

Document public



# Inventaire du potentiel géothermique en région Rhône-Alpes

## Etat des lieux et étude du potentiel

Rapport final

BRGM/RP-60684-FR  
Mars 2012



Rhône-Alpes Région





# Inventaire du potentiel géothermique en région Rhône-Alpes

## Etat des lieux et étude du potentiel

### Rapport final

BRGM/RP-60684-FR  
Mars 2012

R. Chartier, J. Jouanneau, M. Saint Martin, J. Brun, A. Poux



**Vérificateur :**

Nom : J.-C. MARTIN

Date : 20/03/2012

Signature

**Approbateur :**

Nom : Yves SIMEON

Date : 21/03/2012

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 clefs :**

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

R. Chartier, J. Jouanneau, M. Saint Martin, J. Brun, A. Poux (2012) – Inventaire du potentiel géothermique en région Rhône-Alpes, Etat des lieux et étude du potentiel – Rapport final – BRGM RP-60684-FR, 188 p., 108 ill., 3 ann.

## Synthèse

L'inventaire du potentiel géothermique en région Rhône Alpes est une étude cofinancée par le Conseil Région Rhône-Alpes, l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la région Rhône Alpes (DREAL) et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).

Cette étude s'inscrit dans la mise en place du Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE<sup>1</sup>) dont l'élaboration est confiée au Conseil Régional et à l'Etat, et dont l'objectif est de définir les orientations et les objectifs régionaux aux horizons 2020 et 2050 en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, de maîtrise de la demande énergétique, de développement des énergies renouvelables, de lutte contre la pollution atmosphérique et d'adaptation au changement climatique.

L'étude dresse, à l'échelle de la région Rhône Alpes un état des lieux de la géothermie, présente les différentes formes de géothermie exploitables et étudie de façon spécifique le potentiel géothermique à très basse énergie sur aquifères.

L'étude relative au potentiel géothermique à très basse énergie sur aquifères est traitée dans le rapport : « Atlas du potentiel géothermique très basse énergie sur aquifères pour la région Rhône-Alpes », rapport BRGM RP-60856-FR (2012), le potentiel géothermique pour la mise en place des sondes géothermiques verticales est traité dans le présent rapport.

Le présent rapport présente un rappel du contexte réglementaire de la géothermie sur le territoire national. Des évolutions législatives étant en discussions à la date de réalisation de ce rapport, le lecteur en invité à prendre connaissance des aspects en cours de révision dans le code minier.

Au niveau rhônalpin, le retour d'expérience établi à partir des données existantes et collectées s'avère assez contrasté et incertain. Il ressort néanmoins que sur les 5 dernières années, pour les installations de particuliers (< 50 kW), la puissance moyenne installée annuellement est de l'ordre de 20 MW. Pour les installations plus importantes, la puissance installée n'est pas estimée ; l'estimation de près de 80 installations par an est vraisemblablement une sous-estimation de la réalité (facteur 2 au moins).

L'Atlas des potentialités géothermiques réalisé, consultable en ligne sur le site [www.geothermie-perspectives.fr](http://www.geothermie-perspectives.fr), traite, pour la région Rhône Alpes, des potentialités de la géothermie sur aquifères et du potentiel pour la mise en place des sondes géothermiques verticales.

---

<sup>1</sup> <http://srcae.rhonealpes.fr/>

L'étude permet également de préciser le potentiel géothermique lié à d'autres formes de production d'énergie : l'implantation des sondes géothermiques dans des forages pétroliers profonds après reconversion, la mise en place d'échangeurs dans les eaux superficielles lacustres pour la production de frais ou de froid, la récupération de calories sur les eaux drainées par les tunnels routiers et ferroviaires, la valorisation des eaux thermo-minérales, en amont ou en aval des activités de soins.

Si le développement de la géothermie en région Rhône Alpes apparaît finalement important au regard des données fournies par les professionnels, les perspectives d'accroissement le restent également, dans les secteurs classiques (géothermies sur aquifères, sondes et champ de sondes), mais également dans des domaines encore peu conventionnels, tels le réaménagement d'anciens forages pétroliers, le rafraichissement par les eaux lacustres et la mise en place de pieux géothermiques. De manière générale cependant, pour garantir une préservation de la qualité des ressources, il importe d'une part d'optimiser la récupération de calories sur les eaux rejetées (eaux grises) et d'encourager, pour les systèmes sur aquifères, la mise en place de systèmes réversibles afin de « compenser » en fonction des besoins les rejets de calories ou frigorifiques.

## Sommaire

<b>1. Eléments de contexte sur la géothermie</b> .....	<b>13</b>
1.1. CONTEXTE REGLEMENTAIRE .....	13
1.1.1. Introduction .....	13
1.1.2. Le Code Minier.....	13
1.1.3. Le Code de l’Environnement.....	17
1.1.4. Le Code de la Santé Publique.....	23
1.1.5. Le Code Général des Collectivités Territoriales .....	23
1.2. CONTEXTE ACTUEL DE LA GEOTHERMIE AU NIVEAU NATIONAL.....	24
1.3. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE .....	25
1.3.1. Dans le résidentiel individuel.....	25
1.3.2. Dans le bâti collectif et tertiaire .....	27
1.4. LES ELEMENTS STRUCTURANTS DU DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE .....	29
1.5. L’ELABORATION DE SCHEMAS REGIONAUX DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE .....	32
1.5.1. Contexte.....	32
1.5.2. Enjeux pour l’étude de la géothermie.....	33
<b>2. Contexte et état des lieux de la géothermie en région Rhône Alpes</b> .....	<b>35</b>
2.1. CONTEXTE EN REGION RHONE-ALPES .....	35
2.2. ETAT DES LIEUX.....	41
2.2.1. Données professionnelles AFPG .....	41
2.2.2. Etat des lieux en banque du sous-sol (BSS).....	45
2.2.3. Etat des lieux selon les données de redevance (AERMC).....	54
2.2.4. Etat des lieux sur le secteur Lyonnais (données SAGE Est Lyonnais) ..	63
2.2.5. Perspectives de développement .....	65
<b>3. Atlas des potentialités géothermiques</b> .....	<b>67</b>
3.1. PRINCIPES ET ORIENTATIONS RETENUES .....	67
3.1.1. Principes .....	67
3.1.2. Orientations retenues .....	67

3.2.	GEOTHERMIE SUR AQUIFERES.....	68
3.2.1.	Principes .....	68
3.2.2.	Résultats.....	69
3.3.	SONDES ET CHAMPS DE SONDE .....	72
3.3.1.	Principes .....	72
3.3.2.	Applicabilité en région Rhône Alpes .....	73
3.3.3.	Résultats.....	75
3.3.4.	Risques complémentaires du fait de structures souterraines .....	83
<b>4.</b>	<b>Potentiel géothermique des autres formes de production d'énergie .....</b>	<b>87</b>
4.1.	JUSTIFICATIONS .....	87
4.2.	OBJECTIFS .....	88
4.3.	LA GEOTHERMIE PROFONDE : LES FORAGES PETROLIERS .....	89
4.3.1.	Etat des connaissances.....	89
4.3.2.	Etude du contexte rhônalpin .....	92
4.3.3.	Perspectives et recommandations.....	104
4.4.	LES EAUX SUPERFICIELLES : LES LACS .....	104
4.4.1.	Etat des connaissances.....	104
4.4.2.	Etude du contexte rhônalpin .....	111
4.4.3.	Perspectives et recommandations.....	117
4.5.	LES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES : LES TUNNELS .....	117
4.5.1.	Etat des connaissances.....	117
4.5.2.	Etude du contexte rhônalpin .....	119
4.5.3.	Perspectives et recommandations.....	124
4.6.	LES EAUX THERMO-MINERALES .....	125
4.6.1.	Etat des connaissances.....	125
4.6.2.	Etude du contexte rhônalpin .....	127
4.6.3.	Bilan.....	132
4.6.4.	Valorisation du potentiel des Eaux Grises .....	134
4.7.	LES PIEUX ENERGETIQUES .....	136
4.7.1.	Etat des connaissances.....	136
4.7.2.	Estimation du potentiel national et rhônalpin .....	139
4.8.	BILAN GENERAL POUR LA REGION RHONE - ALPES .....	141

