de 100 000€ (en valeur 2008).

Tableau 3 - Sinistres garantis par le fonds de garantie Long Terme

La durée du contrat est de 20 ans.

La souscription au fonds est validée si les législations en vigueur et règles techniques sont bien suivies. Le montant de cette souscription est de 12 500 € par an (valeur 2008).

4.2. DEMARCHE QUALITE POUR LES SONDES GEOTHERMIQUES VERTICALES : QUALIFORAGE

L'AFPAC, Association Française pour les Pompes à Chaleur, regroupe un nombre important de fabricants et d'installateurs de pompes à chaleur (<http://www.afpac.org>).

L'ADEME et le BRGM proposent une démarche d'engagement qualité auprès des entreprises de forage pour l'installation des sondes géothermiques. Cette démarche vise à encadrer le marché des pompes à chaleur sur sondes géothermiques verticales grâce à :

- la mise en place d'un « standard de qualité », avec un cahier des charges de référence pour la réalisation de sondes selon les règles de l'art,
- la promotion d'une image de marque optimale de la sonde géothermique verticale.

La gestion de la démarche engagement qualité ainsi que la sélection des entreprises sont pilotées par le BRGM.

La performance de l'ensemble de l'installation de chauffage est conditionnée par la bonne mise en œuvre de la sonde géothermique. Les entreprises adhérant à Qualiforage s'engagent à respecter les règles de l'art pour :

- le dimensionnement des sondes, en fonction notamment de la nature des terrains, et de la présence ou non d'eaux souterraines, pour répondre correctement aux besoins de chauffage,
- le respect de l'espacement minimal de dix mètres entre deux sondes pour éviter le gel du sous-sol,
- les conditions techniques de réalisation avec la mise en œuvre d'une technique de forage adaptée, la mise en place des tubes à l'aide d'un touret pour ne pas endommager la sonde, la cimentation sous pression depuis la base de la sonde,
- le test in-situ de l'étanchéité des sondes,
- le respect de la réglementation et la clarification des responsabilités entre le foreur, le chauffagiste et le client.

Outre la réalisation des ouvrages selon les règles de l'art, les entreprises qui adhèrent à la démarche s'engagent formellement à :

- souscrire une assurance décennale avec la mention « sondes géothermiques »,
- participer à une journée technique d'information organisée par le BRGM,
- déclarer les forages à la DREAL conformément à la réglementation,
- renouveler annuellement la demande d'adhésion à la démarche Qualiforage.

La liste des entreprises de forage adhérant à cette démarche qualité sur l'ensemble du territoire français peut être consultée sur le site <http://www.geothermie-perspectives.fr>, ou sur le site Promotelec (<http://www.promotelec.com>, puis ouvrir la rubrique "Matériels homologués", puis "Produits répondant aux exigences du Label Promotelec habitat neuf").

Pour les forages d'eau et les sondes géothermiques verticales, on peut se référer à la norme AFNOR NFX10-970. Qualiforage s'engage à appliquer cette norme.

4.3. LES AIDES FINANCIERES

4.3.1. Pour les particuliers

Le crédit d'impôt développement durable est le principal mécanisme d'aide pour les particuliers, à l'échelon national. Des aides régionales et départementales peuvent cependant venir s'additionner.

Le crédit d'impôt est une disposition permettant aux ménages de déduire de leur impôt sur le revenu une partie des dépenses réalisées pour certains travaux d'amélioration énergétique portant sur une résidence principale. Le taux du crédit d'impôt est fixé chaque année par les lois de finance. Les lois des Finances rectificative pour 2009 et pour 2010, adoptées en décembre 2009, ont modifiés le crédit d'impôt : si le taux de 40% pour les solutions de géothermie n'a pas changé, l'assiette inclut maintenant la pose de l'échangeur.

Le crédit d'impôt porte sur le prix des équipements et des matériaux, hors main d'œuvre (travaux de forage et pose des sondes ou de la pompe par exemple). L'installation doit être réalisée par une entreprise et une facture (ou une attestation fournie par le vendeur ou le constructeur du logement neuf), qui porte la mention des caractéristiques requises dans l'arrêté, doit être établie pour les services fiscaux.

Les particuliers peuvent également profiter du taux réduit de TVA (7 %, anciennement 5,5 %) appliqué par les entreprises qui vendent le matériel et en assurent la pose, à condition que la pompe à chaleur soit installée dans une résidence principale ou secondaire achevée depuis plus de deux ans.

Pour un même contribuable, le montant des dépenses donnant droit au crédit d'impôt en faveur du développement durable ne peut excéder la somme de 8 000 € pour une personne seule et de 16 000 € pour un couple. Ce plafond est majoré pour tenir compte de la situation de famille du contribuable. Ces montants sont majorés de 400 € par personne à charge (dont le premier enfant) au sens des articles 196 à 196 B du code général des impôts. Cette majoration est portée à 500 € pour le second enfant ; 600 € par enfant à compter du troisième.

Des aides particulières peuvent s'ajouter au crédit d'impôt pour des opérations de rénovation (éco prêt à taux zéro, aides de l'ANAH...) (cf. Annexe 2).

En cas d'aide publique supplémentaire à l'investissement (Conseil Régional, Conseil Général, Agence nationale de l'habitat (ANAH), etc...), par exemple pour l'achat d'équipements permettant d'utiliser les énergies renouvelables ou les pompes à chaleur, le calcul du crédit d'impôt se fait sur le coût des équipements déductions faites des aides publiques, selon les modalités qui seront définies dans l'instruction fiscale.

Les espaces info-énergie de l'ADEME permettent d'aiguiller vers les différents types d'aide possibles.

4.3.2. Pour les opérations collectif et tertiaires (dont réseaux de chaleur, hors particulier)

a) Dispositifs incitatifs de l'ADEME adopté le 14/02/08 (Système d'aide ADEME aux énergies renouvelables 2008-2013 : délibération n° 08-2-2 du CA ADEME)

L'ADEME a mis en place un dispositif d'aides financières spécifique à la géothermie permettant de financer :

- des études de faisabilité et des missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage,
- des investissements tant pour la réhabilitation d'opérations existantes que pour la réalisation de nouvelles opérations, avec la mise en place du Fonds Chaleur. Les aides sont ramenées au coût du MWh géothermal produit.

Cinq types d'aides sont proposés :

Les aides à la décision :

Pour accompagner les organismes et collectivités à étudier l'opportunité d'utilisation des énergies renouvelables, l'ADEME propose des outils méthodologiques et des aides financières, sous forme de subventions, aux organismes des secteurs concurrentiel et non concurrentiel qui font appel à un prestataire pour réaliser plusieurs types d'interventions : pré diagnostic, diagnostic ou étude de faisabilité.

Le système général des aides à la décision¹⁵ s'applique sans dérogation, hormis pour les projets de géothermie dont l'ampleur n'est pas compatible avec les plafonds prévus par le système général. Pour les opérations de géothermie profonde, le plafond de l'assiette est porté à 300 000 €, avec un taux d'aide maximum de 50%.

Les aides à la démonstration :

Elles concernent des premières mises en œuvre de technologies issues de la R&D ou de technologies existantes transférées vers des applications nouvelles. L'ADEME propose d'aider ces opérations à un taux déterminé par une analyse économique. Dans tous les cas ce taux sera au maximum de 40% et compatible avec l'encadrement communautaire des aides d'État en faveur de l'environnement en vigueur.

¹⁵ Délibération n° 06-5-3 du Conseil d'administration du 11 octobre 2006

Les opérations exemplaires :

Elles visent à introduire et développer, dans un territoire (par exemple, région ou département) ou un secteur d'activités (branches industrielles ou agricoles, par exemple), des technologies, des pratiques ou modes d'organisation permettant de progresser de manière exemplaire dans la voie d'un développement plus " durable ".

La région Picardie, en partenariat avec l'ADEME dans le cadre du fond FREME (Fonds Régional pour l'Environnement et la Maîtrise de l'Énergie) et du FEDER, aide au développement de la filière géothermique, en diversifiant la palette des solutions disponibles (projets novateurs et exemplaires) afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et contribuer à l'indépendance énergétique de la région. Ainsi, les actions sont plus spécifiquement ciblées en Picardie en direction de la réalisation de réseaux de chaleur pour valoriser la chaleur profonde mais aussi des installations à des profondeurs plus accessibles à travers le soutien aux investissements dans le cadre d'opérations exemplaires et au développement d'une profession de foreurs, pour la géothermie de faible profondeur (actions de formation notamment).

Pour la partie Études, les bénéficiaires potentiels de ces aides sont les suivants :

- secteur public : collectivités territoriales, EPCI ;
- habitat social : bailleurs sociaux et privés ;
- organismes consulaires ;
- secteur privé : entreprises et leurs groupements, exploitations agricoles et secteur du tourisme (centre de vacances, hôtel, camping) ;
- associations ;
- porteurs de projets collectifs (2 appartements et plus) et locatifs.

Pour la partie Investissement, sont concernés :

- le secteur public : collectivités territoriales, EPCI ;
- l'habitat social : bailleurs sociaux et privés ;
- les associations.

Ce dispositif, applicable uniquement pour les opérations exemplaires, est contractualisé avec l'ADEME qui intervient, en cumul, à même hauteur financière que la Région (sauf cas particuliers : fonds chaleur notamment).

Les critères d'éligibilité des aides sont les suivants :

Pompe à chaleur sur aquifère superficiel :

- Réinjection dans l'aquifère d'origine,
- COP machine supérieur ou égal à 4 selon norme EN 14511,
- Mise en place d'un comptage d'énergie.

Pompe à chaleur sur champs de sondes géothermiques :

- réalisation d'un test in situ des propriétés thermiques du sol,
- COP machine supérieur ou égal à 3,7 selon norme EN 14511,
- mise en place d'un comptage d'énergie.

Le site Internet de l'Ademe de Picardie (<http://www.ademe.fr/picardie/>) donne de plus amples détails sur le montant des aides allouées et sur la démarche à effectuer pour bénéficier de cette aide.

Les aides à la diffusion :

Outre les aides mentionnées précédemment, par nature très sélectives, l'Agence propose, dans des domaines particuliers, des aides plus systématiques à la diffusion de technologies ou de bonnes pratiques, de manière à surmonter des obstacles de marché, notamment dans la perspective de la baisse importante des coûts attendue de la croissance des volumes commercialisés. Elles visent principalement à structurer les filières concernées.

Le Fonds Chaleur :

La mise en place du Fonds Chaleur renouvelable est un des engagements du Grenelle de l'environnement. Il concerne les opérations dans les secteurs de l'habitat collectif, du tertiaire et de l'industrie. Le principe régissant le calcul des aides du Fond Chaleur est de permettre à la chaleur renouvelable d'être vendue à un prix inférieur d'au moins 5 % à celui de la chaleur produite à partir d'énergie conventionnelle. Le montant exact des aides sera évalué au cas par cas pour les projets de géothermie. Le niveau d'aide proposé peut être atteint par le Fonds Chaleur seul ou en combinaison avec des aides régionales et/ou le FEDER (Fond Européen de Développement Régional) (cf. paragraphe suivant).

Lancé en décembre 2008, un premier bilan national sur les aides octroyées a été publié en octobre 2009. Concernant les projets de géothermie, 29 projets ont été aidés pour un montant total de 19 653 584 € (sur un coût total d'opérations de 90 874 672 €). À cela s'ajoutent les aides spécifiques au développement des réseaux de chaleur qui permettent l'acheminement de réseaux d'énergie géothermique.

Pour continuer à développer les énergies renouvelables, la dotation du fonds « Chaleur renouvelable » est doublée en 2010, passant à 314 millions d'euros contre 154 millions en 2009. Ce fonds devrait permettre de produire 350 000 tonnes équivalent pétrole en 2010 en plus des 250 000 réalisées au cours de cette année.

Pour les opérations sur aquifères profonds, l'octroi de l'aide sera subordonné à l'adhésion de l'opération au Fonds de garantie géothermie de la SAF-environnement.

Plus d'informations...

L'instruction des dossiers par l'ADEME se fait au cas par cas.

Les aides sont généralement allouées en trois versements :

- 50% à la notification
- 30% à la réception de l'installation
- 20% sur présentation des résultats de la première ou des deux premières années selon la taille de l'installation.

Des informations plus détaillées sur le Fonds Chaleur en Picardie sont disponibles sur le site de l'Ademe, à l'adresse suivante :

<http://www.ademe.fr/picardie/>

b) Fonds FEDER

Le rôle du FEDER (Fond européen de développement régional) est de promouvoir l'investissement et de contribuer à réduire les déséquilibres entre les régions de l'Union européenne. La recherche, l'innovation, les questions environnementales et la prévention des risques représentent les domaines prioritaires pour les financements FEDER. Chaque région a son propre programme opérationnel (PO FEDER), qui définit les priorités financées par le fonds européen pour la nouvelle programmation 2007-2013.

Le Programme opérationnel Compétitivité Régionale en Picardie 2007-2013 articule son action autour de quatre axes :

- Axe 1 : compétitivité, innovation, économie de la connaissance
- Axe 2 : développement durable
- Axe 3 : cohésion territoriale et accessibilité
- Axe 4 : assistance technique pour la mise en œuvre du programme

Ces axes se déclinent en différentes fiches action décrivant les critères d'éligibilité des projets et les démarches à suivre.

Les bénéficiaires potentiels des aides FEDER sont les maîtres d'ouvrage publics et privés. Le guichet instructeur des demandes de subvention se situe à la Préfecture de département.

Des compléments d'informations sont disponibles à l'adresse suivante pour la région Picardie : <http://www.picardie-europe.eu/les-programmes-operationnels/feder.html>

c) Certificats d'économie d'énergie (CEE)

La loi POPE met en place un mécanisme déjà éprouvé par ailleurs, en particulier en Angleterre : **les certificats d'économie d'énergie (CEE)**. Ce dispositif repose principalement sur l'obligation pour les fournisseurs d'énergie de déclencher chez leurs clients la réalisation d'économies d'énergie.

Le but des CEE est de relancer les économies d'énergie là où existent des gisements importants, mais diffus et difficiles d'accès (notamment dans les secteurs résidentiels et tertiaires), en mobilisant les acteurs du Marché (offre/demande) sans recourir à des subventions. Il s'agit donc d'un nouveau mécanisme de financement des projets d'efficacité énergétique adapté à un Marché libéralisé venant en complément d'outils publics existants (crédits d'impôt, subventions...).

Grâce à la création d'un véritable Marché de l'efficacité énergétique, le dispositif des CEE devrait ainsi permettre d'injecter 500 à 1 000 millions d'euros dans les trois années à venir. Seule serait définie la période de rodage du dispositif (2006-2008) à l'issue de laquelle 54 TWh d'économie d'énergie devront avoir été réalisés. Cet objectif de 54 TWh représente environ 2,13 TWh d'économie par an, soit 0,14 % de la consommation française annuelle totale, dont 1 TWh pour les réseaux de chaleur ou de froid.

Principe du dispositif CEE :

L'obligation d'économie d'énergie s'impose aux principaux opérateurs (EDF, GDF, CPCU, etc.) qui fournissent au moins 400 GWh d'énergie finale par an (ce qui représente une vingtaine d'obligés).

Les fournisseurs de fioul sont également soumis à obligation. Cependant, le Marché étant constitué d'une myriade de petites entreprises, la loi POPE a prévu explicitement une possibilité de regroupement. Pour l'instant, les fournisseurs de carburants ont été exclus du dispositif.

Pour s'acquitter de cette obligation, les opérateurs disposent de trois voies possibles (variantes) :

- Investir sur leur propre patrimoine ;
- Inciter, par de la sensibilisation ou l'octroi d'aides financières, les clients (particuliers, petites entreprises, collectivités locales...) à réaliser des investissements permettant de réaliser des économies en énergie ;
- Acheter des certificats d'économie d'énergie auprès d'autres acteurs (dits éligibles).

C'est pourquoi ce dispositif s'accompagne de la mise en place d'un Marché de CEE.

L'offre de certificats provient de toute personne morale (acteur éligible) présentant un programme d'actions de taille suffisante (au moins 3 GWh d'économies d'énergie finale réalisées par programme, actualisées sur toute la période du programme présenté). Le dossier devra être validé par les DREAL (Direction Régionale de l'environnement de l'Aménagement et du Logement).

La demande de certificats vient des « Obligés », qui doivent atteindre leurs objectifs d'économies d'énergie fixés par décret, en complétant éventuellement leurs propres économies par l'achat de certificats auprès d'acteurs éligibles. Ainsi, ce dispositif ouvre à d'autres acteurs (collectivités publiques et territoriales, notamment), la possibilité de participer à la réalisation d'économies d'énergie.

Le CEE est immatériel, il est inscrit dans un registre national et peut faire l'objet de tractations négociées. Les certificats d'économies d'énergie concernent la géothermie, puisque le bénéfice des CEE a été élargi aux énergies renouvelables pour le chauffage des bâtiments, lorsqu'elles viennent se substituer aux énergies fossiles. C'est le cas de la géothermie sur réseaux de chaleur.

Le dispositif des certificats d'économies d'énergie devrait ainsi constituer une source de financement appréciable permettant de lancer de nouveaux projets de géothermie, sachant que les premières évaluations de projets potentiels ont montré que parmi les actions standards proposées, la géothermie sur réseaux de chaleur offrait les coûts de certificats parmi les moins élevés.

Remarque : Les aides du Fonds Chaleur ne sont pas cumulables, ni avec les Certificats d'Économie d'Énergie (lorsque ceux-ci portent sur le même objet que l'aide du Fonds Chaleur) ni avec les projets domestiques. Par contre, les entreprises ou réseaux de chaleur soumis au PNAQ sont éligibles aux aides du Fonds Chaleur.

Les aides pour la production d'électricité géothermale ne sont pas évoquées dans ce document.

Des aides spécifiques pour les réseaux de chaleur existent également, comme la TVA à 7 % pour les réseaux alimentés à plus de 50% en énergie renouvelable et/ou fatale.

d) Opérations standardisées

Le décret du 23 mai 2006, relatif aux conditions d'application des certificats d'économies d'énergie, a introduit la notion d'opérations standardisées : un calcul forfaitaire, attribué pour une installation nouvelle type, par rapport à une situation de référence. Les économies réalisées permettent aux obligés de revendiquer des certificats. Le dispositif est entré en vigueur le 1^{er} juillet 2006. L'arrêté du 28 juin 2010 définit les opérations éligibles au titre de ce dispositif. A cet effet, il modifie et complète divers arrêtés publiés précédemment.

Des fiches d'opérations standardisées ont été élaborées pour faciliter le montage d'actions d'économies d'énergie, définissant, pour les opérations les plus fréquentes, les conditions d'éligibilité et des montants forfaitaires d'économies d'énergie.

Quatre fiches concernent la géothermie :

- Pompe à chaleur de type eau/eau pour le résidentiel et pour le tertiaire ;
- Raccordement d'un bâtiment résidentiel à un réseau de chaleur alimenté par des énergies renouvelables ;
- Raccordement d'un bâtiment tertiaire à un réseau de chaleur alimenté par des énergies renouvelables ;
- Production de chaleur renouvelable en réseau (France métropolitaine).

Les fiches types concernant la géothermie sont présentées en Annexe 3.

e) Amortissement fiscal exceptionnel

Les entreprises du tertiaire ont droit à l'amortissement fiscal exceptionnel, qui offre aux entreprises la possibilité de pratiquer un amortissement immédiat, sur douze mois à compter de leur mise en service, des matériels destinés à produire de l'énergie renouvelable (PAC, matériels de télégestion, matériels divers ...).

4.3.3. Conclusions

Toutes les mesures progressivement mises en place sont favorables au développement de la géothermie en général, des pompes à chaleur géothermique utilisées dans le neuf ou dans la rénovation, pour assurer les besoins de chaleur et de rafraîchissement en particulier.

Les pompes à chaleur géothermique contribuent en effet à la réduction des consommations d'énergies fossiles, à la valorisation énergétique (par leur COP) et à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

5. Contexte réglementaire de la géothermie

Les principaux textes réglementaires s'appliquant à l'exploitation des eaux souterraines par forage et à l'exploitation des calories souterraines, donc aux opérations de géothermie sont :

- le code minier et ses textes d'application, qui relèvent du ministre chargé des mines (la réglementation est appliquée par les Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement : DREAL) ;
- le code de l'environnement qui relève du ministre chargé de l'environnement ;
- le code de la santé publique, qui relève du ministre chargé de la santé ;
- le code général des collectivités territoriales qui relève du ministre de l'intérieur.

5.1. LE CODE MINIER

La géothermie est régie par le code minier¹⁶ ; l'article L.112-2 précise la définition des gîtes géothermiques (« les gîtes renfermés dans le sein de la terre dont on peut extraire de l'énergie sous forme thermique, notamment par l'intermédiaire des eaux chaudes et des vapeurs souterraines qu'ils contiennent »), classés en gîtes à haute température et gîtes à basse température selon la température des eaux mesurée en surface lors du forage (seuil de 150°C)¹⁷.

Dès lors, la recherche et l'exploitation de ces gîtes sont dans le principe précédées d'une procédure (déclaration ou autorisation) instruite par le Préfet qui se prononce sur la recevabilité des demandes et sur les garanties financières et techniques exigées par la réglementation en vigueur.

Au-delà des questions propres à la recherche et l'exploitation, l'ouverture de travaux de géothermie et la réalisation de forage font également l'objet de prescriptions particulières.

Un tableau simplifié des différentes situations rencontrées et des régimes juridiques applicables à la géothermie sur sonde est fourni en Annexe 2.

¹⁶ Les titres IV, VI bis, VIII, IX et X du livre 1er s'appliquent à tous les gîtes géothermiques, quelle que soit leur température. En outre, les titres II et III s'appliquent aux gîtes à haute température, « les articles 23 et 24 » et le titre V aux gîtes à basse température.

¹⁷ Décret n° 78-498 du 28 mars 1978

5.1.1. Dispositions spécifiques à chaque type d'exploitation géothermique

a) *Les opérations haute température (pour mémoire)*

Les opérations de « haute température » (supérieure à 150 °C) sont régies par les titres II, III du Code minier. Le décret n°2006-648 du 2 juin 2006 relatif aux titres miniers et aux titres de stockage souterrain précise les dispositions du code minier à leur égard :

- **Recherche de mine** (Titre II) : lorsque sont entreprises des recherches de mines par une personne autre que le propriétaire des terrains, celle-ci doit alors soit recueillir le **consentement du propriétaire**, soit détenir une **autorisation** du ministre chargé des mines après mise en demeure du propriétaire, soit détenir un **permis exclusif de recherches**. Ce permis est délivré à l'issue d'une procédure d'enquête publique et de mise en concurrence, pour une période de 5 ans au plus renouvelable deux fois, à un explorateur qui jouit de l'exclusivité du droit d'effectuer tous travaux de recherches dans le périmètre dudit permis et de disposer librement des produits extraits à l'occasion des recherches et des essais qu'elles peuvent comporter ;
- **Exploitation de mine** (Titre III) : l'exploitation est soumise à l'octroi d'une **concession** par décret en Conseil d'État (Article 25 du code minier). Cette concession peut être accordée à titre exclusif au demandeur déjà titulaire d'un permis de recherches, à l'intérieur du périmètre de ce permis, pendant la durée de sa validité et sur des substances mentionnées par celui-ci. Une concession est octroyée pour une période ne pouvant pas excéder 50 ans, renouvelable par périodes de 25 ans maximum.

Les procédures d'attribution de ces titres miniers (permis exclusif et concession) sont décrites dans le décret 2006-648 du 2 juin 2006.

b) *Les opérations basse température*

Les opérations basse température sont soumises à un Titre spécifique du code minier, le titre V (articles 98 à 103), qui institue une procédure plus simple que celle établie par les titres II et III.

Les opérations basse température (régime normal)

- **Recherche de gîte géothermique de basse température** : une demande d'autorisation de recherches doit être adressée au Préfet (article 98 du code minier). Il s'agit de conférer une autorisation de recherches par arrêté préfectoral après enquête publique. Celle-ci, désignée également par l'appellation « permis exclusif de recherches », est accordée, en vertu du décret n°78-498 du 28 mars 1978, après instruction du dossier du demandeur pour une durée maximale de trois ans ;

- **Exploitation de gîte géothermique de basse température** : elle est soumise à l'obtention d'un **permis d'exploitation** minier accordé par le préfet après enquête publique (article 99 du code minier) pour une durée maximale de 30 ans renouvelable par périodes de 15 ans maximum. Le titulaire d'une autorisation de recherches peut seul obtenir, pendant la durée de cette autorisation, un permis d'exploitation aux conditions de l'article 99 du code minier.

Les procédures de demande et d'attribution de ces permis sont détaillées dans les articles 3 à 7 du décret n° 78-498 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de gîtes géothermiques.

Les opérations basse température de minime importance (régime dérogatoire)

Texte de référence : article 17 du décret 78-498 pris en application de l'article L. 124-3 du code minier.

- **Définition** : *« sont considérées comme des exploitations géothermiques à basse température de minime importance les prélèvements de chaleur souterraine :*
 - *dont le débit calorifique maximal possible calculé par rapport à une température de 20 degrés Celsius est inférieur à 200 thermies par heure (=230 kW)*
 - *ET dont la profondeur est inférieure à 100 mètres ».*
- **Régime réglementaire** : ce type d'exploitation est dispensé de l'autorisation de recherches et du permis d'exploitation prévus aux articles 98 et 99 du code minier ; elles sont en revanche soumises à **déclaration préalable**, au service interdépartemental de l'industrie et des mines (la DREAL aujourd'hui) un mois avant leur réalisation.

Cette formalité doit être effectuée par le maître d'ouvrage ou par le foreur. L'article 17 du décret de 1978 précité indique que l'accomplissement de cette formalité s'effectue « selon les modalités prévues pour les déclarations de fouille en application de l'article L.411-1 du Code minier (ancien article 131) » et par lettre recommandée avec accusé de réception.

5.1.2. Dispositions applicables à toutes les opérations de travaux de recherches et d'exploitation de gîtes géothermiques

a) Ouverture de travaux de géothermie

L'article L.162-4 (ex. article 83) du Code minier prévoyant l'obtention d'une autorisation administrative après enquête publique et consultation des collectivités concernées fait partie du Titre IV du Code minier qui s'applique à toute opération de géothermie (haute température, basse température). Les procédures de demande d'autorisation sont

précisées par le décret n° 2006-649 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines.

Une adaptation du droit minier est en cours sur ce sujet, afin de, s'agissant des installations de minimes importance, limiter les procédures administratives applicables à de simples déclarations.

b) Réalisation d'un forage

L'article L.411-1 du Code minier (ancien article 131) impose la déclaration préalable par le maître d'ouvrage ou par le foreur, au moins un mois avant sa réalisation, de tout ouvrage, installation ou sondage de plus de 10 mètres de profondeur.

Pour les opérations de géothermie de minime importance :

- la déclaration préalable prévue par l'article 17 du décret de 1978 (déclaration préalable de tout ouvrage, installation ou sondage de plus de 10m de profondeur) tient lieu de déclaration prévue à l'article L.411-1 du code minier (déclaration de forage) ;
- la demande d'autorisation au titre de l'article L.162-4 du Code minier (ouverture de travaux) vaut également déclaration au titre de l'article L.411-1 du Code minier (travaux de forage).

Le BRGM est chargé « de recueillir, directement ou auprès d'autres détenteurs, valider, archiver et mettre à la disposition des usagers sous une forme appropriée les informations couvrant le territoire national ainsi que le plateau continental, parmi lesquelles celles concernant les fouilles, forages et levés géologiques recueillis en application du code minier » (article 3 du décret n° 2004-991 relatif à l'organisation administrative et financière du BRGM et pris en application de l'article L.412-1 du Code minier (ancien article 132).

En conséquence, la déclaration préalable ainsi qu'un dossier de fin de travaux sont transmis par la DREAL au Service Géologique Régional (SGR) du BRGM, afin de permettre l'inscription des ouvrages dans la Base de données du Sous-Sol (BSS).

Un logiciel (GESFOR), mis en place par le BRGM et distribué aux maîtres d'œuvre, permet de simplifier ces démarches de déclaration.

La BSS est publique, article L.412-1 du Code minier ; toutes les informations (741 500 forages ou ouvrages répertoriés en France métropolitaine au 7 juin 2011) sont gratuitement accessibles sur le site Infoterre (<http://infoterre.brgm.fr>) géré par le BRGM.

Un tableau simplifié des régimes juridiques applicables à la géothermie sur nappe (codes minier et de l'environnement) figure en annexe 5.

c) Évolutions en cours

Parmi les évolutions possibles actuellement discutées, on retiendra :

- Une proposition de Loi (08/2011) visant notamment à simplifier la réglementation applicable à la géothermie de minime importance. Sans préjudice des dispositions du code de l'environnement, ce texte retire du champ d'application de la législation minière les forages ou installations géothermiques qui utilisent la chaleur naturelle du sous-sol, qui la transforment en énergie thermique et qui ne présentent aucune incidence significative sur l'environnement.
- Un projet de décret (11/2011) texte propose :
 - d'élargir pour les sondes verticales (fonctionnant en circuit fermé) les critères de la minime importance à des profondeurs pouvant aller jusqu'à 200 m, en contrepartie de la certification ou qualification de l'aptitude des entreprises de forage à réaliser des ouvrages de géothermie conformément à la norme AFNOR NF X 10-970 relative aux sondes géothermiques verticales ;
 - de restreindre le domaine de la minime importance aux seules activités géothermiques, parmi celles fonctionnant en circuit ouvert, qui satisfont aux critères suivants : profondeur <100m, température <25 °C, puissances <250 kW, débits <80 m³/h et même milieu de prélèvement et rejet ;
 - d'exclure du Code minier la plupart des ouvrages de géothermie se situant à des profondeurs inférieures à 10 m (puits canadiens, géostructures thermiques, échangeurs géothermiques horizontaux et certains ouvrage géothermiques fonctionnant en circuit ouvert de puissance <250 kW).
 - de mettre en place un régime administratif déclaratif dans le cadre du Code minier pour la géothermie de minime importance, avec un dossier de déclaration comportant l'avis d'un expert hydrogéologue.

5.2. LE CODE DE L'ENVIRONNEMENT

Le code de l'environnement ne traite pas de la géothermie en particulier, mais uniquement, dans le cadre de la préservation des ressources en eau et de la prévention des pollutions, des risques et des nuisances, pour certaines activités pouvant avoir un impact sur la ressource en eau.

5.2.1. Réglementation relative à l'eau et aux milieux aquatiques

Les objectifs du code de l'environnement dans le domaine de l'eau sont :

- d'aboutir à la gestion équilibrée de la ressource et la protection de toutes les eaux vis-à-vis des pollutions (article L.211-1 du code de l'environnement) ;

- de mettre en place la « nomenclature Eau » (article L.214-3) : régimes d'autorisation ou de déclaration des ouvrages ou activités susceptibles de représenter un danger ou d'avoir un impact sur la ressource en eau (cf. nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en annexe 6).

Ces dispositions sont issues de la loi sur l'eau de 1992, puis celle de 2003, lesquelles ont été codifiées depuis dans le code de l'environnement. La législation sur l'eau figure donc désormais au livre II (Milieux physiques), Titre 1^{er} (Eau et milieux aquatiques) de ce code.

a) Procédures d'autorisation et de déclaration s'appliquant aux opérations de géothermie

L'article L.214-1 du code de l'environnement indique que sont soumis à la « nomenclature Eau » :

- les installations non ICPE ;
- les ouvrages, travaux et activités réalisés à des fins **non domestiques** et entraînant des **prélèvements** sur les eaux superficielles ou souterraines, restitués ou non, une modification du niveau ou du mode d'écoulement des eaux, la destruction de frayères, de zones de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole ou des déversements, écoulements, **rejets** ou dépôts directs ou indirects, chroniques ou épisodiques, même non polluants.

L'article L.214-2 du même code définit la « nomenclature Eau » : « Les installations, ouvrages, travaux et activités (IOTA) visés à l'article L.214-1 sont définis dans une nomenclature, établie par décret en Conseil d'État » et sont « soumis à autorisation ou déclaration suivant les dangers qu'ils présentent et la gravité de leurs effets sur la ressource en eau et les écosystèmes aquatiques compte tenu notamment de l'existence des zones et périmètres institués pour la protection de l'eau et des milieux aquatiques ».

Cet article ajoute que le décret définit les critères de l'usage domestique.

b) Usage domestique - Usage non domestique

Aux termes de l'article R. 214-5 du code de l'environnement, constituent un usage domestique de l'eau :

- les prélèvements et rejets destinés à la satisfaction des besoins des personnes physiques et animaux résidents (consommation, hygiène, lavage, productions végétale et animale familiale) ;
- tout prélèvement inférieur à 1 000 m³ /an.

Les usages géothermiques de l'eau ne constituent que rarement des usages domestiques et ils sont donc la plupart du temps concernés par la « nomenclature eau ».

c) La « nomenclature eau »

La nomenclature répartissant les installations ouvrages, travaux et activités (IOTA) soumis à autorisation ou déclaration figure à l'article R. 214-1 du code de l'environnement. Le principe du fonctionnement de la « nomenclature eau », d'après les circulaires d'application¹⁸ consiste à appliquer soit le régime déclaratif, soit le régime d'autorisation, soit, pour les IOTA entrant dans plusieurs des rubriques, le régime le plus contraignant (c'est-à-dire le régime d'autorisation).

Les opérations de géothermies sont concernées par la « nomenclature Eau » dans différents cas de figure :

- Pour la réalisation d'ouvrages souterrains en lien avec les eaux souterraines ;
- Lorsqu'elles impliquent des prélèvements d'eau souterraine ;
- Lorsqu'elles impliquent des rejets dans le milieu naturel.

Rubriques « réalisation de forages en lien avec les eaux souterraines »

- **Rubrique 1.1.1.0.** : sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines, y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau sont soumis à déclaration.

Rubriques « prélèvements »

- **Rubrique 1.1.2.0.** : les prélèvements permanents ou temporaires issus d'un forage, puits ou ouvrage souterrain dans un système aquifère à l'exclusion de nappes d'accompagnement de cours d'eau, par pompage, drainage, dérivation ou tout autre procédé sont soumis à :
 - Autorisation si le volume total prélevé est supérieur ou égal à 200 000 m³/an ;
 - Déclaration si le volume total prélevé est supérieur à 10 000 m³/an mais inférieur à 200 000 m³/an.

¹⁸ Circulaire du 16 mars 2004 et circulaire du 22 octobre 2006

- **Rubrique 1.3.1.0.** : les prélèvements dans des zones où des mesures permanentes de répartition quantitative sont instituées (Zones de Répartition des Eaux), sont soumis à :
 - Autorisation si leur débit est supérieure ou égale à 8 m³/h ;
 - Déclaration dans les autres cas.

N.B. : Les ZRE ont été incluses dans l'Atlas géothermique en ligne pour la région Picardie.

Rubriques spécifiques « ouvrages géothermiques » (« réalisation de forage » et « rejets »)

- **Rubrique 2.3.2.0** : la recharge artificielle des eaux souterraine est soumise à autorisation ;
- **Rubrique 5.1.1.0** : la réinjection dans une même nappe des eaux prélevées pour la géothermie est soumise à :
 - Autorisation si la capacité totale de réinjection est supérieure ou égale à 80 m³/h;
 - Déclaration si la capacité totale de réinjection est supérieure à 8m³/h mais inférieure à 80 m³/h.
- **Rubrique 5.1.2.0.** : les travaux de recherches et d'exploitation de gîtes géothermiques sont soumis à autorisation.

Ces rubriques renvoient à l'autorisation de travaux régie par le décret 2006-649.

Par ailleurs, comme prévu par le décret n°2006-649 du 2 juin 2006 d'application de l'article L.162-4 (ex. article 83) du code minier, les demandes d'autorisation et les déclarations prévues par le code de l'environnement valent déclaration au titre de l'article L.411-1 (ex. article 131) du code minier sous réserve que le dossier de demande comporte les éléments exigés par le code de l'environnement (dispositions définies aux articles R.214-6 dans le cas d'une autorisation et R.214-32 dans le cas d'une déclaration).

Enfin, d'autres rubriques peuvent être appliquées à la géothermie : notamment les rubriques prélèvement (1.2.1.0. et 1.2.2.0) ou rejet (2.2.1.0., 2.2.2.0., 2.2.3.0. et 2.3.2.0) s'appliqueront, le cas échéant. Les prescriptions techniques qui leurs sont assorties sont également applicables (cf. annexe 6).

Un tableau simplifié des régimes juridiques applicables à la géothermie sur nappe (codes minier et de l'environnement) figure en annexe 5. Les Schémas d'aménagement et de gestion des eaux

Les SAGE sont des outils de planification de périmètre restreint. Tout SAGE est compatible avec le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE établi au niveau des bassins).

Doté d'une portée juridique, chaque SAGE est opposable à l'Administration : toutes les décisions prises dans le domaine de l'eau par les services de l'État et les collectivités locales doivent être compatibles avec le SAGE. Les documents d'urbanisme (schéma de cohérence territoriale ou SCOT, plan local d'urbanisme ou PLU) doivent eux aussi être compatibles avec le SAGE.

La loi sur l'eau et les milieux aquatiques, adoptée le 30 décembre 2006, renforce la portée réglementaire des SAGE : elle prévoit que le SAGE comporte un règlement qui sera opposable à toute personne publique ou privée pour l'exécution d'activités soumises à procédure de déclaration ou d'autorisation.

5.2.2. Réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'environnement

Les opérations de géothermie peuvent également être soumises à déclaration ou autorisation au titre de la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'environnement qui figure au code de l'environnement (Livre V "Prévention des pollutions, des risques et des nuisances" - titre 1er "Installations classées pour la protection de l'environnement").

a) Forages

Dans la législation applicable aux opérations relevant des installations classées pour la protection de l'environnement, les forages en eux-mêmes ne font pas l'objet d'une rubrique de la nomenclature des installations classées. Toutefois, ils sont considérés comme des ouvrages connexes des activités soumises à autorisation ou déclaration lorsqu'ils sont nécessaires à leur fonctionnement et à ce titre, ils relèvent de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement définies à l'article L.511-1 du code de l'environnement.

Ainsi, l'autorisation d'exploiter délivrée au titre de la législation des installations classées vaut autorisation au titre de la loi sur l'eau pour les forages.