4.9. ELEMENTS A INTEGRER DANS LES ANALYSES PRELIMINAIRES DE FAISABILITE .....	142
4.9.1. Principes généraux .....	142
4.9.2. Cas particulier des échangeurs en eaux superficielles .....	144
4.9.3. Cas particulier des pieux énergétiques .....	145
4.9.4. Principes pour les forages pétroliers .....	147
4.9.5. Particularités des techniques géothermiques.....	150
<b>5. Conclusions .....</b>	<b>155</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 - Code minier. Démarches à réaliser auprès des services de l'Etat pour une opération de géothermie. ....	16
Illustration 2 : Code de l'environnement. Les régimes de déclaration et d'autorisation. ....	20
Illustration 3 : Objectifs de production de chaleur géothermale en ktep (Source : COMOP 10 [I])	24
Illustration 4 : Objectifs de développement de la production de chaleur à partir d'énergies renouvelables en France.....	25
Illustration 5 : Solutions de géothermie développées actuellement pour la maison individuelle (source BRGM) .....	26
Illustration 6 : Schéma de principe du fonctionnement d'une thermofrigopompe .....	28
Illustration 7 : Valeurs préconisées des courants et puissances des PAC pour répondre aux exigences de la norme EN 61000-3-3 selon les systèmes de démarrage utilisés. Cas des pompes ou moteurs monophasés [K]. ....	32
Illustration 8 : Cartes des formations géologiques de la région Rhône-Alpes .....	36
Illustration 9 : a) Population en Rhône Alpes 2010 (source : Conseil Régional [J]) ; b) Evolution de la population par zone d'emploi entre 2000 et 2020 – projections – (Source INSEE [F]) .....	38
Illustration 10 : Secteur géographique et typologie (Source INSEE – Conseil régional [F]).....	39
Illustration 11 : Entités choisies et population par commune (BRGM-IGN).....	40
Illustration 12 : Nombre d'installations en Rhône Alpes sur les 5 dernières années (données AFPG). ....	42
Illustration 13 : Distribution par constructeur et type de PAC du nombre d'installations en Rhône Alpes depuis 5 années en fonction des puissances calorifiques des installations (données AFPG). ....	43
Illustration 14 : Puissances installées cumulées par gammes de puissances calorifiques – données AFPG pour les 5 dernières années (données AFPG).....	44
Illustration 15 : Répartition par département des données localisées fournies (unique constructeur – données AFPG 2011). ....	44
Illustration 16 : Cartes des installations géothermiques en région Rhône Alpes (données BSS).	46

Illustration 17 : Synthèse des « installations » liées à la géothermie (source BSS) .....	46
Illustration 18 : Répartition des installations par département (données BSS 2009).....	47
Illustration 19 : Cumul du nombre d'ouvrages de géothermie pour la région Rhône Alpes (source BSS). .....	49
Illustration 20 : Histogramme des nouvelles installations géothermiques déclarées en BSS par année (région Rhône Alpes).....	49
Illustration 21 : Evolution du nombre d'installations géothermiques par catégories en région Rhône Alpes (source BSS).....	50
Illustration 22 : Evolution cumulée récente du nombre d'installations géothermiques par catégories en région Rhône Alpes (source BSS).....	50
Illustration 23 : Distributions des installations de SGV par départements (source BSS). .....	51
Illustration 24 : Répartition des installations géothermiques en région Rhône Alpes en 1989 (source BSS) .....	52
Illustration 25 : Répartition des installations géothermiques en région Rhône Alpes en 1999 (source BSS). .....	52
Illustration 26 : Evolution du nombre cumulé d'installations pour le département du Rhône (source BSS). .....	53
Illustration 27 : Evolution du nombre cumulé d'installations pour la région Rhône Alpes – hors Rhône – (source BSS).....	54
Illustration 28 : Référentiel des types d'usages pour les données pour les années antérieures ou égale à 2007 .....	56
Illustration 29 : Evolution des installations de type climatisation ou refroidissement (source AERMC).....	58
Illustration 30 : Evolution du nombre d'installations prélevant dans les eaux souterraines par type d'usages et mode de rejet des eaux (source AERMC) .....	59
Illustration 31 : Evolution des installations « non industrielles » par catégories de débits.....	60
Illustration 32 : Nature des installations recensées selon les caractéristiques de débits.....	60
Illustration 33 : Evolution du nombre d'installations « non industrielles » par départements (selon données AERMC).....	61
Illustration 34 : Evolution 1997-2007 de la distribution des installations en Rhône Alpes (source AERMC).....	62
Illustration 35 : Nature des ouvrages recensés dans la base du CG69 .....	63
Illustration 36 : Ouvrages relevant de la géothermie recensés par le CG69 – Données SAGE Est Lyonnais 2008 .....	64
Illustration 37 : Carte du potentiel géothermique du meilleur aquifère .....	69
Illustration 38 : Répartition des territoires étudiés en fonction du potentiel géothermique attribué70	
Illustration 39 : Puissance thermique prélevable sur les aquifères étudiés (kW).....	71
Illustration 40 : Solution capteur vertical (sonde géothermique) .....	72
Illustration 41 : Schéma d'un champ de sondes géothermiques verticales .....	73

Illustration 42 : Assemblage des différentes cartes géologiques harmonisées de la région Rhône-Alpes .....	75
Illustration 43 : Lithologies prises en compte et conditions pour des SGV – Donnés SIG .....	76
Illustration 44 : Carte lithologique de la région Rhône-Alpes.....	77
Illustration 45 : Carte des cavités souterraines et des mouvements de terrain inventoriés (d'après les données de <a href="http://www.bdcavite.net/">www.bdcavite.net/</a> et <a href="http://www.bdmvt.net/">www.bdmvt.net/</a> ) .....	78
Illustration 46 : Carte des secteurs susceptibles de cacher des zones karstiques.....	79
Illustration 47 : Carte lithologique et zones susceptibles de cacher des zones karstiques (en bleu sur la carte) .....	80
Illustration 48 : Carte synthétique de l'aptitude des formations géologiques à la géothermie par sonde.....	81
Illustration 49 : Carte indicative des conductivités thermiques moyennes selon les lithologies identifiées .....	82
Illustration 50 : Cartes des titres miniers en région Rhône Alpes .....	84
Illustration 51 : Schéma indicatif des structures souterraines du CERN .....	85
Illustration 52 : Principales utilisations de la géothermie en fonction des températures (source [N]).....	87
Illustration 53 : Document technique de la société HAKA [5] .....	90
Illustration 54 : Principales caractéristiques de la sonde profonde de Prenzlau [7] .....	91
Illustration 55 : Exemple du forage de Weggis à Lucerne, Suisse [7] .....	91
Illustration 56 : Localisation des 168 forages de « prospection pétrolière » .....	94
Illustration 57 : Coefficients de correction pour la méthode de l'AAPG [10] .....	95
Illustration 58 : Cartes des gradients thermiques et forages renseignés.....	96
Illustration 59 : Classes de notation des paramètres des forages pétroliers .....	98
Illustration 60 : Liste des 19 forages au meilleur potentiel.....	98
Illustration 61 : Localisation des 20 forages au meilleur potentiel .....	99
Illustration 62 : Estimation de l'énergie annuelle récupérée par la sonde en fonction de sa profondeur (source [19]).....	102
Illustration 63 : Energie spécifique annuelle (MWh/a) des forages pétroliers.....	103
Illustration 64 : Schémas de principes des échangeurs en eaux de surface (Source Géothermie Canada).....	106
Illustration 65 : Profil thermique et Schéma du système de refroidissement de l'Université de Cornell [A].....	107
Illustration 66 : Bilan énergétique du système LSC sur une année type [A].....	108
Illustration 67 : Principales caractéristiques du projet GLN [B].....	109
Illustration 68 : Impact du rejet sur l'eau du lac [B] .....	109
Illustration 69 : Illustration du cas du Lac du Bourget (73) [C].....	110
Illustration 70 : Carte des lacs rhônalpins de superficie supérieure à 10 ha .....	112

Illustration 71 : Profils thermiques du lac d'Aiguebelette et de la retenue de Bissorte .....	114
Illustration 72 : Carte des 6 lacs présélectionnés .....	115
Illustration 73 : Liste des lacs disposant des données complètes.....	116
Illustration 74 : schéma type du drainage d'un tunnel [20].....	118
Illustration 75 : Utilisation de la géothermie dans les tunnels Suisses [21].....	119
Illustration 76 : Localisation des tunnels recensés .....	120
<i>Illustration 77 : Gammes de différences de température applicables (source : nc).....</i>	<i>121</i>
Illustration 78 : Liste des 14 tunnels routiers présélectionnés.....	122
Illustration 79 : liste des 10 ouvrages ferroviaires présélectionnés.....	123
Illustration 80 : Localisation des 25 tunnels sélectionnés.....	124
Illustration 81 : Les sites d'« eau minérale » en région Rhône Alpes .....	128
Illustration 82 : Localisation des établissements thermaux recensés et étudiés.....	129
Illustration 83 : caractéristiques des établissements thermaux étudiés .....	130
Illustration 84 : Position de la source de Massiago .....	131
Illustration 85 : Position de la source l'Echaillon.....	131
<i>Illustration 86 : Synthèse des sources supérieures à 30°C et non exploitées .....</i>	<i>132</i>
Illustration 87 : Type de valorisation des rejets en % du nombre d'établissements.....	132
Illustration 88 : Type de valorisation des rejets en pourcentages de la puissance des rejets d'établissements .....	133
Illustration 89: Distribution des établissements par le potentiel récupérables sur les rejets .....	134
Illustration 90 : Principe d'un échangeur sur collecteur Eaux Usées (source [43]).....	135
Illustration 91 : Illustration de canalisation avec capteurs préfabriquées (source [43]).....	135
Illustration 92 : Schéma d'un bâtiment fondé sur pieux énergétiques (source Joliquin 2002 in [35]).....	137
Illustration 93 : Bilan énergétique indicatif lié aux formes étudiées de géothermie .....	141
Illustration 94 : Données de consommation énergétique pour la région Rhône Alpes .....	141
Illustration 95 : Synthèse des différents critères avec évaluation plutôt favorable ou plutôt défavorable à la réalisation de géostructures énergétiques (source [35]) .....	146
Illustration 96 : Coût de l'inspection du forage (devis 2011, prix en euros HT).....	148
Illustration 97 : Options de remise en état d'un forage pétrolier.....	149
Illustration 98 : Mots clefs retenus pour l'extraction en BSS .....	167
Illustration 99 : Nouveaux champs créés.....	168
Illustration 100 : Formulaire d'enquête diffusé à l'AFPG .....	171
Illustration 101 : Conductivités thermiques par lithologies .....	175
Illustration 102 : Forages pétroliers situées à proximité d'un centre urbain .....	177
Illustration 103 : Forages pétroliers et villes situées à proximité.....	178

Illustration 104 : Régimes hydrologiques rencontrés en Rhône-Alpes (source DREAL Rhône-Alpes) .....	179
Illustration 105: Liste des lacs et plans d'eau .....	180
Illustration 106 : Informations sur les villes situées à proximité des portails des tunnels routiers avec des venues d'eau .....	181
Illustration 107 : Informations sur les villes situées à proximité des portails des tunnels ferroviaires avec des venues d'eau.....	182
Illustration 108 : Schéma de fonctionnement du projet Genève Lac Nations (source [B]) .....	183

## **Annexes**

Annexe 1 – Bibliographie et Webographie.....	157
Annexe 2 – Documents relatifs au chapitre 2 - Contexte et état des lieux de la géothermie en région Rhône Alpes.....	165
Annexe 3 – Documents relatifs au chapitre 4 Potentiel géothermique des autres formes de production d'énergie.....	173



# 1. Eléments de contexte sur la géothermie

## 1.1. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

Les informations suivantes sont en partie extraites du rapport d'étude BRGM RP-60195-FR [38] de septembre 2011.

### 1.1.1. Introduction

Les principaux textes réglementaires applicables pour l'utilisation, l'accès ou l'exploitation des eaux souterraines par forage et pour l'exploitation thermique du sous-sol (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.

### 1.1.2. Le Code Minier

La géothermie est régie par le code minier<sup>2</sup> ; 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)<sup>3</sup>.

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.

---

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> Décret n° 78-498 du 28 mars 1978

**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.**

***a) Dispositions relatives à la recherche et l'exploitation***

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

- les modalités pour entreprendre une recherche de mines (Titre II). Cette recherche nécessite l'autorisation des propriétaires des terrains ou l'autorisation du ministre compétent ou la détention d'un permis exclusif de recherche (délivré après enquête publique et mise en concurrence, pour une durée de 5 ans renouvelable deux fois) ;
- les modalités d'exploitation des mines (Titre III). Cette exploitation nécessite l'octroi d'une concession par décret du Conseil d'Etat pour une durée limitée (25 ans maximum).

Les opérations de « basse température » sont régies par les titres V du code minier. La procédure, plus simple que celle applicable aux opérations de haute température, prévoit deux régimes :

- le régime normal : il précise :
  - les modalités de recherche, laquelle nécessite une autorisation préfectorale après enquête publique de durée limitée (trois ans maximum),
  - les modalités d'exploitation, laquelle nécessite un permis accordé par le Préfet pour une durée limitée (trente ans, renouvelable par périodes de quinze ans).
- le régime dérogatoire pour les opérations dites de minime importance<sup>4</sup>. « 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 ». Il précise :
  - que les opérations sont dispensées des autorisations de recherche et d'exploitation ;
  - que ces opérations sont soumises à déclaration préalable, au service interdépartemental de l'industrie et des mines (DREAL ou DRIEE en Ile de France ou autre pour les territoires ultramarins) un mois avant leur réalisation. **Cette déclaration préalable 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

---

<sup>4</sup> Article 17 du décret 78-498 du 28 mars 1978 pris en application de l'article L.124-3 du Code minier

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.

***b) Dispositions relatives à l'ouverture de travaux et à la réalisation de forages***

• **Ouverture de travaux de géothermie**

L'article L.162-4 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.**

• **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 les services de l'Etat compétents au Service Géologique Régional (SGR)

du BRGM, afin de permettre l'inscription des ouvrages dans la Base de données du Sous-Sol (BSS)<sup>5</sup>.

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.

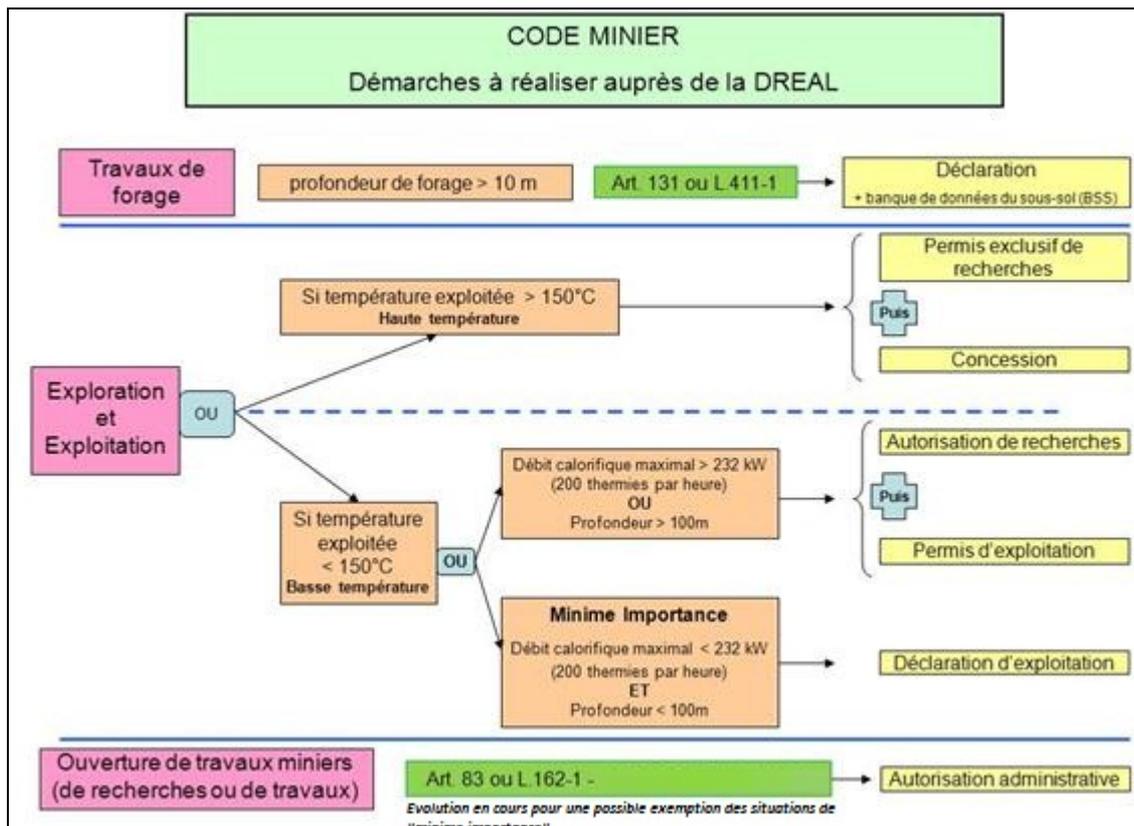


Illustration 1 - Code minier. Démarches à réaliser auprès des services de l'Etat pour une opération de géothermie.