Les prescriptions applicables à ces ouvrages sont celles fixées par les arrêtés ministériels applicables à l'activité :

- pour les activités soumises à autorisation, il s'agit :
 - de l'arrêté ministériel du 2 février 1998 modifié relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation ;
 - des arrêtés ministériels plus spécifiques à l'activité ;
 - des dispositions de l'arrêté préfectoral d'autorisation.
- pour les activités relevant du régime déclaratif, il s'agit :

- des arrêtés ministériels applicables à l'activité (L.512-10 du code de l'environnement) ;
- des prescriptions générales préfectorales (L.512-9 et R.512-51 du code de l'environnement) imposées par secteur d'activité ;
- des dispositions imposées par arrêté préfectoral spécifiquement à l'installation (L. 512-12 et R.512-52 du code de l'environnement).

Il convient de noter que l'arrêté ministériel du 11 septembre 2003 portant application du décret n° 96-102 du 2 février 1996 et fixant les prescriptions générales applicables aux sondages, forages, création de puits ou d'ouvrage souterrain soumis à déclaration, même s'il n'est juridiquement pas applicable, peut constituer une référence utile à prendre en considération.

Par ailleurs, et conformément à l'article L.214-7 du code de l'environnement, les forages nécessaires au fonctionnement d'ICPE « *sont soumis aux dispositions des articles L. 211-1, L. 212-1 à L. 212-11, L. 214-8, L. 216-6 et L. 216-13, ainsi qu'aux mesures prises en application des décrets prévus au 1° du II de l'article L. 211-3. Les mesures individuelles et réglementaires prises en application de la législation des installations classées fixent les règles applicables aux installations classées ayant un impact sur le milieu aquatique, notamment en ce qui concerne leurs rejets et prélèvements* » :

- Article L.211-1, qui a pour objet une gestion équilibrée et durable de la ressource en eau (cette gestion prend en compte les adaptations nécessaires au changement climatique).
- Article L.212-1 à L.212-11, relatif aux documents de planification par bassin, sous-bassins ... (SDAGE, SAGE...) ;
- Article L.214-8, relatif à l'instrumentation avec des moyens de mesure, à la charge des exploitant ou des propriétaires, des installations permettant d'effectuer à des fins non domestiques des prélèvements en eau superficielle ou des déversements, ainsi que toute installation de pompage des eaux souterraines ;
- Article L. 211-3 alinéa 1^{er} du point II, relatif aux mesures de limitation ou de suspension provisoire des usages de l'eau, pour faire face à une menace ou aux conséquences d'accidents, de sécheresse, d'inondations ou à un risque de pénurie ;
- Articles L.216-6 à L.216-13 imposant des sanctions pénales en cas d'infraction à différentes dispositions prévues pour protéger les intérêts mentionnés à l'article L.211-1 du code de l'environnement (loi sur l'eau).

b) Pompes à chaleur

Le décret n°2010-1700 du 30 décembre 2010 modifiant la colonne A de l'annexe à l'article R.511-9 du code de l'environnement relative à la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement, qui est entré en vigueur le 1^{er} janvier 2011, modifie la rubrique 2920 relative aux installations de réfrigération ou de compression.

Un des objectifs est de simplifier cette rubrique et de la recentrer sur les activités à fort impact sur l'environnement que sont les installations de compression de gazoduc.

Désormais, une autorisation n'est demandée que pour les installations de compression fonctionnant à des pressions effectives supérieures à 10^5 Pa et comprimant ou utilisant des fluides inflammables ou toxiques, la puissance absorbée étant supérieure à 10MW. Les pompes à chaleur ne rentrent pas dans cette classification.

5.2.3. Articulation avec le code de la santé publique

Le code de l'environnement prévoit dans son article R214-4 que, « Lorsqu'ils sont situés à l'intérieur du périmètre de protection d'une source d'eau minérale naturelle déclarée d'intérêt public et qu'ils comportent des opérations de sondage ou de travail souterrain, les installations, ouvrages, travaux et activités soumis à déclaration par la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 sont également soumis à l'autorisation prévue à l'article L. 1322-4 du code de la santé publique.

N.B. : Les périmètres de protection éloignée ont été inclus dans l'Atlas géothermique en ligne pour la région Picardie.

5.2.4. Bilan sur l'application du code de l'environnement aux opérations de géothermie

Au final, une opération de géothermie avec prélèvement d'eau :

- doit disposer de l'autorisation de travaux délivrée dans les conditions prévues par l'article 2006-649 d'application de l'article L.162-4 du Code minier, qui remplace la déclaration au titre de l'article L.411-1 du Code minier ;
- doit avoir obtenue cette autorisation en fournissant les documents prévus par le Code de l'Environnement (au titre de la législation « Eau » qui figure dans le livre II du code) et par le Code de la Santé Publique, pour que cette autorisation vaille au titre des codes mentionnés – notamment ce qui relève de la déclaration préalable du forage –;
- doit être réalisée en conformité avec les prescriptions de l'arrêté du 11 septembre 2003 précisant les conditions techniques de respect de la rubrique 1.1.1.0,

- doit répondre, le cas échéant, aux prescriptions des arrêtés correspondants aux autres rubriques de la nomenclature « Eau » dans lesquelles entre cette opération, au titre de ses prélèvements, ou rejets, ou réinjections, etc.

5.3. LE CODE DE LA SANTE PUBLIQUE

Le code de la santé publique s'applique au cas particulier des forages destinés à un usage alimentaire (notamment eau destinée à la consommation humaine ou utilisée dans l'industrie agroalimentaire).

Si l'ouvrage destiné à un usage thermique est également utilisé pour une application entrant dans ce champ, il tombe sous le coup du code de la santé publique.

Ainsi, lorsque le prélèvement d'eau dans le milieu naturel est destiné à la consommation humaine ou à une entreprise agroalimentaire, il est soumis à autorisation (articles R1321-6 à R1321-10 et R1322-4 du code de la santé publique).

Le captage doit respecter les prescriptions énoncées par son arrêté d'autorisation spécifique, pris en application de la législation sur l'eau et du code général de la santé. Il doit éviter les risques de pollution par retour d'eau (double réseau ou manchon souple). Les matériaux utilisés ne doivent pas être susceptibles d'altérer la qualité de l'eau.

Pour un usage alimentaire et/ou sanitaire collectif (captage d'alimentation en eau potable - AEP), le captage et la zone affectée par le prélèvement est protégé par des prescriptions spécifiques détaillées dans les différents périmètres de protection du captage :

- Périmètre de protection immédiate : surface clôturée de quelques ares ;
- Périmètre de protection rapprochée : zone d'appel du captage dont la surface varie suivant le type d'aquifère (nappe captive ou aquifère karstique...);
- Périmètre de protection éloigné : zone d'alimentation du captage.

5.4. LE CODE GENERAL DES COLLECTIVITES TERRITORIALES

Depuis le 1er janvier 2009, tout particulier utilisant ou souhaitant réaliser un ouvrage de prélèvement d'eau souterraine (puits ou forage), à des fins d'**usage domestique** doit **déclarer** cet ouvrage ou son projet en mairie. Les informations relatives à cette déclaration sont tenues à disposition du représentant de l'État dans le département et des agents des services publics d'eau potable et d'assainissement (décret 2008-652 du 2 juillet 2008 pris en application de l'article L. 2224-9 du code général des collectivités territoriales).

Une fiche déclarative est définie dans l'arrêté de 17 décembre 2008 ; elle est fournie en Annexe 7 et est disponible au téléchargement sur le site Internet : <http://www.foragesdomestiques.developpement-durable.gouv.fr>.

5.5. EVOLUTIONS EN COURS

La réglementation relative à la géothermie est en cours de modification. Les changements envisagés sont importants et, dans cette période charnière (réforme du code minier), il est recommandé aux maîtres d'ouvrage de se rapprocher des services locaux (départementaux et régionaux) en charge de l'instruction des dossiers de déclaration et d'autorisation : DDT(M) et DREAL.

6. Etat des lieux de la filière géothermie en Picardie

6.1. ETAT D'EXPLOITATION DE LA RESSOURCES

6.1.1. Installations recensées

Afin d'estimer la situation actuelle de l'état d'exploitation de la ressource géothermale en Picardie, les données de déclaration réalisées auprès de la DREAL et les informations contenues dans la banque du sous-sol (BSS), gérée par le BRGM ont été dépouillées sur la période récente entre janvier 2006 et décembre 2011.

Selon l'article L.411-1 (ancien article 131) du code minier, les forages de profondeur supérieure à 10 mètres ou dont le débit dépasse les 8 m³/heure sont soumis à déclaration auprès de la DREAL et ceux dont la profondeur est supérieure à 100 mètres ou d'un débit supérieur à 80 m³/heure sont soumis à autorisation préfectorale

La banque du sous-sol, gérée par le BRGM, est une base de données déclarative. Y sont versés les ouvrages dont la réalisation relève du code minier (instruits par les services de l'État compétents, en particulier par la DREAL) et les ouvrages dont le BRGM a connaissance par ailleurs.

Sa nature déclarative implique que le rythme des déclarations est influencé à la fois par la réalisation effective d'ouvrages mais aussi par une modification des procédures de déclaration administrative et de recensement. L'influence propre de chacun de ces deux facteurs n'est pas connue. Les évolutions et le nombre d'ouvrages présents en BSS doivent être considérés avec précaution de ce point de vue.

C'est pourquoi, il est difficile de recenser les installations de façon exhaustive puisqu'il n'y a pas moyen de lister les forages non soumis à déclaration ou autorisation (forages de profondeur inférieure à 10 mètres ou/et dont le débit ne dépasse pas les 8 m³/heure), et, par ailleurs, les forages soumis à déclaration ne sont pas forcément déclarés par oubli ou méconnaissance de la réglementation.

La géothermie a connu un essor notable en France et en Picardie au début des années 1980 et lors des dernières années. L'évolution du nombre d'ouvrages ou de forages de géothermie créés en BSS par le BRGM ces dernières années en Picardie (Figure 35) est en augmentation assez régulière jusqu'en 2008, suivi par un tassement qui semble perduré à ce jour.

La situation est probablement sous-évaluée, la totalité des ouvrages géothermiques effectivement réalisés n'étant pas systématiquement déclarés au préalable à la DREAL et au BRGM. Pour rappel, les ouvrages déclarés à la DREAL sont créés en BSS dans la mesure où les éléments techniques ont été communiqués au BRGM, c'est-à-dire au minimum les coupes géologique et technique et le plan de localisation. De plus, la BSS

ne recense pas les PAC à détente directe (échangeurs horizontaux très majoritairement).

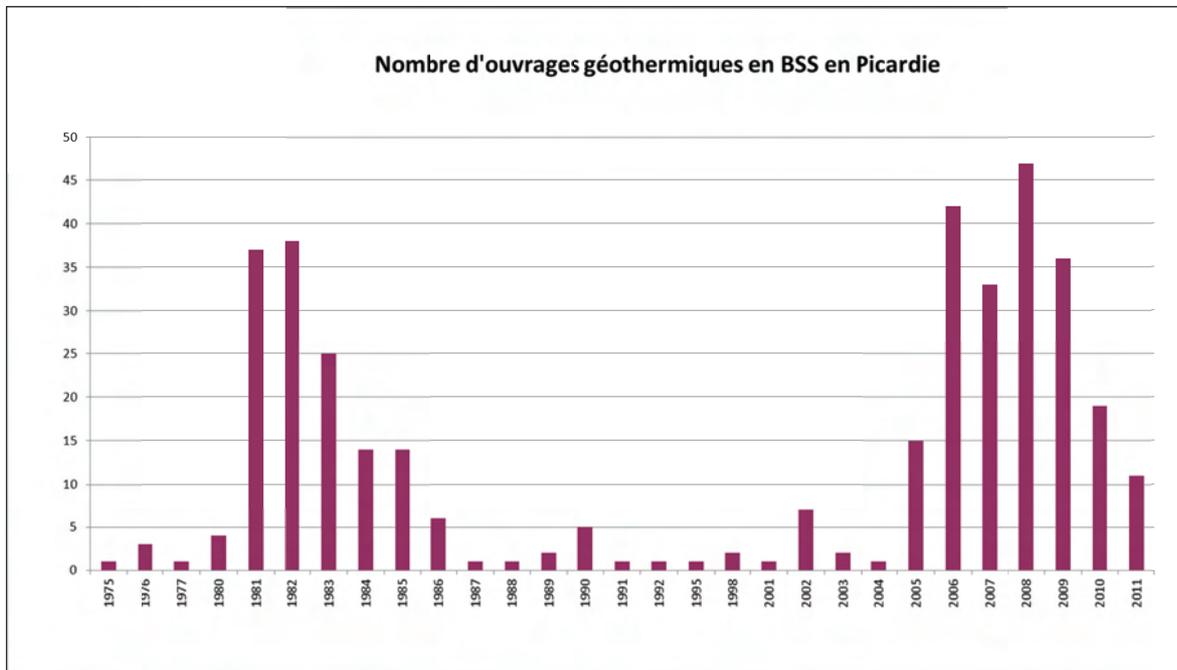


Figure 35 - Evolution du nombre d'ouvrages créés en BSS concernant des projets de géothermie pour la Picardie

A partir des données BSS et d'un recensement réalisé par la DREAL en 2011, un travail de recoupement des informations a été mené pour les ouvrages appartenant apparemment à la même installation géothermique.

D'après les récépissés de déclarations de forages géothermiques et selon les informations fournies dans ces déclarations, on peut considérer qu'entre janvier 2006 et décembre 2011, 527 forages géothermiques ont été déclarés, pour un total de 294 installations.

La carte suivante (Figure 36) présente la répartition géographique des installations. Le *Tableau 4* précise la répartition pour les trois départements picards et la Figure 37 l'évolution du nombre de projets par département.

De façon générale, 53 % des installations se trouvent dans le département de la Somme. Le département est celui où la géothermie est la plus présente. Les pompes à chaleur (PAC) sur aquifère sont très majoritaires (98 % des installations) sur l'ensemble de la région compte tenu du contexte hydrogéologique favorable sur quasiment l'ensemble du territoire régional (nappes de la craie et des formations du Tertiaires). L'implantation des sondes géothermiques (2 % des installations) ne semble pas indiquer de zone privilégiée pour ce type d'ouvrage, cependant cette technique semble progresser régulièrement ces cinq dernières années.

Malgré le décrochage des 2 dernières années, la progression des installations sur la période 2006 à 2009 permet de rester sur un rythme entre 40 et 65 nouvelles installations par année pour la région.

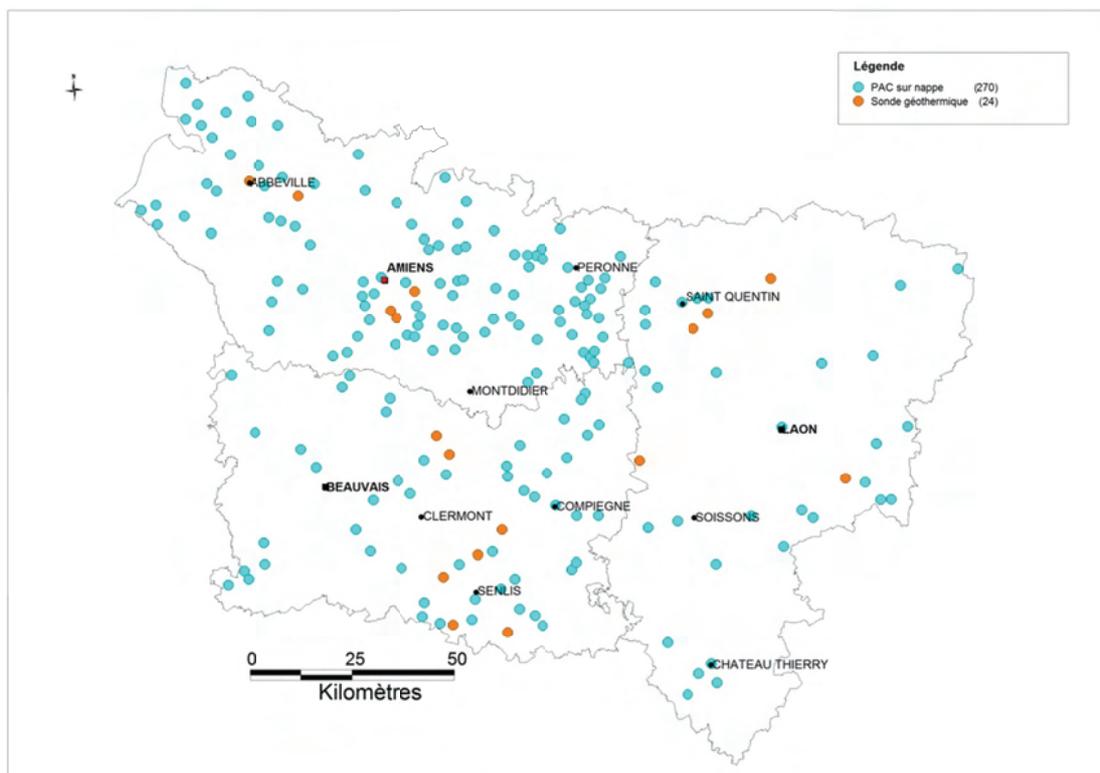


Figure 36 - Carte de localisation des installations de géothermie recensées en Picardie (données BRGM, DREAL)

Département	PAC sur aquifère	PAC sur sondes	Total
Aisne	44	5	49
Oise	82	10	92
Somme	144	9	152
TOTAL	270	24	294

Tableau 4 - Synthèse des installations géothermiques déclarées en Picardie (données BRGM, DREAL)

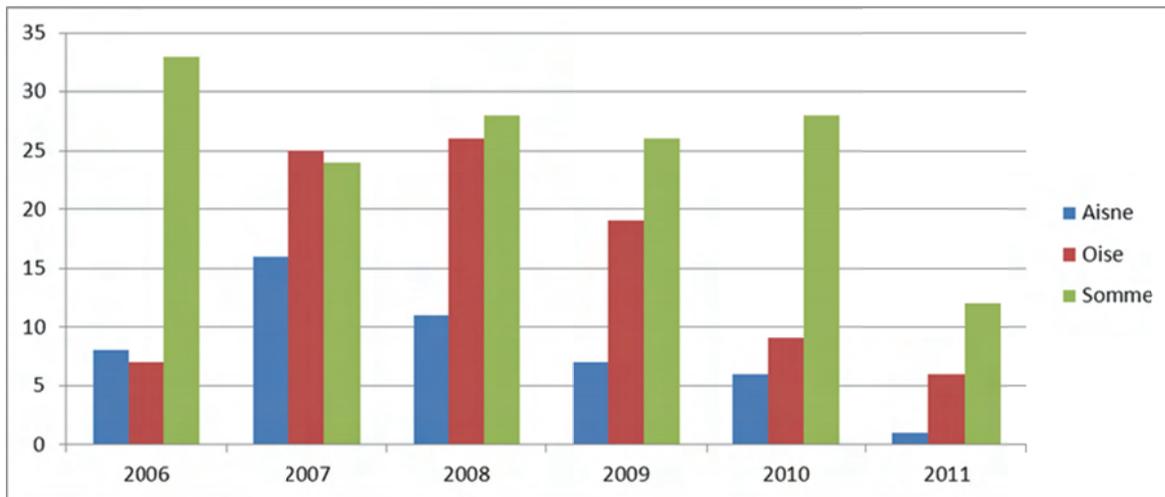


Figure 37 - Evolution du nombre de projets de géothermie par département picard (données BRGM, DREAL)

6.1.2. Puissance potentiellement installée

Une estimation de la puissance prélevée dans les nappes et le sol (Figure 38) a été conduite à partir des données à notre disposition mais souvent parcellaire. En absence de donnée sur la puissance prélevée (85 % des ouvrages), une évaluation de la puissance a été réalisé sur la base de données moyennes et provenant de la littérature. Compte tenu du manque de connaissance des projets effectivement réalisés et de leur caractéristique de dimensionnement, les données estimées exposés ci-dessous sont à considérer avec précaution.

- Concernant les PAC sur nappe, la profondeur du forage par rapport au sol est d'environ 30 mètres, variant entre 10 et 80 mètres. Les débits sont, en moyenne, de l'ordre de 5,5 m³/h, variant de 1 à 60 m³/h.

En première approche, la relation entre la puissance prélevée sur l'aquifère et le débit d'eau prélevé s'exprime de la façon suivante :

$$P_{FR} = D \times 1,16 \times \Delta T$$

Avec :

P_{FR} : Puissance de la source froide de la PAC en kW

D : Débit d'eau prélevé sur la nappe en m³/h (moyenne estimée à 5 m³/h)

ΔT : Écart de température prélèvement / rejet en °C (moyenne indicative à 6 °C)

1,16 : Capacité calorifique volumique de l'eau en kWh / m³ x °C

- Concernant les sondes géothermiques, la profondeur du forage par rapport au sol est d'environ 73 mètres, variant entre 30 et 100 mètres. Le nombre de sondes par opération est de 6 en moyenne, variant d'1 à 36.

En première approche, la relation entre la puissance prélevée dans le sous-sol et la longueur des sondes s'exprime de la façon suivante :

$$P_{FR} = N \times L \times P_{\text{extraction}}$$

Avec :

P_{FR} : Puissance de la source froide de la PAC en kW

N : Nombre de sondes

L : Longueur des sondes en ml

$P_{\text{extraction}}$: Puissance d'extraction du sous-sol en kW/ml (moyenne de l'ordre de 0,05 kW/ml dans des terrains sédimentaires saturés en eau)

En première estimation, ces installations représentent **une puissance totale d'extraction proche de 10,5 MW** (Aisne : 1,8 MW ; Oise : 3,5 MW ; Somme : 5,2 MW). Les champs de sondes ne représentant que 7,7 % de cette puissance. La diminution de la puissance annuelle installée témoigne d'une forte baisse du nombre projets ces deux dernières années (Figure 38).

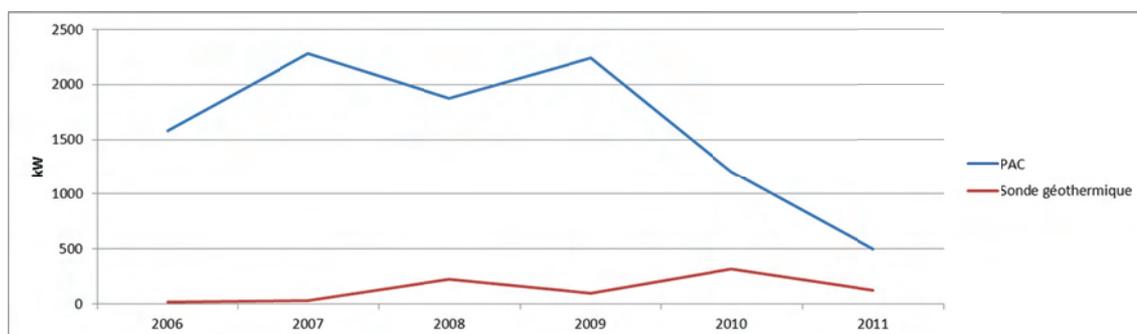


Figure 38 – Puissance prélevée estimée des installations géothermiques installées par an en Picardie (données BRGM, DREAL)

La Figure 39 permet d'établir que les gammes de puissance installée les plus représentées sont celle de moins de 35 kW, et en particulier la gamme 20-35 kW. Cette dernière concerne majoritairement des installations dans le secteur de la maison individuelles.

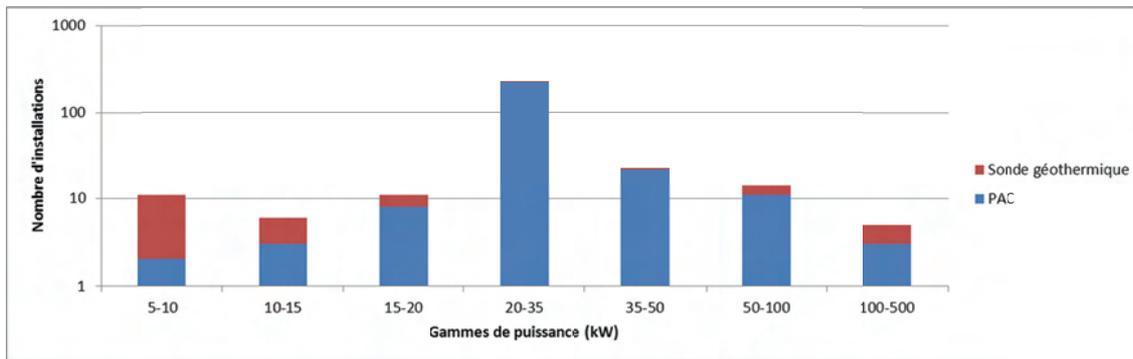


Figure 39 – Gamme de puissance estimée des installations géothermiques en Picardie (données BRGM, DREAL)

A noter que la puissance totale de l'ensemble des opérations de géothermie recensées sur cinq ans à fin 2011, estimée ci-dessus à 10,5 MW, correspondrait à une énergie finale produite annuellement d'environ 18,9 MWh¹⁹, correspondant à 1,6 Ktep²⁰

6.2. ETAT DES LIEUX DES ACTEURS DE LA FILIERES GEOTHERMIQUE

6.2.1. Les acteurs d'une opération géothermique

Lors de la mise en place d'une opération géothermique pour l'alimentation énergétique d'un bâtiment ou d'un quartier, il est fait appel à différents acteurs et spécialistes. Selon la nature et la taille de l'installation, il n'est pas fait appel systématiquement à tous les acteurs dont la liste figure ci-dessous.

a) Le maître d'ouvrage (MO)

Le maître d'ouvrage est le propriétaire final de l'ouvrage. Il est l'acquéreur. C'est donc la personne physique ou morale pour laquelle les travaux sont réalisés.

b) Le maître d'œuvre

Le maître d'œuvre est celui qui conçoit et/ou réalise matériellement la construction ou la dirige (architecte, entrepreneur général de construction) et procède à sa réception. Il peut donc être considéré comme le constructeur.

¹⁹ Hypothèse de durée de fonctionnement moyenne de 1 800 heures pour un logement.

²⁰ Selon l'Agence internationale de l'énergie, 1 tep équivaut à 11 630 kWh.

Le maître d'œuvre est également toute personne liée au maître d'ouvrage par un contrat d'entreprise conclu pour la construction d'un ouvrage immobilier (ex : le bureau d'études techniques - BET).

A noter que la loi considère également comme des constructeurs le vendeur d'immeuble à construire ou le particulier qui vend la maison construite de ses mains pour son propre compte.

La catégorie juridique du constructeur rassemble des personnes, professionnelles ou non (constructeur, vendeur ou mandataire) qui ont en commun l'obligation légale de garantir le propriétaire ou le maître de l'ouvrage contre les désordres construction.

c) Les missions du maître d'œuvre (MOe)

La maîtrise d'œuvre est le donneur d'ordre pour le compte du commanditaire du projet au profit duquel l'ouvrage géothermique est réalisé (MO). Il en assume les charges financières, seul ou avec des partenaires.

La maîtrise d'œuvre définit l'objectif de la réalisation (typologie des bâtiments, nature des besoins énergétiques, etc.), fixe le calendrier de réalisation, ainsi que l'enveloppe budgétaire destinée à ce projet.

Le rôle de la maîtrise d'œuvre sera de veiller au bon respect des consignes en matière de « coût, délai et performance ».

Les missions de maîtrise d'œuvre sont codifiées et peuvent être décomposées en lots ; cela dans le respect du code des marchés public (loi MOP pour la maîtrise d'ouvrage publique) et d'une norme pour les marchés privés.

Les missions de bases sont : les études de diagnostic (DIA en cas d'existant), les études d'esquisse (ESQ), les études d'avant-projet (AVP pouvant être décomposées en avant-projet sommaire – APS et avant-projet définitif - APD), les études de projet (PRO), l'assistance pour la passation des contrats de travaux (ACT), l'assistance apportée au maître de l'ouvrage lors des opérations de réception (AOR) et la direction de l'exécution du ou des contrats de travaux (DET). Les missions complémentaires sont : les études d'exécution (EXE) et les missions d'ordonnancement, de coordination et de pilotage du chantier (OPC).

d) L'assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO)

Un certain nombre de tâches techniques et administratives incombent au maître d'ouvrages qui peuvent ne pas être confiées à la maîtrise d'œuvre si on ne souhaite pas une mission de conception/réalisation. Le MO n'étant pas réputé être sachant, il peut alors demander assistance à un (ou plusieurs) spécialistes : l'assistant au maître d'ouvrage (AMO) qui l'aidera au pilotage et à la réalisation des dossiers.

L'AMO est un professionnel. Il intervient principalement lorsque le MO ne dispose pas des connaissances techniques suffisantes pour la conduite et le suivi de toutes les

étapes du projet, notamment le suivi des missions de la maîtrise d'œuvre ; incluant la passation du marché de maîtrise d'œuvre. En principe, la responsabilité de l'AMO ne se substitue pas à celle du MO.

L'AMO assiste donc le MO pour garantir le respect des critères de réalisation fixés (par le MO) en termes de délais et de performance de l'ouvrage, et cela au meilleur coût. Dans le cadre de sa mission, il pourra être en charge de l'établissement des différents contrats administratifs, techniques et financiers. Il participe également au choix des collaborateurs et autres exécutants intervenants dans le projet. Une de ses fonctions sera de donner au MO une estimation de l'enveloppe financière ; cela avant même la passation des marchés de MOE.

A noter que, dans le cadre des marchés publics, certaines missions d'assistances peuvent être assimilées à de la maîtrise d'œuvre, par exemple la mission AOR (assistance apportée au maître de l'ouvrage lors des opérations de réception). Le prestataire ne devra pas être lié au maître d'œuvre.

e) Les structures et bureaux d'études (cas de la géothermie)

Les opérations géothermiques nécessitent dans leurs conception et réalisation l'intervention de diverses compétences en faisant appel à des spécialistes « sous-sol » et à des thermiciens du bâtiment. Les deux compétences doivent pouvoir travailler en totale coordination.

Les **bureaux d'études sol/sous-sol** sont spécialisés dans la conception de diagnostics géologiques et hydrogéologiques avant la réalisation de forages et la maîtrise d'œuvre de projets ayant une interaction avec le sol et le sous-sol. Ils sont faiblement représentés dans la région.

Quant aux **bureaux d'études thermiques**, ils sont en charge de la conception et la maîtrise d'œuvre des installations de distribution de l'énergie géothermique jusqu'à l'utilisateur (centrale géothermique, réseaux de chaleur, systèmes d'appoint, ...).

Les bureaux d'études thermiques sont des bureaux d'études spécialisés qui conduisent les études ayant pour but de faire un état des lieux et de proposer une optimisation des performances énergétiques d'un bâtiment.

Les compétences de tels bureaux d'étude vont de l'audit énergétique au conseil aux maîtres d'ouvrages, en passant par le choix de techniques et de matériaux. Ils sont qualifiés pour réaliser le suivi énergétique de sites et réaliser des simulations visant au dimensionnement des installations de chauffage, ventilation et conditionnement d'air. Ils interviennent en Maîtrise d'œuvre des opérations.

f) Les entreprises d'exécution (cas de la géothermie)

Ces entreprises sont de trois types :

Les entreprises de forages

Elles prennent en charge la réalisation de tous les travaux du sous-sol qui nécessitent un savoir spécifique et une technicité pointue (forages, diagraphie, essais, ...). Ces entreprises assurent le transport du matériel et des équipements, ainsi que sa mise en place, avec l'appui d'entreprises de BTP (plateforme de forage, ...).

Les fabricants, fournisseurs et installateurs d'équipements

Ces entreprises sont sollicitées pour les équipements se rapportant aux forages (tubages, outils, têtes de puits, pompes, variateurs de vitesse,...), aux réseaux (canalisations, vannes, calorifugeages) et au matériel thermique (échangeurs, pompes à chaleur, régulations, instrumentation,...).

Les entreprises du bâtiment et des travaux publics (BTP)

Les entreprises de BTP sont requises pour l'exécution de la plateforme de forage, des aménagements autour de la tête de puits, des bâtiments abritant la station d'échange et de pompage, ainsi que pour la pose des différents réseaux.

6.2.2. Schéma du positionnement des acteurs de la géothermie

a) Chaîne de valeur et géothermie très basse énergie

Un grand nombre de sociétés françaises est positionné sur l'ensemble de la chaîne de valeur (hors fabrication des composants), notamment des acteurs de petite taille. Le coût d'investissement des applications PAC porte essentiellement sur les coûts de forage et ceux de l'installation du matériel pompe à chaleur.

Les études préalables ne se font pas systématiquement pour les applications dans le résidentiel particulier et le petit tertiaire. Ainsi, l'installateur peut proposer au particulier une solution "PAC géothermique" sans recourir à des bureaux d'étude spécialisés en (hydro)géologie et/ou en thermique.

Les foreurs et les fabricants de PACg cherchent à intégrer d'autres étapes de la chaîne de valeur, en fournissant des prestations d'aide à la décision, d'exploitation et de maintenance, au client final.

Concernant la fabrication des différents composants de la PAC, le marché des compresseurs échappe, dans la plupart des cas aujourd'hui, aux acteurs français et est dominé par une dizaine de fabricants, installés notamment aux États-Unis et au Japon. Les autres composants sont européens, voire français.

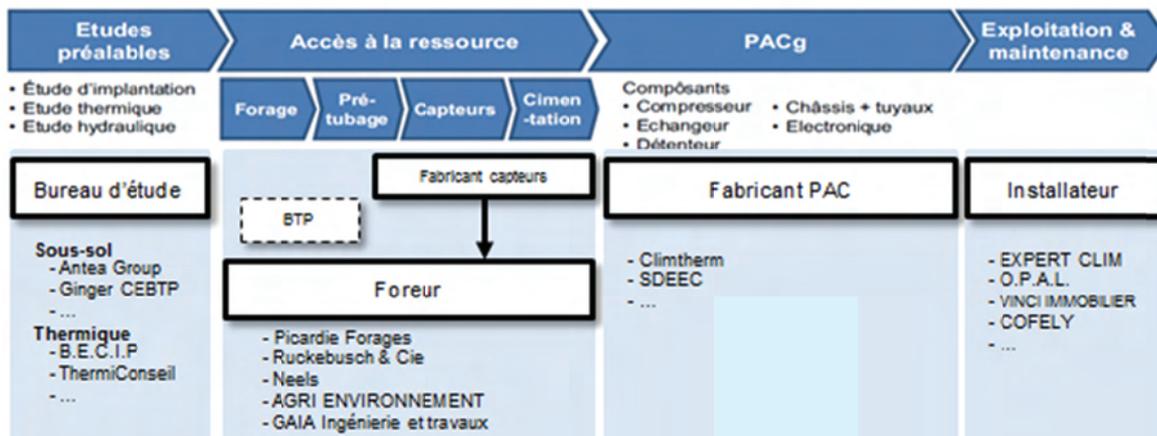


Figure 40 - Géothermie de très basse énergie - exemples d'acteurs et schématisation du positionnement (source : rapport « L'industrie des énergies décarbonées en 2010 » de la Direction Générale de l'Energie et du Climat - avec adaptation)

b) Chaîne de valeur et géothermie basse et moyenne énergie

Trois principaux types d'acteurs sont présents sur plusieurs étapes de la chaîne de valeur : le maître d'ouvrage (dans la plupart des cas une collectivité et/ou son délégataire selon le type de délégation), chef d'orchestre, a recours à 1) des bureaux d'études pour l'assistance à la maîtrise d'ouvrage, 2) à la maîtrise d'œuvre, ainsi que 3) à des exploitants de réseaux de chaleur dans le cadre de contrats de délégation de service public. A noter qu'une exploitation en régie peut se constater (cas où le MO est son propre exploitant).

Les études préalables de (pré) faisabilité sont systématiquement réalisées au départ d'un projet, et un grand nombre de bureaux d'études sous-sol & surface sont positionnés. En fonction du contrat avec le maître d'ouvrage, ces acteurs assurent également le suivi des travaux dans le cadre d'une maîtrise d'œuvre.

Deux principaux acteurs français se partagent aujourd'hui le marché des forages. Ils ont recours à des prestations de caractérisation du sous-sol (diagraphie) fournies par des sociétés comme SCHLUMBERGER, ayant acquis ces compétences dans la filière du pétrole.

L'exploitation des réseaux de chaleur géothermique est essentiellement assurée par des filiales de grands groupes français du domaine de l'énergie, tels que VEOLIA ou GDF SUEZ. Très souvent délégataire dans le cadre d'une délégation de service public (DSP), ils se fournissent auprès d'acteurs-fabricants spécialisés. La fabrication des différents composants d'un réseau de chaleur géothermique comme par exemple les pompes de production et de réinjection échappe à ce jour partiellement à la filière française.

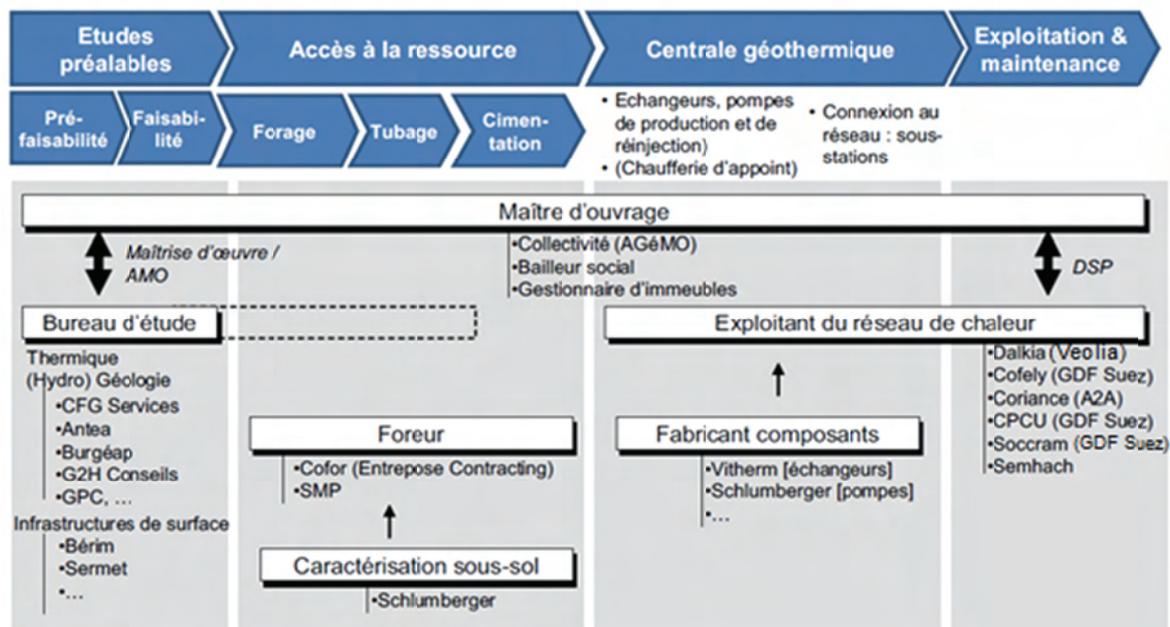


Figure 41 - Géothermie de basse et moyenne énergie - exemples d'acteurs et schématisation du positionnement (source : rapport « L'industrie des énergies décarbonées en 2010 » de la Direction Générale de l'Énergie et du Climat)

6.2.3. Méthodologie et sources exploitées pour le recensement des acteurs en Picardie

Une base de données a été établie dans le cadre de cette étude. Elle recense les différents acteurs intervenant dans la filière géothermique en Picardie. Certaines catégories d'acteurs étant peu nombreux en Picardie (foreurs, bureaux d'études spécialisés), nous avons étendu la recherche aux départements environnants (59, 62, 76, 51, ...).