### c) Evolutions 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

<sup>5</sup> Un logiciel (GESFOR), mis en place par le BRGM et distribué aux maîtres d'œuvre, permet de simplifier ces démarches de déclaration.

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 m<sup>3</sup>/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 ouvrages 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.

### 1.1.3. Le Code de l'Environnement

#### *a) 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 et de mettre en place la « nomenclature eau » (article L.214-3) définissant les 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.

- **Procédures d'autorisation et de déclaration s'appliquant aux opérations de géothermie**

Selon l'article L.214-1 du Code de l'environnement, sont soumis à la « nomenclature Eau » les installations hors installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et 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.

Les demandes d'autorisation et les déclarations prévues par l'article L. 214-3 du Code de l'Environnement (loi sur l'eau) valent déclaration au titre de l'article L.411-1 du Code minier (travaux de forage).

Sont considérés comme relevant d'un usage domestique de l'eau (l'article R. 214-5 du Code de l'Environnement).

- 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 m<sup>3</sup> /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 ».

- **La « nomenclature eau » - Principes généraux**

Le principe de la « nomenclature eau »<sup>6</sup> 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.

- **Réalisation de forages en lien avec les eaux souterraines**

**Rubrique 1.1.1.0. - ouvrages soumis à déclaration** : 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.

---

<sup>6</sup> Circulaire du 16 mars 2004 et circulaire du 22 octobre 2006

- **Prélèvements**

**Rubrique 1.1.2.0. - prélèvements souterrains** : 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 m<sup>3</sup>/an ;
- déclaration, si le volume total prélevé est supérieur à 10 000 m<sup>3</sup>/an mais inférieur à 200 000 m<sup>3</sup>/an.

**Rubrique 1.2.1.0. - prélèvements de surface** : à l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L.214-9, 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 sont soumis à :

- autorisation, si la capacité totale maximale est supérieure ou égale à 1 000 m<sup>3</sup>/h ou à 5 % du débit du cours d'eau ;
- déclaration, si la capacité totale maximale est comprise entre 400 et 1 000 m<sup>3</sup>/h ou entre 2 et 5 % du débit du cours d'eau.

- **Zones de Répartition des eaux (ZRE)**

**Rubrique 1.3.1.0.** : à l'exception a) des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L.214-9 et b) des prélèvements inférieurs à 1000 m<sup>3</sup>/an réputés domestiques, 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, sont soumis à :

- autorisation, si leur capacité est supérieure ou égale à 8 m<sup>3</sup>/h ;
- déclaration, dans les autres cas.

Les zones de répartition des eaux sont définies comme des « zones présentant une insuffisance, autre qu'exceptionnelle, des ressources par rapport aux besoins ». Instaurées par décrets n°94-354 du 29 avril 1994 et n°2003-869 du 11 septembre 2003, la procédure de délimitation des ZRE est déconcentrée au niveau des bassins hydrographiques.

Le classement en zone de répartition des Eaux (ZRE) constitue une reconnaissance du déséquilibre durablement installé entre la ressource et les prélèvements en eau existants. L'inscription d'une ressource (bassin hydrologique ou système aquifère) en ZRE constitue le moyen d'assurer une gestion plus fine et renforcée des demandes de prélèvements dans cette ressource

*N.B. : les ZRE ont été incluses dans l'Atlas Géothermique en ligne pour la région Rhône Alpes (un secteur en eaux souterraines et un en eaux superficielles).*

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

Les rubriques suivantes renvoient à l'autorisation de travaux régie par le décret 2006-649 d'application de l'article 83 du Code minier. Une autorisation obtenue au titre du Code minier (Art 83) vaut autorisation ou déclaration au titre du code de l'environnement, 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).

Inversement, comme prévu par le décret n° 2006-649 du 2 juin 2006, les demandes d'autorisation et les déclarations prévues par le Code de l'Environnement valent déclaration au titre de l'article 131 du code minier.

Les différentes rubriques concernées sont présentées à la figure suivante (Illustration 2).

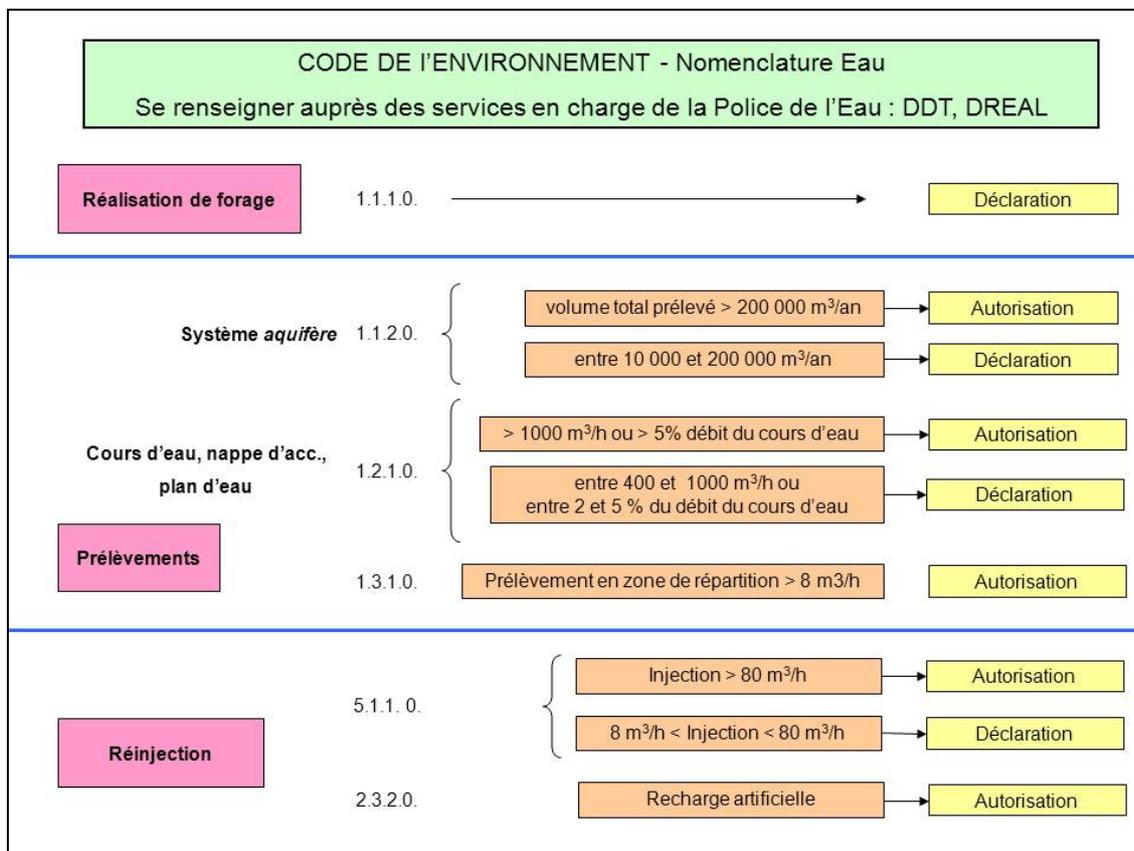


Illustration 2 : Code de l'environnement. Les régimes de déclaration et d'autorisation.

Les rubriques concernent :

- **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 m<sup>3</sup>/h ;
  - déclaration si la capacité totale de réinjection est supérieure à 8 m<sup>3</sup>/h mais inférieure à 80 m<sup>3</sup>/h.
- **Rubrique 5.1.2.0.** : les travaux de recherche et d'exploitation de gîtes géothermiques sont soumis à autorisation.

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

### ***c) 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.

*N.B. : les périmètres des SAGE ont été inclus dans l'Atlas Géothermique en ligne de la région Rhône Alpes.*

### ***d) Réglementation ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement)***

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<sup>er</sup> 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 canalisations de transport de gaz.