La base a été constituée à partir des données issues :

- de la liste des membres de l'Association Française des Professionnels de la Géothermie (AFPG),
- des listes d'organismes ayant reçu les certifications QUALIFORAGE, QUALIPAC ou Qualit'EnR,
- de l'annuaire des membres de l'Association Française pour les Pompes à Chaleur (AFPAC),
- des contacts identifiés par la direction régionale de l'ADEME, de la DREAL et du Conseil régional de Picardie,
- des données de l'ONISEP et de la Mission d'information et d'orientation (MIO) du Conseil régional de Picardie,
- de l'annuaire des pages jaunes, des pages pro,...

En fonction de la disponibilité des données et de leur qualité, nous avons cherché à obtenir des informations sur les entreprises du secteur de la géothermie. En particulier, nous avons essayé de collecter les données suivantes :

- Profil de l'organisme
 - Typologie,
 - Localisation
 - Statut
 - Chiffre d'affaire et part liée à la géothermie
 - Effectif, catégories de personnel et part liée à la géothermie

- Contribution à la réalisation d'opérations géothermiques existantes en Picardie
 - Existence et nombre de projet de géothermie menés en Picardie
 - Caractéristique des projets
 - Puissance installés et coûts des opérations

- Perspectives en termes d'évaluation de l'activité et de l'emploi,
 - Opinion sur le développement de la filière géothermique en Picardie
 - Avis sur les perspectives de la filière en termes d'évaluation de l'activité et de l'emploi
 - Attentes en matière d'actions susceptibles de favoriser le développement de la filière

Pour ce faire, un questionnaire (Annexe 11) a été adressé par courrier à 127 acteurs potentiels de la filière qui avaient été préalablement identifiés, début juin 2012. Une relance téléphonique et par mail a été effectuée un mois après l'envoi du courrier.

6.2.4. Typologie des acteurs potentiels de la géothermie en Picardie

Parmi les 127 acteurs de la filière contactés, seuls 9 acteurs ont complétés tout ou en partie le questionnaire dont 5 ont été impliqué dans au moins un projet géothermique dans la région.

13 interlocuteurs ont indiqué être non concernés par la géothermie dont 6 installateurs de pompes à chaleur, 3 exploitant de réseaux de chaleur et 3 foreurs. 21 entreprises implantées en dehors de la région Picardie ont mentionné qu'elles n'avaient pas d'activité sur le territoire picard.

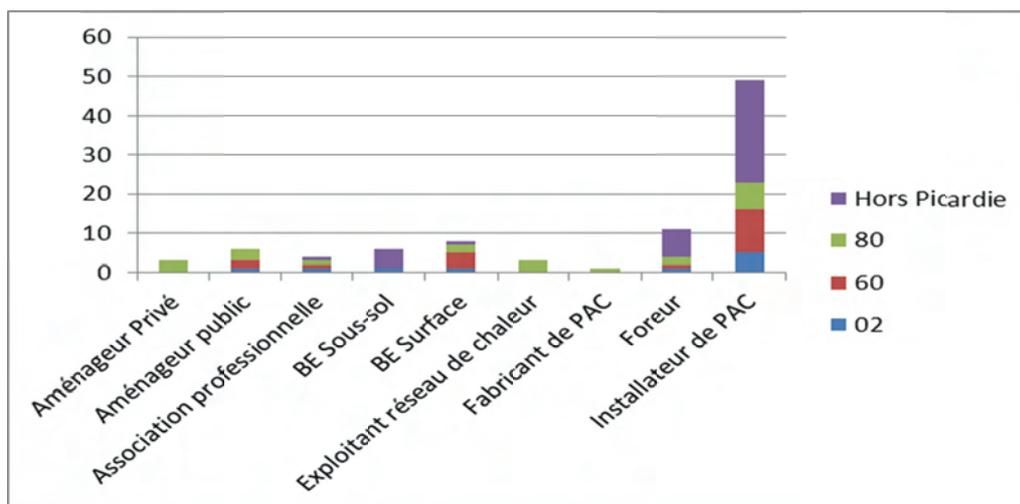


Figure 42 - Typologie des acteurs de l'offre potentielle en géothermie en Picardie

En Picardie, 91 d'acteurs ont donc été recensés pouvant potentiellement intervenir dans le domaine de la géothermie dont 40 sont localisés en dehors de la région. La notion de « potentialité » est nécessaire car il subsiste une grande incertitude sur les acteurs réellement impliqués dans la géothermie et sur la part réelle de celle-ci dans leurs activités. Ainsi, la quantification des opérations de géothermie est difficile à obtenir.

On constate une bonne représentation de la diversité des acteurs potentiels intervenant dans le secteur de la géothermie en Picardie, notamment les installateurs de pompes à chaleur et les bureaux d'étude surface. Malgré cela, on note la faiblesse du nombre de fabricants de pompe à chaleur, de bureau d'étude sous-sol et de foreurs spécialisés en Picardie.

On compte deux fois moins d'acteurs dans le département de l'Aisne que respectivement dans les départements de la Somme et de l'Oise.

a) Foreurs

Il existe de nombreux foreurs implantés sur le territoire français. Cependant, pour la plupart, les foreurs sélectionnés pour la base de données sont ceux présents en Picardie et dans les régions limitrophes qui présentent une démarche qualité. La liste de ces foreurs a été établie à partir de ceux qui adhèrent au label de qualité « Qualiforage », au SFE ainsi qu'à partir de ceux ayant signé en 2012 la Charte Qualité des forages d'eau su SFE.

Les foreurs adhérents à la démarche « Qualiforage » (54% des foreurs recensés) s'engagent notamment à réaliser des sondes géothermiques dans les « règles de l'art ». Il est à noter que depuis janvier 2011, la norme AFNOR NF X10-970 relative à la réalisation, la mise en œuvre, l'entretien et l'abandon des sondes géothermiques

verticales a été publiée. Ainsi, les foreurs ont l'obligation de réaliser leurs poses de sondes conformément à cette norme, et respecteront donc de facto les engagements demandés par la démarche « Qualiforage ».

On constate qu'il n'y a que deux foreurs en Picardie répondant aux critères de qualité choisis. Cela met en évidence le fait que bien qu'il y ait une dizaine de foreurs dans la région, ceux-ci ne sont que peu organisés autour d'une démarche qualité. Cette remarque peut être également étendue aux nombreux foreurs belges qui interviennent régulièrement sur le territoire régional et proposent la réalisation de forages à des prix très compétitifs.

Raison sociale	Dépt.	Statut	Qualification	Spécialité géothermie
Antea	02	Entreprise	-	Captage – Sondes
Picardie Forages	80	Entreprise	1	Captage
Ruckebusch & Cie	80	Entreprise	1 - 2	Captage
Neels	60	S.A.R.L.	-	-
FOREM	95	Entreprise	1	Captage
UNISOL	78	S.A.S	2 - 3	Captage
COTRASOL	78	S.A.	1 - 3	Captage
FORENSOL – JIE Groupe	91	Entreprise	1 - 2 - 3	Captage – Sondes
SADE	75, 59	Entreprise	1 - 2 - 3	Captage – Mer
Raffner Frères	55	S.A.S.	1 - 2	Captage
For&Tec	76	S.A.S	2	Captage – Sondes
PONTIGNAC	59	S.A.R.L.	2	-
Boniface-51	51	S.A.R.L.	1 - 2 - 3 - 4	Captage – Sondes

1 : Charte de qualité des puits et forages d'eau par le SFE

2 : Agrée QUALIFORAGE par le BRGM et l'ADEME

3 : Norme AFNOR

4 : Membre de l'AFPAC (Association Française pour les Pompes A Chaleur)

Tableau 5 - Liste des foreurs implantés en Picardie et dans les régions limitrophes (non exhaustif)

b) Bureaux d'études

Les bureaux d'études thermiques « surface » et les bureaux d'études sur le sol/sous-sol ont été recensés à partir de différentes bases de données disponibles au BRGM concernant la filière géothermique.

Les bureaux d'études sol/sous-sol sont faiblement représentés dans la région.

A l'issue du dépouillement de l'enquête, Il est assez difficile d'obtenir des données sur l'implication réelle de ces bureaux d'études dans des opérations de géothermie et leurs détails. Seuls deux d'entre eux nous ont répondu pour six opérations.

Les bureaux d'études thermiques installés en Picardie sont bien représentés. Cette prédominance des bureaux d'études thermiques par rapport aux bureaux d'études sol/sous-sol est normale. Elle s'explique par le fait que ces derniers travaillent sur des thématiques spécialisées et demandent de ce fait des compétences techniques particulières les rendant donc plus inhabituelles dans le domaine des études en lien avec le bâtiment.

Raison sociale	Dépt.	Spécialité
Antea Group	02	Evaluation des ressources en eau souterraine, élaboration des dossiers réglementaires, étude hydrogéologique de faisabilité,...
Ginger CEBTP	80	Reconnaissance par forages et sondages carottés, essais et mesures piézométriques, étude hydrogéologique de faisabilité,...
ARCHAMBAULT CONSEIL	92	Recherche et exploitation des eaux souterraines, exploitation géothermique des eaux souterraines, exploitation géothermique du sous-sol
GEOETHER – JIE Groupe	91	MO de conception: Conception et réalisation des sondages de reconnaissance et des forages de production et de réinjection, modélisation des écoulements souterrains et des panaches thermiques, études hydrogéologiques
FOREM	95	Recherche et exploitation des eaux souterraines, études hydrogéologiques, dossiers administratifs selon code de l'environnement et code minier
UNISOL	78	Etudes hydrogéologique de préfaisabilité et de faisabilité

Tableau 6 - Liste des bureaux d'études sous-sol implantés en Picardie et dans les régions limitrophes (non exhaustif)

Raison sociale	Dépt.	Spécialité
Antea Group	02	Validation des besoins énergétiques, conception et réalisation de dispositifs avec PAC
Siretec ingénierie	02, 60	AMO, études thermiques, énergies alternatives, qualité environnementale
ThermiCONSEIL	80	Bureau d'étude thermique RT 2005, RT 2012, BBC Effinergie, économie d'énergie
Climtherm (GAIA forage)	80	Energies renouvelables, maîtrise d'énergie, études thermiques, audits énergétique, MO
C.E.T. KELVIN	80	MO et exécution, études thermiques bâtiment RT 2005 Label BBC
J P R Ingénierie	60	Diagnostics thermiques et énergétique, AMO
B.E.C.I.P.	60	Bureau d'études techniques du bâtiment, études thermiques (chauffage, ventilation, climatisation)
Cabinet Antoine BARBET	60	Bureau d'étude thermique, Calcul réglementaire RT 2005 - RT 2012, certification BBC
Etudes et Mesures Philippe Berlandier SARL	44	Bureau d'étude thermique, Analyses, essais et inspections techniques.

Tableau 7 - Liste des bureaux d'études thermiques « surface » implantés en Picardie et dans les régions limitrophes (non exhaustif)

c) Fabricants de pompes à chaleur

Les fabricants de pompe à chaleur disposant une usine d'assemblage en France sont peu nombreux. En utilisant la liste de l'association française des pompes à Chaleur (AFPAC) et en croisant les informations sur les sites internet de ces entreprises, on recense 16 sites à l'échelle de toute la France. Ce recensement est non exhaustif car la distinction entre les fabricants et les distributeurs est malaisée. De plus, le secteur est en restructuration, ce qui fait que la liste ne constitue qu'une photographie à la date de rédaction du rapport.

Seule la société industrielle AUER implantée à Feuquières-en-Vimeu a été identifiée en tant que fabricant de pompe à chaleur (haute température) Air/Eau et Eau/Eau en Picardie. Cette entreprise est également spécialisée dans la fabrication de chaudières (fioul, gaz et électriques), de radiateurs et inserts et de systèmes pour le chauffage collectif. Elle compte environ 200 salariés sur son site de production picard.

Raison sociale	Dé pt.	Spécialité
Auer	80	Fabricant PAC
Alpha-InnoTec	67	Fabricant PAC Géothermie
CIAT	73	Fabricant PAC Aérotherme et Géothermie
France Géothermie	38	Fabricant PAC Géothermie
Géothermie Confort	56	Fabricant PAC Géothermie
THERMATIS TECHNOLOGIES – SOFATH (DE DIETRICH)	26	Fabricant PAC Géothermie
Wavin Système Climasol	44	Fabricant PAC Géothermie
Airmat	40	Fabricant PAC Aérotherme
Airwell	78	Fabricant PAC Aérotherme
Ajtech	44	Fabricant PAC Aérotherme et Géothermie
AIRPAC International	35	Fabricant PAC Aérotherme et Géothermie
AMZAIR	29	Fabricant PAC Aérotherme et Géothermie
Groupe Atlantic	85	Fabricant PAC Aérotherme et Géothermie
Groupe Danfoss AVENIR ENERGIE SAS	26	Fabricant PAC Aérotherme et Géothermie
Bosch Thermotechnologie SAS (ex. Buderus Chauffage SAS)	67	Fabricant PAC
SANDEN Manufacturing Europe	35	Fabricant PAC

Tableau 8 - Liste des fabricants de PAC implantés en Picardie et en France (non exhaustif)

Sans doute en raison des difficultés d'accès à l'information, aucun fabricant de composants pour les pompes à chaleur n'a pu être précisément identifié en Picardie.

d) Installateurs de pompes à chaleur

Les installateurs de pompes à chaleur ont été recensés par dépouillement des entreprises qualifiées Quali'EnR /Quali'PAC et les pages jaunes. Elles sont largement représentées en Picardie et dans les régions limitrophes. On en dénombre 49 dont 23 en Picardie. Le recensement des entreprises dans ce secteur n'est pas exhaustif car de nouvelles entreprises sont régulièrement qualifiées.

Ainsi, le label « QualiPAC » à destination des installateurs de pompes à chaleur (aérothermie et/ou géothermie), anciennement géré par l'Association Française pour les pompes à chaleur - AFPAC -, est délivré par Quali'EnR. Ce label repose sur 10 engagements vis-à-vis du client, un cursus de formation des installateurs, des conditions d'entrée et d'exclusion (avec audit annuel), la proposition de produits NF PAC et un suivi qualité des réalisations. 80 % des installateurs identifiés possède cette qualification.

A partir du 1^{er} janvier 2014, les Pouvoirs publics souhaitent lier l'attribution des aides publiques (crédit d'impôt, éco-prêt à taux zéro, etc.) à la qualification des professionnels.

L'analyse des acteurs au regard de leur chiffre d'affaire et de leur nombre d'employés n'a pu être réalisée en raison des difficultés d'accès à des données fiables et comparables. Ces entreprises sont néanmoins souvent de petite taille, comptant quelques salariés.

Ces entreprises artisanales sont plutôt spécialisées dans l'installation de pompes à chaleur air/eau (aérothermie) ou sur échangeurs géothermiques horizontaux.

Raison sociale	Dépt.	Qualification
Arnaud Plaskowski	02	
Chauffage Centrale CTS	02	Qualit'EnR /Quali'PAC
Jean Jacques Thuillier	02	
Patrice Rousseau	02	
Xavier Gtech	02	Qualit'EnR /Quali'PAC
AC CLIM	60	Qualit'EnR /Quali'PAC
Alpha Tech (SARL)	60	
Demonchy fils	60	Qualit'EnR /Quali'PAC
DESCAMPS SARL	60	Qualit'EnR /Quali'PAC
DG Climatique	60	Qualit'EnR /Quali'PAC
Ets QUERTELET	60	
HUIS CLOS REGION PICARDIE	60	Qualit'EnR /Quali'PAC
MELDOISE/LECLERE	60	Qualit'EnR /Quali'PAC
SARL ADCE La Maison du Chauffage	60	Qualit'EnR /Quali'PAC
Sé+	60	Qualit'EnR /Quali'PAC
SMG Énergies	60	Qualit'EnR /Quali'PAC
AP2C	80	Qualit'EnR /Quali'PAC
CSC Confort	80	Qualit'EnR /Quali'PAC
DERUME François	80	Qualit'EnR /Quali'PAC
Eric WATBLED EUURL	80	Qualit'EnR /Quali'PAC
Établissement Legué	80	Qualit'EnR /Quali'PAC
Gosset (Ets)	80	
SARL Vechart	80	Qualit'EnR /Quali'PAC
AC Forage	10	
Enalsa	26	
Vivréco Champagne	51	
AMANA Chauffage	59	Qualit'EnR /Quali'PAC
ATMOSPHERE ENERGIE SANITAIRE	59	Qualit'EnR /Quali'PAC
AVENIR PRO CLIM	59	Qualit'EnR /Quali'PAC
BIO-ENER J.	59	Qualit'EnR /Quali'PAC
ENERGIDEAL	59	Qualit'EnR /Quali'PAC
ETS DOMINIQUE HUYGHE	59	Qualit'EnR /Quali'PAC
Nord Chauffage Services	59	Qualit'EnR /Quali'PAC
SARL BEGHIN FONTAINE	59	Qualit'EnR /Quali'PAC
SARL PLUCAIN	59	Qualit'EnR /Quali'PAC
A.T.E.C.	62	Qualit'EnR /Quali'PAC
AEROELEC	62	Qualit'EnR /Quali'PAC
AG FROID 62	62	Qualit'EnR /Quali'PAC
AIR CLIMATISATION	62	Qualit'EnR /Quali'PAC
EUURL BOUDRINGHIN	62	Qualit'EnR /Quali'PAC
EURO Chauffage Sanitaire	62	Qualit'EnR /Quali'PAC
HUIS CLOS REGION NORD PAS DE CALAIS	62	Qualit'EnR /Quali'PAC
PERNES CHAUFFAGE ROPITAL SARL	62	Qualit'EnR /Quali'PAC
SARL GEOSOL AIR	62	Qualit'EnR /Quali'PAC
ALTHERM	76	Qualit'EnR /Quali'PAC
CAUCHY ENTREPRISE	76	Qualit'EnR /Quali'PAC
GEOtherMIQUE 27	76	Qualit'EnR /Quali'PAC
PAC AVENIR	76	Qualit'EnR /Quali'PAC
SARL GODEFROY Fils	76	Qualit'EnR /Quali'PAC

Tableau 9 - Liste des installateurs de PAC implantés en Picardie et dans les régions limitrophes (non exhaustif)

e) Autres acteurs (aménageurs, exploitants de réseaux de chaleur, associations,...)

Certains acteurs susceptibles être des donneurs d'ordre ou maître d'ouvrage dans la filière géothermique régionale ont été identifiés :

- les aménageurs privés (promoteurs) ou publics (bailleurs sociaux) en tant que maîtres d'ouvrage potentiels ;
- les exploitants de réseaux de chaleur en tant que maîtres d'œuvres ou prescripteurs techniques potentiels ;
- et l'association Conseil Architecture Urbanisme Environnement des trois départements picards pour une assistance en conseils et accompagnement auprès des maîtres d'ouvrages et plus particulièrement des communes.

Raison sociale	Dépt	Spécialité
EIFFAGE	80	Aménageur Privé
NEXITY	80	Aménageur Privé
VINCI IMMOBILIER	80	Aménageur Privé
O.P.A.L. (Offices Publics de l'Habitat Aisne et Laon)	02	Aménageur public
Agence de développement et d'urbanisme de Creil	60	Aménageur public
OPAC de l'Oise	60	Aménageur Public
Agence de développement et d'urbanisme du grand amiénois	80	Aménageur public
OPAC (Office Public de l'Habitat d'Amiens)	80	Aménageur Public
SIP (Société Immobilière Picarde)	80	Aménageur Public
CAUE (Conseil Architecture Urbanisme Environnement) de l'Aisne	02	Association professionnelle
CAUE (Conseil Architecture Urbanisme Environnement) de l'Oise	60	Association professionnelle
CAUE (Conseil Architecture Urbanisme Environnement) de la Somme	80	Association professionnelle
DALKIA	80	Exploitant réseau de chaleur
VINCI Facilities	80	Exploitant réseau de chaleur
COFELY	80	Exploitant réseau de chaleur

Tableau 10 - Liste des aménageurs, exploitants de réseaux de chaleur et autres acteurs implantés en Picardie (non exhaustif)

6.3. ETAT DE LIEUX DE L'OFFRE DE FORMATIONS PROFESSIONNELLES INITIALES ET CONTINUES EN GEOTHERMIE EN PICARDIE

6.3.1. Les métiers spécifiques de la filière géothermique

Différents types de métiers interviennent dans les métiers des énergies renouvelables : de la recherche et développement à la fabrication et distribution (filière industrielle), mais aussi de l'information et sensibilisation, études et dimensionnement à l'installation et maintenance d'équipements chez l'utilisateur final. Cependant, la croissance des emplois dans les activités dans ce secteur résulte en grande partie du « verdissement » des emplois, par transfert de la fabrication, la distribution, l'installation et la maintenance d'équipements standards vers celle des équipements plus performants. Les besoins en termes d'emploi concernent les ingénieurs, les chefs de projet et les techniciens, mais aussi des commerciaux et des conseillers.

Dans une certaine mesure, les activités en lien spécifique avec la filière géothermique sont analogues à celles habituelles qui sont réalisées dans le génie civil, l'ingénierie thermique, l'ingénierie électrique, la gestion de projets et le développement commercial.

Toutefois, certains postes sont très spécifiques à l'industrie géothermique, comme :

- Responsable de production « pompes à chaleur ».

Il développe une gamme de « pompes à chaleur » chez un fabricant, de la conception à la réalisation, en ayant réalisé au préalable une étude de marché. Il assure aussi la conception et la réalisation d'études d'impacts environnementaux et économiques des installations. Il possède un diplôme d'ingénieur ou technicien « génie climatique ».

- Ingénieur géothermicien

L'ingénieur géothermicien identifie des zones souterraines qui « stockent » de l'énergie et explore les sous-sols pour estimer la quantité d'énergie exploitable. Il évalue les possibilités de rendement énergétique, pour réaliser la construction d'installations d'exploitation, par exemple selon la profondeur de la nappe phréatique et sa température. Il possède un diplôme d'ingénieur ou de technicien « géologie » ou « hydrogéologie » ; master « énergie électrique et développement durable » ; master « énergie fluides et environnement » ; master européen des « énergies durables »... Il peut être employé dans un bureau d'études, un laboratoire, entreprise du BTP, ou en indépendant

- Technicien foreur

Le foreur est chargé de réaliser un ouvrage de forage afin de, notamment, pouvoir pomper les eaux des nappes ciblées ou implanter des sondes géothermiques. Il doit réaliser un programme de forage établi précédemment par l'ingénieur géothermicien, dans un diamètre et à une profondeur préalablement définis. Le foreur adapte ses

actions aux informations dont il dispose. Il est capable de travailler, en déduisant du fonctionnement de la machine (paramètres) ce qui se passe dans le sous-sol.

Après le percement du forage proprement dit, le foreur équipe le forage. Les foreurs ont souvent une formation initiale de mécaniciens. Jusqu'à présent, l'apprentissage était peu organisé. On devenait foreur "sur le tas". A noter que le Syndicat national des entrepreneurs de puits et de forages d'eau (SFE) est en train de mettre en place des formations, afin de valider les compétences des foreurs actuellement en poste et, à terme, de pouvoir dispenser une formation initiale au métier de foreur. Il est employé par des sociétés de forage.

- Installateur thermique et climatique

L'installateur thermique et climatique gère la chaleur issue des sous-sols afin qu'elle soit utilisée sous forme de chauffage ou de climatisation au sein d'habitations individuelles. Il dessine les plans (emplacement des appareils, tuyauteries...), pose les équipements, vérifie les installations et explique leur fonctionnement au client. Il possède a minima un CAP « installateur thermique » ou un Bac pro « technicien de maintenance des systèmes énergétiques et climatiques, spécialisation nouvelles énergies ». Il est employé dans une PME d'installation de chauffage thermique, collectivité, ou indépendant.

6.3.2. Formations initiales

Des formations en lien avec les énergies renouvelables sont présentes en Picardie, en particulier en relation avec le secteur du bâtiment (Annexe 12 - Flyer de promotion des métiers verts du bâtiment). La plupart de ces formations débouchent sur des métiers de chauffagistes, électriciens, couvreurs, techniciens et ingénieur en génie climatique.

Ces formations sont des formations initiales dispensées dans les centres d'apprentissage, les lycées professionnels, les universités, les écoles d'ingénieurs et autres structures éducatives. Sans détailler le contenu des enseignements dispensés, on retiendra que les organismes identifiés sont potentiellement concernés par la connaissance du fonctionnement des pompes à chaleur et leur installation, plus marginalement par la géothermie. Le recensement des formations a été réalisé en collaboration de l'ONISEP Picardie, la Mission d'Information et Orientation (MIO) du Conseil régional de Picardie et le CODEM Picardie (Centre de transfert, de connaissances et de ressources, dédié à la construction durable et aux éco-matériaux).

Le spectre des personnes formées est large car le niveau d'étude des participants auquel s'adressent ces formations est varié. Il s'étend du CAP (niveau de formation 5) au diplôme d'ingénieur (niveau 1), en passant par le bac professionnel (niveau 4), BTS/ DUT et la licence professionnelle (niveau 3).

Sur l'année scolaire 2011-2012, plus de 400 élèves ont été formés dans des spécialités susceptibles d'être en contact avec des installations géothermiques. Parmi les spécialités enseignés, on retrouve l'installation et la maintenance d'équipements

sanitaires menant au métier de plombier (101 élèves) et thermiques conduisant aux métiers de frigoriste et thermicien (156 élèves), le génie climatique formant des techniciens ou ingénieurs concepteurs d'installations climatiques ou de chauffage (99 élèves) et la géologie formant des ingénieurs géologues (81 élèves).

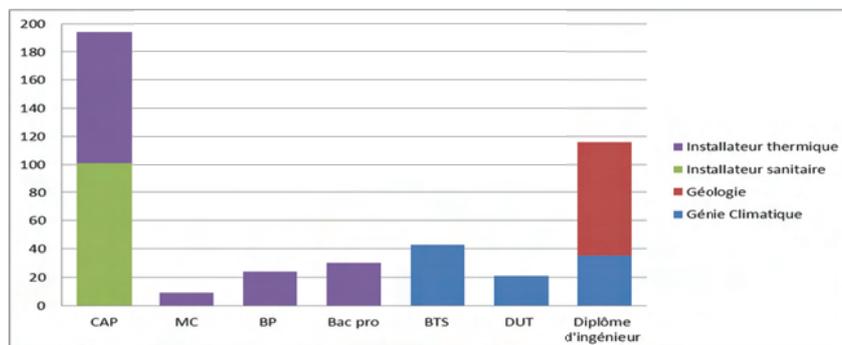


Figure 43 - Nombre d'élèves par spécialité dans les domaines touchant à la géothermie et type de formation en Picardie

En particulier, il est constaté l'absence de formation propre au forage géologique de niveaux 5 à 3. Au niveau national, un besoin de formation et de qualification professionnel des ouvriers et techniciens de forage a été identifié.

De même, or quelques formation licences pro qui disposent d'une option de sensibilisation à la géothermie, il n'existe pas au niveau national de formation de « géothermicien » de niveaux 1 à 3 qui est à la croisée de plusieurs disciplines (hydrologie, hydrogéologie, thermique, électrique et électronicien notamment). Il s'agit de former des techniciens spécialisés dans le montage technique de projets géothermiques.

A noter, l'initiative mise en œuvre par l'ADEME en Picardie, le Conseil régional de Picardie, le Rectorat de l'Académie d'Amiens et le CoDEM Picardie de doter 12 établissements (lycées professionnel et CFA) de plateforme pédagogiques PAC air/eau (aérothermie). L'enseignement se base sur réseau de 26 enseignants-formateurs sur la PAC (cf. Annexe 13). Cependant, aucune des PAC installées n'est à ce jour reliée à un forage géothermique.

Formation	Diplôme	Durée	Structure/Lieu en Picardie		Dép.	Effectif 2011/2012 (source : CR)
			Lycée	Apprentissage		
CAP "Installateur sanitaire"	CAP	2 ans	- LP Colard Saint-Quentin (02) - Lycée des métiers Jean-Baptiste Corot, Beauvais (60) - LP Amyot d'Inville, Senlis (60) - LP de l'Acheuléen, Amiens (80) - LP Boucher de Perthes, Abbeville (80)	CFA du bâtiment et des travaux publics, Laon (02) - CFA du bâtiment de l'Oise, Agnetz (60) - CFA du bâtiment et des travaux publics, Amiens (80)	02,60,80	101
CAP "Installateur Thermique"	CAP	2 ans	Lycée des métiers Jean-Baptiste Corot, Beauvais (60) - LP Amyot d'Inville, Senlis (60) - LP de l'Acheuléen, Amiens (80) - Lycée des métiers Le Corbusier, Soissons (02)	CFA du bâtiment et des travaux publics, Laon (02) - CFA du bâtiment de l'Oise, Agnetz (60) - CFA du bâtiment et des travaux publics, Amiens (80)	02,60,80	93
Mention complémentaire "Maintenance en équipement thermique individuel"	Post CAP	1 an	LP de l'Acheuléen à Amiens	BTP-CFA Aisne de Laon	02, 80	9
Brevet professionnel "Monteur en Installations de génie climatique"	Brevet professionnel	2 ans	-	BTP-CFA Aisne de Laon	02	24
Bac pro "Technicien en installation des systèmes énergétiques et climatiques"	Bac pro	3 ans	Lycée des métiers Le Corbusier, Soissons (02) - Lycée des métiers Jean-Baptiste Corot, Beauvais (60) - LP Amyot d'Inville, Senlis (60) - Lycée des métiers de l'Acheuléen, Amiens (80)	-	02,60,80	NR
Bac pro "Technicien en maintenance des systèmes énergétiques et climatiques"	Bac pro	3 ans	LP Colard Noël, Saint-Quentin (02) - LP Amyot d'Inville, Senlis (60) - Lycée des métiers de l'Acheuléen, Amiens (80) - Lycée des métiers La Providence, Amiens (80)	Lycée des métiers de l'Acheuléen, Amiens (80) : en 1ère et terminale - CFAI Oise - Proméo Formation, Senlis (60)	02,60,80	15 (NR à Senlis)
Bac pro "Technicien du froid et du conditionnement de l'air"	Bac pro	3 ans	Lycée des métiers Jean Macé, Chauny (02) - LP Roberval, Breuil-le-Vert (60)	Lycée des métiers Jean Macé, Chauny (02) avec le CF3A : en 1ère et terminale. - Lycée La Providence, Amiens (80) avec le CFA Jean Bosco : en 1ère et terminale.	02,60,80	15
Bac techno STI2D : Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable spécialité énergies et environnement	Bac pro	2 ans (première, terminale)	<ul style="list-style-type: none"> • Lycée Boucher de Perthes à Abbeville (80) • Lycée Condorcet (Lycée) à Saint-Quentin (02) • Lycée Edouard Branly à Amiens (80) • Lycée Jean Macé (Lycée) à Chauny (02) • Lycée Jean Monnet à Crépy-en-Valois (60) • Lycée Jean Racine à Montdidier (80) • Lycée Jean-Baptiste Delambre à Amiens (80) • Lycée Joliot Curie à Hirson (02) • Lycée Jules Verne à Château-Thierry (02) • Lycée Léonard de Vinci (Lycée) à Soissons (02) • Lycée Marie Curie à Nogent-sur-Oise (60) • Lycée Paul Langevin à Beauvais (60) • Lycée Pierre Méchain (Lycée) à Laon (02) • Lycée Pierre Mendès France à Péronne (80) • Lycée des métiers La Providence, Amiens (80) 	-	02,60,80	NR
Mention complémentaire "Technicien en énergie renouvelables", option A énergies électriques	Post Bac pro	1 an	Option A : LP de la Providence (80)	-	80	NR

Tableau 11 - Liste des formations de niveaux 5 (CAP) et 4 (Bac pro) en Picardie

Formation	Diplôme	Durée	Structure/Lieu en Picardie		Dép.	Effectif 2011/2012 (source : CR)
			Lycée / Université	Apprentissage		
BTS "Fluides, énergies, environnements option B : génie climatique"	BTS	2 ans	- LP Amyot d'Inville, Senlis (60)	-	60	NR
BTS "Fluides, énergies, environnements option C : génie frigorifique"	BTS	2 ans	-	- Lycée des métiers La Providence, Amiens 80 (avec le CFA Jean Bosco) - Lycée Jean Macé, Chauny 02	02, 80	30
BTS "Fluides, énergies, environnements, option D : maintenance et gestion des systèmes fluidiques et énergétiques"	BTS	2 ans	-	- Lycée des métiers La Providence, Amiens 80 - CFAI Oise - Promeo Formation, Senlis 60	60,80	13
BTS "Enveloppe du bâtiment"	BTS	2 ans	-	- Lycée Edouard Branly, Amiens (80)	80	NR
Licence "Coordinateur technique en intégration des énergies renouvelables"	Licence	1 an	CNAM Picardie			80
Licence professionnelle "Energies renouvelables, efficacité énergétique"	Licence	1 an	UPJV			80
DUT "Génie Civil option maîtrise énergétique et environnementale"	DUT	2 ans	IUT d'Amiens (80)			80
Ingénieur en génie énergétique du bâtiment	Diplôme d'ingénieur		ESIEE Amiens (80)			80
Ingénieur de l'institut polytechnique Lasalle Beauvais spécialité Géologie	Diplôme d'ingénieur		Lasalle Beauvais à Beauvais (60)			60

Tableau 12 - Liste des formations de niveaux 3 (BTS, DUT, licence pro.) et 1 (supérieur à la maîtrise) en Picardie

6.3.3. Formations continues

Les formations continues sont dispensées par des organismes à des professionnels du secteur ou à des personnes moins initiées. A notre connaissance, aucun organisme de formation en Picardie ne dispense ce type de formation auprès des professionnels.

Les acteurs proposant des offres de formation continue en lien avec la géothermie sont peu nombreux et ont des statuts divers : des entreprises (SOCOTEC, COSTIC, TERRA ENERGIE,...), des organismes publics (ADEME, CSTB, École des Mines,...), des établissements publics (BRGM, CETE,) et des associations (Qualit'EnR, AFPG,...).

6.4. ETAT DES OPERATIONS EXISTANTES

Suite au dépouillement de l'enquête auprès des professionnels, seuls 5 entreprises ont mentionnées leur participation à des projets géothermiques sur le territoire picard ces dernières années. Les tableaux suivants présentent les 17 cas recensés. D'autres opérations ont été réalisées et mises en service mais il n'en existe pas de recensement en dehors des déclarations administratives réalisées auprès de la DREAL (cf. chapitre 6.1.1 - Installations recensées)

Les opérations pour lesquelles une demande de garantie AQUAPAC a été demandée sont au nombre de 2 en Picardie, ce qui est très faible à comparer à d'autres régions limitrophes. Ces opérations sont les suivantes :

- Centre scolaire de la commune à Saint-Omer-en-Chaussée (60) – dossier déposé en 2011.
- Domaine hôtelier Les Fontaines à Gouvieux (60) - de dossier déposée en 2009.

Il est à signaler que le rôle du bureau d'études sous-sol est essentiel pour recommander au maître d'ouvrage de mettre en œuvre une procédure AQUAPAC, en particulier pour la phase « recherche » lorsqu'il y a doute sur la disponibilité de la ressource.