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

Pour rappel, auparavant, la rubrique 2920 était la suivante : « Réfrigération ou compression (installations de) fonctionnant à des pressions effectives supérieures à 10<sup>5</sup> Pa :

- 1. comprimant ou utilisant des fluides inflammables ou toxiques, la puissance absorbée étant :
  - a) supérieure à 300 kW : autorisation
  - b) supérieure à 20 kW, mais inférieure ou égale à 300 kW : déclaration et soumis au contrôle périodique prévu par l'article L. 512-11 du code de l'environnement
- 2. dans tous les autres cas (*ndlr, dont les pompes à chaleur*):
  - a) supérieure à 500 kW : autorisation
  - b) supérieure à 50 kW, mais inférieure ou égale à 500 kW : déclaration »

#### ***e) Articulation avec le code de la Santé Publique – Périmètres de protection des captages***

**Vis-à-vis des eaux minérales :** 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 ».

**Vis-à-vis des eaux destinées à la consommation :** une demande d'autorisation préalable prévue au premier alinéa de l'article L.1322-4 pour pratiquer un sondage ou un travail souterrain dans le périmètre de protection est adressée au préfet. Le contenu du dossier, qui comprend notamment une description des ouvrages projetés, est défini par arrêté du ministre chargé de la santé. Il s'agit de l'Arrêté du 5 mars 2007 relatif à la constitution du dossier de demande d'autorisation d'exploiter une source d'eau minérale naturelle pour le conditionnement, l'utilisation à des fins thérapeutiques dans

un établissement thermal ou la distribution en buvette publique en application de l'article R. 1322-5 du Code de la Santé publique.

*N.B. : les périmètres de protection n'ont pas été intégrés à l'Atlas Géothermique de la région Rhône Alpes. Cependant, un avertissement invite systématiquement l'utilisateur à se renseigner sur l'existence de périmètres de protection des captages dans le secteur étudié.*

#### **f) Bilan sur l'application du Code de l'Environnement aux opérations de géothermie**

Au final, une opération de géothermie avec prélèvement d'eau (cf. annexe 4 du rapport [38]) :

- **doit disposer de l'autorisation pour l'ouverture 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.

#### **1.1.4. Le Code de la Santé 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.

#### **1.1.5. Le Code Général des Collectivités 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'Etat 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 3 et est disponible au téléchargement sur le site Internet : <http://www.foragesdomestiques.developpement-durable.gouv.fr>.

## 1.2. CONTEXTE ACTUEL DE LA GEOTHERMIE AU NIVEAU NATIONAL

D'après l'ADEME, le secteur du bâtiment est responsable de 21 % des émissions de CO<sub>2</sub> et de 43 % de la consommation d'énergie finale en France (648 TWh). Parmi ces 648 TWh d'énergie finale, le secteur résidentiel en représente 65 % et près de 70 % de la consommation d'énergie de ce secteur est liée aux besoins de chauffage et de climatisation. Pour résumer, environ 20 % de la consommation totale d'énergie finale en France concerne le chauffage et la climatisation des bâtiments résidentiels. Il y a donc dans ce domaine une source importante d'amélioration qui doit passer, tout d'abord par l'efficacité énergétique (qualité des bâtiments, comportements individuels, ...) mais également par la pénétration des énergies renouvelables dans le marché.

L'énergie géothermique présente des avantages non négligeables qui lui permettent de participer au développement de solutions durables. Le Grenelle de l'Environnement prévoit de porter à au moins 23 % en 2020 la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale de la France. Atteindre cet objectif suppose d'augmenter de 20 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) la production annuelle d'énergie renouvelable entre 2006 et 2020, en portant celle-ci à 37 Mtep. Parmi ces 20 Mtep, 10 millions seront valorisées sous forme de chaleur. Le Comité Opérationnel « énergies renouvelables » du Grenelle Environnement a proposé une multiplication par 6 de la production de chaleur géothermique (par pompes à chaleur géothermiques ou usage direct de la ressource géothermale) à l'horizon 2020 (Illustration 3).

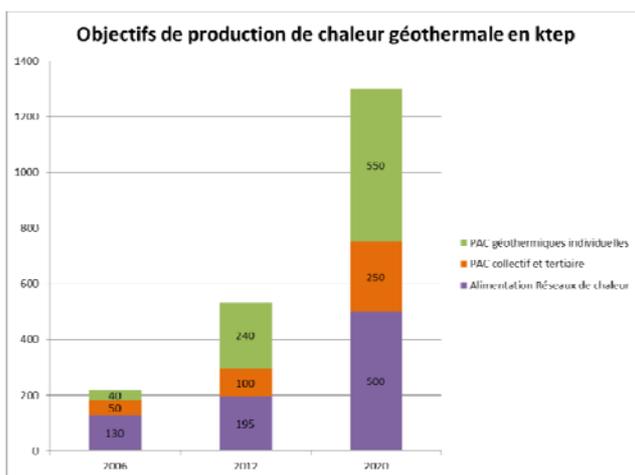


Illustration 3 : Objectifs de production de chaleur géothermale en ktep<sup>7</sup> (Source : COMOP 10 [1])

<sup>7</sup> Pour mémoire : 1 tep = 11600 kWh

Ceci représente une contribution de 1 million de tonnes équivalent pétrole représentant 10 % de l'augmentation de la production d'énergie renouvelable à cet horizon.

Les objectifs de développement de la géothermie, proposés par les Comités Opérationnels du Grenelle, ont été fixés par arrêté du 15 décembre 2009 relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production de chaleur. Les objectifs de développement de la production de chaleur à partir d'énergies renouvelables en France (PPI Chaleur 2009-2020) sont, en termes de production globale, les suivants (Illustration 4).

	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 individuelles (aérothermie et géothermie)	1 200 ktep	1 600 ktep

*Illustration 4 : Objectifs de développement de la production de chaleur à partir d'énergies renouvelables en France*

### 1.3. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE

#### 1.3.1. Dans le résidentiel individuel

S'il est clair que la réglementation thermique 2012 va diminuer drastiquement les besoins de chauffage, cela va entraîner l'augmentation de la part de besoins de chaleur à fournir pour l'Eau Chaude Sanitaire (besoins qui ne devraient pas diminuer à priori puisque la tendance est plutôt à l'augmentation de la consommation d'eau chaude sanitaire par les ménages). De plus, la question du rafraîchissement peut être amenée à se poser, 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. Les solutions de géothermie développées actuellement pour la maison individuelle sont présentées dans le tableau ci-après (Illustration 5).

Des développements sont en cours sur le dimensionnement des échangeurs afin d'adapter celui-ci aux nouveaux besoins imposés par la RT2012. En effet, les échangeurs horizontaux par exemple, peu onéreux s'ils sont mis en place au moment du terrassement du terrain (construction neuve) auront un plus faible impact en terme de surface lorsque les besoins seront diminués. L'optimisation du dimensionnement entrainera de plus l'optimisation économique du système.

Boucle géothermale	Type d'échangeur	Profondeur de l'ordre du mètre	Dimensionnement (ordres de grandeur) entre 25 et 37 W/m <sup>2</sup> d'échangeurs (1)	Investissement pour l'échangeur (Ordres de grandeur) 30 à 45 €/m <sup>2</sup> (2)	Avantages	Inconvénients
Boucle fermée : échange avec le sol	 Echangeurs horizontaux	de l'ordre du mètre	entre 25 et 37 W/m <sup>2</sup> d'échangeurs (1)	30 à 45 €/m <sup>2</sup> (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
	 Echangeurs "compacts"	quelques mètres	5 à 7 kW par échangeur		Extrême facilité de mise en œuvre	Proscrit dans les terrains en pente COP influencés par les conditions climatiques et ne bénéficiant pas du gradient géothermique
	 Sonde Géothermique Verticale	Jusqu'à 100m	entre 30 et 50 W/mètre linéaire de sondes (3)	30 à 80 €/m <sup>2</sup> de sonde (4)	Coût d'investissement	Peu développé encore en France : manque de retour d'expérience COP faiblement influencé par le gradient géothermique
Boucle ouverte : échange avec les eaux souterraines superficielles	 Doublet	Jusqu'à 100m	Une dizaine de kW pour 1 m <sup>3</sup> /h (5)	40-150 €/m pour le forage (6)	Permet de délivrer de plus fortes puissances Excellent rendement	Intervention d'un foreur nécessaire Déconseillé dans certains contextes géologiques (karsts...) Risque 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 m<sup>2</sup> de sol en W/m<sup>2</sup>), 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 wim 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 m<sup>3</sup>/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

Illustration 5 : Solutions de géothermie développées actuellement pour la maison individuelle (source BRGM)

De plus, les échangeurs géothermiques compacts (de type corbeille par exemple) en cours de développement en France (mais plus largement développé à l'étranger) devraient permettre de répondre à un besoin de limiter l'encombrement (par rapport aux échangeurs horizontaux) tout en évitant le coût important de forages de sondes géothermiques verticales.

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

S'il a été constaté depuis 2008, une stagnation du marché des pompes à chaleur géothermique, le développement des pompes à chaleur est attendu dans le Grenelle, il ne pourra pas se baser uniquement sur les pompes à chaleur aérothermiques qui ont certes un coût d'investissement plus limité mais également un coefficient de performance globale plus faible impliquant une augmentation des coûts d'exploitation.

### **1.3.2. Dans le bâti collectif et tertiaire**

Les applications favorables à l'utilisation de pompes à chaleur 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 permet distribuer le chaud et le froid sur deux réseaux distincts et simultanément (Illustration 6).
- 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 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 de l'aquifère, sans utiliser la PAC. C'est ce que l'on appelle le « *free cooling* » ou « *geocooling* » (cf. paragraphe 4.9.5.a).
- Projets avec besoins uniquement de chaud ou uniquement de froid : la géothermie très basse énergie peut répondre à ce type d'application, mais, un risque de déséquilibre des conditions thermiques du sous-sol existe. Des solutions complémentaires permettant de maintenir l'équilibre thermique du sous-sol sur une ou plusieurs années doivent dans ce cas éventuellement être envisagées (exemple : couplage à des énergies excédentaires l'été si la géothermie est utilisée en mode chauffage uniquement, cf. paragraphe 4.9.5.b).

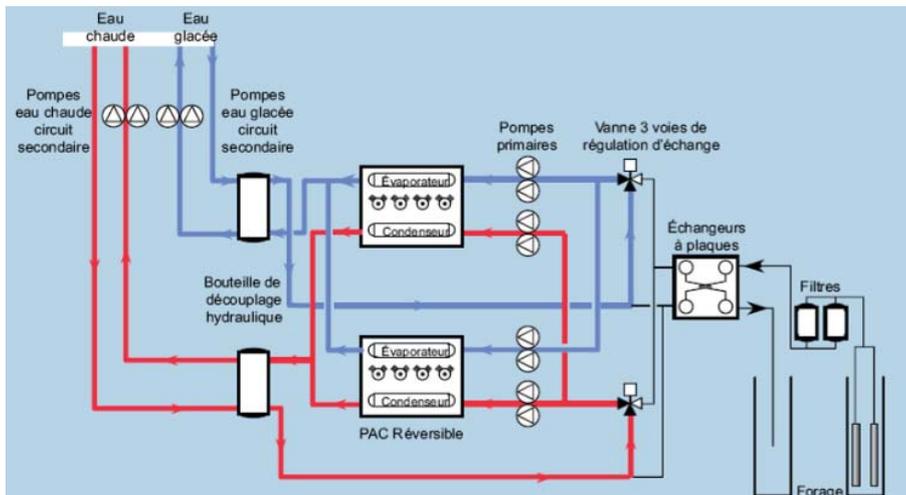


Illustration 6 : Schéma de principe du fonctionnement d'une thermofrigopompe

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. Si la question ne se pose pas dans le cas de nouvelles constructions, elle se pose en rénovation.

L'enjeu en rénovation dans le collectif / tertiaire ne réside pas dans la baisse des consommations mais dans l'adaptation des émetteurs de chaleur et du système de distribution existants voire du niveau de température de la pompe à chaleur (côté émetteurs).

Il est cependant possible dans certains cas d'adapter 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 souvent pertinent. En effet, les besoins thermiques du bâtiment restent souvent supérieurs, même après rénovation à ceux d'un bâtiment neuf, et une solution d'appoint est déjà en place. Ces deux éléments permettent d'amortir plus facilement l'investissement.

Dans d'autres cas, le souhait de mettre en place un système géothermique s'accompagnera d'une rénovation lourde avec changement des émetteurs et du système de distribution.

Finalement, l'intérêt de la solution de géothermie devra être étudié au cas par cas, et dépend de la bonne adéquation des ressources et des besoins. 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 et les besoins.

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) montre l'intérêt dans certains cas de mutualiser les forages dans les aquifères superficiels pour alimenter un micro réseau de chaleur.

## 1.4. LES ELEMENTS STRUCTURANTS DU DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE

La filière géothermie doit actuellement répondre à deux grands enjeux :

- 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.
- 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 distingués en fonction des différentes filières : pour le particulier, le collectif/tertiaire et l'alimentation des réseaux de chaleur.

### **a) Pour le bâti du particulier – PAC site « individuelle »**

Les éléments structurant le développement de la géothermie pour le particulier sont les suivants :

- Pérenniser les mécanismes incitatifs et plus particulièrement le crédit d'impôt : les lois de Finances précédentes ont modifié le crédit d'impôt pour la géothermie. Une première modification intervenue fin 2009 a conduit à ce que l'assiette, qui ne comprenait initialement que le matériel mis en œuvre, inclut la pose de l'échangeur. Une seconde modification a conduit à ramener le taux du crédit d'impôt de 40 % à 36 %, sous l'effet du « coup de rabot » de 10 % appliqué à toutes les niches fiscales et décidé fin 2010. Il faut noter également que certaines régions proposent des aides complémentaires pour les particuliers.
- Favoriser la certification des professionnels, notamment le label *Qualiforage*<sup>8</sup> pour les foreurs et le label *QualiPAC*<sup>9</sup> pour les installateurs, pour améliorer la qualité des installations.
- Permettre le développement de nouvelles techniques : le développement de la géothermie pour le particulier sera également lié à l'effort mis sur les solutions d'échangeurs compacts, solutions intermédiaires entre les échangeurs verticaux (sondes géothermiques verticales) et les échangeurs horizontaux et visant un bon compromis encombrement/coût d'investissement.

---

<sup>8</sup> <http://www.geothermie-perspectives.fr/01-je-chauffe-ma-maison/pdf/Qualiforage.pdf>

<sup>9</sup> <http://www.qualit-enr.org/>

**b) Pour le bâti collectif et tertiaire – PAC dites « intermédiaires »**

Les éléments structurant le développement de la géothermie pour les bâtiments collectifs ou tertiaires sont les suivants :

- Pérenniser les subventions du Fonds Chaleur
- Développer les inventaires de la ressource pour permettre la prise en compte de la géothermie au moment des études de préfaisabilité.
- Simplifier la réglementation : des travaux sont en cours au niveau national pour simplifier la réglementation. La géothermie est principalement régie par le code minier et le code de l'environnement, mais également par le code de la santé publique et le code des collectivités territoriales.
- Inciter les maîtres d'ouvrage 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.
- Recenser les opérations existantes pour étudier le développement et limiter les conflits d'usages
- Mettre en place une labellisation de qualité des bureaux d'étude sous-sol intervenant sur ces opérations.

**c) Pour les réseaux de chaleur**

Les réseaux de chaleur ne sont pas traités par la suite pour la région Rhône Alpes. Au niveau national, la situation est la suivante : la pérennisation des subventions du Fonds Chaleur et les différents mécanismes incitatifs pour le développement des réseaux de chaleur « vertueux » (obligation de raccordement lors du classement du réseau, par exemple) 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.

Concernant leur alimentation par géothermie, il est important de développer les réseaux de chaleur hors Ile-de-France<sup>10</sup>, conformément aux préconisations du rapport « Propositions pour le développement des énergies renouvelables appliquées au bâtiment » issu du Groupe de travail "Energies renouvelables appliquées au bâtiment" du Plan Bâtiment Grenelle. En effet, 30 réseaux de chaleur franciliens sont alimentés par l'aquifère profond du Dogger, et ce depuis plus de 30 ans pour 29 d'entre eux. Il

---

<sup>10</sup> « Proposition n°38 - Développer les réseaux de chaleur géothermiques- et notamment hors Ile-de-France en développant la connaissance de la ressource et en mettant en place des **démonstrateurs** permettant de valider le bon fonctionnement de ces installations géothermiques dans d'autres bassins sédimentaires ou dans d'autres aquifères que celle d'Ile-de-France". »

convient de dupliquer le modèle dans d'autres régions, en s'appuyant sur les collectivités qui en ont la compétence.

Il est également essentiel d'améliorer le taux de couverture du risque de ces opérations, en dehors de l'Île-de-France. 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.

#### ***d) Contraintes vis-à-vis du réseau de distribution d'électricité***

La mise en place d'une pompe à chaleur nécessite un accès au réseau de distribution d'électricité. De ce point de vue, et compte tenu des courants et puissances requises, un examen détaillé de chaque situation doit être réalisé. ERDF<sup>11</sup> a établi une fiche spécifique sur ce point « La Pompe à chaleur »<sup>12</sup>. ERDF indique en effet : « Le gestionnaire de réseau ERDF, les installateurs et les utilisateurs sont confrontés à des dysfonctionnements d'un certain nombre d'appareils. Ces dysfonctionnements ont pour origines :

- le non-respect des normes produits et/ou des normes d'installation,
- le fonctionnement en sous-puissance,
- la non-compatibilité de la pompe à chaleur avec les caractéristiques du réseau.