Maître d'Ouvrage	Info. MO					Info. acteurs et avancement			Info. Techniques					
	Commune	Dénomination	Motivations initiales	Type de bâtiments	Coût opération (k€)	Bilan/difficultés	AMO	BE SS-SOL	BE Thermiques	Avancement	Ressource	Débit de pompage (m3/h)	Utilisation (Chauffage/Clima)	Puissance chauffage (kW)
Bonasis Milton	Baron (60)	Serres pour horticulture	Économies	Serres horticoles	Étude matériel et installation : 190 k€ Forage : 23 k€				Installation PAC : Ets Le gué	Terminée	Eau Sout.	42	Chauffage	
CARPEMINI	Gouvaux (80)	Domaine les Fontaines		Centre hôtelier				GZH conseils / FOREM	COFALY	Terminé		60	Chauffage/ Climatisation	
EFFAGE	Amiens (80)	Construction d'un siège régional		Tertiaire	Environ 3,2 k€ HT (test de réponse thermique)	Organisation de la conception, problèmes de réglementation		ECOME / PONTIGNAC	CLIMTHERM	Terminé	Sondes			
PACT ADRIM	Martonneville (80)	Réhabilitation 8 logements locaux		Logement local	Environ 40 k€ HT (test de réponse thermique, dimensionnement et réalisation de 5 sondes)	Dimensionnement théorique faux (50W/m)		ECOME / PONTIGNAC		Terminé	Sondes			
ABMIS	Abbeville (80)	Construction d'un centre pour la médecine du travail		Tertiaire	Environ 60 k€ HT (test + dimensionnement + réalisation de 7 sondes)	Dimensionnement théorique faux (50W/m) Coût estimatif faible. Méconnaissance de l'entreprise générale		ECOME / PONTIGNAC	CLIMTHERM	Terminé	Sondes			
FM LOGISTIC	Reons-sur-Matz (60)	Construction d'une plateforme logistique	Économie d'exploitation	Industriel (stockage, ateliers, bureaux)	Environ 120 k€ HT (test de réponse thermique, dimensionnement et réalisation de 5 sondes)	Mauvais choix au départ (géothermie horizontale), Montage de l'opération en amont. Compréhension de la technologie.	ECOME	ECOME / MCF		En cours	Sondes			
Commune	Breteuil (60)		Économies	Musée	150 k€	Aucune			Installation PAC : Ets Le gué	Terminé	Eau Sout.	14	Chauffage	2x40
Particuliers	Nollet (80)			Logement individuel	60 k€	Aucune			Installation PAC : Ets Le gué	Terminé		8	Chauffage	52
Particuliers	Picquigny (80)			Logement individuel	30 k€	Aucune			Installation PAC : Ets Le gué	Terminé		8	Chauffage	40
Particuliers	Cagny (80)			Logement individuel	20 k€	Aucune			Installation PAC : Ets Le gué	Terminé		3,5	Chauffage	20
Particuliers	Vers sur Selles (80)			Logement individuel	10 k€	Aucune			Installation PAC : Ets Le gué	Terminé		3,5	Chauffage	25
Particuliers	La Morlaye (60)			Logement individuel	50 k€	Aucune			Installation PAC : Ets Le gué	Terminé		4	Chauffage	36
Particuliers	Comon (80)			Logement individuel	25 k€	Aucune			Installation PAC : Ets Le gué	Terminé		3,5	Chauffage	15
	Amiens (80)	SCCV VIRIDIS	Économies	Logement collectif	300 k€		EMPB	Etudes et Mesures Philippe Beaudier	CLIMTHERM	Forage en cours (13/05/2012)	Eau Sout.	78	Chauffage	500
SAIP	Péronne (80)	Réhabilitation d'un immeuble Logement social	Réduction des charges des locataires	Logement collectif		Financement		ECOME	ECOME	Étude de préféabilité	Eau Sout.			
	Amiens (80)							GOTHER/ Picardie Forage ANTEA/ Picardie Forage	Non déterminé	Étude de préféabilité	Eau Sout.	2 x 10	Chauffage/ Climatisation	160 kW
	Amiens (80)							Picardie Forage		Étude de préféabilité	Eau Sout.	3 x 100		

Tableau 13 - Liste des projets recensés en Picardie

6.5. EXPLOITATION DES INFORMATIONS ISSUES DU QUESTIONNAIRE

6.5.1. La motivation

Les motivations des intervenants qu'ils expriment ou qu'ils pourraient exprimer au moment du choix d'un projet incluant de la géothermie concernent :

- principalement les économies d'énergie et la réduction des charges d'exploitation du bâtiment,
- une énergie renouvelable, qui contribue à la lutte contre le réchauffement climatique (évite le rejet de CO₂) et qui contribue à l'indépendance énergétique,
- une énergie propre énergie propre avec très peu de nuisances (pas d'odeur, bruit,...),
- la possibilité de bénéficier d'avantages fiscaux ou d'aides/subventions,
- la réglementation thermique des bâtiments neufs et/ou rénovation (bâtiments basse consommation),
- la communication autour d'un projet innovant et utilisant une énergie durable.

Les projets sont le fait de maîtres d'ouvrage aussi bien publics que privés. La volonté de construire un bâtiment économe en énergie est à ce jour déterminante.

6.5.2. Types de bâtiments et/ou d'usage

L'utilisation de cette énergie est appliquée à plusieurs types d'usage et/ou de bâtiments, principalement en construction neuve même si la rénovation n'est pas négligeable :

- logements, y compris habitat collectif,
- établissements recevant du public (musée, administration,...),
- établissements scolaires,
- bâtiments tertiaires,
- bâtiments industriels ou agricoles.

Les usages concernent majoritairement le chauffage (dont ECS éventuellement) à l'exception des gros projets où sont couplés le chauffage et la climatisation ou le rafraîchissement.

6.5.3. Coût de l'opération

Les coûts des différentes phases ne sont pas souvent disponibles tant ils sont intégrés au budget global de l'opération et difficilement extractibles de ces budgets. Ils varient de 10 k euros à 300 k euros en fonction de la taille du projet et s'ils incluent ou non les

dispositifs de distribution du flux de chaleur dans le bâtiment (convecteur/radiateur, système de climatisation, raccords, ...).

6.5.4. Bilan et principales difficultés rencontrées

Le bilan est difficile à établir car il s'agit de projets récents (moins de 5 ans de durée de vie). Les retours sont globalement positifs, en particulier concernant les petites installations.

Les principales difficultés évoquées par les acteurs sont liées :

- à la méconnaissance ou à la compréhension erronée du maître d'ouvrage vis-à-vis du fonctionnement des installations géothermiques,
- aux études de dimensionnement se basant sur :
 - un flux thermique mal évalué pour des champs de sondes,
 - une sous ou sur estimation de la productivité des ouvrages,
 - une évaluation erronée des besoins de chauffage/climatisation du bâtiment.
- à de mauvais choix technique à l'origine du projet,
- au coût estimatif de l'opération trop faible,
- à un mauvais asservissement du système de régularisation thermique du bâtiment,
- à des difficultés et complexités des démarches administratives,
- à la méconnaissance ou à la complexité du mécanisme de garantie AQUAPAC.

6.5.5. La ressource

La ressource sur nappe superficielle est prépondérante. Les sondes verticales ont néanmoins tendance à se développer.

Les débits pompés dans les aquifères sont très variables entre 3,5 m³/h pour alimenter des PAC de logements individuels à plus de 60 m³/h pour alimenter des PAC de logements collectifs ou d'infrastructure hôtelière.

6.6. DIAGNOSTIC DES ACTEURS DE LA GEOTHERMIE EN PICARDIE

Suite au recensement des acteurs potentiels de l'offre de géothermie en Picardie, il ressort les éléments de diagnostic suivants :

- Le secteur de la géothermie en Picardie est peu structuré ; ce qui induit une grande difficulté pour recenser les acteurs présentant effectivement une offre dans le domaine de la géothermie.
- Les acteurs liés à la demande (bailleurs sociaux, maîtres d'ouvrage, promoteurs, etc.) sont peu sensibilisés à la géothermie.
- Les opérations en cours ou à venir sont peu connues par les autorités publiques.

- Les foreurs qualifiés en Picardie sont peu nombreux.
- La base initiale d'acteurs potentiellement en lien avec la géothermie apparaît satisfaisante car la gamme d'acteurs intervenant à toutes les étapes d'un projet de géothermie est représentée soit en Picardie ou soit dans les régions limitrophes.
- Tous les bureaux d'études thermiques recensées ne sont pas forcément compétents en géothermie et peuvent avoir des difficultés pour accéder à des compétences pour les projets de géothermie.
- Des structures de formation initiale sur les techniques des pompes à chaleur existent déjà et s'adressent à un large spectre de publics. Il manque cependant des formations dans le domaine du forage et de spécialisation dans la géothermie. Ce constat n'est pas spécifique à la Picardie.
- Aucun centre de formation continue n'a été identifié en Picardie. La mise en place une offre de formation adaptée permettrait aux acteurs économiques d'accompagner le développement de la géothermie. Ce constat n'est pas spécifique à la Picardie.

7. Perspectives de développement de la filière géothermie en Picardie

7.1. OBJECTIF GRENELLE

La géothermie présente des avantages qui la distinguent des autres sources d'énergie : indépendance vis-à-vis des éléments climatiques extérieurs, énergie locale, respect de l'environnement, performances énergétique et économique,...

La filière géothermique a atteint un stade de maturité qui permet aujourd'hui des mises en œuvre dans des conditions techniques et économiques satisfaisantes.

De plus, la loi portant engagement national pour l'environnement, dite « loi Grenelle 2 », du 12 juillet 2010, impose la mise en place, au niveau régional, des SRCAE (Schéma Régionaux Climat Air Energie) dans lesquels s'inscrivent notamment les schémas régionaux des énergies renouvelables défini, par zones géographiques, sur la base des ressources potentielles des régions, qui tient compte, entre autres, des objectifs nationaux en matière de développement des énergies renouvelables.

Pour rappel, les propositions issues des tables rondes du Grenelle de l'Environnement affichent les objectifs suivants : « augmenter de 20 millions de Tep la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique à l'horizon 2020 » afin d'atteindre l'objectif des 23% d'énergies renouvelables dans le mix énergétique français en 2020. Concernant, la géothermie et les pompes à chaleur, l'objectif est de multiplier par 6 la production d'énergie par géothermie et pompes à chaleur. La déclinaison de ces objectifs effectuée par le comité opérationnel (COMOP 10) propose une multiplication par 4 pour la géothermie profonde.

Il s'agit alors d'évaluer les contributions régionales, qui dépendent en tout premier lieu de leurs ressources disponibles. Dans ce contexte, la région Picardie présente une situation relativement favorable. Notamment, les ressources en eaux souterraines y sont variées et abondantes.

7.2. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE AU NIVEAU NATIONAL PAR TYPE DE BATIMENT

Après avoir connu une phase importante de développement dans les années 80, puis une période de stagnation jusque vers 2005-2010, le marché de la géothermie profonde connaît depuis un regain, à la fois pour l'habitat individuel et pour les réseaux de chaleur. Ces deux marchés représentent néanmoins des niches d'activité d'un volume limité, mais où la France bénéficie d'un potentiel de développement certain.

7.2.1. Dans le résidentiel individuel

S'il est clair que la réglementation thermique 2012 (RT-2012)²¹ va diminuer significativement les besoins de chauffage, cela va entraîner proportionnellement l'augmentation de la part de besoins de chaleur à fournir pour l'Eau Chaude Sanitaire (ECS) ; demande qui ne devrait pas diminuer à priori.

De plus, la question du rafraîchissement se pose, le bâtiment étant mieux isolé et ainsi susceptible de conserver plus de chaleur apportée par les usages spécifiques, les dispositifs de cuisson et les occupants.

En définitive, les évolutions encourus de la réglementation thermique rendent les solutions géothermiques plus attractives que par le passé. D'une part, les puissances installées sont revues à la baisse et diminuent les investissements et, d'autre part, les aptitudes au rafraîchissement direct constituent un avantage concurrentiel.

Les principales solutions de géothermie disponibles actuellement pour l'individuel sont présentées dans la Figure 44. Il s'agit des échangeurs horizontaux, des sondes géothermiques verticales, des échangeurs « compacts » ou des doublets sur nappe.

Des développements sont actuellement conduits afin d'adapter ces techniques aux prescriptions de la RT-2012 et, également, en prévision de la future RT-2020. Les enjeux sont, notamment, de restreindre l'impact sur le foncier, de diminuer les coûts de mise en place, par exemple en recourant aux mêmes engins que ceux employés pour le terrassement et/ou la construction et d'accroître la performance environnementale tant termes d'efficacité énergétique qu'en termes d'ACV (analyse de cycle de vie).

L'optimisation du dimensionnement entrainera de plus l'optimisation économique du système.

²¹ LA RT 2012 fixe une consommation maximale de 50 kWh/m²/an, au niveau national, modulé en fonction du type de bâtiment, par exemple 65 kWh/m²/an en Picardie pour des logements.

Boucle géothermale	Type d'échangeur	Profondeur	Dimensionnement (ordres de grandeur)	Investissement pour l'échangeur (Ordres de grandeur)	Avantages	Inconvénients
Boucle fermée : échange avec le sol	Echangeurs horizontaux	de l'ordre du mètre	entre 25 et 37 W/m ² d'échangeurs (1)	30 à 45 €/m ² (2)	Facilité de mise en œuvre pour les maisons neuves Coût d'investissement limité	Grande surface de pose (entre 1 à 2 fois la surface à chauffer, en fonction de la performance) Limitation de la jouissance du terrain Proscrit dans les terrains en pente COP influencé par les conditions climatiques et ne bénéficiant pas du gradient géothermique
	Echangeurs "compacts"	quelques mètres	5 à 7 kW par échangeur		Extrême facilité de mise en œuvre	Peu développé encore en France : manque de retour d'expérience
	Sonde Géothermique Verticale	Jusqu'à 100m	entre 30 et 50 W/mètre linéaire de sondes (3)	30 à 80 €/m de sonde (4)	Coût d'investissement Profite de la stabilité de la température du sous-sol et du gradient géothermique Technique simple, indépendante de la présence d'eau souterraine Espace d'implantation réduit Jouissance de la parcelle conservée Maintenance pluri-annuelle	COP faiblement influencé par le gradient géothermique Intervention d'un foreur nécessaire Déconseillé dans certains contextes géologiques (lars ...)
Boucle ouverte : échange avec les eaux souterraines	Doublet	Jusqu'à 100m	Une dizaine de kW pour 1 m ³ /h (5)	40-150 €/m pour le forage (6)	Permet de délivrer de plus fortes puissances Excellent rendement	Maintenance plus fréquente Réinjection parfois problématique Risques de colmatage et/ou de corrosion Coût d'investissement plus élevé, en particulier si aquifère profond ou si mauvaise qualité d'eau

- (1) Pour une boucle de 100 m. Principaux paramètres : nature du sol (puissance d'extraction par m² de sol en W/m²), diamètre du PE (20 - 32 mm), espacement des tubes (0.30 - 0.75 m)
 (2) Le prix dépendra essentiellement de la nature du sol et du coût du décapage
 (3) La puissance linéaire d'extraction va dépendre du type de roche (20 w/m pour des sables secs à 85 W/m pour des roches consolidées type grès par exemple)
 (4) Le prix dépendra essentiellement de la technique de forage utilisée (MFT ou rotary, le deuxième se situant dans la fourchette haute des prix).
 (5) Puissance thermique ~ 10 kW pour 1 m³/h avec un delta T°C de 6°C et un COP de l'ordre de 3.0
 (6) Le prix tient compte du forage de prélèvement, du forage de réinjection et de la pompe de prélèvement (immergée). Il dépendra essentiellement de la profondeur de la nappe et du tubage à l'avancement

Figure 44 - Solutions de géothermie développées actuellement pour la maison individuelle (source BRGM)

Les échangeurs géothermiques compacts (de type corbeille par exemple) représentent la technique la plus récente qui reste en développement en France comme à l'étranger. Ces solutions s'inscrivent dans l'esprit des évolutions de la réglementation thermique et répondent à un besoin de limiter l'encombrement (par rapport aux échangeurs horizontaux) tout en évitant le coût important de mise en place (forages de sondes géothermiques verticales par exemple). De plus, ces solutions sont compatibles avec une déconstruction et les matériaux sont recyclables.

L'ensemble de ces solutions déjà disponibles permettent donc d'envisager le développement de systèmes géothermiques dans les maisons individuelles, qu'elles soient neuves ou en rénovation.

Si, malgré le Grenelle, il a été constaté depuis 2008, une stagnation du marché des pompes à chaleur géothermique (PACg), un développement reste attendu ; les pompes à chaleur aérothermiques ne pouvant prétendre satisfaire la demande car, si le coût d'investissement est contenu, le coefficient de performance annuel reste plus faible et induit des coûts d'exploitation moins favorables que les PACg.

7.2.2. Dans le bâti collectif et tertiaire

Les applications favorables à l'utilisation de la géothermie très basse énergie (TBE), recourant généralement à des pompes à chaleur géothermiques (PACg) sont classées en trois catégories :

- Projets avec besoins de chaud et de froid concomitants :

Ce sont les applications les plus adaptées à la géothermie très basse énergie : hypermarchés, hôpitaux, cliniques ou autres établissements de santé, certains immeubles de bureaux du secteur tertiaire, groupes sportifs alliant piscines et patinoires. La technologie de la thermofrigopompe est mature. Elle permet de distribuer simultanément le chaud et le froid sur deux réseaux distincts. Pour ces usagers, les applications de rafraîchissement direct (sans climatiseur), sont de plus en plus mises en œuvre.

- Projets avec besoins saisonniers (besoin de chaud en hiver et de froid en été) :

Ce sont également des applications très bien adaptées à la géothermie très basse énergie. C'est le cas d'immeubles d'habitation, de certains bâtiments du tertiaire, comme les hôtels, maisons de retraite, immeubles de bureaux.

Pour satisfaire des besoins de rafraîchissement avec une excellente efficacité énergétique, il est possible d'utiliser la capacité de refroidissement direct du sol ou de l'aquifère, sans utiliser la PAC. C'est ce que l'on appelle le « *free cooling* » ou « *geocooling* » (cf. paragraphe 2.4.6)

- Projets avec besoins uniquement de chaud ou uniquement de froid :

La géothermie très basse énergie peut évidemment répondre à ce type d'application qui demeure, du moins pour le chauffage, la plus répandue. Le

dimensionnement doit, à tout le moins, éviter tout déséquilibre des conditions thermiques du sous-sol. Pour ce faire, des solutions permettent de maintenir l'équilibre thermique du sous-sol, éventuellement sur plusieurs cycles annuels et d'autres solutions peuvent être envisagées pour accumuler de l'énergie par anticipation. Il s'agit par exemple de capter des énergies excédentaires l'été et de l'injecter dans le sol via le système géothermique. Un tel système peut être réversible et permettre d'accumuler du froid l'hiver et du chaud l'été.

D'une manière générale, le système de distribution et les émetteurs de chaleur doivent être adaptés à une production de chaleur basse température pour conserver les performances énergétiques du système. Ce constat n'est pas limité aux solutions géothermiques. Si la question ne se pose pas dans le cas de nouvelles constructions, elle peut se poser en rénovation.

L'enjeu en rénovation dans le collectif / tertiaire ne réside pas uniquement dans la baisse des consommations mais aussi dans le confort thermique en adaptant les émetteurs de chaleur et le système de distribution existants.

Dans certains cas, il reste possible de réutiliser le système d'émetteurs de chaleur existant lorsque celui-ci peut fonctionner dans des conditions imposées par la basse température. Cela dépend principalement de son dimensionnement initial et du niveau de réhabilitation du bâtiment. Dans le cas où une telle adaptation est possible, le recours à la géothermie est immédiatement pertinent ; notamment parce qu'il est facilité par la réutilisation totale ou partielle d'une solution d'appoint déjà en place, laquelle est souvent justifiée si la rénovation thermique ne conduit pas à une isolation suffisante.

D'une manière générale et si les investissements sont supportables, la mise en place d'un système géothermique s'accompagnera d'une rénovation significative de la qualité thermique du bâti ; le changement des émetteurs et du système de distribution étant alors souvent décidé pour significativement améliorer le confort thermique ressenti.

Il est recommandé d'étudier au cas par cas l'intérêt économique d'une solution géothermique qui dépend de la bonne adéquation entre les ressources et les besoins, de la qualité de la conception et de la réalisation.

Nota : à l'échelle collective, l'étude BRGM sur les micro-réseaux de chaleur (RP-59967-FR "*Géothermie et échelle de territoire-étude spécifique des micro-réseaux de chaleur*", réalisée en collaboration avec ALTO Ingénierie) a montré l'intérêt dans certains cas de mutualiser les ouvrages géothermiques pour alimenter un micro réseau de chaleur ; plusieurs variantes technologiques permettant alors de répartir les équipements thermiques afin de s'adapter aux spécificités de la demande locale, par exemple : PAC centralisé vs PAC décentralisées.

7.3. L'ELABORATION DU SCHEMA REGIONAL DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE EN PICARDIE

7.3.1. Contexte

La loi portant engagement national pour l'environnement, dite « loi Grenelle 2 », du 12 juillet 2010, impose dans son article 68 la mise en place, au niveau régional, les SRCAE (Schémas Régionaux Climat Air Energie)

Le décret n° 2011-678 du 16 juin 2011, relatif aux Schémas Régionaux du Climat, de l'Air et de l'Énergie (SRCAE), qui fixe le contenu et les modalités d'élaboration des SRCAE (articles R. 222-1 à R. 222-7 du Code de l'environnement), a été publié le 16 juin 2011.

Le schéma « est composé d'un rapport présentant l'état des lieux dans l'ensemble des domaines couverts par le schéma, d'un document d'orientation qui définit les orientations et les objectifs régionaux en matière [...] de développement des filières d'énergies renouvelables »

Il comprend « une évaluation du potentiel de développement de chaque filière d'énergie renouvelable terrestre et de récupération, compte tenu de la disponibilité et des priorités d'affectation des ressources, des exigences techniques et physiques propres à chaque filière et des impératifs de préservation de l'environnement et du patrimoine. »

« Des objectifs quantitatifs de développement de la production d'énergie renouvelable, à l'échelle de la région et par zones infrarégionales favorables à ce développement, exprimés en puissance installée ou en tonne équivalent pétrole et assortis d'objectifs qualitatifs visant à prendre en compte la préservation de l'environnement et du patrimoine ainsi qu'à limiter les conflits d'usage ».

Ainsi, l'élaboration d'un schéma régional de développement de la géothermie a pour objectif de déterminer la contribution potentielle de la région par rapport aux objectifs nationaux de développement de la géothermie, ainsi que la contribution de la géothermie au mix énergétique régional.

7.3.2. Objectif du SCRAE de la région Picardie

La régionalisation des objectifs de production de chaleur d'origine renouvelable du Grenelle de l'environnement à l'horizon 2020 qui sont inscrits dans le SCRAE de la région de Picardie et prouvés par le préfet de région en juillet 2012, conduit pour la géothermie à 7 500 tep dont 6 400 tep pour les secteurs résidentiel collectif / tertiaire et 1 100 tep pour les secteurs industriel et agricole. Auquel il faut ajouter un potentiel de développement dans l'habitat individuel de 19 000 tep (évaluation Enerter).

Soit un objectif géothermique global de 26,5 ktep/an à l'horizon 2020.

Ainsi à l'échéance 2020, la géothermie devrait contribuer à hauteur de 2,6 % du million de tep d'énergies renouvelables fixé pour couvrir 23% de la consommation énergétique picarde. A noter que 75% de cet objectif serait réalisé par l'éolien et la biomasse.

En 2050, compte tenu du gisement géothermique intéressant notamment dans le sud picard, qui fera l'objet d'études approfondies, **l'objectif est porté à 260 ktep.**

7.3.3. Enjeux pour le développement de la géothermie en Picardie

En ce qui concerne la géothermie, la prise en compte des spécificités locales va influencer la démarche à adopter pour la réalisation d'un schéma régional de développement de cette énergie en Picardie.

a) La prise en compte de la ressource régionale

Comme il a été indiqué dans le chapitre 2.3, la filière géothermie se décompose essentiellement en deux filières distinctes : géothermie superficielle pour le chauffage/refroidissement des bâtiments et géothermie profonde pour les réseaux de chaleur et, éventuellement des usages industriels ou agricoles.

L'évaluation du potentiel géothermique très basse énergie et basse énergie en Picardie est présentée dans le tome 1 de cette étude.

- **Potentiel de la géothermie très basse température**

- **Sur nappes superficielles**

La carte régionale du potentiel géothermique très basse énergie du meilleur aquifère superficiel montre qu'environ 97,5 % de la superficie de la région présente un potentiel fort ou moyen

Les trois principales nappes superficielles, situées à moins de 100 mètres de profondeur, susceptibles d'alimenter des pompes à chaleur sont donc celles de la craie, des sables cuisiers, et des calcaires lutétiens, dont les eaux ont une température moyenne de l'ordre 11°C.

- La nappe libre de la Craie : présente sur une grande partie de la région, elle peut fournir plus de 150 m³/h soit une puissance maximale de chauffage par puits s'élevant à 1,5 MW (soit l'équivalent de 200 logements collectifs peu performants).
- Les nappes de l'Éocène (aquifères des sables cuisiers et des calcaires lutétiens) localisées au sud de la région sont exploitables à des débits allant de 25 à plus de 100 m³/h en fonction de l'épaisseur du réservoir et de la fracturation des calcaire soit une puissance maximale de chauffage par puits de l'ordre de 250 KW à 1 MW.

A noter que les zones de plateaux sont les plus défavorisées car la profondeur d'accès est plus importante pour atteindre le toit des nappes entraînant des coûts de forage plus importants, à l'inverse les zones de thalweg et les grandes vallées où se concentrent les grandes agglomérations, topographiquement plus bas amènent la nappe de la craie dans une position plus proche de la surface où sa productivité est bonne mais surtout constante.

Cette ressource est bien adaptée pour le chauffage de bâtiments de grande taille, logements collectifs, tertiaires, industrie, ou l'alimentation de réseaux de chaleur basse température, un système de pompe à chaleur (PAC) étant nécessaire dans tous les cas. A noter qu'un rafraîchissement direct des locaux en été peut être réalisé (freecooling) si l'installation a été dimensionnée à cette fin.

➤ **Sur sondes géothermiques verticales (SGV)**

Les sondes géothermiques verticales peuvent être implantées quasiment partout en Picardie dès lors que les contraintes techniques (zones urbaines denses par exemple) ou réglementaires (zone de protection de captage) le permettent. A titre indicatif, la puissance installée moyenne est de 50 W par mètre de profondeur pour des profondeurs inférieures à 100 m. A noter qu'au-delà de cette profondeur une procédure administrative (autorisation) est requise.

Cette technologie est bien adaptée à l'habitat individuel, notamment en raison de la très faible maintenance requise sur la durée de vie des ouvrages pouvant dépasser 50 ans (durée de garantie des matériaux synthétiques). Une installation individuelle comprendra de une à trois sondes géothermiques selon la taille et la performance thermique du logement ; ce qui correspond typiquement à une puissance thermique d'échange avec le sol de 5 à 15 kW.

Une installation collective ou tertiaire pourra être constituée de plusieurs dizaines de sondes géothermiques et le dimensionnement pourra considérer qu'elles sont indépendantes les unes des autres ou rassemblées en un champ de sondes. Dans ce cas, il est d'usage de répartir sur l'année des puisages pour le chauffage et des puisages pour le rafraîchissement ; cette répartition contribuant à maîtriser les quantités d'énergie fournies par le sous-sol en accumulant du chaud en été pour la saison hivernale suivante et du froid en hiver pour le rafraîchissement estival suivant.

• **Potentiel de la géothermie profonde basse température**

Le Bassin Parisien, qui s'étend au sud de la Picardie, est un bassin sédimentaire présentant un fort potentiel pour la géothermie profonde, le sud picard disposant cependant de températures moins élevées (< à 70°C) qu'en Ile de France, ce qui peut justifier l'utilisation de pompes à chaleur pour mieux exploiter le gisement.

L'essentiel des ressources géothermiques profondes connues à ce jour a été inventorié grâce aux forages et campagnes géophysiques réalisés dans le cadre de recherches en eau, de stockage souterrain et d'exploitation de gaz et de pétrole. Des

inventaires du potentiel géothermique ont été réalisés à partir de 1976, et une certaine d'opérations notamment dans le bassin parisien a été menée au début des années 1980 après le premier choc pétrolier. Suite à des problèmes techniques (corrosion et dépôts dans les tubages) et économiques (cours du pétrole, prêts contractés avec des taux élevés en période d'inflation vite révolue), le développement de la géothermie basse température a été stoppé en 1985. En 1989, l'intervention des pouvoirs publics a permis d'assainir les finances d'une trentaine d'exploitations. Dans le même temps, les problèmes techniques (corrosion / dépôts) ont été résolus. Les opérations en exploitations bénéficient aujourd'hui d'une technologie mature. Elles font l'objet d'un suivi, notamment les températures, et les comportements sont conformes aux modèles développés par le BRGM et l'école des mines de Paris. Depuis quelques années, le contexte environnemental, énergétique et économique est propice à de nouvelles opérations, notamment dans la prolongation des mesures issues du Grenelle.

Le bassin sédimentaire du Bassin de Paris comporte 5 grands aquifères géothermiques, dont le Dogger qui s'étend sur plus de 15 000 km² et qui offre des températures variant de 56°C à 85°C (valeurs mesurées en tête de puits de production). Dans les départements de l'Oise et de l'Aisne, la série sédimentaire en profondeur renferme ces aquifères (Lusitanien, Dogger, Lias inférieur, Rhétien et Trias) dont les eaux présentent une température suffisante pour être exploitées en géothermie. Seul le Dogger a réellement été exploité. De fait, c'est l'aquifère le mieux caractérisé concernant son potentiel géothermique.

En Picardie, les aquifères basses températures se situent à des profondeurs de plus de 1 200 m et peuvent contenir des eaux atteignant plus de 50°C. Le gradient géothermique varie entre 2,6°C et 3,8°C pour 100 m.

Selon l'aquifère et la localisation sur le territoire, le débit exploitable sera variable mais la puissance géothermique sera néanmoins de quelques mégawatts. Ce type de ressource peut donc potentiellement alimenter en énergie des réseaux de chaleur urbains ou des installations complexes telles des logements collectifs ou des bâtiments publics comme des hôpitaux et des centres commerciaux.

A titre d'information, il est généralement considéré en région parisienne que les investissements se montent à environ 12 M€ pour un doublet géothermique au Dogger satisfaisant les besoins thermiques d'environ 5 000 équivalents logements.

b) Prise en compte de l'historique de l'exploitation géothermique basse température en Picardie

Dans le passé, plusieurs opérations exploitant la ressource géothermique basse température du Dogger ont été menées en Picardie (*Tableau 14*) puis abandonnées ; le contexte environnemental, énergétique et économique actuel étant cependant susceptible de redonner un sens à de telles opérations.

Dans les années 1970, l'office intercommunal de Creil a décidé d'engager une opération de géothermie pour le chauffage de 4 000 logements (1976) et de la Base Aérienne de Creil (1982), nécessitant au total quatre forages : deux doublets

production-réinjection et profondeurs des forages entre 1 500 m et 1 700 m (Dogger). La température de production s'est établie vers 56°C en tête (58°C et 59°C dans le réservoir) et la température de réinjection pouvait descendre vers 20°C (au lieu de 35°C) grâce à trois pompes à chaleur. Le débit d'exploitation était de 270 m³/h (150 m³/h pour Creil1 et 120 m³/h pour Creil2). Début 1981, la puissance géothermique totale était d'environ 10 mW à 11 MW. L'exploitation a été arrêtée en 1986.

Une exploitation similaire fut entreprise dans la nappe du Dogger à Beauvais. La profondeur du doublet était de 1250 m et la température des eaux, pompées au débit de 180 m³/h, était de 47°C. Cette exploitation permettait le chauffage de 1500 logements et de la préfecture.

	Creil1	Creil2	Beauvais
Date de réalisation	1977	1982	1981
Date d'abandon	1986	1993	1987
Forages et exploitation	Doublet avec pompe immergée	Doublet avec pompe immergée	Doublet avec pompe immergée
Température (en °C)	58	59	47
Débit (en m³/h)	150	120	180
Salinité (en g/l)	30	30	25

Tableau 14 - Exploitation géothermique de l'aquifère du Dogger dans le département de l'Oise.

Mises en place en 1976 à Creil et en 1981 à Beauvais, ces installations ont été abandonnées respectivement en 1986 et 1987, en partie à cause de problèmes de corrosion et de dépôts dans les conduites (présence de sulfures liée à une activité bactérienne importante) et en partie à cause de la diminution des coûts des énergies fossiles suite au contre-choc pétrolier des années 1980.

Par ailleurs, des études de faisabilité menées en 1982 sur les secteurs de Soissons et de Château-Thierry :

- A Soissons, les hypothèses de travail étaient un forage à 1 600 m de profondeur, captant le Dogger avec un débit de 70 m³/h et une température attendue en tête de puits de 57°C.
- A Château-Thierry, les hypothèses de travail étaient les suivantes : forage à 1 960 m de profondeur captant le Dogger, avec un débit prévisionnel de 250 m³/h et une température en tête de forage de 68°C +/- 3°C.

c) La nécessaire géolocalisation des ressources et des besoins

La prise en compte des particularités du territoire est déterminante dans le cas de l'énergie géothermique. En effet, le critère essentiel de performance lors de la mise en place d'une solution de géothermie est l'adéquation des ressources et des besoins.

La géothermie présente l'avantage d'être disponible localement mais le potentiel n'est révélé qu'en croisant les résultats des études des ressources d'un côté et des besoins de l'autre. C'est-à-dire que la ressource du sous-sol doit localement correspondre aux besoins en surface, que ce soit un besoin de chaleur, de rafraîchissement et/ou d'eau chaude sanitaire (ECS).

Il est donc préférable de ne pas se contenter d'un raisonnement statistique à l'échelle d'une région et de compléter l'analyse par une démarche géolocalisée, que ce soit pour les ressources ou pour les besoins thermiques.

7.4. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT AU NIVEAU DES ENTREPRISES DE LA FILIERE ET DES ACTEURS ECONOMIQUES

Les perspectives d'évolution de la filière géothermique de la France ont été établis dans le rapport « Filières industrielles stratégiques de l'économie verte » produit par MEEDDM / CGDD en Mars 2010 à travers une matrice forces, faiblesses, opportunités et menaces du marché national concernant cette filière. De nombreux items sont communs avec les perceptions des acteurs en Picardie au sujet des possibilités de développer l'activité et de l'emploi dans la filière géothermie à l'échelle régional.

FORCES	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> - Un contexte politique favorable : de nombreuses aides publiques dans les pays de l'UE, ainsi que des objectifs de capacité installée. - Un marché européen et américain naissant avec de fortes perspectives de croissance. - Une technologie qui est proche de l'équilibre du marché pour la production de chaud et froid pour le secteur tertiaire. - Un coût de revient inférieur aux coûts de production classique pour l'électricité en zone insulaire volcanique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Une complexité de mise en œuvre. - L'atomisation des acteurs de la chaîne de valeur. - Un manque de connaissance des maîtres d'ouvrage du potentiel de la technologie. - Le niveau de formation des prescripteurs de solutions énergétiques (bureaux d'étude) insuffisant vis-à-vis des techniques géothermiques. - Un potentiel de croissance limité par la ressource géologique pour la géothermie profonde. - Le risque géologique : un facteur difficile à accepter pour un maître d'ouvrage. - L'absence d'acteurs d'envergure français
OPPORTUNITES	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> - La possibilité d'intégrer les pompes à chaleur dans une vision globalisée de l'énergie dans le bâtiment. - La taille du marché et la création d'emplois locaux dès lors que la pénétration dans le bâtiment augmentera. - Les innovations possibles pour réduire les coûts et la complexité de mise en œuvre des échangeurs souterrains - Une adaptation des technologies au contexte insulaire volcanique des DOM qui constitue une niche intéressante. - Une volonté politique d'atteindre l'autonomie énergétique dans les DOM. 	<ul style="list-style-type: none"> - Un marché pour les particuliers très sensible aux changements des politiques d'aides publiques. - La domination étrangère du marché des constructeurs de pompes à chaleur. - Une offre insuffisante en terme de conception et de réalisation ne pouvant pas répondre à la demande (d'où la nécessité d'un effort important de formation vers les bureaux d'études, vers les installateurs, ...). - Un contexte institutionnel inadapté (cadre juridique et minier, achat de l'électricité) pour la géothermie profonde.

Tableau 15 - Matrice Forces/Faiblesses, Opportunités/Menaces sur la filière en France (source MEEDDM / CGDD, 2010)

A l'échelle de la région Picardie, la même analyse FFOM (*Matrice Forces/Faiblesses, Opportunités/Menaces*) des perspectives de développements de la filière géothermie a été conduite. Elle découle d'informations recueillies auprès des acteurs locaux à travers leurs réponses au questionnaire, des entretiens et réunions avec les participants du comité de pilotage de cette étude et, également de la réglementation et des modes de financement existants.

FORCES	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> - Technique mature (ressource nappe). - Énergie renouvelable aux coûts d'exploitation faibles. - Ressource disponible exploitable en Picardie : prépondérance de la nappe de Craie du Crétacé Supérieur et des nappes du Tertiaire. - Nappe profonde du Dogger présente dans le sud de la région. - Multiples couches géologiques exploitables par sondes géothermiques. - Base initiale satisfaisante d'acteurs. <p>potentiellement en lien avec la géothermie présente sur le territoire ou à proximité.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Structures de formations déjà existantes dans les installations PAC et gamme large des publics visés. - Aides financières existantes pour les études et l'investissement (appel à projet ADEME, fond chaleur). - Assurances AQUAPAC. 	<ul style="list-style-type: none"> - Déficit d'image de la géothermie : souvent associée à des études trop techniques et confondues avec l'aérothermie. - Souvenir de l'abandon des forages de Creil et Beauvais dans les années 1980. - Manque de connaissance des acteurs de la demande (bailleurs sociaux, maîtres d'ouvrage publics, ...) qui privilégient actuellement le bois en Picardie. - Temps long de développement des projets de géothermie sur bâtiment. - Cahiers de charges mal rédigés (par exemple le lot forage est inclus dans le lot chauffage et absence de lot d'étude hydrogéologique). - Délais d'études souvent trop courts pour avoir recours à la géothermie. - Complexité de la mise en œuvre des démarches administratives et des demandes d'aides, diversité des dossiers. - Coût d'investissement important du forage. - Manques de visibilité des coûts, des investissements nécessaires et des garanties de financement. - Manque de structuration de la filière géothermie : absence d'inventaire et suivi des opérations de géothermie en Picardie. - Nombre restreint de foreurs qualifiés en Picardie. - Manque de démonstrateurs et de sites témoins.
OPPORTUNITES	MENACES
<ul style="list-style-type: none"> - Objectifs ambitieux du SCRAE Picardie de 26,5 Ktep d'ici 2020 et 86,5 Ktep d'ici 2050. - Déploiement de la RT 2012 comme les normes BBC puis BEP (Bâtiment Énergie Positive) qui impose la généralisation de la géothermie collective. - Amélioration notable des traitements de la anticorrosion des installations ces dernières années. - Simplification du code minier en cours. - Nécessité de réaliser une étude de faisabilité de développement des ENR sur les ZAC (Art. L. 128-4 du code d'urbanisme). - 97,5 % du territoire possède un bon ou moyen potentiel géothermique en très basse énergie. - Peu d'opérations de géothermie réalisées (potentiel non exploité). - Implantation de deux écoles d'ingénieurs sur le territoire proposant des formations dans le domaine des géosciences et du génie climatique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Manque de retour d'expérience sur la pérennité de la ressource en Picardie - Concurrence d'autres sources d'énergie (gaz, fioul, bois,...). - Apparition d'acteurs non compétents (foreurs étrangers ne respectant pas la réglementation nationale,...). - Maintenance des systèmes (encrassement des échangeurs, disponibilité des pièces,...). - Crise économique en cours qui limite de la capacité de financement des ménages, des donneurs d'ordre privés et publics (diminution des permis de construire).

Tableau 16 - Matrice Forces/Faiblesses, Opportunités/Menaces sur la filière en Picardie

Le diagnostic de la filière géothermie en France et plus spécifiquement en Picardie a mis en évidence les lacunes suivantes :

- Un manque de structuration de la filière ;
- Un manque de visibilité des actions existantes (actions de formation, soutiens financiers, opérations existantes) ;
- Un manque de soutien à l'accès à la connaissance (technique, réglementaire et financière).

La formation des maîtres d'ouvrage (souvent publics dans le cadre de la commande publique d'État ou des collectivités locales) et des donneurs d'ordres au sens large est un des points qui ressort systématiquement des échanges avec les acteurs économiques de cette filière. Par exemple, l'évolution des normes environnementales et des techniques nouvelles n'est pas toujours maîtrisée par les commanditaires, et les cahiers des charges ne sont pas toujours en phase avec les objectifs environnementaux ni clairs dans leurs exigences.

7.5. EVALUATION DES PERSPECTIVES DE L'ACTIVITE LIEES A LA FILIERE GEOTHERMIQUE A L'HORIZON 2020 ET 2050 EN PICARDIE

Les inventaires et études prospectives réalisés dans le cadre du CRSAE (schéma régional climat air énergie) de la région Picardie ont permis de fixer les objectifs de production de la filière géothermique à 26,5 kTep par an à l'horizon 2020 et à 250 kTep à l'horizon 2050.

Compte tenu de la demande complémentaire d'une estimation d'un objectif de contribution de la géothermie au potentiel d'énergies renouvelables accessible en Picardie par croisement des ressources géothermales et des besoins, il convient de considérer que l'exercice réalisé dans le présent chapitre sera progressivement affiné.

7.5.1. Performance énergétique d'un doublet géothermique

Ces objectifs du SRCAE ne pourront être atteints qu'en augmentant la taille du parc géothermique de la région Picardie, tant le nombre d'opérations sur nappes que celui des sondes géothermiques. L'état des lieux des opérations géothermiques en cours d'exploitation permet d'estimer la production actuelle à environ 1,6 kTep par an.

Pour déterminer le nombre nécessaire de doublets géothermiques, les calculs suivants seront focalisés sur les aquifères les plus favorables aux deux types de géothermie considérés dans le cadre de cette étude :

- La géothermie très basse énergie avec des doublets captant les systèmes aquifères superficiels ;
- La géothermie basse énergie avec des doublets captant les aquifères profonds.

En ce qui concerne les systèmes aquifères superficiels (moins de 100 m de profondeur), l'aquifère de la Craie est bien adapté à la géothermie basse énergie grâce au débit exploitable élevé qu'il offre et à sa profondeur d'accès assez faible.

Quant aux aquifères profonds, le Dogger représente l'aquifère le mieux connu et, par conséquent, directement envisageable pour la géothermie basse énergie avec un débit exploitable relativement élevé et une température comprise entre 30°C et 60°C (voire 70°C) sur la quasi-totalité du sud de la région picarde (Oise et partie sud de l'Aisne sous une ligne est-ouest passant par Laon).

La caractérisation des aquifères superficiels et profonds réalisée dans le premier volet de cette étude montre une grande hétérogénéité des deux principaux critères permettant de déterminer la puissance énergétique produite par un doublet (le débit exploitable et la température de l'eau). Dans le cadre de cet exercice, les valeurs suivantes (Tableau 17) seront retenues représentant une moyenne sur l'ensemble des ouvrages inventoriés.

Aquifère	Craie sénonienne	Calcaire Dogger
Débit (m ³ /h)	75	130
T avec pompe à chaleur (°C)	6	35

Tableau 17 - Débit et T moyens sur les aquifères de la Craie du Sénonien et des Calcaires du Dogger

La valeur du T correspond à la différence entre la température de l'eau de l'aquifère capté et celle de l'eau refoulée au niveau du puits de réinjection du doublet. Cette dernière est de l'ordre de 6°C pour les aquifères superficiels et de l'ordre de 35°C pour l'aquifère du Dogger, éventuellement assisté par pompes à chaleur (cas de Creil).

La puissance produite par chaque doublet est calculée grâce aux formules ci-dessous qui diffèrent selon qu'il s'agisse d'un mode de fonctionnement hivernal (puissance chaude pour le chauffage ou l'eau chaude sanitaire) ou d'un fonctionnement estival (puissance froide pour la climatisation).

Les deux formules sont les suivantes :

$$P_{ch} = \frac{1,16 Q \Delta T}{1 - 1/COP}$$

$$P_{fr} = \frac{1,16 Q \Delta T}{1 + 1/CFR}$$

P_{ch} : Puissance chaude utilisée pour le chauffage et/ou l'eau chaude sanitaire en kW

P_{fr} : Puissance froide utilisée pour la climatisation en kW

Q : Débit exploitable par le puits de production en m³/h

ΔT : Différence de température d'eau entre le puits de production et le puits de réinjection

COP : Coefficient de performance de la machine en mode production de chaleur

CFR : Coefficient de performance de la machine en mode production de froid

1,16 : Chaleur spécifique de l'eau lorsque le débit est exprimé en m³/h

$1,16 Q \Delta T$: Puissance géothermique échangée avec le sous-sol

De façon générale, à débit d'eau géothermale identique et ΔT identique, la puissance froide utilisée sera inférieure à la puissance utilisée en mode chaud. Cela s'explique par le fait que mode chauffage la puissance électrique de la PAC s'additionne à celle de la géothermie alors qu'en mode production de froid (climatisation), la puissance géothermique correspond à la somme de l'énergie prélevée (refroidissement) et de la puissance électrique de la PAC.

Dans le cadre de cette étude et par expérience sur les performances des machines thermodynamiques disponibles sur le marché, nous admettrons un COP égale à 4 (production de chaud) et un CFR égale à 3,5 (production de froid).

Ainsi, la puissance chaude maximale susceptible d'être produite en exploitant un doublet captant l'aquifère de la Craie est de 696 kW, et elle est égale à 7 037 kW pour un doublet captant l'aquifère des Calcaires du Dogger. Quant à la production d'énergie froide, cette puissance sera de 403 kW pour la Craie et 4 222 kW pour le Dogger ; ce dernier cas étant sans doute assez peu réaliste et étant donc donné à titre d'exemple.

Dans les deux cas (chaud et froid), les puissances géothermiques (puissance thermique échangée avec les formations géologiques) seront respectivement : 520 kW pour l'aquifère de la Craie et 5,4 MW pour l'aquifère des Calcaires du Dogger.

Cette puissance crête représente la puissance à laquelle il sera fait appel quand le besoin énergétique est maximal (périodes de grands froids en mode hivernal par exemple). Le reste de la saison, la puissance produite, régulée par le débit, correspond au besoin énergétique à satisfaire, tel qu'identifié au travers de la courbe monotone du bâtiment considéré (Figure 45).

Cette courbe monotone schématique, donnée ici à titre d'exemple et représentant les besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire (ECS) d'un bâtiment collectif basse consommation, montre un besoin en puissance constant égal à 15 W/m² SHON au cours de toute l'année pour l'ECS, mais variable entre 0 et 45 W/m² SHON pour le chauffage. De plus, il est fait appel au chauffage uniquement durant la saison de chauffe qui peut s'étendre jusqu'à 233 jours. Le reste de l'année, correspondant plus ou moins à la période été, où le seul besoin identifié est celui lié à l'ECS.

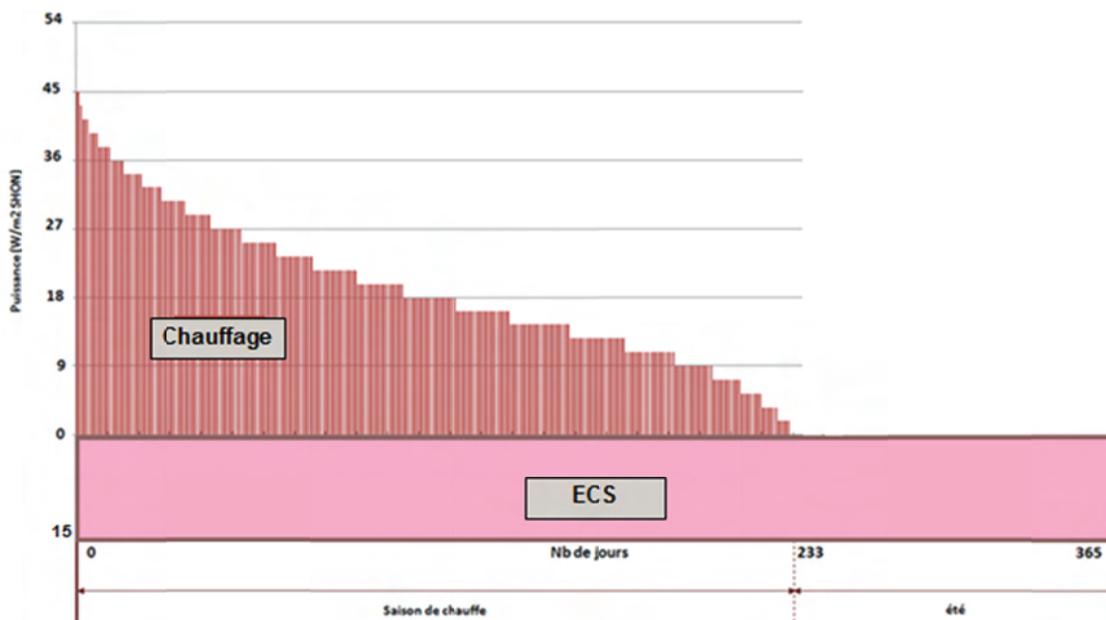


Figure 45 - Exemple de courbe monotone (besoins: chauffage et Eau Chaude Sanitaire)

Connaissant une courbe monotone, l'énergie annuelle fournie pour satisfaire les besoins énergétiques d'un bâtiment est égale à l'intégrale du produit de la puissance délivrée par le nombre d'heures de fonctionnement à cette puissance.

Le calcul de cette énergie est simple dans le cas d'une fourniture d'ECS car la puissance de fonctionnement est considérée comme constante au cours de l'année. Dans le cas du chauffage, le calcul est plus complexe du fait de la variation de la valeur de puissance appelée au cours de l'année ; cela principalement en corrélation avec la température extérieure.

En géothermie, on peut admettre par simplification que les phénomènes seront sensiblement identiques si on représente l'énergie indiquée sur la courbe monotone par un nombre d'heures réduit correspondant à la même énergie mais avec un fonctionnement à pleine puissance (Figure 46). Ce calcul est justifié en notant qu'une courbe monotone est elle-même une représentation moyenne basée sur une année type (généralement représentative de la moyenne des 30 dernières années).

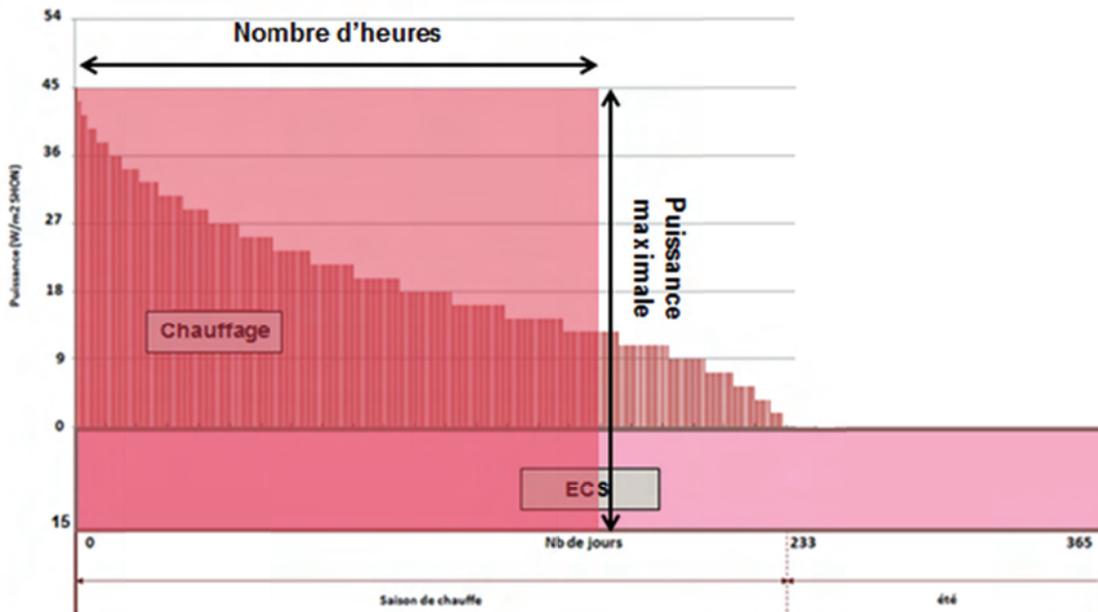


Figure 46 - Nombre d'heures en équivalent pleine puissance

On admettra ici que les valeurs du nombre d'heures en équivalent pleine puissance sont de 1 500 heures pour le chauffage et l'ECS et 800 heures pour la climatisation.

Le besoin énergétique global susceptible d'être satisfait par un doublet géothermique correspond donc au produit des puissances déterminées précédemment par le nombre d'heures de fonctionnement (1 500 heures pour le chauffage et l'ECS et 800 heures pour la climatisation). Les résultats en MWh et en kTep figurent dans le tableau qui suit.

	Aquifère	
	Craie	Dogger
Puissance Crête d'un doublet géothermique raccordé à une pompe à chaleur (kW)		
P_{ch} (COP = 4)	696	7 037
P_{fr} (CFR = 3,5)	403	4 222
Besoins énergétiques susceptibles d'être satisfaits par un doublet géothermique raccordé à une PAC		
(MWh)	1 366	13 987
(kTep)	0,117	1,203

Tableau 18 - Performances énergétique d'un doublet géothermique exploité avec une PAC

7.5.2. Estimations du nombre nécessaire de sondes et de doublets pour atteindre les objectifs du SRCAE

a) Contribution énergétiques des sondes géothermiques

Dans la contribution globale de la géothermie à la fourniture énergétique de la région Picardie, il sera considéré une part produite par des sondes géothermiques verticales (SVG) individuelles ou par des champs de sondes géothermiques. Les utilisateurs ont recours aux sondes lorsqu'aucun aquifère n'est disponible, lorsque les aquifères présents ne fournissent pas les débits requis ou lorsque l'absence d'opération de maintenance est un critère de décision.

L'inventaire des opérations géothermiques en région Picardie menés dans le cadre de cette étude (chapitre 6.1.1) a permis d'estimer l'existence de 24 installations de géothermie sur sondes et 270 sur nappes, ce qui représente environ 8 % d'opérations avec SGV en termes de nombre global d'opérations.

Cependant, en termes de contribution énergétique, il est délicat d'estimer la part des sondes du fait qu'il faut avoir une idée précise de la production de l'ensemble des 294 installations actuellement répertoriées. L'estimation de la contribution des SVG est comprise entre 10% et 20% de l'énergie géothermique annuelle.

Dans le cadre de ce projet, il sera considéré une part de 10% comme contribution des sondes géothermiques à l'horizon 2020 et 20% à l'horizon 2050, notamment en considérant que la part des SGV répond à une considération de préservation des nappes aquifères.

Le complément restera fourni par de la géothermie sur nappes superficielles et profondes.

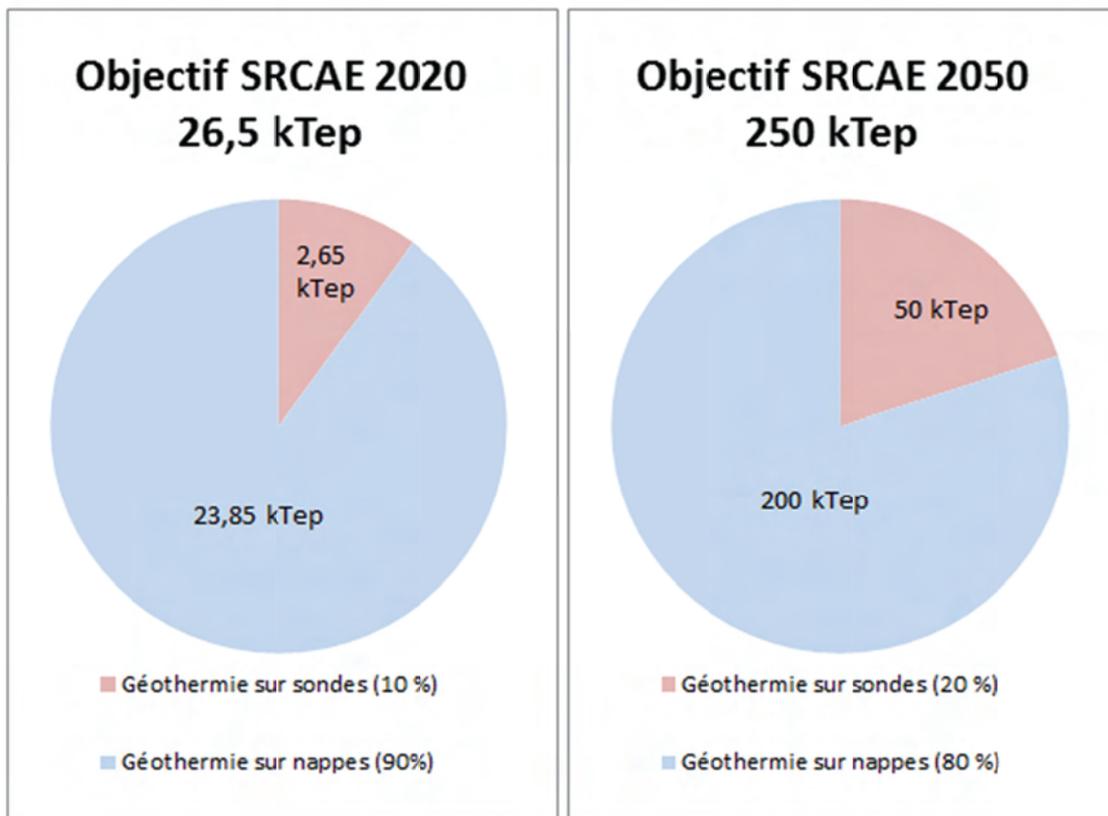


Figure 47- Répartition de la production énergétique des sondes et doublets géothermiques

Les SVG habituellement utilisées ont généralement une profondeur de 100 m pour une production énergétique typique de 5 kW. Une telle sonde satisfait typiquement un besoin thermique de 11,5 MWh (0,985 Tep) par an (2 300 h de fonctionnement).

Cela permet d'estimer le nombre nécessaire de SVG pour atteindre l'objectif 2,65 kTep en 2020 à 2 690 sondes, et 50 761 sondes pour l'objectif 50 kTep pour 2050. Il reste bien sûr entendu que les sondes à réaliser sont soit individuelles, soit regroupées en champs de sondes.

b) Contribution énergétiques des doublets géothermiques

Dans la part d'énergie fournie par la géothermie sur nappes, la contribution sera répartie entre doublets sur aquifères superficiels et doublets sur aquifères profonds.

Selon l'apport de chaque système aquifère, la répartition du nombre de doublets évolue entre 0 et 135 doublets superficiels et entre 18 et 0 doublets profonds pour l'objectif SRCAE 2020, et entre 0 et 1130 doublets superficiels et entre 0 et 166 doublets profonds pour l'objectif SRCAE 2050 (voir les illustrations ci-après).

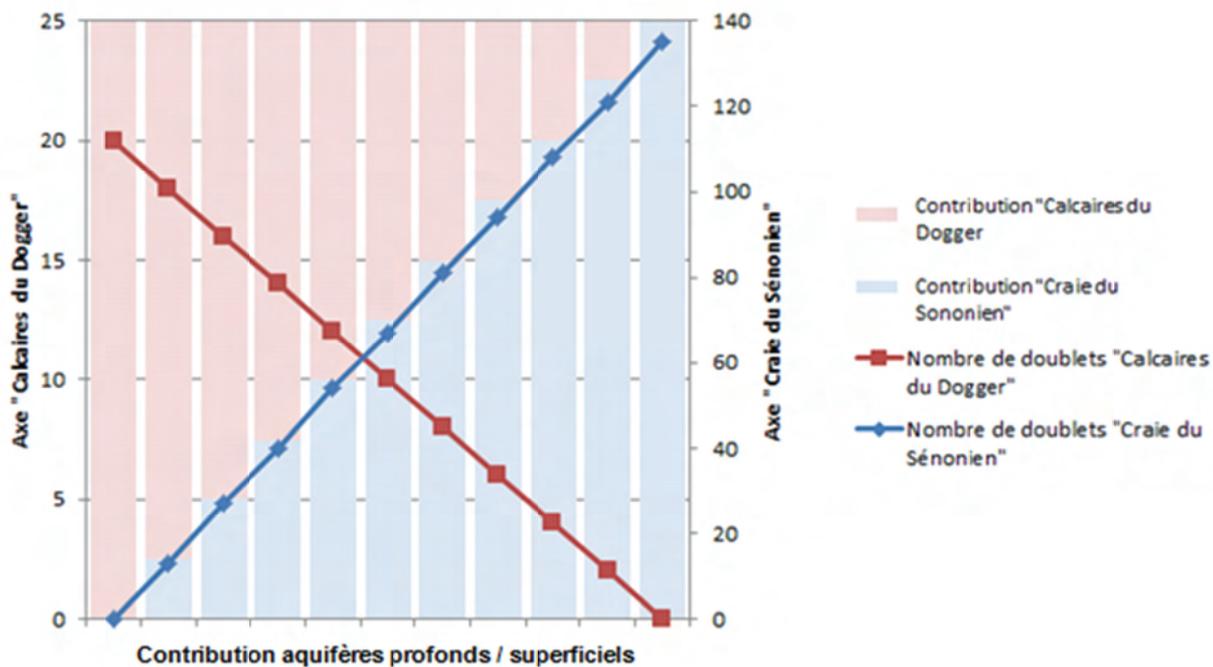


Figure 48 - Nombre nécessaire de doublets pour atteindre 90% de l'objectif du SRCAE 2020, 10% restant étant réalisés par des SVG

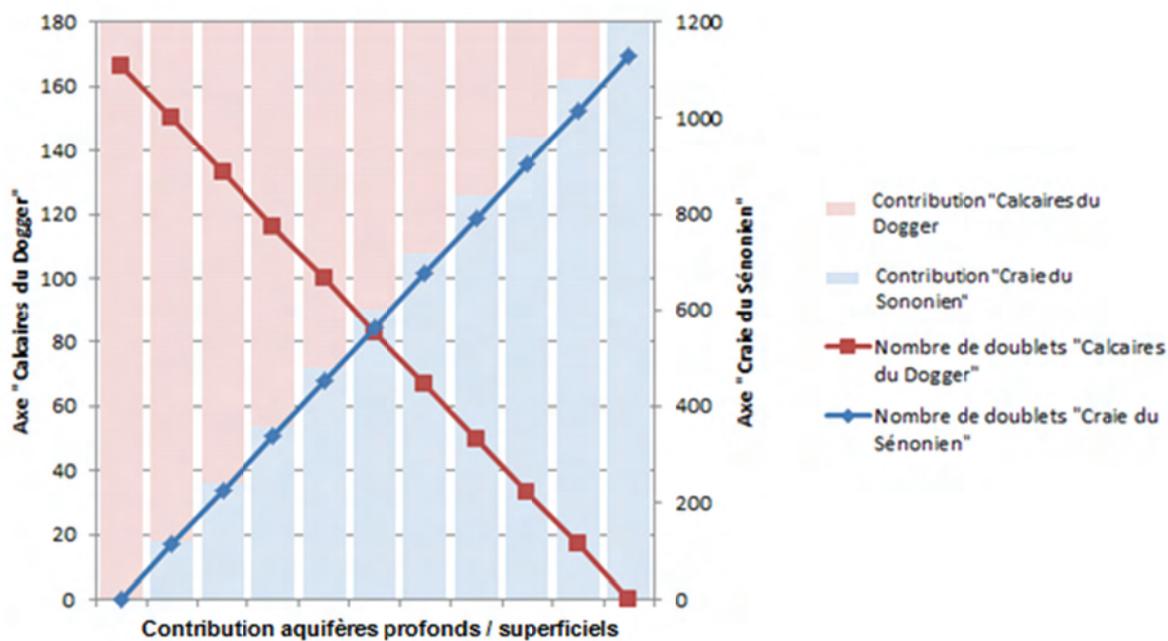


Figure 49 - Nombre nécessaire de doublets pour atteindre 80% de l'objectif du SRCAE 2050, 20% restant étant réalisés par des SVG

7.6. OBJECTIFS SRCAE ET CREATION D'ACTIVITE DANS LA FILIERE VERTE

7.6.1. Répartition énergétique entre sondes et doublets géothermiques (superficiels/ profonds)

Afin d'estimer l'impact de la filière géothermie et des objectifs du SRCAE sur le marché de l'emploi en Picardie, il sera considéré un nombre réaliste de doublets captant les systèmes aquifères profonds (notamment les calcaires du Dogger), en adéquation avec le nombre de réseaux de chaleur aux besoins importants susceptibles d'être satisfaits par la géothermie basse énergie.

Actuellement, en Picardie, aucun réseau de chaleur n'est alimenté par un doublet géothermique captant un aquifère profond. La réalisation de **6 doublets d'ici 2020** pourrait être un objectif réaliste, ce qui permettrait de satisfaire 27% de l'objectif de 26,5 kTep fixé par le SRCAE. Pour 2050, une contribution d'environ 10% de l'objectif du SRCAE est réaliste, ce qui implique la réalisation de 17 doublets visant les aquifères profonds. Au-delà, l'investissement lourd induit par la mise en place d'une opération géothermique sur aquifère profond (8 à 12 M€) pourrait constituer un frein pour le développement de ce type de géothermie.

Concernant la géothermie sur sondes, son apport énergétique sera de 10% à l'horizon 2020 et 20% à l'horizon 2050, ce qui correspond à l'implantation respective de **2 650 SGV d'ici 2020** et 50 761 sondes d'ici 2050.

Afin d'atteindre les objectifs du SRCAE, le complément énergétique sera apporté par la géothermie très basse énergie sur aquifères superficiels. Cela représente, en termes de doublets géothermiques, **un parc de 94 doublets pour 2020** et 1017 pour 2050.

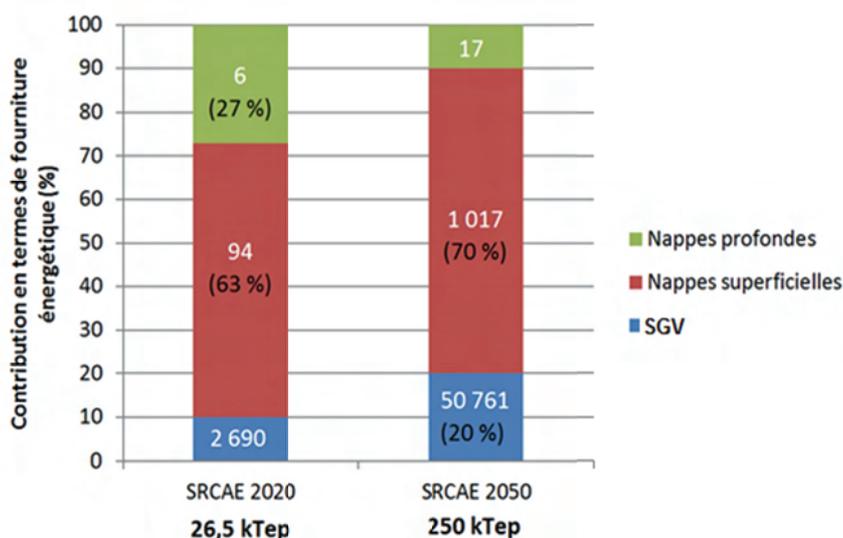


Figure 50 - Contribution énergétique de la géothermie selon les divers types de technologies

7.6.2. Activité liée aux pompes à chaleur et leur installation

Réaliser une estimation de l'impact des objectifs fixés par le SRCAE sur le marché de l'emploi dans le secteur des pompes à chaleur utilisées en géothermie, depuis la fabrication de la PAC jusqu'à sa mise en place et son installation reste une opération délicate pour laquelle on ne peut pas bénéficier d'un précédent.

Cela s'explique par la difficulté qui existe à distinguer l'activité proprement liée à la pompe à chaleur géothermique et celle liée à d'autres tâches communes à tout type d'installation énergétique (chaudière à gaz, chaufferie au bois, etc.).

Il existe par ailleurs, une grande disparité dans le volume de l'activité créée selon qu'il s'agisse de géothermie basse énergie avec PAC alimentant un réseau de chaleur ou de géothermie très basse énergie pour satisfaire des besoins plus restreints.

En première approche, on admettra que l'emploi dans la filière géothermie se constate principalement dans les entreprises d'exécution et d'ingénierie.

Pour chiffrer les emplois, on se référera :

- Aux résultats d'une étude menée dans le cadre du projet européen GeoTraiNet (www.geotrainet.eu - Geo-Education for a sustainable geothermal heating and cooling market) qui évalue à **10 jours-hommes la durée d'installation moyenne d'un chantier d'une pompe à chaleur**
- Aux statistiques consolidées par l'EUROBSERV'ER, version 2011, qui estime que le nombre total de pompes à chaleur en France est de 139 688 en 2009 et 151 938 en 2010, pour une puissance énergétique globale de 1 536,6 MW et 1 671,3 MW respectivement (Figure 51).

	2009			2010**		
	Nombre/ Number	Puissance/ Capacity (MW _{th})	Energie renouvelable capturée/Renewable energy captured (ktoe)	Nombre/ Number	Puissance/ Capacity (MW _{th})	Energie renouvelable capturée/Renewable energy captured (ktoe)
Sweden	348 636	3 702,0	784,8	378 311	4 005,0	867,8
Germany	179 634	2 250,5	293,5	205 150	2 570,1	335,2
Finland	52 355	967,8	194,2	60 246	1 113,0	223,3
France	139 688	1 536,6	200,4	151 938	1 671,3	218,0
Austria	55 292	618,8	68,4	61 808	729,5	80,1
Netherlands	24 657	633,0	63,6	29 306	745,0	74,9
Denmark	20 000	160,0	40,6	20 000	160,0	40,6
Poland	15 200	202,2	26,4	19 320	257,0	33,5
United Kingdom	14 330	186,3	24,3	18 390	239,1	31,2
Ireland	11 444	196,1	25,6	11 658	202,7	26,4
Czech Republic	11 127	174,0	20,5	13 349	197,0	24,4
Italy	12 000	231,0	23,0	12 357	231,0	23,0
Belgium	11 836	142,0	18,5	13 085	157,0	20,5
Estonia	5 422	78,0	15,6	6 382	91,8	18,4
Slovenia	3 849	43,3	7,4	3 948	54,8	9,5
Lithuania	1 865	34,5	6,9	2 221	41,5	8,3
Bulgaria	543	20,6	6,8	543	20,6	6,8
Greece	350	50,0	6,4	350	50,0	6,4
Slovakia	1 845	23,5	3,6	2 000	25,7	3,9
Hungary	3 030	26,0	1,7	4 030	43,0	3,1
Romania	n.a.	5,5	0,7	n.a.	5,5	0,7
Latvia	20	0,3	0,1	20	0,3	0,1
Portugal	24	0,3	0,0	24	0,3	0,0
Total EU 27	913 147	11 282,2	1 833,1	1 014 436	12 611,1	2 056,0

* PAC hydrothermiques incluses. Tous types d'usages (individuel, collectif, tertiaire ou industriel). Hydrothermal HPs included. All destinations - detached houses, multi-occupancy, service industry & industrial buildings. ** Estimate.
n.a.: Non disponible. n.a.: Not available.
Notes: Les données de parc sont déduites des installations mises hors service. Decommissioned installations have been deducted from this installed base data.
Les décimales sont séparées par une virgule. Decimals are written with a comma. Source: EuroObserv'ER 2011.

Figure 51 - Nombre, puissance installée et énergie renouvelable produite en kTep par les PACg dans les pays de l'Union européenne en 2009 et 2010 (source EUROBSERV'ER 2011)

Cela permet d'estimer à 11 kW la puissance moyenne produite par une pompe à chaleur géothermique (PACg) sur l'ensemble du territoire français.

Avec les hypothèses émises concernant la performance des doublets géothermique (profonds et superficiels) et des sondes dans la région picarde, ainsi que la répartition des contributions énergétiques de chaque technologie, la puissance totale produite par le parc géothermique en Picardie s'élèverait à environ 225,2 MW en 2020 et 3 234,4 MW en 2050. En termes d'équivalent de PACg installées de 11 kW, cela représente respectivement 20 500 et 294 000 installations pour les objectifs du SRCAE en 2020 et 2050.

La distribution et l'installation d'une pompe à chaleur moyenne gamme nécessitent 3 à 4 jours pour une équipe de 2 ou 3 personnes ayant une qualification de techniciens « installateur thermique et climatique » soit de l'ordre de 10 jours d'activité par installation.

Au final, hors réalisation des forages, l'activité créée directement par la mise en place des PACg atteint 205 000 jours pour l'objectif SRCAE 2020 et 2 940 000 jours pour celui de 2050.

7.6.3. Activité liée aux ouvrages géothermiques et leurs réalisations

a) Doublets géothermiques profonds

La réalisation d'un doublet captant un aquifère profond (les calcaires du Dogger par exemple) à une profondeur comprise entre 1 000 m et 1 500 m nécessite l'intervention d'une équipe principale de forage composée d'une quinzaine de personnes et de plusieurs équipes de services auxquelles le foreur fait appel, et qui sont composées de deux ou trois personnes chacune selon la taille du chantier (Tableau 19).

Ce type de forages profonds est réalisé sans arrêt, jour et nuit, 7 jours / 7 durant une période de 4 à 6 mois pour un doublet géothermique.

Ainsi, l'équipe forage est présente en permanence sur le chantier avec quatre personnes au moins incluant un chef de poste et trois manœuvres travaillant en 3 x 8 heures, auxquelles s'ajoutent quotidiennement un chef de chantier et un mécanicien.

Le tableau suivant résume les différentes équipes impliquées dans un forage profond avec les profils correspondant :

Équipe	Nombre de pers.	Poste / Métier
Équipe de forage	14	1 chef de chantier 3 chefs de poste (3/8) 9 manœuvres (3/8) 1 mécanicien
Équipe boue	2	1 géologue 1 manœuvre
Équipe géologie	2	2 géologues
Traitement de déchet	3	1 conducteur 2 manœuvres

Tableau 19 - Les profils de métier intervenants dans la réalisation d'un forage profond

La réalisation d'un doublet géothermique profond pourrait alors représenter l'équivalent de 3 780 jours d'activité répartis en profils et métiers comme indiqué en Figure 52.

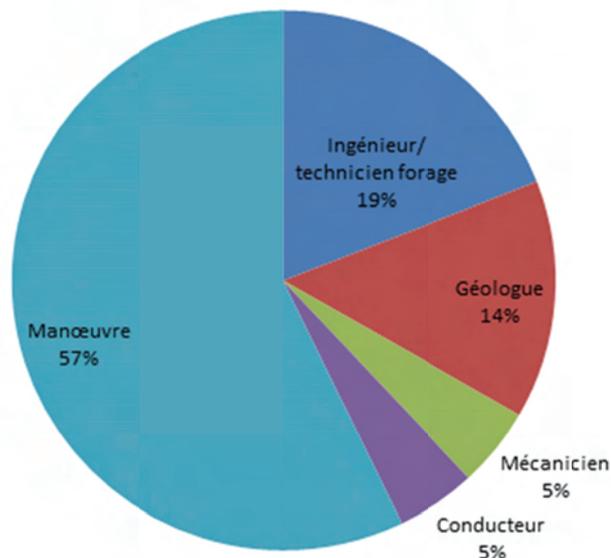


Figure 52 - Répartition de l'activité pour les forages profonds selon la spécialité des intervenants

b) Doublets géothermiques superficiels

Pour les forages à faibles profondeurs (100 m environ), la réalisation d'un doublet nécessite une équipe plus restreinte, composée d'un sondeur et de un à trois manœuvres et dure 5 jours environ (8 heures par jour). Cela représente une activité totale de 20 jours pour la réalisation d'un doublet.

c) Sondes géothermiques verticales

En ce qui concerne les SVG, leur mise en place nécessite l'intervention d'un maître de forage et de un à deux manœuvres pendant deux jours pour une sonde de 100 m de profondeur. Cela représente une activité totale de 12 jours pour l'implantation d'une sonde, y compris la préparation et la maintenance de la machine.

La durée des travaux pour la mise en place d'une sonde peut varier légèrement selon qu'il s'agisse d'une sonde individuelle chez un particulier par exemple ou d'un champ de sondes pour une exploitation énergétique plus conséquente

d) Activité liée à la réalisation des ouvrages géothermiques

En se basant sur les chiffres indiqués en Figure 50, il résulte un potentiel d'activité dans le secteur des entreprises de forage et services associés estimé à 41 452 jours pour l'objectif 2020 et 397 302 jours à l'horizon 2050.

La majeure partie de l'activité créée en application de l'objectif du SRCAE en 2020 (Figure 53) proviendrait de la géothermie basse énergie qui, en Picardie, fait appel aux systèmes aquifères profonds. En effet, une contribution énergétique d'environ 27% liée à ce type d'aquifères générerait plus de 54% de l'activité dans le secteur du forage géothermique. Cela s'explique par le fait que la réalisation d'un doublet implique l'intervention d'une équipe multidisciplinaire à effectif important (une vingtaine de personnes pour l'équipe de forage et les entreprises de services) sur une longue durée (environ six mois de travaux 7 j / 7 et 24 h / 24).

Paradoxalement, l'activité liée à la géothermie profonde (6 doublets) aurait peu d'impact sur le marché régional de l'emploi en Picardie, car les entreprises réalisant ce type de forages opèrent à l'échelle nationale, voire européenne, et disposent de leurs effectifs qualifiés et formés pour ce type d'opérations.