Les conséquences sont principalement un mécontentement du client sur le mauvais fonctionnement de sa PAC et/ou de ses autres équipements et des perturbations sur le réseau de distribution publique d'électricité pouvant se manifester chez le client concerné ou chez les voisins. »

La fiche ERDF rappelle les aspects réglementaires et techniques sur la mise en place d'une pompe à chaleur. Elle donne également un tableau, repris ci-après (Illustration 7) avec « une valeur indicative des courants nominaux et de la puissance nominale des PAC pour respecter les intensités de démarrage préconisées dans le cadre de l'application de la norme de fluctuation de tension EN 61000-3-3. Ils sont issus des ordres de grandeur observés entre le courant de démarrage ( $I_{\text{démarrage}}$ ) et le courant nominal ( $I_{\text{nominal}}$ ) selon les technologies de démarrage considérées. »

---

<sup>11</sup> Electricité Réseau Distribution France

<sup>12</sup> [http://www.erfdistribution.fr/medias/Sequelec\\_public/Sequelec\\_fiche\\_pompe%20chaleur.pdf](http://www.erfdistribution.fr/medias/Sequelec_public/Sequelec_fiche_pompe%20chaleur.pdf)

PAC ou moteur Monophasée	Intensité maximale de démarrage I <sub>d</sub> (A)	Intensité nominale du moteur I <sub>n</sub> (A)	Puissance nominale maximale du moteur (kVA)	*Puissance de raccordement du branchement (kVA) à minima
Sans système de démarrage I <sub>d</sub> = 5 x I <sub>n</sub>	30 A	6 A	≤ 1.2	12 kVA
Avec système de démarrage I <sub>d</sub> = 2 x I <sub>n</sub>	30 A	15 A	≤ 3	12 kVA
Avec Inverter I <sub>d</sub> = I <sub>n</sub>	30 A	30 A	6	12 kVA
Moteur + chauffage d'appoint sur même départ	30 A pour l'ensemble	30 A pour l'ensemble	6 pour l'ensemble	12 kVA

\*La puissance de raccordement doit être déterminée en tenant compte de l'ensemble des besoins électrique de l'installation

*Illustration 7 : Valeurs préconisées des courants et puissances des PAC pour répondre aux exigences de la norme EN 61000-3-3 selon les systèmes de démarrage utilisés. Cas des pompes ou moteurs monophasés [K].*

## 1.5. L'ELABORATION DE SCHEMAS REGIONAUX DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE

### 1.5.1. 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'Energie (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.

### **1.5.2. Enjeux pour l'étude de la géothermie**

La prise en compte des spécificités de l'énergie géothermique va influencer la démarche à adopter pour la réalisation d'un schéma régional de développement de cette énergie.

#### ***a) La prise en compte des spécificités régionales et locales***

La diversité régionale se manifeste en premier lieu dans la répartition des ressources géothermales. En effet, le territoire national est abondamment pourvu en aquifères, notamment dans les contextes sédimentaires, mais ceux-ci présentent une grande variabilité géographique. Cette disparité au niveau national se retrouve également au niveau régional et infrarégional. Il en est de même pour les sondes géothermiques verticales qui sont déconseillées dans certains contextes géologiques.

Tout comme le climat qui varie en fonction des régions (ce qui va impacter la demande en chaud et en froid), les conditions règlementaires et administratives d'utilisation de ces ressources varient en fonction de la zone de territoire concernée.

Enfin, la diversité régionale se retrouve dans la typologie des besoins de surface et des équipements (comme la présence de réseaux de chaleur, par exemple). Les typologies et caractéristiques de l'habitat des régions (part d'immeubles collectifs, lancement de projet de rénovation, ....) vont déterminer la nature des projets de géothermie et la typologie de la filière qui se développera à l'avenir.

#### ***b) La prise en compte de l'ensemble des filières***

Dans le cadre de la mise en place d'une étude prospective, les principales filières de géothermie doivent être considérées :

- La géothermie très basse énergie, pour le secteur résidentiel, collectif, tertiaire et industriel : utilisation des aquifères superficiels couplés avec une PAC ou développement de (champs) de sondes géothermiques ;
- La géothermie basse énergie : utilisation des aquifères profonds (lorsqu'ils existent) pour alimenter des réseaux de chaleur urbains.

Il faut également rappeler que les différentes formes de géothermie (pompes à chaleur sur sondes ou aquifères) sont à même de répondre à la fois au besoin de chauffage et à la demande de rafraîchissement, avec un meilleur coefficient de performance que la plupart des autres formes d'énergie.

***c) La nécessaire géolocalisation des ressources et des besoins***

Comme souligné ci-dessus, la prise en compte de la notion de territoire est particulièrement importante 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.

C'est un des atouts principaux de la géothermie, en ce sens qu'il s'agit d'une réelle énergie locale (pas de consommations pour le transport notamment). Cependant, cela signifie également que le potentiel ne peut être défini par une étude des ressources d'un côté et des besoins de l'autre. La ressource du sous-sol doit localement correspondre au besoin de surface, que ce soit un besoin de chaleur, de rafraîchissement et/ou d'eau chaude sanitaire (ECS).

Il est donc préférable de ne pas raisonner sur ce thème de façon statistique à l'échelle d'une région, mais d'adopter une démarche géolocalisée, que ce soit pour les ressources ou pour les besoins thermiques.

## 2. Contexte et état des lieux de la géothermie en région Rhône Alpes

### 2.1. CONTEXTE EN REGION RHONE-ALPES

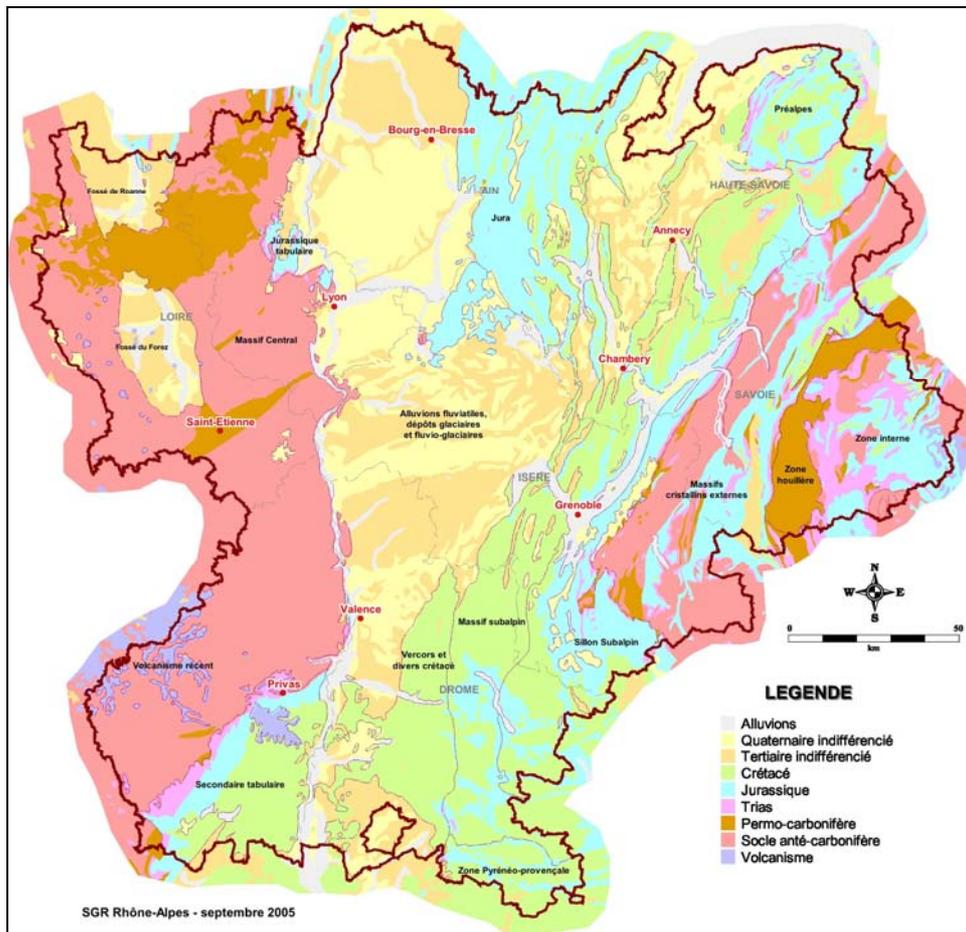
#### a) *Contexte physique Rhônalpin*

**Au plan géographique**, encadrée par deux massifs montagneux, les Alpes à l'Est et le Massif Central à l'Ouest, la Région Rhône-Alpes est caractérisée par une grande variété de paysages de par ses reliefs très contrastés mais, ce sont l'eau et la montagne qui en sont les deux caractéristiques par excellence. En effet, les deux-tiers de sa surface se situent en milieu montagnard et la moitié du territoire à des altitudes supérieures à 500 m. La région, irriguée par 7 000 km de cours d'eau, offre 35 000 ha de lacs et plans d'eau (avec le lac du Bourget, plus grand lac de France) et est couverte par 400 km<sup>2</sup> de glacier.