L'activité liée au forage de sondes géothermiques (2 690 sondes) représente 39% de l'activité globale malgré une contribution énergétique assez faible équivalente à 10% de l'objectif du SRCAE.

Enfin, avec une contribution énergétique supérieur à 60% et un nombre de doublets important (94 doublets), les travaux de forage liés aux nappes superficielles n'impacte le marché de l'emploi des forages géothermiques que dans de faibles proportions avec environ 6% de l'activité totale.

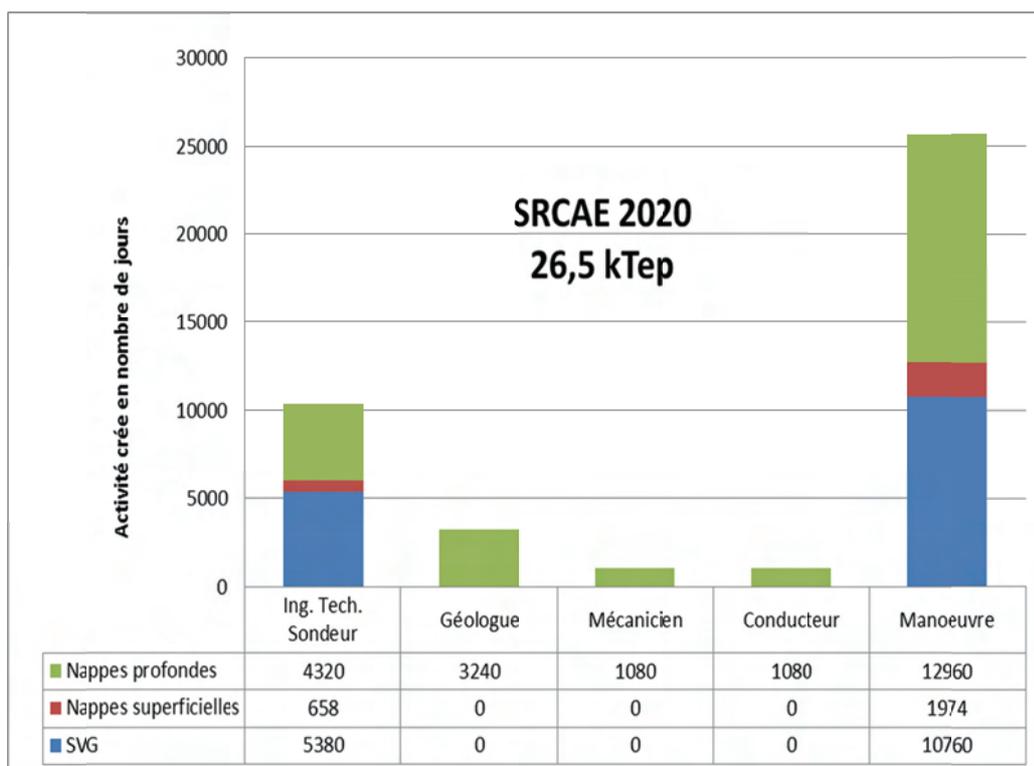


Figure 53 - Nombre de jours d'activité créés par l'objectif SRCAE 2020

La répartition de l'activité par profil montre que le secteur le plus impacté est celui des manœuvres (aides foreurs, activité peu qualifiée) avec plus 61% de l'emploi global suivi par les ingénieurs / techniciens sondeurs avec environ 24%. Le reste de l'activité est réparti entre géologues, mécaniciens et conducteurs.

L'augmentation de l'apport énergétique des SGV à 20% de l'objectif du SRCAE à 2050 (au lieu de 10% en 2020) impacterait significativement le marché de l'emploi lié aux forages géothermiques (Figure 54). En effet, plus de 75% de l'activité proviendrait des sondes individuelles et des champs de sondes (50 761 sondes), avec environ 304 000 jours d'activité réalisables par des entreprises locales.

Le reste de l'activité est répartie entre les forages profonds avec 16% de l'activité (17 doublets) et les forages visant les aquifères superficiels avec 1 017 doublets (7%).

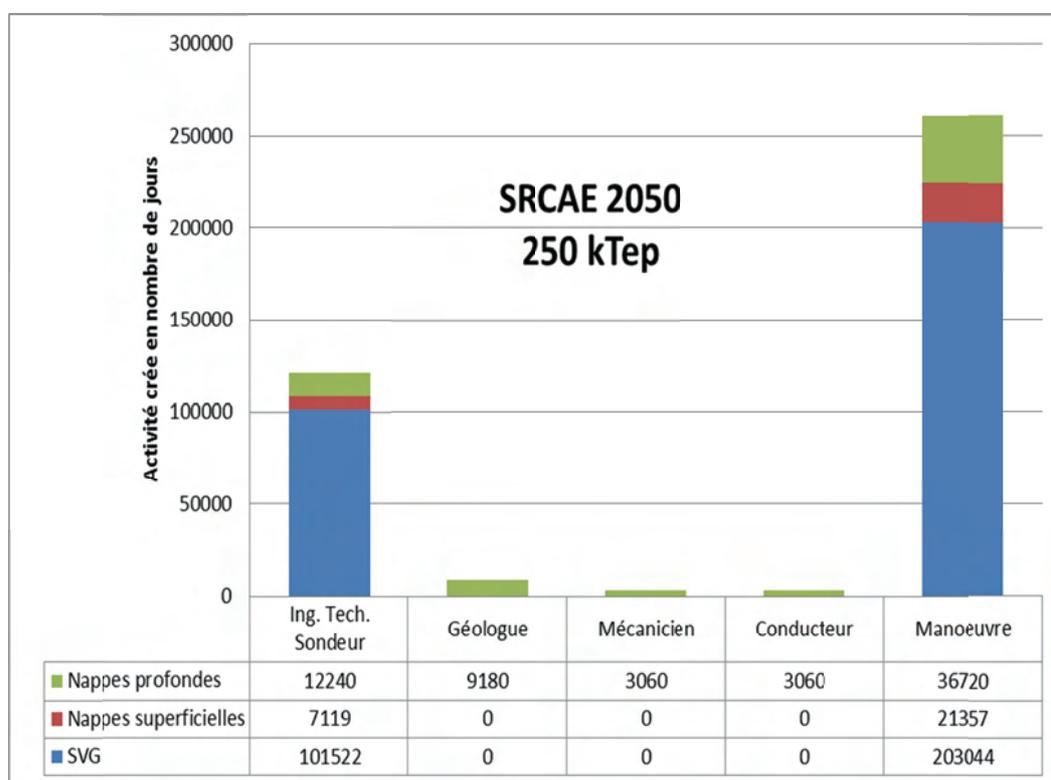


Figure 54 - Nombre de jours d'activité créés par l'objectif SRCAE 2050

7.6.4. Activité lié au développement de l'ensemble la filière

La filière géothermique en Picardie, au travers des objectifs du SRCAE, permettrait un potentiel d'activité équivalent à 250 000 et à 3 400 000 jours-homme respectivement à l'horizon 2020 et à l'horizon 2050.

En se basant sur ces chiffres et en considérant qu'un ETP (équivalent temps plein) représente une activité de 220 jours ouvrables, on peut évaluer le nombre d'emplois

attribué à la réalisation des forages géothermiques (sondes et doublets) et à la mise en place de la machinerie thermodynamique à **140 ETP pour atteindre l'objectif 2020**, en considérant une évolution annuelle linéaire du nombre des opérations géothermiques à partir d'une production énergétique considérée comme négligeable actuellement, et à **480 ETP pour atteindre l'objectif 2050** en partant de celui de 2020.

Une partie de ces emplois ne concerne pas directement le marché régional en Picardie. C'est le cas notamment, pour l'activité liée aux forages géothermiques profonds réalisés par des entreprises disposant d'une envergure nationale, voire européenne. Avec les hypothèses de cette étude, cette part représente 10% de l'objectif 2020 et 2% de l'objectif 2050.

Enfin, cette estimation ne tient pas compte de l'impact de la filière géothermique sur le secteur des bureaux d'étude et d'ingénierie du fait que les études de pré faisabilité et de faisabilité, pour l'aspect « géologie et hydrogéologie du sous-sol » ou l'aspect « thermique du bâti », ne sont pas réalisées systématiquement, notamment lorsqu'il s'agit de fourniture énergétique pour le secteur individuel alimenté par des SVG ou des doublets superficiels. Mais dans l'ensemble, ce secteur d'activité serait impacté dans de légères proportions en comparaison avec l'implication forte des entreprises d'exécution, notamment les foreurs et les sociétés de services associées, ainsi que les installateurs de la machinerie thermodynamique.

7.7. DÉFINITION D'ÉLÉMENTS D'UN PLAN D'ACTIONS STRATÉGIQUES

La filière géothermie doit actuellement répondre à deux grands enjeux :

- 1. Réussir à se développer fortement et conformément aux attentes relayées par la directive européenne sur les énergies renouvelables (2009/28/CE), déclinées au niveau français à travers les lois dites « Grenelle 1 » et « Grenelle 2 » et la PPI Chaleur 2009-2020 (Programmation Pluriannuelle des Investissements de production de chaleur), pour laquelle l'objectif est une multiplication par 6 de la production de chaleur géothermique entre 2006 et 2020.**
- 2. Réussir à se développer dans de bonnes conditions de durabilité, c'est-à-dire, dans le respect de la ressource et des autres usages de cette ressource.** Ce second enjeu passe par un encadrement réglementaire et normatif qui existe déjà mais qui devra évoluer et s'adapter aux technologies les plus couramment utilisées et à la masse d'opérations attendue.

Les éléments structurants sont à distinguer en fonction des différentes filières : pour le particulier, le collectif/tertiaire et l'alimentation des réseaux de chaleur.

Dans le rapport « Filières industrielles stratégiques de l'économie verte » produit par MEEDDM / CGDD en Mars 2010, les conditions de succès pour permettre un développement satisfaisant de la filière géothermique. Elles sont ci-après retranscrites et développées au niveau régional.

7.7.1. Géothermie superficielle pour le particulier et le collectif/tertiaire :

Du côté de la demande, la réussite du développement d'une filière local peut nécessiter un soutien prolongé des pouvoirs publics pour lever les freins au développement de la géothermie superficielle :

- En premier lieu **l'information et la formation des maîtres d'ouvrage, des acteurs du bâtiment et des particuliers** sur les possibilités offertes par la géothermie sur aquifère superficielle, notamment par la mise à disposition de cartes de potentiel, de guides techniques et de fiches technico-économiques d'opérations remarquables en région Picardie. Cela passe également par une meilleure sensibilisation à la géothermie des conseillers présents dans les espaces info-énergie et l'organisation de stages à destination des maîtres d'ouvrage. Le programme d'une formation continue à destination des maîtres d'ouvrage devra inclure :

- Évaluation des besoins thermiques du bâtiment adaptée au contexte de la géothermie en Picardie :
 - Etudes de l'adéquation d'un bâtiment avec un système géothermique ;
 - Calcul du dimensionnement de la PAC géothermique ;
- Montage de projet géothermique :
 - Étapes du montage d'un projet géothermique ;
 - Retro-planning et délais types de chaque étape du montage de projet ;
 - Points clés de vigilance ;
 - Coûts et obligations réglementaires ;
 - Demandes de subventions ;
 - Contacts clés en région lors de chaque étape du montage de projet.

- La **réalisation d'un annuaire "vivant"** des acteurs spécialisés dans la géothermie semble par exemple pertinente pour structurer les acteurs et les rendre visibles via le développement d'un site internet comme c'est actuellement le cas en région Haute – Normandie. L'ADEME, Direction Régionale Haute Normandie, et ses partenaires dans le cadre de leur accompagnement à la généralisation des bâtiments durables et spécialement les Bâtiments Basse Consommation, ont créé un annuaire de professionnels du bâtiment durable et du bâti BBC en Haute Normandie (www.batimentdurablehn.fr) pour faciliter l'identification des acteurs impliqués dans la démarche - de la conception à la mise en œuvre -.

- L'organisation de **journées de rencontre des acteurs de la géothermie en Picardie** a également été proposée lors d'un comité de suivi de cette étude. Elle permettrait de mettre en contact les acteurs de la géothermie tout en informant sur les opérations déjà existantes dans la région. Cette journée pourrait s'articuler autour d'une démonstration/visite sur un site témoin en fonctionnement.

- Les maîtres d'ouvrage doivent être incité à la souscription d'un dispositif de couverture du risque tel que la **garantie AQUAPAC** pour les opérations sur aquifères superficiels. Les opérations de plus de 30 kW, et de moins de 100 m de profondeur, souscrivant à cette garantie sont assurées contre le risque de ne pas trouver la

ressource attendue (adéquate avec le projet), ou de voir les caractéristiques de cette ressource diminuer au cours des dix premières années du projet.

- Les **subventions du Fonds Chaleur** doivent être pérennisées pour les opérations de chauffage de bâtiments collectifs ou tertiaires.

- Pour le cas spécifique des maisons individuelles, **le soutien à l'installation de pompes à chaleur géothermiques** se montre efficace, par exemple par des aides régionales et par le crédit d'impôt pour la géothermie.

- Le **développement de nouvelles techniques** pour le particulier, par exemple **les solutions d'échangeurs compacts** (corbeilles), solutions intermédiaires entre les échangeurs verticaux (sondes géothermiques verticales) et les échangeurs horizontaux, peut représenter une opportunité car ces techniques requièrent uniquement les compétences des acteurs de la construction traditionnelle et donnent accès à un bon compromis performance / investissement.

- La **mise en place de plate-forme technologique « énergie bâtiment »** ciblée sur les pompes à chaleur géothermiques, dans laquelle les acteurs de l'innovation, de la formation, de l'installation peuvent interagir, pourrait représenter un catalyseur pour la filière au niveau régional.

- La **formation continue des professionnels du bâtiment** est essentielle pour garantir une mise en œuvre performante à travers la mise en place de structure de formation initiale et continue.

- la certification des professionnels, notamment le **label Qualiforage** pour les foreurs et le **label QualiPAC** pour les installateurs, pour améliorer la qualité des installations doivent être favorisés pour l'ensemble des projets.

- Les **opérations existantes doivent être mieux recensées** pour d'abord capitaliser les connaissances acquises (milieu naturel, performances, coûts, ...) et contribuer à restreindre le risque de conflit d'usage. Ce recensement pourrait être réalisé par un observatoire régional regroupant l'ADEME, la DREAL, le BRGM, le Conseil régional et les représentants de la filière (AFPG par exemple). Une telle action augmentera la visibilité des réalisations, et permettra de partager et diffuser les bonnes pratiques et retour sur expériences, notamment auprès des maîtres d'ouvrage.

7.7.2. Géothermie profonde pour l'alimentation des réseaux de chaleur :

Ce marché liés aux réseaux de chaleur, encore peu dynamique, reste à créer, que ce soit en métropole ou en Picardie. Deux freins majeurs sont spécifiques : le risque géologique et l'aspect économique.

➤ Le risque géologique :

Le risque, après avoir investi dans un forage coûtant plusieurs millions d'euros, de ne pas trouver la ressource attendue est rarement acceptable pour un maître d'ouvrage privé. Aussi, il est nécessaire, pour mobiliser des opérateurs privés sur ce marché de mettre en place un cadre institutionnel comportant à minima :

- **L'exploration et la qualification de la ressource à l'échelle infra régionale** par la puissance publique pour améliorer la connaissance des potentiels avérés des nappes profondes et pour susciter la prise en compte de la géothermie au moment des études de préfaisabilité.
- Des dispositifs soutenus par des fonds publics permettant, par exemple, de mutualiser les risques (fonds de garantie) ou de les effacer pour l'opérateur (mécanisme d'avance remboursable).

➤ L'aspect économique :

Les réseaux de chaleur, notamment géothermiques, impliquent des investissements élevés et fortement structurants ; ce qui implique de restreindre les incertitudes, en particulier celles liées à l'économie des projets géothermiques qui peuvent être soumis à la concurrence d'autres solutions. Pour conforter l'adhésion des maîtres d'ouvrage, on peut compter sur les trois dispositions suivantes :

- **La pérennisation des subventions du Fonds Chaleur** et les différents mécanismes incitatifs pour le développement des réseaux de chaleur « vertueux » et leur conversion aux énergies renouvelables (pour bénéficier, entre autres, de la réduction de TVA à partir de 50 % de production d'origine renouvelable ou de récupération) devraient favoriser le développement de réseaux de chaleur, en particulier les réseaux à basse température qui sont compatibles avec les ressources géothermiques. Ce dispositif incitatif doit lever le frein économique.
- Concernant leur alimentation par géothermie, il est important **de développer les réseaux de chaleur**, conformément aux préconisations du rapport « Propositions pour le développement des énergies renouvelables appliquées au bâtiment » issu du Groupe de travail "Énergies renouvelables appliquées au bâtiment" du Plan Bâtiment Grenelle. Il s'agit notamment de mettre en place **des démonstrateurs** permettant de valider le bon fonctionnement de ces installations géothermiques sur des aquifères profonds en Picardie. Il convient de s'inspirer du modèle développé depuis trente ans en Ile de France, en s'appuyant sur les collectivités qui en ont la compétence. La mise en place **d'une plate-forme de recherche et d'essais** sur forage profond (étude de faisabilité en cours à l'Institut Lasalle de Beauvais)

pourrait contribuer à relancer l'intérêt des décideurs régionaux vis-à-vis de cette source énergie.

- Il est également essentiel **de sécuriser la couverture du risque de ces opérations**. Pour les opérations sur aquifères profonds, la SAF-Environnement propose une garantie court terme (assurance contre le risque d'échec du premier forage) et long terme (garantie sur 20 ans de la pérennité de la ressource). Concernant le court terme, elle assure 65 % du coût de l'investissement sur le premier forage. Certaines régions, comme l'Île-de-France couvrent, en complément, 25 % de plus. Le maître d'ouvrage est alors garanti à 90 % de l'investissement sur son premier forage

8. Conclusion

Les techniques géothermiques, notamment les pompes à chaleur, contribuent à la réduction des consommations d'énergies fossiles (importées) et à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Leur mise en œuvre est encadrée par les textes s'appliquant à l'exploitation des eaux souterraines par forage et aux opérations de géothermie : le code minier et ses textes d'application, le code de l'environnement, le code de la santé publique et le code général des collectivités territoriales. Ces textes évoluent périodiquement dans un esprit de clarification.

Pour concourir à un développement de la filière géothermie, qui est pratiquement à créer en Picardie où le marché est à ce jour peu développé, de nombreuses dispositions existent : démarches qualités, garanties (Aquapac, Qualiforage, ...), aides financières (crédit d'impôt, éco-prêt à taux zéro, incitations de l'ADEME, Feder, ...).

Le SCRAE de Picardie a fixé des objectifs ambitieux pour la filière géothermie aux horizons 2020 et 2050. Néanmoins comme l'a mis en évidence le diagnostic de la filière, des freins au développement de la géothermie subsistent en Picardie : un manque de structuration de la filière, un manque de visibilité des actions existantes, et un manque de soutien à l'accès à la connaissance de cette filière.

L'atteinte des objectifs du SCRAE ne se fera pas sans une mobilisation des acteurs pour accompagner une mutation des comportements face à la géothermie très basse température et basse température. L'accent semble devoir être mis plus spécifiquement sur la géothermie basse énergie couplée à des réseaux de chaleur et il faut donc convaincre les donneurs d'ordre. La formation des maîtres d'ouvrage, des acteurs du bâtiment et des particuliers apparaît alors indispensable pour susciter de l'intérêt vis à vis de cette énergie renouvelable insuffisamment exploitée en Picardie.

Parallèlement, pour soutenir et consolider l'offre, les pouvoirs publics auront à soutenir l'émergence de projets démonstrateurs permettant de valider en Picardie le bon fonctionnement d'installations géothermiques, en particulier sur des installations collectives sur aquifères profonds et sur champs de sondes.

Cette croissance verte représente un potentiel de création d'emplois au cours de la prochaine décennie qui est évalué à 140 ETP pour atteindre l'objectif du SCRAE 2020 pour la filière géothermique et à 480 ETP pour atteindre l'objectif 2050.

Une part majoritaire de l'activité concernera la distribution et l'installation des PACg mais une partie des emplois ne se limitera pas à la Picardie. C'est le cas notamment, pour l'activité liée aux forages géothermiques profonds qui, aujourd'hui, sont réalisés par des entreprises disposant d'une envergure nationale, voire européenne.

La réalisation de ces créations d'emploi reste évidemment conditionnée à la vérification de certaines hypothèses de l'étude (prix des énergies, mécanismes incitatifs, ...).

9. Bibliographie

OUVRAGES :

ADEME, ARENE IDF, BRGM (2008) – Guide technique. Pompe à chaleur géothermique sur aquifère, Conception et mise en œuvre. Collection Scientifique et technique. 72 p.

ADEME (2012) – Les chiffres clés du Bâtiment 2010. Edition 2011.

ADEME (2010) - Marchés, emplois et enjeux énergétiques des activités liées à l'amélioration de l'efficacité énergétique et aux énergies renouvelables : situation 2008-2009 - Perspectives 2010. 201 p.

ADEME Haute-Normandie (2011) – État des lieux et perspectives de développement de la filière géothermique en Haute Normandie. Étude Burgeap et Ernst & Young RRn00285c/A20444/CRnZ092321. 112 p.

ADEME, BRGM (2010) – Guide technique. La géothermie et les réseaux de chaleur. Guide du Maître d'Ouvrage. Collection Scientifique et technique. 65 p.

ADEME, BRGM (2008) – La géothermie. Quelles technologies pour quels usages ? 2^e édition. Collection Les enjeux des Géosciences. 65 p.

Analy M., Bel A., Bouzit M., Le Brun M.- (2011) - Évaluation des possibilités de développement de la géothermie sur le territoire de l'opération d'intérêt national de l'EPADESA. Rapport BRGM

ANSES (2011) – Analyse des risques sanitaires liés à l'installation, à l'exploitation, à la maintenance et à l'abandon de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables (géothermie, capteurs solaires et éoliennes) dans les périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. Août 2011. 65 p.

Commissariat général au développement durable (2011) - Bilan énergétique de la France pour 2010. RéférenceS. Juin 2011.69 p.

Commissariat général au développement durable (2010) - Les filières industrielles stratégiques de l'économie verte. RéférenceS. Mars 2010.174 p.

Commissariat général au développement durable (2009) - Les éco-activités et l'emploi environnemental. Périmètre de référence. Résultats 2004-2007. Études & documents n°10. Juillet 2009. 48p.

Conseil d'orientation pour l'emploi (2010) - Croissance verte et emploi. Rapport du 25 janvier 2010.

Chartier R., Jouanneau J., Saint Martin M., Brun J., Poux A. (2012) – Inventaire du potentiel géothermique en région Rhône-Alpes, État des lieux et étude du potentiel – Rapport final – BRGM RP-60684-FR, 188 p., 108 ill., 3 ann.

Direction Générale de l'Énergie et du Climat (2011) - L'industrie des énergies décarbonées en 2010. Rapport. 189 p.

Eurobserv'er (2012) – État des énergies renouvelables en Europe. Edition 2011. 11ème bilan.

Gournez P., avec la collaboration de MONNOT P. (2006) - Guide d'aide à la décision pour l'installation de pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Ile-de-France. Partie 2 : Guide technique, administratif et méthodologique. Rapport final. BRGM/RP-53306-FR, 149 p., 14 fig., 7 ann.

Legrand C., Allier D., Nachbaur A. avec la collaboration de Belkacim S., Coueffe R., Herniot P., Tourlière B. (2010) – Atlas du potentiel géothermique très basse énergie de la région Franche-Comté. Rapport final. BRGM RP-58768-FR, 255 p., 103 ill., 13 annexes.

Picot J. et Pira K. (2011) – Atlas du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères de la région Nord-Pas de Calais. Rapport final. BRGM/RP-60244-FR, 2 tomes, 274 p., 90 fig., 19 tabl., 10 annexes

Poux A., Goyénèche O., Le Brun M., Martin J.C., S. Noel, Zammit C., Salquèbre D. (BRGM), Lecomte A., Fillacier S. (GEOGREEN), Marre D. (EGEE Développement) (2012) – Prospectives de développement de la géothermie en région Centre (GEOPOREC). Rapport final. BRGM/RP-60336-FR, 97 p., 28 ill., 4 ann.

Urban S., Vandenbroucke H., Jauffret D., Roblet P., Colin A., Chabart M., Hoogstoel R., Nguyen D., Marchal J.P., Picot J., Pira K., David P.Y., Udhin Z., Arnaud L., Lereculey A., Conil P., Rodriguez G., Chretien P., Minard D., Thinon-Larminach M., Cailleaud T., Brenot A., Chretien M., Bézèlques-Courtade S., Martin J.C. (2009) – PNIGRA : Programme National des Inventaires Géothermiques Régionaux sur Aquifères. Rapport final. BRGM/RP-57915-FR, 195 p., 85 fig., 32 tab., 2 ann.

Varet J. (1982) – Géothermie basse énergie : usage direct de la chaleur. Masson.

SITES INTERNET :

ADEME : <http://www.ademe.fr>

Association Française Pour les Pompes à Chaleur (AFPAC) : <http://www.afpac.org>

Association Française des Professionnels de la Géothermie (AFPG)
<http://www.afpg.asso.fr>

BRGM : <http://www.brgm.fr>

Code minier, code de l'environnement, code de la santé public, code général des collectivités territoriales : <http://www.legifrance.gouv.fr>

Géothermie Perspectives (site dédié à la géothermie mis en ligne par l'ADEME et le BRGM) : <http://www.geothermie-perspectives.fr>

Grenelle de l'environnement : <http://www.legrenelle-environnement.fr>

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie :
<http://www.developpement-durable.gouv.fr>

Région Picardie : <http://www.picardie.fr>

Syndicat national des entrepreneurs de puits et forages d'eau (SFE) : <http://www.sfe-foragedeau.com>

Annexe 1

Procédure AQUAPAC



**GARANTIE SUR LA RESSOURCE
EN EAU SOUTERRAINE
A FAIBLE PROFONDEUR
UTILISEE
A DES FINS ENERGETIQUES**

Les nappes d'eau souterraines de faible profondeur
recèlent un potentiel énergétique utilisable grâce aux pompes à chaleur.

Cependant, il peut exister une incertitude sur les conditions d'utilisation de la ressource
naturelle qui dépend des caractéristiques géologiques locales.

La procédure **AQUAPAC**, créée par l'**ADEME**, le **BRGM**, et **EDF** prend en charge la
couverture financière de ce risque géologique,

Gestion administrative et financière du système de garantie : Fax : 01 58 50 06 80

SAF-ENVIRONNEMENT

195, boulevard Saint Germain

75007 PARIS

Tél. : 01 58 50 76 76 - Fax : 01 58 50 06 80 - e-mail : herve.raimbault@caissedesdepots.fr

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.

AQUAPAC assure pendant 10 ans les investissements réalisés pour le captage et le transfert de la ressource jusqu'à l'échangeur eau-eau et sa réinjection.

La garantie ne concerne pas les éventuels incidents de chantier, ni les conséquences des défauts de conception, de réalisation ou de maintenance.

Le Maître d'Ouvrage conserve l'entière responsabilité du respect de la réglementation, du choix des bureaux d'études ou entreprises, et de la réalisation de l'opération.

En aucun cas, **AQUAPAC** n'a pour objet de se substituer aux polices d'assurances dommage-ouvrage ou de responsabilité décennale au titre desquelles les opérateurs doivent normalement être couverts.

BENEFICIAIRES DE LA GARANTIE AQUAPAC

Les Maîtres d'ouvrages ou leurs mandataires (bureaux d'études, entreprises, prestataires de services, exploitants) désireux de se prémunir vis-à-vis des aléas géologiques liés à l'utilisation énergétique de l'eau souterraine à des fins de **chauffage** et/ou de **climatisation** peuvent souscrire la garantie **AQUAPAC**.

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.

ATTRIBUTION DE LA GARANTIE

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 .

Ce dossier, dont un modèle peut être demandé auprès de la Saf-Environnement doit comprendre :

- **L'identification** de l'opération concernée, sa localisation et ses différents acteurs,

- **Une fiche descriptive** des besoins thermiques, et du mode d'évaluation des besoins en eau,

- **Une étude de faisabilité du projet** comportant une évaluation des contraintes réglementaires et environnementales, les caractéristiques de la ressource, le mode de captage et de réinjection, les essais et mesures hydrogéologiques prévus, la description de l'installation et des ouvrages de sous-sol et de surface,

- **les éléments économiques** comprenant les coûts prévisionnels d'investissement et de fonctionnement : études préalables, forages, tests et analyses, équipements des puits, échangeur, PAC,

- **Le montant des investissements** pour lesquels la garantie est demandée, qui devra être clairement établi.

Si l'avis du Comité **AQUAPAC** est favorable, un contrat est alors signé entre la SAF et le Maître d'Ouvrage qui verse **en une seule fois, et au moment de la souscription de chaque garantie**, les cotisations et commissions forfaitaires suivantes :

- *Pour la garantie de recherche* :
- une cotisation égale à **5%** du montant des ouvrages garantis en recherche,

- *Pour la garantie de pérennité* :
- une cotisation égale à **4%** du montant des ouvrages garantis en pérennité,

FONCTIONNEMENT DE LA GARANTIE

Garantie de recherche

Risques couverts

Le risque couvert est celui de l'échec quant à la découverte du débit d'eau maximal de production fixé dans le contrat de garantie comme suffisant au fonctionnement correct des installations, à partir des éléments techniques fournis.

Le risque couvert est aussi celui de l'échec quant à la possibilité de réinjection du débit.

Montant garanti en recherche

Le montant garanti en recherche, fixé dans le contrat, est égal au coût réel des études préalables, forages, tests et analyses, équipements des puits, désignés dans la demande de recherche, (plafonné au montant prévisionnel), déduction faite des subventions reçues.

Lorsque plusieurs forages sont prévus, le contrat est établi pour le premier, et étendu par avenant au suivant après chaque constat de succès.

Fonctionnement de la garantie

La garantie prend effet dès la signature du contrat et le versement des primes de la garantie de recherche.

Le Maître d'Ouvrage peut alors faire réaliser les travaux de forage.

Il doit informer la Saf-Environnement de la date des essais et de la date de réception des ouvrages.

La capacité des ouvrages est mesurée à la fin des travaux, et le rapport de fin de forage avec les résultats des essais hydrogéologiques doit être envoyé à la Saf-Environnement

Evaluation du résultat du forage

Suivant la valeur du débit mesuré au cours des essais, il y aura succès, échec partiel ou échec total :

- *Succès* : le débit trouvé est supérieur ou égal au débit contractuel ;
- *Echec total* : le débit trouvé est inférieur à la moitié du débit contractuel ;
- *Echec partiel* : le débit trouvé est compris entre ces deux valeurs.

En cas de succès le demandeur reçoit alors l'appel de cotisation pour la garantie de pérennité, qui est accordée pour dix ans à partir de la date de réception du paiement de la cotisation correspondante.

Calcul de l'indemnité « recherche »

En cas d'échec total, le Comité AQUAPAC déclenche le versement de l'indemnité, égale au montant garanti.

En cas d'échec partiel, le Maître d'ouvrage peut néanmoins exploiter la ressource en son état et bénéficier alors de la garantie de pérennité :

- la nouvelle valeur du débit exploitable est définie par un avenant au contrat de garantie ;
- le montant de l'indemnité est alors proportionnel au déficit en eau sur le débit garanti initial

Garantie de pérennité

Risques couverts :

Sous réserve d'un entretien correct des ouvrages et des équipements d'exploitation, attesté par un carnet de maintenance ou des factures de prestations de services, la garantie de pérennité couvre les risques suivants :

a) *diminution des débits d'exhaure ou de réinjection* au-dessous de la valeur garantie :

- sinistre partiel : le débit diminue et atteint une valeur comprise entre la valeur garantie et la moitié de cette valeur.

- sinistre total : le débit atteint une valeur inférieure à la moitié du débit de garantie

b) *dommages* aux matériels de puisage et de réinjection et/ou aux équipements du circuit primaire, y compris l'échangeur, occasionnés par des changements survenus dans les caractéristiques de la ressource dus à des causes naturelles ou de voisinage.

Durée de la Garantie

La garantie est accordée pour une période de **10 ans** à partir de la date effective de mise en service.

Elle peut être différée en cas de forage d'essai. Si ce délai dépasse 6 mois, un nouvel essai de pompage devra être effectué.

Montant garanti en pérennité

Le montant garanti, fixé par contrat, est égal au coût de l'ensemble des ouvrages primaires neufs : forages, pompes, matériels de surface, y compris l'échangeur eau-eau. Ces coûts s'entendent toutes subventions déduites.

Pour tenir compte de l'amortissement de l'installation, ce montant garanti diminue de 5 % par semestre écoulé.

En cas d'échec total, le coût prévisionnel des travaux nécessaires à la restauration fonctionnelle de l'installation, peut être également garanti.

Calcul de l'indemnité « pérennité »

L'assiette A de l'indemnisation est calculée ainsi :

a) *Diminution des débits d'exhaure ou de réinjection* :

- en cas de sinistre partiel, A = la fraction du montant garanti proportionnelle au déficit en eau,
- en cas de sinistre total, A = montant garanti

b) *Dommages* :

- en cas de poursuite de l'exploitation, A = coût réel des travaux de remise en état, plafonné au montant garanti,
- en cas d'abandon de l'exploitation, A = montant garanti.

Fonctionnement de la garantie

En cas de constat de modification des caractéristiques de la ressource de nature à perturber l'exploitation, le maître d'ouvrage ou l'exploitant adresse une déclaration de sinistre à la Saf-Environnement.

Des essais hydrogéologiques peuvent alors être réalisés par le maître d'ouvrage, en accord avec le Comité qui pourra mandater un expert.

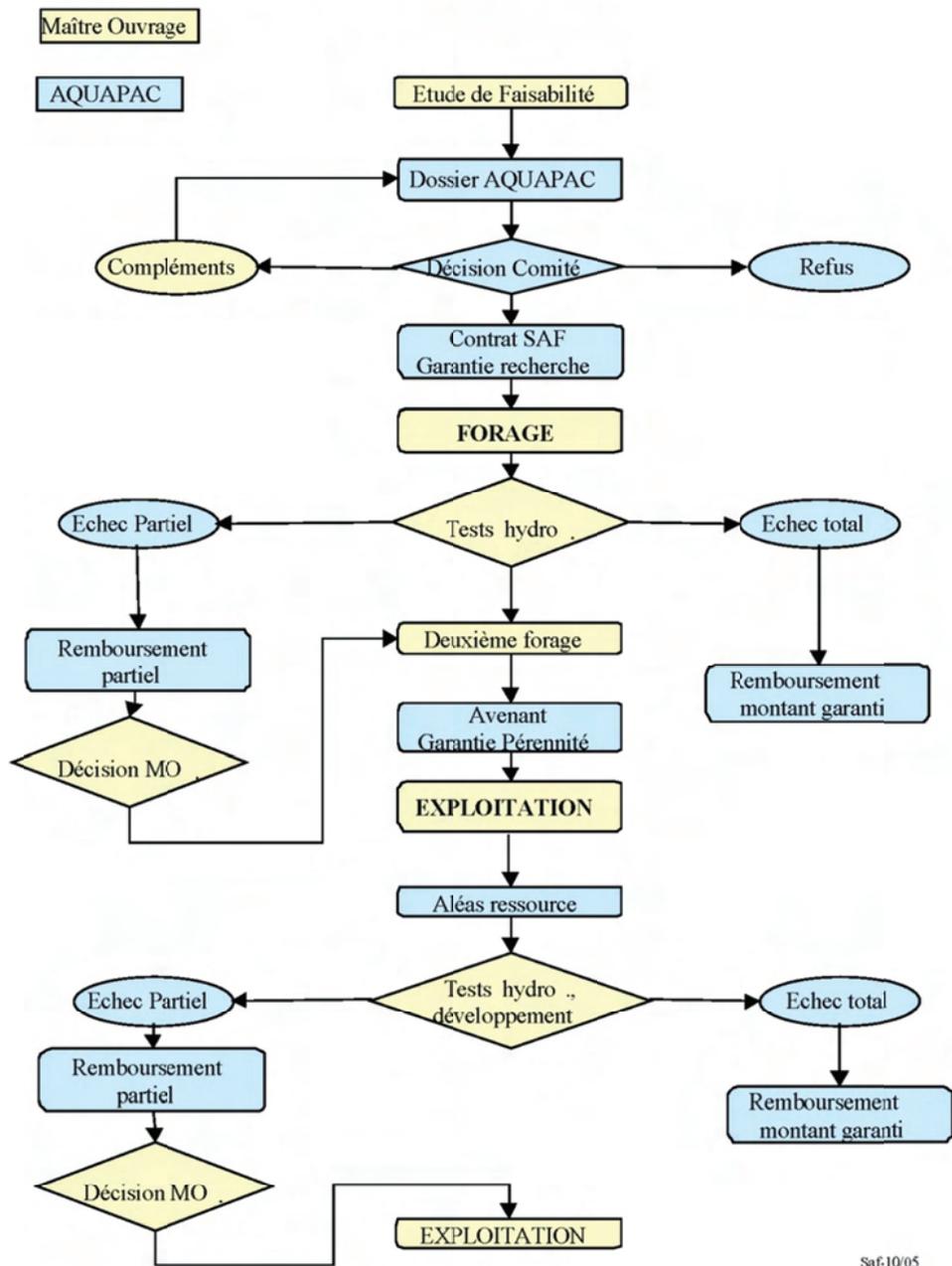
Ensuite, le Comité apprécie la recevabilité du sinistre et déclenche, s'il y a lieu, le paiement des indemnités.

Le Comité se réserve toutefois la possibilité en lieu d'indemnisation de restaurer le forage ou l'installation

PLAFOND

Les indemnisations sont plafonnées à **140 000 Euros** par sinistre.

Procédure AQUAPAC



Saf.10/05

4

Annexe 2

Aides pour les opérations de rénovation

Date de mise à jour : avril 2009

Synthèse

Différentes aides existent pour la modification de votre système de chauffage et l'installation d'un système de géothermie : Si le logement a plus de deux ans, bénéficiez de la TVA à 5.5%. Comme pour le neuf, le crédit d'impôt permet d'économiser jusqu'à 40% de l'investissement pour l'achat de la pompe à chaleur.

A cela peuvent s'ajouter des aides de l'ANAH (Agence Nationale d'Amélioration de l'Habitat) sous conditions de revenus, et des aides des régions ou des collectivités locales.

Enfin sachez que vous pouvez financer votre investissement, pour votre résidence principale construite avant 1990, avec un Eco prêt à taux zéro, en empruntant jusqu'à 30 000 € à une banque qui a signé une convention avec l'état. Ce dernier est cumulable avec le crédit d'impôt pour le développement durable sous conditions de revenus.

Pour connaître l'ensemble des aides disponibles, n'hésitez pas à vous adresser à l'Espace Info Énergie de l'ADEME le plus près de chez vous !

Aides

➤ **Aides de l'ANAH (Agence Nationale d'Amélioration de l'Habitat)**

Pour les propriétaires occupants : L'installation de système à usage domestique utilisant les énergies nouvelles ou renouvelables comme la géothermie figurent dans la liste des travaux éligibles.

Les subventions sont accordées aux propriétaires qui occupent leur logement mais qui ont des revenus limités.

Les travaux éligibles doivent de plus :

- être d'un montant minimum de 1 500 €
- être commencés après le dépôt de la demande de subvention.
- être réalisés par des professionnels du bâtiment.

Chaque projet sera étudié au cas par cas en étudiant le montage économique, technique et social. L'attribution de l'aide n'est pas systématique.

Les taux de référence nationaux maximum sont indiqués ci-dessous, ils peuvent varier en fonction du contexte local.

↔ TAUX MAXIMUM DE SUBVENTION			
	Plafonds de travaux par logement	Taux applicables aux propriétaires sous plafonds de ressources « de base »	Taux applicables aux propriétaires sous plafonds de ressources « prioritaires »
Cas général		20 %	35 %
OPAH rénovation urbaine, revitalisation rurale ou copropriétés dégradées	13 000 €	30 %	35 %

Source : ANAH

Dans le cadre de la politique de l'ANAH en faveur de la lutte contre la précarité énergétique, une éco-prime de 1 000 € peut venir compléter cette subvention, si :

- Le logement doit être classé en étiquette F ou G à l'occasion de l'évaluation thermique effectuée avant les travaux
- Le gain énergétique obtenu après réalisation des travaux doit être d'au moins 30 % sur la consommation conventionnelle.

Pour les propriétaires bailleurs : Les propriétaires qui louent ou souhaitent louer un bien immobilier en réalisant ou non des travaux peuvent conventionner leur logement, obtenir un rabatement fiscal et également obtenir une subvention supplémentaire de l'ANAH, ou éco-prime de 2000€.

Conditions d'obtentions :

- Le diagnostic de performance énergétique après travaux doit attester d'un gain d'au moins deux classes d'étiquette « énergie ».
- Le niveau de performance énergétique atteint doit être au minimum l'étiquette C ou D suivant le contexte local.
- Le logement doit faire l'objet d'un conventionnement social ou très social ou d'un financement au titre de la sortie d'insalubrité ou de péril.

Pour les copropriétés : Les syndicats de copropriétés pour des travaux sur les parties communes peuvent également obtenir des aides de l'ANAH, dans le cas où 75 % des « lots » sont des habitations principales et où le logement a été achevé depuis au moins 15 ans à la date où la décision d'accorder la subvention est prise.

Le taux de subvention est de 35 % dans la limite d'un plafond de 13 000 € par lot d'habitation pour les immeubles en OPAH copropriété dégradée et de 50 % hors plafond de travaux pour les immeubles en plan de sauvegarde ou en OPAH copropriété présentant des pathologies lourdes.

Les aides de l'ANAH sont cumulables avec l'éco-prêt et le crédit d'impôt en faveur des économies d'énergie et du développement durable.

ANAH	Agence Nationale d'Amélioration de l'Habitat
OPAH	Opération programmée d'amélioration de l'Habitat
ANIL	Agence Nationale pour l'Information sur le Logement

➤ **L'Eco Prêt à taux zéro**

Fixé par les décrets et l'arrêté du 30 mars 2009

L'Eco Prêt à taux zéro est destiné à financer des travaux d'amélioration de la performance énergétique des logements achevés.

Conditions d'obtentions :

- Sans condition de ressources
- Logement existant construit avant le 1er janvier 1990
- Logement occupé à titre de résidence principale.

Les travaux doivent être composés d'au moins 2 travaux parmi une liste prédéfinie et présentée ci-dessous ou doivent permettre l'amélioration de la performance énergétique globale du logement.

Catégories de travaux éligibles	Caractéristiques et performances
1. Isolation de la toiture Planchers de combles perdus Rampants de combles aménagés Toiture terrasse	$R \geq 5 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W}$ $R \geq 4 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W}$ $R \geq 3 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W}$
2. Isolation des murs donnant sur l'extérieur Isolation par l'intérieur ou par l'extérieur	$R \geq 2,8 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W}$
3. Remplacement des fenêtres et des portes-fenêtres donnant sur l'extérieur et remplacement éventuel des portes donnant sur l'extérieur Fenêtre ou porte-fenêtre Fenêtre ou porte-fenêtre munies ou non de volets Seconde fenêtre devant une fenêtre existante Porte donnant sur l'extérieur (uniquement si réalisé en complément des fenêtres) Réalisation d'un sas donnant sur l'extérieur (pose devant la porte existante d'une 2ème porte) (uniquement si réalisé en complément des fenêtres)	$U_w \leq 1,8 \text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$ $U_{jn} \leq 1,8 \text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$ $U_w \text{ ou } U_{jn} \leq 2 \text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$ $U_w \leq 1,8 \text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$ $U_w \text{ ou } U_{jn} \leq 2 \text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$
4. Installation ou remplacement d'un système de chauffage (associé le cas échéant à un système de ventilation performant) ou d'une production d'eau chaude sanitaire (ECS) Chaudière + programmeur de chauffage PAC* chauffage + programmeur de chauffage PAC* chauffage + eau chaude sanitaire + programmeur de chauffage	à condensation (ou basse température, mais seulement en bâtiment collectif quand l'installation d'une chaudière à condensation est impossible*) $\text{COP} \geq 3,3^{**}$ $\text{COP} \geq 3,3^{**}$
5. Installation d'un système de chauffage utilisant une source d'énergie renouvelable Chaudière bois + programmeur Poêle à bois, foyer fermé, insert de cheminée intérieur	classe 3 au moins rendement $\geq 70 \%$
6. Installation d'une production d'eau chaude sanitaire utilisant une source d'énergie renouvelable Capteurs solaires	certification CSTBat, Solar Keymark ou équivalent

** Pompes à chaleur géothermique à capteur fluide frigorigène (sol / sol ou sol / eau) : COP $\geq 3,3$ pour une température d'évaporation de -5°C et une température de condensation de 35°C .

Pompes à chaleur géothermique de type eau glycolée / eau : COP $\geq 3,3$ pour des températures d'entrée et de sortie d'eau glycolée de 0°C et -3°C à l'évaporateur et des températures d'entrée et de sortie d'eau de 30°C et de 35°C au condenseur.

Pompes à chaleur géothermique de type eau / eau : COP $\geq 3,3$ pour des températures d'entrée et de sortie d'eau de 10°C et 7°C à l'évaporateur et de 30°C et 35°C au condenseur.

Le montant du prêt est à priori limité au montant des travaux, plafonné à 30 000 € pour le choix de 3 catégories.

L'Eco Prêt peut se cumuler avec :

- les prêts et aides suivants :
 - un prêt conventionné (CCH : R. 331-72),
 - un prêt à 0% (lorsque pour financer une acquisition accompagnée de travaux, un prêt à 0% est octroyé, le coût total de l'opération ne comprend pas les travaux financés par l'Eco Prêt),
 - les aides de l'ANAH,

- *les aides des collectivités territoriales en faveur du développement durable,*
- *les éco-prêts liés au Livret de développement durable, mis en place par les banques en 2007 suite à la transformation du CODEVI en livret de développement durable, pourront être utilisés comme prêt complémentaire à l'Eco Prêt ou pour financer des travaux non éligibles à l'Eco Prêt ;*
- *certains dispositifs fiscaux :*
 - *le crédit d'impôt en faveur du développement durable pour les ménages dont les revenus fiscaux de référence de l'avant dernière année précédant l'offre d'Eco Prêt (N-2) n'excèdent pas 45.000 € et pour les années 2009 et 2010 (loi de finances rectificative pour 2009 : art. 8 / CGI : art. 44 quater U I 7° modifié).*

Pour les autres ménages, le crédit d'impôt en faveur du développement durable ne sera possible que pour les travaux non financés par l'Eco Prêt ;

- *le crédit d'impôt sur les intérêts d'emprunt pour l'acquisition pour les propriétaires occupants*
- *la déduction de charges pour la détermination des revenus fonciers pour les propriétaires bailleurs.*

Pour en savoir plus :

<http://ecocitoyens.ademe.fr/financer-mon-projet>

<http://www.anah.fr/>

<http://www.anil.org/>

Annexe 3

Fiches types d'opération standardisées concernant la géothermie (Annexe 1 de l'arrêté du 28 juin 2010)



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° **BAR-TH-03**

Pompe à chaleur de type eau / eau

1. Secteur d'application

Bâtiments résidentiels existants.

2. Dénomination

Mise en place d'une pompe à chaleur (PAC) de type eau / eau.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Coefficient de performance (COP), mesuré selon la norme EN 14511-2 pour des températures d'entrée et de sortie d'eau de 10° C et 7° C à l'évaporateur, et de 30° C et 35° C au condenseur, égal ou supérieur à 3,4.

La pompe à chaleur a une certification NF PAC ou un label EHPA ou l'Eco-Label européen ou des caractéristiques de performance et de qualité équivalentes établies par un organisme établi dans l'Espace économique européen et accrédité selon les normes NF EN ISO/CEI 17025 et NF EN 45011 par le Comité français d'accréditation (COFRAC) ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de European co-operation for Accreditation (EA), coordination européenne des organismes d'accréditation.

Mise en place réalisée par un professionnel.

Pour les actions engagées à partir du 01/01/2011, l'installateur doit obligatoirement être signataire de la charte QUALIPAC ou disposer d'une qualification professionnelle dans le domaine des pompes à chaleur géothermiques.

4. Durée de vie conventionnelle

16 ans



5. Montant de certificats en kWh cumac

Pour une maison individuelle :

COP	Zone climatique	Montant unitaire en kWh cumac		Facteur correctif	Surface habitable en m ²	
3,5 > COP ≥ 3,4	H1	160 000	X	0,2	< 35	
	H2	130 000		0,4	35 - 60	
	H3	84 000		0,7	60 - 80	
4 > COP ≥ 3,5	H1	160 000		0,9	80 - 100	
	H2	130 000		1,1	100 - 130	
	H3	87 000		1,4	> 130	
COP ≥ 4	H1	170 000				
	H2	140 000				
	H3	91 000				

Pour un appartement :

COP	Zone climatique	Montant unitaire en kWh cumac
3,5 > COP ≥ 3,4	H1	64 000
	H2	53 000
	H3	35 000
4 > COP ≥ 3,5	H1	67 000
	H2	54 000
	H3	36 000
COP ≥ 4	H1	69 000
	H2	57 000
	H3	38 000



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° **BAT-TH-13**

Pompe à chaleur de type eau / eau

1. Secteur d'application

Bâtiment tertiaire : locaux du secteur tertiaire existants, de surface totale inférieure à 5000 m².

2. Dénomination

Mise en place d'une pompe à chaleur (PAC) de type eau / eau sur un système de chauffage électrique direct.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Coefficient de performance (COP) mesuré selon la norme EN 14511 pour une température d'évaporation correspondant au point nominal de la norme et une température de sortie d'eau de 35°C égal ou supérieur à 3,3.

Mise en place réalisée par un professionnel.

4. Durée de vie conventionnelle

20 ans.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Montant unitaire en kWh cumac / m ²					Surface en m ²	Zone climatique	Facteur correctif
Branche d'activité	3 ≤ COP < 3,3 <i>uniquement pour des actions engagées avant le 01/01/2008</i>	3,3 ≤ COP < 3,5	3,5 ≤ COP < 4	4 ≤ COP			
Bureaux	1 000	1 100	1 100	1 200	X S X	H1	1,1
Enseignement	680	710	720	760		H2	0,9
Commerces	760	790	820	850		H3	0,6
Hôtellerie – Restauration	820	860	880	930			
Santé	950	990	1 000	1 100			



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° **BAR-TH-37**

Raccordement d'un bâtiment résidentiel à un réseau de chaleur alimenté par des énergies renouvelables ou de récupération

1. Secteur d'application

Appartements existants.

2. Dénomination

Raccordement d'un appartement existant à un réseau de chaleur alimenté par des énergies renouvelables ou de récupération.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Descriptif du réseau de chaleur à fournir : moyens de production et énergies utilisées sur les 3 dernières années (en précisant les éléments spécifiques aux énergies renouvelables ou de récupération).

Mise en place réalisée par un professionnel.

Application de cette opération non cumulable avec l'application de l'opération standardisée RES-CH-01 « Production de chaleur renouvelable ou de récupération en réseau (France métropolitaine) ».

4. Durée de vie conventionnelle

20 ans

5. Montant de certificats en kWh cumac

Montant unitaire pour un appartement en kWh cumac		
Zone climatique	Chauffage	Chauffage et eau chaude sanitaire
H1	220 000	280 000
H2	180 000	230 000
H3	120 000	150 000

X T

T (%) correspond à la part des besoins couverts par les énergies renouvelables ou de récupération, au sein du réseau de chaleur (et non du bâtiment), avant ce nouveau raccordement.



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° **BAT-TH-27**

Raccordement d'un bâtiment tertiaire à un réseau de chaleur alimenté par des énergies renouvelables ou de récupération

1. Secteur d'application

Bâtiments tertiaires existants.

2. Dénomination

Raccordement d'un bâtiment tertiaire existant à un réseau de chaleur alimenté par des énergies renouvelables ou de récupération.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

La puissance totale raccordée sur une année ne peut excéder 10 % de la puissance souscrite au réseau avant ces nouveaux raccordements.

Descriptif du réseau de chaleur à fournir : moyens de production et énergies utilisées sur les 3 dernières années (en précisant les éléments spécifiques aux énergies renouvelables ou de récupération).

Mise en place réalisée par un professionnel.

Application de cette opération non cumulable avec l'application de l'opération standardisée RES-CH-01 « Production de chaleur renouvelable en réseau ou de récupération (France métropolitaine) ».

4. Durée de vie conventionnelle

20 ans



5. Montant de certificats en kWh cumac

Montant unitaire en kWh cumac / m ²			Surface totale chauffée en m ²	Secteur d'activité	Facteur d'occupation	
	Chauffage	Chauffage et ECS				
Zone Climatique	H1	2 200	2 400	X	Bureaux	1,1
	H2	1 700	2 000		Enseignement	0,8
	H3	1 100	1 300		Commerces	0,9
			S		Hôtellerie – restauration	1,1
					Santé	1,4
					Autres	0,8

X T

T (%) correspond à la part des besoins couverts par les énergies renouvelables ou de récupération, au sein du réseau de chaleur (et non du bâtiment), avant ce nouveau raccordement.



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° RES-CH-01

Production de chaleur renouvelable ou de récupération en réseau (France métropolitaine)

1. Secteur d'application

Appartements existants et bâtiments tertiaires existants en France métropolitaine.

2. Dénomination

Mise en place d'un système de production de chaleur renouvelable ou de récupération (géothermie, incinération, bois-énergie, biogaz, chaleur industrielle, etc.) sur un réseau de chaleur.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Cette opération s'applique aux installations non soumises à la directive 2003/87/CE établissant un système d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre.

Le réseau de chaleur peut alimenter également des bâtiments neufs, non concernés par cette opération. La proportion de bâtiments existants alimentés par le réseau doit être fournie.

La chaleur renouvelable ou de récupération nette est déterminée par une étude spécifique.

Le terme kWh_{th} est égal au nombre de kWh renouvelables ou de récupération nets produits et valorisés par an par l'installation.

4. Durée de vie conventionnelle

Pour les sources d'énergie comme le bois-énergie et le biogaz : 15 ans

Pour les autres sources d'énergie, notamment les unités d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) ou la géothermie : 20 ans



5. Montant de certificats en kWh cumac

Source d'énergie	Coefficient cumac		Chaleur renouvelable nette/ an		
Bois-énergie et biogaz	11,563				
UIOM – déchets géothermie autres	14,134	X	kWh _{th}	X	C

C (%) = [surface des bâtiments existants alimentés par le système de production de chaleur renouvelable ou de récupération] / [surface de l'ensemble des bâtiments alimentés par le réseau (neufs + existants)]

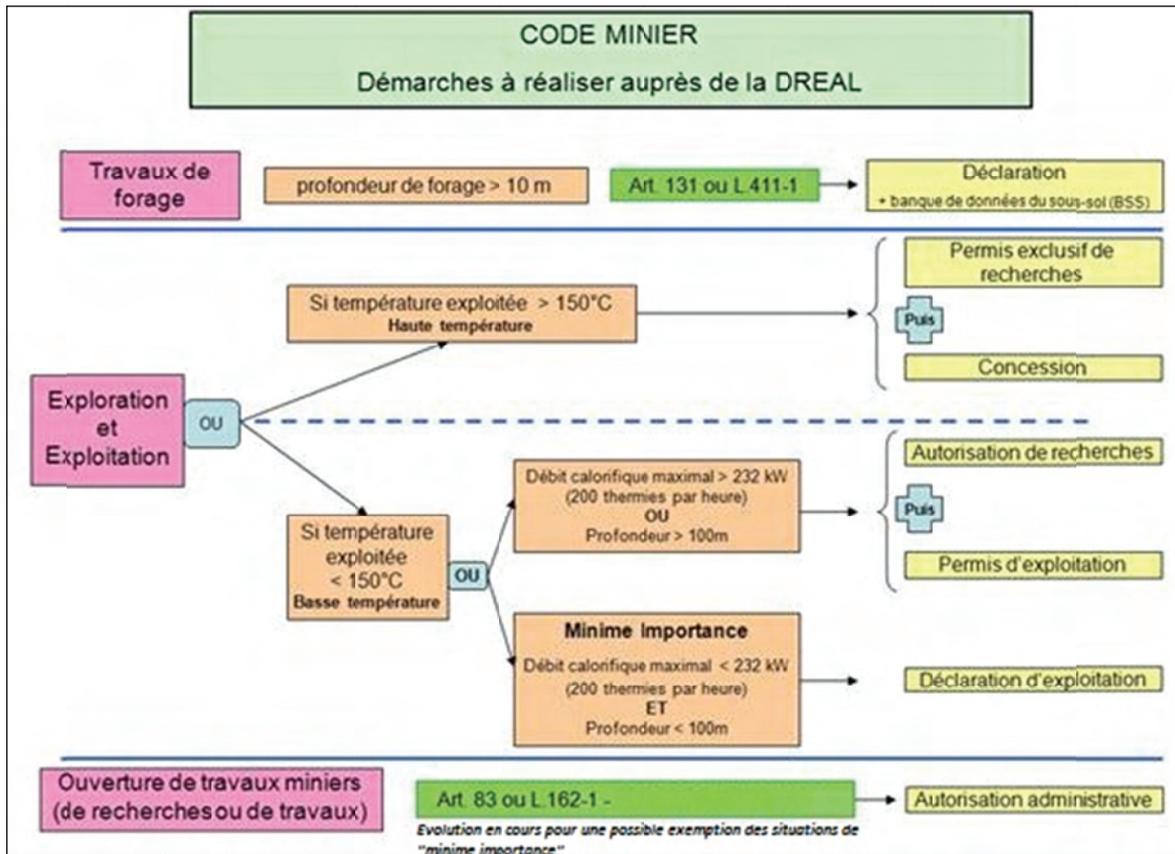
Annexe 4

Régimes juridiques applicables à la géothermie sur sonde : code minier (nouveau)

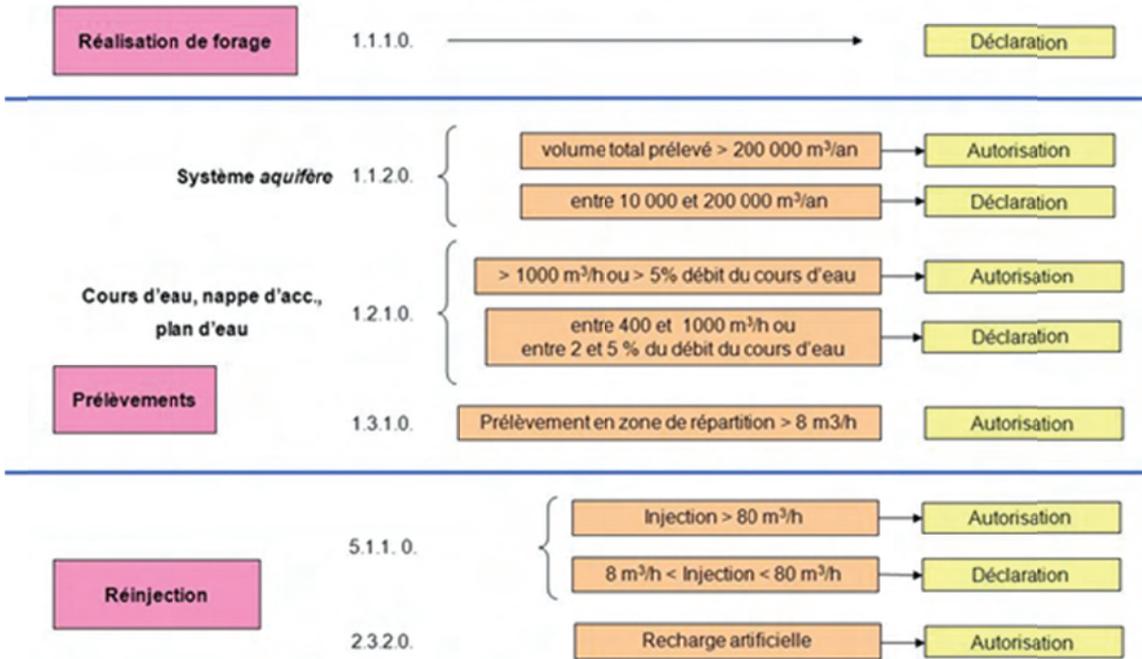
Tableau simplifié des différentes situations rencontrées et des régimes juridiques applicables à la géothermie sur sonde.		
Régimes applicables = code minier (nouveau)		
Code minier	Géothermie haute température (> 150°C)	Géothermie basse température (<150°C)
	Géothermie basse température sensu stricto	Géothermie basse température de minime importance
Titre II	Assimilé à une exploitation minière normale	Exploitation minière de type particulier
Titre III	Permis exclusif de recherches dans un périmètre défini, après examen du dossier, mise en concurrence. 5 ans maxi, par arrêté ministériel.	Ne s'applique pas.
Titre IV article L.162-4 (ex. art. 83)	Concession octroyée par décret en CE, pour 50 ans maximum, de droit au détenteur d'un permis dans le périmètre considéré	Ne s'applique pas.
Titre V	Ouverture de travaux de recherche ou d'exploitation soumise à autorisation , possibilité de prévoir une déclaration sous certains seuils. Décret n°2006-649, Article 3 : les travaux de géothermie sont soumis à autorisation. S'applique à toutes les situations.	Articles L124-3 et L134-4 à L134-5 (ex art. 98 et 99) : - les recherches sont soumises à un permis de recherche (délivré par préfet, pour 3 ans maxi, après enquête publique, dans périmètre défini). - l'exploitation est soumise à un permis d'exploitation , de 30 ans maximum, donné par le préfet
Titre VIII L411-1 (ex art.131)	Obligation de déclaration à la DREAL, au moins un mois avant la réalisation (si plus de 10m). L'autorisation prévue à l'article L.162-4 vaut déclaration à l'article L411-1.	Articles L124-3 et L134-3 (ex art. 102) : possible de déroger au titre V pour des prélèvements de faible débit calorifique et profondeur Décret 1978, Art 17 : Sont de minime importance les prélèvements de moins de 200 thermies / h ET de moins de 100 m. Les exploitations de minime importance doivent être déclarées selon les modalités prévues pour les déclarations en application de l'article L411-1 (ex art.131) du code minier
		Décret 1978 art. 17 : Sondes horizontales La déclaration au moins de 10 m : pas de titre du Titre V vaut déclaration au titre de l'article L411-1 (ex art.131)

Annexe 5

Régimes juridiques applicables à la géothermie sur nappe : code minier (nouveau) et code de l'environnement



CODE DE L'ENVIRONNEMENT - Nomenclature Eau
 Se renseigner auprès des services en charge de la Police de l'Eau : DDT, DREAL



Annexe 6

Nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement (Titres 1 et 5)

Article Annexe du décret n°93-743 du 29 mars 1993 relatif à la nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application de l'article 10 de la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau (abrogé au 23 mars 2007)

Modifié par Décret 2006-881 2006-07-17 art. 1 2° JORF 18 juillet 2006 en vigueur le 1er octobre 2006

Abrogé par Décret n°2007-397 du 22 mars 2007 - art. 4 (V) JORF 23 mars 2007

Le débit de référence du cours d'eau s'entend comme le débit moyen mensuel sec de récurrence cinq ans ci-après dénommé le débit. Les niveaux de référence R1, R2, S1, N1 et N2, les teneurs à prendre en compte ainsi que les conditions de dérogation sont fixés par arrêté conjoint du ministre chargé de la mer et du ministre chargé de l'environnement.

TITRE 1er

PRÉLÈVEMENTS

1.1.1.0. Sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines, y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau (D).

1.1.2.0. Prélèvements permanents ou temporaires issus d'un forage, puits ou ouvrage souterrain dans un système aquifère, à l'exclusion de nappes d'accompagnement de cours d'eau, par pompage, drainage, dérivation ou tout autre procédé, le volume total prélevé étant :

1° Supérieur ou égal à 200 000 m³/h/an (A) ;

2° Supérieur à 10 000 m³/an mais inférieur à 200 000 m³/an (D).

1.2.1.0. A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, prélèvements et installations et ouvrages permettant le prélèvement, y compris par dérivation, dans un cours d'eau, dans sa nappe d'accompagnement ou dans un plan d'eau ou canal alimenté par ce cours d'eau ou cette nappe :

1° D'une capacité totale maximale supérieure ou égale à 1 000 m³/heure ou à 5 % du débit du cours d'eau ou, à défaut, du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau (A) ;

2° D'une capacité totale maximale comprise entre 400 et 1 000 m³/heure ou entre 2 et 5 % du débit du cours d'eau ou, à défaut, du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau (D).

1.2.2.0. A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, prélèvements et installations et ouvrages permettant le prélèvement, dans un cours d'eau, sa nappe d'accompagnement ou un plan d'eau ou canal alimenté par ce cours d'eau ou cette nappe, lorsque le débit du cours d'eau en période d'étiage résulte, pour plus de moitié, d'une réalimentation artificielle. Toutefois, en ce qui concerne la Seine, la Loire, la Marne et l'Yonne, il n'y a lieu à autorisation que lorsque la capacité du prélèvement est supérieure à 80 m³/h (A).

1.3.1.0. A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, ouvrages, installations, travaux permettant un prélèvement total d'eau dans une zone où des mesures permanentes de répartition quantitative instituées, notamment au titre de l'article L. 211-2 du code de l'environnement, ont prévu l'abaissement des seuils :

1° Capacité supérieure ou égale à 8 m³/h (A) ;

2° Dans les autres cas (D).

TITRE 5

RÉGIMES D'AUTORISATION VALANT AUTORISATION AU TITRE DES ARTICLES L. 214-1 ET SUIVANTS DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT

Les règles de procédure prévues par le décret n° 93-742 du 29 mars 1993 ne sont pas applicables aux installations, ouvrages, travaux et activités figurant dans ces rubriques, lesquels sont régis par des dispositions particulières.

5.1.1.0. Réinjection dans une même nappe des eaux prélevées pour la géothermie, l'exhaure des mines et carrières ou lors des travaux de génie civil, la capacité totale de réinjection étant :

1° Supérieure ou égale à 80 m³/h (A) ;

2° Supérieure à 8 m³/h, mais inférieure à 80 m³/h (D).

5.1.2.0. Travaux de recherche et d'exploitation de gîtes géothermiques (A).

5.1.3.0. Travaux de recherche, de création, d'essais, d'aménagement ou d'exploitation des stockages souterrains soumis aux dispositions du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 :

a) Travaux de création et d'aménagement de cavités visées au 4° de l'article 3 (A) ;

b) Travaux de forage de puits visés au 5° de l'article 3 (A) ;

c) Essais visés au 6° de l'article 3 (A) ;

- d) Mise en exploitation d'un stockage souterrain visée au 7° de l'article 3 (A) ;
- e) Travaux de forage de recherche de cavité ou de formations souterraines visées au 2° de l'article 4 (D) ;
- f) Travaux de forage de puits de contrôle visés au 3° de l'article 4 (D) ;
- g) Essais visés au 4° de l'article 4 (D).

5.1.4.0. Travaux d'exploitation de mines :

- a) Travaux d'exploitation de mines effectués dans le cadre de l'autorisation d'exploitation mentionnée à l'article 21 du code minier (D) ;
- b) Autres travaux d'exploitation (A).

5.1.5.0. Travaux de recherche et d'exploitation des stockages souterrains de déchets radioactifs :

- a) Travaux de recherche nécessitant un ou plusieurs forages de durée de vie supérieure à un an (A) ;
- b) Autres travaux de recherche (D) ;
- c) Travaux d'exploitation (A).

5.1.6.0. Travaux de recherches des mines :

- a) Travaux de recherche visés au 2° de l'article 3 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 (A) ;
- b) Autres travaux de recherche visés au même décret (D).

5.1.7.0. Travaux de prospection, de recherche et d'exploitation de substances minérales ou fossiles non visées à l'article 2 du code minier et contenues dans les fonds marins du domaine public (A).

5.2.1.0. Effluents radioactifs provenant d'une installation nucléaire de base (INB) (A).

5.2.2.0. Entreprises hydrauliques soumises à la loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique (A).

5.2.3.0. Les travaux décidés par la commission d'aménagement foncier comprenant des travaux tels que l'arrachage des haies, l'arasement des talus, le comblement des fossés, la protection des sols, l'écoulement des eaux nuisibles, les retenues et la distribution des eaux utiles, la rectification, la régularisation et le curage des cours d'eau non domaniaux (A).

Annexe 7

Fiche de déclaration en mairie des prélèvements, puits et forages réalisés à des fins domestiques

Annexe 8

Déroulement d'une opération de géothermie pompe à chaleur sur aquifère

DÉROULEMENT D'UNE OPÉRATION DE GÉOTHERMIE POMPE À CHALEUR SUR AQUIFÈRE

Les résultats économiques d'une opération de géothermie dépendent de la qualité de sa conception et de sa réalisation, et surtout de l'adéquation entre la ressource géothermale et les besoins.

En effet, les coûts d'investissement étant généralement plus lourds que dans le cas d'une opération de chauffage classique, la rentabilité de l'opération sera plus sensible à la limitation de la puissance installée aux besoins réels, et dépendra des choix qui seront effectués dans l'utilisation effective de l'énergie géothermale: débits de pompage, écart entre température de production et d'injection, régulation thermique...). Il convient donc d'optimiser la mise en adéquation de la ressource géothermale et des besoins thermiques.

Les principales démarches successives pour la réalisation d'une opération de géothermie avec pompes à chaleur sur aquifère superficiel sont les suivantes :

Analyse du contexte général et définition des objectifs

- Caractéristiques hydrogéologiques du site (diagnostic fondé sur des inventaires régionaux, l'existence d'un SIG, des études sur des opérations voisines...).
- Contexte urbanistique, choix socio-économique, politique et environnemental.
- Évaluation des besoins en chaud et/ou en froid (estimation des puissances et des consommations).

Organisation de la conception de l'opération

- Choix d'un bureau d'études sous-sol.
- Choix d'un bureau d'études surface.

Étude de faisabilité

- Aquifère cible, description des forages (doublet - puits unique).
- Schéma et fonctionnement de la boucle thermique.
- Caractéristiques de la solution technique retenue.
- Définition du programme des travaux.

Démarches administratives

- Dossier de déclaration et/ou d'autorisation : déclaration code minier, loi sur l'eau, code environnement (puissance PAC), garantie Aquapac®.
- Organisation de l'opération
- Choix des ingénieries sous-sol, surface.

Réalisation des ouvrages

- Consultation des entreprises.
- Suivi des travaux.
- Interprétation des résultats.
- Actualisation des données prévisionnelles.
- Calage de l'opération.
- Réception des ouvrages.

Mise en service

Exploitation

Maintenance

Annexe 9

Cahier des charges d'études de faisabilité d'une opération de géothermie pompe à chaleur sur aquifère

CAHIER DES CHARGES D'ÉTUDES DE FAISABILITÉ D'UNE OPÉRATION DE GÉOTHERMIE POMPE À CHALEUR SUR AQUIFÈRE

Définition des principales caractéristiques de l'aquifère

- Analyse du contexte géologique (en tenant compte des forages à proximité et en utilisant la base de données des forages BSS (www.infoterre.fr)).
- Choix de l'aquifère.
- Coupe géologique prévisionnelle (profondeurs, épaisseurs, stratigraphie...).
- Caractéristiques hydrogéologiques du réservoir (perméabilité, porosité, transmissivité, pression hydrostatique, chimie...).
- Caractéristiques prévisionnelles d'exploitation : débit (avec pompage et en artésianisme).

Analyse des besoins thermiques

Il s'agit d'établir les caractéristiques des installations de production de chaleur :

- Leur localisation et leur identification sur un plan.
- La nature des bâtiments : logements, bureaux, commerces, locaux industriels...
- Les besoins et les systèmes d'émission de la chaleur, de froid et d'ECS.
- L'évaluation de la puissance thermique nécessaire par -7°C .
- La nature des émetteurs de chauffage (loi d'eau).
- Le mode de distribution régulation (chauffage et ECS).
- Existence ou non de l'appoint - secours.

Définition des installations sous-sol (boucle géothermale)

- Étude de l'implantation du (des) site(s) de forage en fonction des terrains disponibles, des contraintes de forage, des nuisances du chantier, des interférences hydrothermiques, de l'écoulement de la nappe.
- Coupe technique des puits (profondeurs, diamètres et matériaux des tubages).
- Programme des tests hydrogéologiques.
- Détermination des puissances de pompage (production et réinjection),
- Prise en compte de contraintes réglementaires spécifiques.

Analyse de l'adéquation entre les besoins et la ressource géothermique, bilans

- En fonction des hypothèses sur la ressource, il sera établi un bilan énergétique précisant notamment le nombre de MWh géothermiques susceptibles d'être distribués et les taux de couverture.
- Synthèse et choix des solutions à retenir.
- Pour chacune des variantes, le bilan des émissions de CO₂ et de NO_x par rapport à la solution de référence sera établi.

Coûts Investissements

Boucle géothermale

- Études, ingénierie, assurances, garantie.
- Travaux de génie civil de la plateforme de forage.
- Forages du ou des puits.
- Équipements de pompage et variateurs (production et injection).
- Échangeurs.

- Autres équipements.
- Chaufferie.

Installations de surface

- Études, ingénierie, assurances.
- Génie civil réseau.
- Canalisations (longueur, diamètres, coût par ml).
- Modification ou création des sous-stations.
- Création ou adaptation de chaufferies d'appoint-secours.
- Télégestion.

Coûts d'exploitation

- Électricité de pompage (production + réinjection), circulation surface.
- Appoint.
- Contrôles périodiques et suivi du réservoir.
- Gros entretien et renouvellement.

Couverture du risque géologique

Le captage des aquifères comporte des risques géologiques. Ils pourront être couverts par la garantie Aquapac®.

Financements de l'opération

Aides: ADEME, Région, Autres.

Il sera également pris en compte les ressources provenant des crédits carbone, des certificats d'économies d'énergies et du crédit d'impôt, dont pourraient éventuellement bénéficier certains utilisateurs.

Analyse économique - Bilans

Il s'agit de comparer la solution existante, à base d'énergies fossiles, et une solution de conversion à la géothermie.

L'amortissement des investissements sera calculé sans subvention et avec subventions.

On calculera ainsi les indicateurs financiers suivants :

- Prix de revient du MWh de chaleur produite.
- Temps de retour (brut, net).
- Taux de rentabilité interne.

Annexe 10

Cahier des charges d'études de faisabilité d'une opération de géothermie pompe à chaleur sur aquifère

Coûts d'investissements et d'exploitation

Ce chapitre traite des coûts spécifiques aux solutions pompes à chaleur sur nappe. Il est important de rappeler que chaque cas est un cas spécifique, tant au niveau hydrogéologique que de la nature des besoins. Les valeurs indiquées ci-après relèvent des moyennes calculées à partir d'opérations récentes de l'ordre de 10 000 m² (bâtiment collectif/ tertiaire)²² en général en milieu urbain avec contraintes

1. ÉTUDES SPÉCIFIQUES

Étude préalable : *a priori*, pas de coût si exploitation des données de la cartographie du potentiel géothermique.

Étude de faisabilité : 2 000 à 3 000 € HT.

Dossier de déclaration (ou autorisation)
= notice d'incidence : 2 000 à 4 000 € HT.

Maîtrise d'œuvre spécifique²³ : 8 000 à 13 000 € HT
suivant importance du projet, et limites de la mission.

2. FORAGES ET ÉQUIPEMENTS AFFÉRENTS

Le coût parfois élevé des forages (au regard des débits donc des puissances attendus) peut s'expliquer par :

- les contraintes générées par l'intervention en milieu urbain : encombrement des machines de forages, démarches pour intervention auprès des services de la voirie, les difficultés d'accès,
- « une faible concurrence » : malgré un potentiel recensé au niveau national d'environ 30 foreurs, pour un projet donné, peu d'entreprises sont susceptibles d'intervenir. Pour beaucoup de ces entreprises l'essentiel de l'activité concerne des forages pour captage d'eau potable ou l'irrigation donc hors milieu urbain.

2.1. Forages

Il est très complexe de définir une grille générale de coûts du poste forages et équipements tant la multiplicité des critères est importante.

Quelques éléments de coûts peuvent être identifiés qu'il convient d'utiliser avec «précaution ».

²² Puissance de chauffage moyenne pour des logements : maison individuelle de 150m² : 2 à 3 kW, petit collectif : 10 à 50 kW et grand collectif > 100 kW.

²³ Mission comprenant le pilotage, le suivi de travaux et l'interprétation des essais et tests hydrogéologiques.

Coûts du poste forages seuls (hors équipements, réseaux, électricité, etc.) :
800 à 2 000 € HT/ml

2.2. Équipements

Sur ce poste également, les coûts varient suivant de nombreux critères :

- caractéristiques des pompes (débit, hauteur manométrique, etc.),
- les systèmes de régulation et capteurs mis en œuvre,
- le linéaire des réseaux entre les puits de forages et le local technique de production.

Sur la base d'opération récente, et pour un débit compris entre 60 et 100 m³/h (soit une puissance calorifique entre 625 et 1 045 kW²⁴) le montant estimatif de ce poste est de :
25 000 à 70 000 € HT.

2.3. Maintenance

Coût annuel d'un contrat de maintenance des puits et équipement :

deux visites annuelles + rédaction d'un rapport : 1 500 à 3 000 € HT

Opérations «exceptionnelles» (fréquence entre 10 et 15 ans)

- Examen endoscopique par vidéo : 2 500 € HT

- Dépose des pompes et colonnes pour examen et éventuel détartrage : 8 000 € HT

À noter que ce coût sera très variable suivant conditions d'accès (extérieur ou en local technique, horaires et autres contraintes liées au site).

3. ÉQUIPEMENTS DE SURFACE

3.1. Investissements

Pompes à chaleur :

Le montant de ce poste est bien évidemment très variable suivant la puissance globale, le nombre et le type de machine. En première approche, on peut estimer ce poste dans la « fourchette de coût » suivante avec pose et mise en service avec raccordement : 250 à 350 € HT/kW chaud.
(Machine seule : environ 150 € HT/kW chaud)

Distribution et émission :

Le surcoût induit sur les poste émetteurs (augmentation des surfaces d'échanges : batteries, radiateurs) et distributions (augmentation des diamètres des réseaux) peut être estimé à environ 15 % du poste. On privilégie des matériels certifiés Eurovent (<http://www.eurovent-certification.com>).

²⁴ Hypothèses : Pompe à chaleur avec un COP de 3, écart température prélèvement/rejet eau de nappe de 6 °C.

3.2. Maintenance

Coûts estimatifs de la maintenance du poste pompe à chaleur, le coût de maintenance des autres équipements est sensiblement identiques quelle que soit la solution (PAC sur nappe ou Chauffage + Groupe Froid, etc.).

Gamme de puissance frigorifique (kW)	Coût du contrat de maintenance du type P2
100 - 200	4 500 € HT/an
200 - 400	5 500 € HT/an
400 - 600	7 000 € HT/an
600 - 800	10 000 € HT/an
800 - 1 000	15 000 € HT/an

4. REDEVANCES

L'assiette de la redevance correspond à la quantité d'eau réellement puisée dans le milieu naturel (prélèvement) à laquelle s'ajoute la quantité d'eau non restituée (consommation).

Cette redevance est fonction du type d'activité du consommateur et du débit d'eau prélevé.

L'article 84 de la loi sur l'eau du 30 décembre 2006 concernant les redevances exonère la géothermie des taxes. Au 1^{er} septembre 2007, les décrets d'application n'étaient pas encore publiés.

Selon l'Agence de l'eau Seine-Normandie, si l'eau est réinjectée, cette exonération est totale sous réserve de justifier de la mise en œuvre de certaines « précautions techniques" (contrôle de la température de rejet et éventuellement by-pass de la réinjection et rejet dans le réseau d'assainissement en cas de dépassement des seuils autorisés (30 °C et écart prélèvement / rejet <11°C).

Annexe 11

Enquête auprès des professionnels de la géothermie en Picardie



Rivery, le 04 juin 2012

Réf : DAT GIRNE BRGM-PIC – DM-MA-RP-2012-216

Objet : Etat des lieux et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie

Madame, Monsieur,

Le développement de l'énergie géothermique fait partie des priorités de la France dans le cadre de la lutte contre les changements climatiques et le recours aux énergies renouvelables. L'objectif fixé dans les lois du Grenelle de l'Environnement est de multiplier par 6 la production d'énergie par géothermie au plan national. La déclinaison de ces objectifs effectuée par le comité opérationnel (COMOP 10) propose, en outre, une multiplication par 4 pour la géothermie profonde.

La régionalisation des objectifs de production de chaleur d'origine renouvelable à l'horizon 2020 qui sont inscrits dans l'avant-projet du SCRAE en Picardie, conduit pour la géothermie à 26 500 tonnes équivalent pétrole (tep)/an dont 6 400 tep pour les secteurs résidentiels collectif / tertiaire, 1 100 tep pour les secteurs industriel et agricole et un potentiel de développement dans l'habitat individuel de 19 000 tep (évaluation ENERTER).

En 2050, compte tenu du gisement géothermique intéressant notamment dans le sud de la région picarde, l'objectif envisagé est situé autour de 250 000 tep/an.

Dans le cadre de la mise en application du Schéma Régional Climat-Air-Énergie de Picardie et d'une réflexion sur la valorisation de cette filière économique, inscrite comme une des filières vertes gouvernementales, pour favoriser l'emploi en région Picardie, l'Ademe et la DREAL ont confié au BRGM la réalisation ;

- d'un atlas cartographique du potentiel géothermique des aquifères superficiels et profonds de la région Picardie, destiné à être un outil d'aide à la décision à l'intention des maîtres d'ouvrages potentiels, bureaux d'études, décideurs des collectivités territoriales et particuliers,
- et d'une étude devant permettre d'identifier les perspectives de développement de la filière géothermie, en particulier en termes de formation, d'activité et d'emploi au niveau régional.

En tant que société/organisme œuvrant dans ce domaine et pour ce dernier volet de l'étude, nous vous adressons, ci-joint, un questionnaire qui nous permettra de mieux affiner notre connaissance de cette filière économique en Picardie et de son potentiel de développement :

BRGM - Direction Régionale Picardie
Polytech de Rivery - 7, rue Anne Frank, 80136 Rivery - France
Tél 03 22 91 42 47 - Fax 03 22 92 31 90

Centre scientifique et technique
3 avenue Claude-Guillemin, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02 38 64 35 18

Brgm Établissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 B 5614 Paris - SIRET 58205614900419
www.brgm.fr

Le questionnaire d'enquête est organisé en 3 parties :

- Partie 1 – Contribution à la réalisation d'opérations géothermiques existantes en Picardie (état des lieux),
- Partie 2 – Perspectives en terme d'évaluation de l'activité et de l'emploi,
- Partie 3 - Profil du répondant.

À l'aide de ce questionnaire sous format papier ou électronique (que nous pouvons vous faire parvenir par mail), vous pouvez également nous faire connaître votre opinion ainsi que vos attentes en matière d'actions susceptibles de favoriser le développement de la filière géothermique en région Picardie.

Vous pouvez diffuser ce questionnaire à d'autres personnes intéressées.

En vous remerciant, bien cordialement.

Daniel MATON



Directeur du BRGM Picardie

PJ : - Questionnaire d'enquête

Merci de faire parvenir vos réponses à l'adresse suivante :

Par Courrier électronique :
d.maton@brgm.fr

Par voie postale :
BRGM
Direction Régionale Picardie
À l'attention de Daniel MATON
Polytech Rivery 7, rue Anne Frank – 80136 Rivery

Au plus tard le 30 juin 2012



Enquête

**Etat des lieux et perspectives de développement de la
filière géothermie en région Picardie**

1 - Contribution à la réalisation d'opérations géothermiques en Picardie

Q1 - Pouvez-vous mentionner le nombre d'opérations géothermiques que votre entreprise/organisme a contribué à réaliser ces sept dernières années par type en Picardie ?

Année	Boucle géothermale (doublet de puits) sur aquifère superficiel	Sondes géothermiques verticales	Capteurs géothermiques horizontaux	Autres technologies d'exploitation géothermique
2005				
2006				
2007				
2008				
2009				
2010				
2011				

Q2 - Pouvez-vous citer des opérations ou des projets en cours remarquables que vous avez conduits en Picardie ?

➤ les opérations

Opération	Informations relatives au maître d'ouvrage							
	Maître d'ouvrage	Commune	Dénomination	Recréations installées	Type de bâtiments	Coût de l'opération	Observation du maître d'ouvrage sur son choix de géothermie	Bilan des difficultés rencontrées
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

➤ les acteurs et l'état d'avancement du projet

Opération	Informations sur les acteurs et l'avancement			
	AMO	Bureau d'études sous-sol / forageurs	Bureau d'études thermiques	Etat d'avancement (Faisabilité, essais ou exploitation)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

➤ données techniques du projet

Opération	Informations techniques			
	Ressource (nappe superficielle, profonde, sondes verticales, capteurs horizontaux, autres)	Débit de pompages (max) en m ³ /h	Utilisation (Chauffage/ climatisation)	Puissance de chauffage
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

2 - Perspectives en termes d'évaluation d'activité et d'emploi

Q3 - Quel est votre attitude à l'égard de l'énergie d'origine géothermique par rapport à d'autres sources d'énergie renouvelable ?

- Êtes-vous ?

tout à fait,

plutôt,

plutôt pas,

pas du tout

favorable au développement de cette énergie en Picardie ?

- Pourquoi (économie d'énergie, prix des énergies fossiles, avantages fiscaux, aides/subventions, réglementation thermique, développement durable, réchauffement climatique, coût d'investissement, coût de maintenance, nuisances, problèmes techniques,...) ? :

Q4 - Qu'est-ce qui, selon vous, pourrait favoriser le développement de la filière géothermique en Picardie ?

- en terme d'atouts :

- en terme d'opportunités/leviers :

- en terme d'éléments déclencheurs de l'investissement :

Q5 - Quelles sont les différentes barrières et difficultés que vous rencontrez dans le domaine de la géothermie ?

- en terme de faiblesses :

- en terme de menaces/freins :

Q6 - Quelles sont vos attentes en matière d'outil d'aide à la décision et d'informations dans le domaine de la géothermie ?

Q7a – Question spécifique pour les **professionnels travaillant dans le domaine de la géothermie** : Quel est votre perception du développement de votre société/organismes en termes de chiffres d'affaire et d'emplois dans la filière géothermique ces prochaines années ?

Q7b – Question spécifique pour les **donneurs d'ordres** : quels sont vos futurs projets d'aménagement (logements, bâtiments tertiaires, réseaux de chaleur,...) avec l'utilisation envisagée de la géothermie et où se situeront ces projets en Picardie ?

Q8 - L'offre de formation initiale ou continue dans le domaine de la géothermie est-elle suffisante selon vous en Picardie ? Avez-vous identifié des besoins dans ce domaine et quels sont-ils par métier ?

Q10 - Avez-vous d'autres observations à formuler en ce qui concerne notre étude ?

3 - Profil du répondant

Prénom, Nom du répondant :

Fonction :

Adresse Electronique :

Raison social de l'organisme/ entreprise représentée :

.....

Adresse postal:

.....

Effectif de l'organisme / entreprise :

Effectif travaillant dans le domaine de la géothermie :

Effectif par catégorie professionnelle :

Ingénieur : ; Types de métier :

Technicien : ; Types de métier :

Ouvrier : ; Types de métier :

Q11 - Quel est votre domaine de compétence en géothermie ?

- Etudes sous-sol (hydrogéologie, utilisation géothermique des eaux souterraines et du sous-sol,...)
- Etudes surface (techniques du bâtiment, études thermiques, ...)
- Forages
- Fabrication de PAC
- Installation de PAC
- Sociétés ou régies de chauffage urbain
- Entreprises de maintenance industrielle, électrique,...
- Donneurs d'ordre (collectivité locale, aménageurs public/ privé, promoteurs,)
- Autres (préciser)

Merci du temps que vous avez bien voulu consacrer à cette enquête.

Annexe 12

Flyer des métiers verts du bâtiment en Picardie

PICARDIE
LA RÉGION *ensemble, réinventons la Picardie*

REUSSITE EDUCATIVE

Les métiers verts du bâtiment en Picardie

Besoin d'infos ?

Planète métiers Picardie, un site d'aide à l'orientation qui recense notamment les formations dans les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique et la construction durable.

<http://j.mp/metiersvertsbatiment>

Logos: République Française, Région Picardie, ADENE, Union européenne, oniseip, CODEM, Le Fonds européen de développement régional.

Envie de se former aux métiers verts du Bâtiment ?

Inscrivez-vous dans l'un des treize établissements scolaires de Picardie engagés dans les énergies renouvelables et la construction durable !

Des métiers du bâtiment qui évoluent et recrutent

Chauffagistes, électriciens, couvreurs, techniciens en génie climatique, constructeurs bois...

Venez découvrir les métiers et diplômes qui intègrent ces activités porteuses de débouchés !

<http://j.mp/metiersvertsbatiment>

Des perspectives de développement pour l'éco-bâtiment en Picardie

- Réduire d'ici 2020, les consommations d'énergie de 38% et les émissions de gaz à effet de serre de 50% ;
- Construire et rénover les bâtiments au niveau «basse consommation» (BBC) ;
- Intégrer dans le neuf et la rénovation des équipements ayant recours aux énergies renouvelables.

1	CESI	Chauffe-Eau Solaire Individuel
2	PV	Photovoltaïque raccordé au réseau
3	PAC	Pompe à Chaleur
4	MOB	Maison Ossature Bois

Annexe 12

Programme PAQ dans les lycées professionnels et centres de formation en Picardie

Formations sur l'efficacité énergétique du bâtiment - Réseau des Enseignants-Formateurs de Picardie

Programme Energies Renouvelables : PAC - Pompe à Chaleur

Enjeux, thématiques et dynamique de réseaux

Pilotage du Projet d'Actions

- La direction régionale de l'ADEME en Picardie
- Le Rectorat de l'Académie d'Amiens
- Le Conseil régional de Picardie
- Le CoDEM Picardie

Objectifs opérationnels du dispositif

- Equiper les centres de formation de plateaux techniques et pédagogiques selon le cahier des charges de Quali'ENR
- Mettre en place des formations de Formateurs + Mettre en réseau les Enseignants-Formateurs

Thématiques : 7 domaines d'expérimentation



Les énergies renouvelables

- L'énergie Solaire : Chauffe-Eau Solaire (CESI) + Générateur PhotoVoltaïque (GPVR)
- L'énergie Géothermique : Pompes A Chaleur (PAC) + l'énergie Biomasse : Chauffage Bois Energie (2012)

L'efficacité énergétique

- La Maison Ossature Bois (MOB) en 2011 - l'Amélioration Energétique de l'Habitat (AEH) en 2010/2011
- Les parois opaques + La ventilation (2012) - L'éclairage performant (2013)

Programme Energies Renouvelables : PAC - Pompe à Chaleur Air/Eau

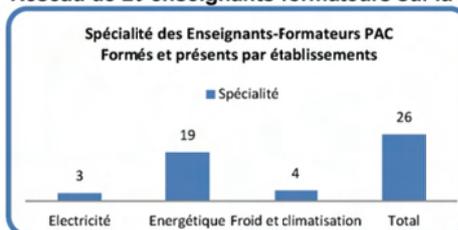
Prestataire équipements : l'entreprise MALLET (80) pour le compte de l'ADEME et du Conseil régional de Picardie

Prestataire formation : l'AFPA Picardie pour le compte de l'ADEME et du Conseil régional de Picardie

Réseau de 12 plateformes pédagogiques PAC

Dépt.	Etablissement	Ville
Aisne	CFA 02	Laon
Aisne	LP Colard Noël	St Quentin
Aisne	LP Le Corbusier	Soissons
Aisne	Lycée Jean Macé	Chauny
Oise	CFA 60	Agnetz
Oise	LP Corot	Beauvais
Oise	LP Amyot d'Inville	Senlis
Oise	Lycée Roberval	Breuil le vert
Somme	CFA 80	Amiens
Somme	LP Acheuléen	Amiens
Somme	LP Boucher de Perthes	Abbeville
Somme	La Providence	Amiens

Réseau de 26 enseignants-formateurs sur la PAC



Actions en cours

- Echanges pédagogiques entre formateurs PAC (mutualisation des animations, ressources, besoins...)
- Visite de l'entreprise AUER (80) pour répondre aux besoins techniques
- Accompagner le développement des Attestations de compétences PAC remises aux jeunes et adultes

Formations concernées

niveaux : CAP / BAC PRO / BTS 3 métiers : chauffagiste / Electricien / Frigoriste 10 diplômes

Niveau 3	BTS FEE-C	Fluides, énergies, environnements, option C : génie frigorifique
	BTS FEE-D	Fluides, énergies, environnements, option D : maintenance-gestion des systèmes
Niveau 4	BP GCLIM	Monteur en Installations de génie climatique
	BAC Pro TFCA	Technique du Froid et Conditionnement d'Air
	BAC Pro TMSEC	Technicien en Maintenance des systèmes énergétiques et climatiques
	BAC Pro TISEC	Technicien en installation des systèmes énergétiques et climatiques
	MC METI	Maintenance en équipement thermique individuel
Niveau 5	CAP IS + IT+ ELEC	Installateurs Sanitaire / Thermique / Préparation-réalisation ouvrages électriques



Caractéristiques techniques des équipements fournis

http://www.auer-nouvelles-energies.fr/PDF/com/Precy_doc.pdf

PAC NOVY - AUER	<input type="checkbox"/> AIR/EAU http://www.auer-nouvelles-energies.fr/PDF/tech/NovyAIRinstallation_utilisation.pdf
Puissance	<input type="checkbox"/> 6KW
Module Hydraulique	<input type="checkbox"/> Giapak http://www.auer-nouvelles-energies.fr/PDF/tech/GIAPAK1.pdf
Emetteurs	<input type="checkbox"/> Plancher <input type="checkbox"/> Ventilo-convecteurs <input type="checkbox"/> Radiateurs + TH <input type="checkbox"/> ECS
Appoints : Energies	<input type="checkbox"/> Fioul <input type="checkbox"/> Electrique <input type="checkbox"/> Gaz Natuel <input type="checkbox"/> Autre :
Contrôle d'Ambiance	<input type="checkbox"/> Sonde <input type="checkbox"/> Thermostat

Exemple de plateforme pédagogique PAC – La Providence (Amiens)



Annexe 13

Glossaire hydrogéologique et géothermique

AQUAPAC

Procédure (de type assurance) permettant de garantir la ressource en eau à faible profondeur utilisée pour une pompe à chaleur.

Aquifère

Formation géologique contenant de façon temporaire ou permanente de l'eau mobilisable, constituée de roches perméables et capable de la restituer naturellement et/ou par exploitation.

On distingue :

- Aquifère à nappe libre : l'aquifère reposant sur une couche très peu perméable est surmontée d'une zone non saturée en eau.
- Aquifère captif (ou nappe captive) : dans une nappe captive, l'eau souterraine est confinée entre deux formations très peu perméables. Lorsqu'un forage atteint une nappe captive, l'eau remonte dans le forage.

Banque des données du sous-sol - BSS

La banque des données du Sous-sol est la base de données nationales des ouvrages souterrains déclarés sur le territoire français. Elle regroupe les informations techniques acquises lors des forages et collectées auprès des foreurs et des maîtres d'ouvrage.

Sa consultation peut se faire :

- sur le site InfoTerreTM,
- dans chaque service géologique régional,
- au centre national de consultation à Paris.

Bassin artésien

Structure géologique, souvent de grandes dimensions, dans laquelle l'eau est sous pression.

Boucle géothermale

Circuit de l'eau souterraine (eau géothermale) puisée dans l'aquifère et qui y retourne. Elle cède dans la centrale ses calories à la boucle géothermique.

Boucle géothermique

Circuit de l'eau en surface, eau de la ville envoyée dans le réseau de distribution de chaleur qui dessert les bâtiments.

Boue de forage

Fluide utilisé en forage rotary et injecté en continu par les tiges au cours du forage. La boue est constituée d'eau, d'argile (bentonite), de sable, d'air comprimé, de polymères et d'huile émulsionnée selon les cas.

Caractéristiques de l'eau

Le terme de qualité porte sur le caractère corrosif et ou incrustant de l'eau de nappe qui est déterminé à partir des paramètres suivants :

- Le titre hydrotimétrique ou dureté de l'eau (exprimé en degré français ou TH) lié à la concentration en ions calcium (Ca²⁺) et qui influe sur le caractère incrustant de l'eau exploitée.

- Les concentrations (en mg/L en ions calcium (Ca^{2+}), sulfates (SO_4^{2-}), magnésium (Mg^{2+}) qui peuvent générer des dépôts sur les crépines et les parois des pompes, tuyauteries et échangeurs.
- La concentration (en mg/L) de l'ion chlorure (Cl^-) qui influe sur le pouvoir corrosif de l'eau.

Capteurs enterrés

Dispositif permettant de récupérer directement la chaleur du sous-sol.

Il s'agit généralement de tubes en polyéthylène haute densité ou en cuivre gainé de polyéthylène enfouis dans le sol et dans lesquels circule en boucle fermée un fluide prélevant l'énergie du sol ou du sous-sol.

Les capteurs peuvent être enterrés horizontalement dans le sol, à quelques dizaines de centimètres de profondeur. On parle dans ce cas d'échangeurs ou "capteurs horizontaux". Ils sont installés en boucles enterrées horizontalement à faible profondeur (de 0,60 m à 1,20 m).

Les capteurs peuvent être enterrés verticalement dans le sol. Dans ce cas ils sont placés dans un (des) forage(s) de plusieurs dizaines de mètres de profondeur et scellés dans celui-ci par du ciment réalisé spécialement à cet effet. On parle dans ce cas de "sonde géothermique".

On considère qu'une sonde géothermique fournit en moyenne une énergie thermique de l'ordre de 30 à 50 Watts par mètre. Cette valeur pouvant être augmentée et diminuée en fonction de la nature des terrains traversés. Il est à noter que la présence d'eau dans ces terrains améliore sensiblement le rendement thermique.

Centrale géothermique

Ensemble des équipements de surface permettant la récupération de la chaleur (énergie) contenue dans le fluide géothermal et le départ vers le circuit de distribution de l'énergie (chaleur ou électricité). La centrale comprend également tous les équipements nécessaires à ce transfert (systèmes de régulation, échangeurs, pompes...). Tous ces équipements peuvent être regroupés dans un même bâtiment.

Cimentation

La cimentation d'un tubage dans un forage consiste à cimenter l'espace annulaire entre le tubage et la paroi naturelle du forage. Cette cimentation a pour but de sceller le tubage aux terrains traversés ce qui permet de protéger la qualité des eaux souterraines (afin éviter le mélange d'eaux de différents niveaux et l'infiltration d'eau de surface).

A ne pas confondre avec la cimentation d'une sonde géothermique ; dans ce cas la cimentation consiste à sceller les capteurs dans le forage par remplissage par un ciment spécialement préparé à cet effet.

Coefficient de performance - COP

Le COP traduit la performance énergétique d'une pompe à chaleur. Il s'exprime par le rapport entre la quantité de chaleur produite par celle-ci et l'énergie consommée par le compresseur.

Pour une quantité d'énergie électrique consommée au compresseur de 1 kWh, la pompe à chaleur de COP 4 fournit l'équivalent de 4 kWh de chaleur.

Colonne de production (colonne d'exhaure)

Conduite verticale disposée dans un forage servant à pomper l'eau souterraine.

Corrosif

Aptitude d'une eau à dissoudre les métaux, liée à sa composition physicochimique (pH, résistivité, teneur en oxygène, chlorure...). La corrosivité augmente avec la température

Crépine

La crépine est un tube perforé que l'on met en place dans un aquifère. Il a pour fonction de permettre le passage de l'eau, tout en retenant les particules fines du terrain (sable...).

Les types de crépines sont déterminés suivant la forme et le pourcentage de vides pour allier résistance et vitesse de l'eau dans les ouvertures (appelées slot, fente en anglais).

Dogger

Principal aquifère géothermique exploité en région parisienne, systématiquement par "doublet" de forages.

Il se situe entre 1 500 et 2 000 mètres de profondeur et contient une eau d'une température variant en fonction de la profondeur de 65 °C à 85 °C.

Le Dogger correspond à des dépôts anciens (-175 à -154 millions d'année) à dominante calcaire du Jurassique moyen.

L'eau contenue dans cet aquifère est largement minéralisée (6,5 à 35 g/l).

Doublet (géothermique)

Ensemble de deux forages associés, l'un étant dédié à la production du fluide géothermal, l'autre à la réinjection du fluide dans l'aquifère d'origine.

Cette configuration présente plusieurs avantages :

- absence de rejets dans l'environnement (circuit en boucle fermée),
- pérennité du débit hydraulique,
- stabilité des pressions d'exploitation

Forage

Différentes techniques de forage

Le havage consiste à creuser le terrain à la base du tubage en position verticale. Le tubage s'enfonce sous l'effet de son poids. Limité à des ouvrages très peu profonds

Le battage consiste à briser la roche en laissant régulièrement tomber un outil (le trépan). Ce procédé ancien est utilisé dans des formations "dures". Un tubage de travail est utilisé pour protéger les parois du terrain.

Le rotary est une méthode par rotation et broyage. Les déblais sont entraînés vers la surface par la circulation d'un fluide de forage (boue de forage) dans l'espace annulaire entre le terrain et le train de tige.

Le marteau fond de trou fonctionne à l'air comprimé par percussion d'un taillant. Il est utilisé en terrain dur et fissuré (roches cristallines, carbonatées, volcaniques,...).

Le tubage à l'avancement consiste à enfoncer un tube au fur et à mesure de l'avancement de la foration. L'association marteau fond de trou et tubage à l'avancement permet de conserver les avantages de la technique de forage dans des terrains instables.

Forage artésien

Lorsqu'un forage atteint une nappe captive, l'eau remonte dans le forage; cette remontée peut aller jusqu'au jaillissement de l'eau au-dessus de la surface du sol ; on dit alors que le forage est artésien.

Free cooling

Rafraîchissement gratuit, dans le cas d'utilisation d'aquifères; il s'agit d'utiliser la capacité de refroidissement du fluide sans utiliser la PAC.

Géothermal - Géothermique

Subtilité de la langue française, parfois utilisée pour distinguer :

- le circuit géothermal dans lequel circule le fluide naturel issu du réservoir (fluide géothermal),
- du circuit géothermique dans lequel circule de l'eau (ou un fluide d'échange) réchauffée par échange avec le fluide géothermal.

Géothermie très basse énergie

On parle aussi parfois de géothermie "très basse température"

Exploitation de la chaleur du sous-sol à une température généralement inférieure à 30°C.

On peut exploiter directement la chaleur du sous-sol par des systèmes de "sonde géothermique" ou bien exploiter l'eau des aquifères peu profonds.

Généralement l'énergie ainsi récupérée passe par une pompe à chaleur pour assurer les besoins de chaleur des bâtiments.

Les pompes à chaleur réversibles permettent également de faire du rafraîchissement d'été.

Géothermie basse énergie

Exploitation de la chaleur du sous-sol à une température généralement comprise entre 30°C et 90°C.

La chaleur peut être utilisée directement pour le chauffage urbain, le chauffage de serres, le thermalisme...

Géothermie Moyenne Énergie

Exploitation de la chaleur du sous-sol généralement comprise entre 90°C et 150°C.

La chaleur peut être soit utilisée directement pour assurer des besoins de chaleur, soit pour produire de l'électricité par l'intermédiaire d'un circuit à fluide volatil (du type cycle de Rankine).

Géothermie Haute énergie

Exploitation de la chaleur du sous-sol à des températures généralement supérieures à 150° pour la production d'électricité. Le fluide exploité est un mélange d'eau et de vapeur ou de la vapeur seule.

Hydrogéologie

Une des branches des Sciences de la Terre dont l'objet est la connaissance des conditions géologiques, hydrologiques et des lois physiques qui régissent l'origine, la présence, les mouvements et les propriétés des eaux souterraines.

Application des ces connaissances aux actions humaines sur les eaux souterraines, notamment à leur prospection, à leur captage et à leur protection.

Inhibiteur de corrosion

En traitement des eaux, désigne des produits chimiques ajoutés à l'eau qui empêchent son action corrosive sur des métaux par formation d'une pellicule protectrice sur le métal.

Incrustant

Caractérisation du phénomène de formation sur les parois des tuyauteries ou équipements (échangeurs, pompes...) d'une couche de tartre constituée essentiellement de sels (carbonates, sulfates, silicates de calcium ...) provenant des eaux dures ou calcaires.

Joule (J)

Le joule est l'unité légale de l'énergie dans le Système International d'unités. Le joule traduit une quantité d'énergie assez petite. C'est pourquoi on utilise très souvent les multiples de cette unité : kJ (le kilojoule qui est égal à 1000 joules), MJ (le mégajoule qui est égal à un million de joules. Son symbole est J. Cette unité a longtemps été exprimée en calorie avec l'équivalence d'une calorie égale à 4,18 joules.

kW - kiloWatt

Exprime une puissance : 1 kW = 1000 W

kWh – kilowatt heure

Unité d'énergie égale à l'énergie consommée par un appareillage de 1 000W (ou 1kW) pendant 1h

1 kWh = 3 600 000 J

A noter qu'1m³ d'eau dont la température est abaissée de 5°C, livre 5.106 calories soit 5,8 kWh.

Massif filtrant

Il s'agit d'un massif de gravier ou de sable (terme générique : gravel pack) mis en place entre la crépine et le terrain dans le but d'empêcher le passage des éléments les plus fins de l'aquifère capté.

Nappe aquifère - Nappe libre - Nappe captive

Voir Aquifère

Nappe phréatique

Nappe à surface libre, comprise dans un aquifère qui comporte une zone non saturée, une zone saturée et une zone de fluctuation.

Il s'agit généralement la première nappe d'eau souterraine rencontrée depuis la surface.

Niveau piézométrique

Niveau libre de l'eau observé dans un puits ou forage rapporté à un niveau de référence (nivellement général de la France - NGF).

Pompe à chaleur - PAC

Dispositif permettant d'extraire de l'énergie d'une source à basse température et qui la transfère vers un milieu (eau, air) à une température plus élevée. Ce transfert se fait grâce à un fluide frigorigène, qui assure lors de ses changements de phase (gaz, liquide) les transferts de chaleur.

Le changement de phase du fluide frigorigène nécessite un apport d'énergie (au niveau du compresseur).

La PAC est caractérisée par son coefficient de performance.

La chaleur est prélevée dans le milieu naturel : eau souterraine ou de surface, le sous-sol, le sol, l'air...

Lorsque la chaleur est prélevée dans un milieu fermé (habitation) l'effet obtenu est le rafraîchissement.

Les PAC assurant du chauffage et du rafraîchissement sont appelées PAC réversible.

Il existe différents procédés de mise en œuvre des pompes à chaleur.

Un réfrigérateur à l'envers

Le système thermodynamique du réfrigérateur puise de la chaleur à l'intérieur de celui-ci, ce qui en abaisse la température, et la rejette à l'extérieur, dans l'air de votre cuisine. La pompe à chaleur géothermique, quant à elle, puise la chaleur dans le sol à l'extérieur et la restitue à l'intérieur de votre logement pour en assurer le chauffage.

Perméabilité

Aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide.

Pieux géothermiques

Lorsque la construction d'un bâtiment nécessite des fondations sur pieux en béton (raisons de portance) il est possible d'équiper ces pieux de capteurs (tubes de polyéthylène noyés dans le béton). Les capteurs sont ensuite connectés à une pompe à chaleur.

On parle aussi de géostructures ou fondations thermoactives.

Plancher chauffant basse température

Émetteur de chaleur constitué de tubes dans lesquels circule un liquide restituant la chaleur aux pièces à chauffer. Intégré à une chape de béton, il est dimensionné pour que sa température de surface reste modérée (environ 23 °C). Un plancher chauffant peut assurer aussi le rafraîchissement d'une habitation, on parle alors de plancher chauffant-rafraîchissant.

Pompage d'essai (essais de pompage, tests de pompage)

Après la réalisation d'un forage, les pompages d'essais consistent en une série de tests et mesures ayant pour objectifs :

- de vérifier la capacité de production du forage (débit),
- d'évaluer l'influence du futur prélèvement sur les ouvrages voisins (rayon d'influence).

Porosité

Caractéristique intrinsèque des terrains ; elle est égale au rapport du volume des vides sur le volume total de la roche, et s'exprime en pourcentage. La porosité totale d'une roche est très variable : de 1 à 50%. Plus la roche est poreuse, plus elle contiendra de l'eau. On distingue la porosité de matrice (ou d'interstice) de la porosité de fissure (ne pas confondre porosité et perméabilité; si les "vides" du terrain ne sont pas interconnectés, l'eau ne pourra pas circuler).

Rabattement

Abaissement du niveau piézométrique d'un aquifère engendré par un pompage. La courbe caractéristique permet de définir le débit maximal d'exploitation.

Rafrâichissement

Le rafraîchissement est un refroidissement modéré.

La pompe à chaleur réversible peut, en été, prélever des calories dans le logement pour les rejeter à l'extérieur. Elle est dans ce cas équipée d'un dispositif permettant d'inverser le cycle du fluide frigorigène. Le condenseur devient l'évaporateur de la pompe à chaleur, l'évaporateur devient son condenseur.

Rapport de fin de travaux

Comme pour tout type de travaux, un rapport de fin de travaux de forage doit être fourni.

Il contient entre autre : les dates de réalisation, la localisation du (des) forage(s), la nature des niveaux géologiques traversés, l'équipement des forages, les résultats des pompages d'essai.

Réseau de chaleur

Un réseau de chaleur encore appelé réseau de chauffage urbain est un ensemble de canalisations qui empruntent, en général, le sous-sol des voies publiques pour distribuer de la chaleur en milieu urbain. La chaleur est transportée, soit sous forme d'eau chaude, soit sous forme de vapeur d'eau. Les utilisateurs se raccordent au réseau pour prélever, grâce à un échangeur, une partie de cette chaleur, puis ils la distribuent dans leurs locaux. La production de chaleur pour le réseau se fait dans des centrales importantes qui utilisent de multiples énergies telles que le fioul lourd, le charbon, le gaz, la géothermie ou la chaleur provenant de l'incinération des ordures ménagères. Il existe également des réseaux de froid qui distribuent de l'eau glacée destinée à la climatisation de locaux.

Réservoir géologique

Formation géologique dans laquelle circule l'eau souterraine.

La porosité et la perméabilité de la roche du réservoir caractérise l'aquifère

Ressource géothermale

Une ressource géothermale peut être simplement définie comme un réservoir dont on peut extraire de l'énergie pour utilisation directe de la chaleur ou pour produire de l'électricité, dans des conditions techniquement et économiquement viables.

Il existe des ressources géothermales, chaque réservoir ou gisement géothermal ayant ses propres caractéristiques et une localisation verticale et géographiques spécifique

Sonde géothermique

Échangeur de chaleur constitué de tubes de polyéthylène insérés verticalement dans un forage de plusieurs dizaines de mètres de profondeur et scellés dans celui-ci par du ciment réalisé spécialement à cet effet. Un liquide antigel circulant dans les capteurs prélève la chaleur du sous-sol environnant

Tep : Tonne Équivalent Pétrole (pouvant être noté tep, TEP)

La tonne d'équivalent pétrole (tep) est une unité de mesure de l'énergie couramment utilisée par les économistes de l'énergie 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. Les anglo-saxons utilisent également le baril équivalent pétrole, ou boe (barrel of oil equivalent) qui vaut environ 0,135 tep, selon l'équivalence 1 tep = environ 7,3 barils (le baril étant une mesure de capacité valant 159 litres).

Mtep : Méga tep = 106 tep = 1 000 000 de tep

On utilise le joule ou la tonne d'équivalent pétrole (tep) pour comparer des formes d'énergie différentes. En France, les coefficients de conversion sont fixés par l'Observatoire de l'énergie, reprenant la méthode commune aux organisations internationales (AIE, Commission européenne, ONU, Conseil mondial de l'énergie).

Tertiaire

Les bâtiments du secteur tertiaire abritent des activités de service et administratifs. La répartition des besoins de chauffage et/ou climatisation de ces bâtiments peuvent être différents selon le domaine d'activité : bureaux, hôpitaux...

Ventilo convecteur

Échangeur à air ventilé constitué de 2 ou 4 tuyaux, ou 2 tuyaux - 2 fils qui distribue selon les besoins du chaud ou du froid.

W - Watt

Le watt est l'unité légale de puissance. Il correspond à la quantité d'énergie consommée ou produite par unité de temps, soit un joule par seconde. Son symbole est W.

On utilise très souvent ses multiples : le kW (kilowatt) avec 1 kW égal à 1 000 W.

Wh - Wattheure

C'est l'unité de travail équivalente à 3 600 joules. C'est le travail accompli par une puissance de 1 Watt pendant 1 heure.

On utilise le plus souvent avec des multiples exprimés en kWh (kilowattheure), en MWh (mégawattheure) ou TWh (térawattheure), avec 1 MWh = 1 000 kWh et 1TWh = 1 million de kWh.

Exemple : une ampoule de 20 Watts fonctionnant pendant 50 heures consomme 1 000 Wh, soit 1 kWh (kiloWattheure).

Zone non saturée

Zone du sous-sol comprise entre la surface du sol et la surface d'une nappe libre.

Zone saturée

Zone du sous-sol dans laquelle l'eau occupe complètement les interstices des roches, formant, dans un aquifère, une nappe d'eau souterraine.

Thermie (th)

1 th = 1.10^6 cal = 4,1855 MJ (Méga Joules)

Thermodynamique

Partie de la physique traitant des relations entre les phénomènes thermiques et mécaniques.

Transmissivité

Paramètre qui régit le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur de l'aquifère, sous l'effet de du gradient hydraulique, incluant l'épaisseur de l'aquifère. La transmissivité permet d'évaluer le débit que peut capter un forage.

Trépan

Outil de forage attaquant le terrain par percussion ou rotation. En forage, au rotary, cet outil est un trépan à molettes, généralement tricône ou un trépan diamanté.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale de Picardie
Polytech de Rivery
7, rue Anne Franck
80136 – Rivery - France
Tél. : 03 22 91 42 47