**Aux plans géologique et structural** [40] « la région Rhône-Alpes s'étend sur deux domaines tectoniques majeurs : à l'Ouest, le Massif Central et les fossés d'effondrement des Limagnes d'Allier et de la Loire, et des vallées du Rhône et de la Saône (Bresse), à l'Est, une partie des Alpes occidentales et la terminaison sud du Jura ».

Le Massif Central correspond au cœur de l'ancienne chaîne orogénique hercynienne, formée durant l'ère primaire (-345 à -280 millions d'années). Au Tertiaire, la distension de la croûte continentale a donné lieu à la formation de fossés limités par des failles à jeu normal de direction principalement NS à NNW-SSE. Ces fossés, dits d'effondrement, se trouvent dans la partie centrale et nord-est orientale du massif. Ils correspondent, respectivement, aux Limagnes d'Allier et de la Loire. [...] L'intense activité volcanique au Tertiaire mais aussi au Quaternaire est directement interprétée comme une conséquence de l'étirement crustal et de la remontée mantellique.

La chaîne alpine est une chaîne récente, d'altitude élevée et au relief aigu, datant de l'ère tertiaire et qui succède à la chaîne hercynienne érodée à la fin de l'ère primaire. Les Alpes occidentales et le Jura correspondent à une partie de la chaîne alpine dont l'édification a commencé à la fin du Secondaire et s'est perpétuée jusqu'à l'époque actuelle. Généralement on distingue dans cette partie des Alpes : les zones internes (Pennique et Austro-alpin), les zones externes (chaînes subalpines et massifs cristallins externes) auxquelles on rattache le Jura. Le Jura est séparé des Alpes au sens strict par l'avant fosse molassique alpine (bien développée surtout en Suisse). Cet avant fosse molassique correspond à une cuvette formée à l'avant de l'arc alpin lors de sa surrection au Tertiaire. Contemporain à sa formation, il s'y est déposé les sédiments détritiques (galets ou conglomérats) issus de l'érosion de cette nouvelle chaîne orogénique ».



(c) BRGM

Illustration 8 : Cartes des formations géologiques de la région Rhône-Alpes

**Au plan des ressources hydriques**, et tel que précisé dans le profil environnemental de la région Rhône Alpes [O] « Rhône-Alpes possède de multiples ressources en eau, avec de nombreuses capacités de stockage, naturelles (glaciers, lacs, étangs, nappes d'eau souterraines...) ou artificielles (barrages, retenues collinaires). De puissants cours d'eau parcourent la région et l'alimentent de manière régulière : le Rhône, l'Isère, le Drac, la Romanche, la Saône, l'Ain... ».

Les régimes hydrologiques sont variés, le régime nival des Alpes du Nord assurant une alimentation abondante en été pour une partie du territoire régional (Alpes du Nord, Rhône). Les débits sont souvent influencés par les retenues qui, pour la plupart, ont une vocation hydroélectrique.

Les glaciers des massifs alpins forment des réserves abondantes qui ont permis d'atténuer les effets des sécheresses récentes. En dehors des Alpes du Nord, les zones montagneuses sont néanmoins dépourvues de capacités de stockage naturelles. Les assècs y sont très fréquents (Ain, Drôme, Ardèche et Loire), avec des

étiages sévères qui rendent les milieux aquatiques très sensibles aux pollutions et au phénomène d'eutrophisation.

La pluviométrie moyenne s'établit autour de 1 100 mm/an, avec des précipitations très contrastées entre le nord et le sud. Compte tenu de ces apports et des différentes ressources, chaque Rhônalpin dispose d'environ 10 000 m<sup>3</sup> par an, soit 2,5 fois plus que la moyenne nationale.

**Au plan hydrogéologique**, on peut rappeler les éléments de synthèse suivants (synthèse hydrogéologique [39]) : « A l'Ouest du grand axe de communication Rhône-Saône on trouve les massifs cristallins du massif Central, du Nord au Sud : Forez, Beaujolais, Lyonnais, Haut Vivarais, Cévennes), généralement considérés comme faiblement productifs, domaines de forêts et d'élevage.

Confondues le plus souvent avec les voies de communication, on trouve les plaines alluviales dont les formations aquifères sont généralement assez bien connues et se caractérisent par leur relation étroite avec les rivières (Rhône, Saône, Isère, Drôme, Arc, Drac, Loire) ; c'est là que se sont installées les principales industries. Ces vallées ont des possibilités d'exploitation multiples (usages agricoles, AEP, industriels et géothermie notamment).

Le couloir Rhodanien (Bresse et Dombes au Nord du Rhône, Bas-Dauphiné entre Rhône et Isère) se caractérise par des formations sablo-graveleuses, sablo-argileuses pliocènes et miocènes, considérées jusqu'à ces dernières années comme médiocrement perméables ou franchement imperméables, ce qui a été infirmé depuis, et qui correspondent à des zones de cultures maraichères et d'élevage. Ces formations sont entaillées par les cailloutis fluvio-glaciaires de l'Est Lyonnais, de la Bièvre, du Valentinois assez bien appréhendés et largement exploités.

Les nombreux massifs calcaires, le Bugey entre l'Ain et le Rhône, le Chablais, les Bornes, les Bauges, la Chartreuse entre le Rhône et l'Isère, le Vercors, le Diois, le Devoluy au Sud de l'Isère, entre Rhône et Drac, le Bas-Vivarais au Sud Est de l'Ardèche, souvent karstifiés peu aménagés, peu industrialisés, peu agricoles, connaissent une attraction touristique croissante en toute saison.

Au sein des massifs géologiquement très complexes du Mont Blanc, de la Tarentaise, de la Vanoise, de la Maurienne, de Belledonne et du Pelvoux, secteurs à forte vocation touristique hivernale et estivale, producteurs d'hydroélectricité et industrialisés dans les hautes vallées de l'Isère et de l'Arc, seules les sources d'émergences exploitées sont bien caractérisées, la connaissance des réservoirs hydrogéologiques étant faible ».

Les vallées alpines, plus ou moins encaissées, sont souvent cependant le siège de dépôts glaciaires et alluvionnaires importants, qui constituent dans bon nombre de secteurs une ressource souterraine largement exploitée.

**Les enjeux au plan des ressources en eau**, tels que décrits dans le profil environnemental Rhône Alpes sont les suivants : « les nappes souterraines sont nombreuses, bien qu'inégalement réparties sur le territoire. Leur réapprovisionnement par infiltration des eaux de pluie est diminué par l'augmentation du phénomène de

ruissellement dû à l’artificialisation et l’imperméabilisation des sols. Les nappes qui offrent les potentiels d’exploitation les plus importants se trouvent au sein des formations géologiques des grandes plaines et des vallées.

Les nappes alluviales anciennes, d’origine fluvio-glaciaire, constituent des réserves à fort potentiel très sollicitées (Bièvre-Valloire, Ain, Bourbre, Est Lyonnais, Valence). Ces ressources sont menacées par les pollutions diffuses (37 % des nappes). Les alluvions récentes des grands cours d’eau sont les plus productives car elles profitent d’une alimentation importante (Rhône, Isère, Arve, Drac, Romanche, Ain, Saône, Loire...). Elles sont aussi très sensibles à la qualité des cours d’eau qui les alimentent. Les nappes plus profondes (dépôts tertiaires du Miocène), donc mieux protégées, sont d’une grande capacité. Les domaines karstiques présentent un intérêt local. Leurs potentialités d’exploitation sont mal connues. »

**b) Contexte en matière démographique**

Au plan démographique, les cartes suivantes (Illustration 9) permettent de présenter la situation en région Rhône-Alpes, avec la population par agglomérations et la projection de son évolution sur 20 ans par bassins d’emploi.

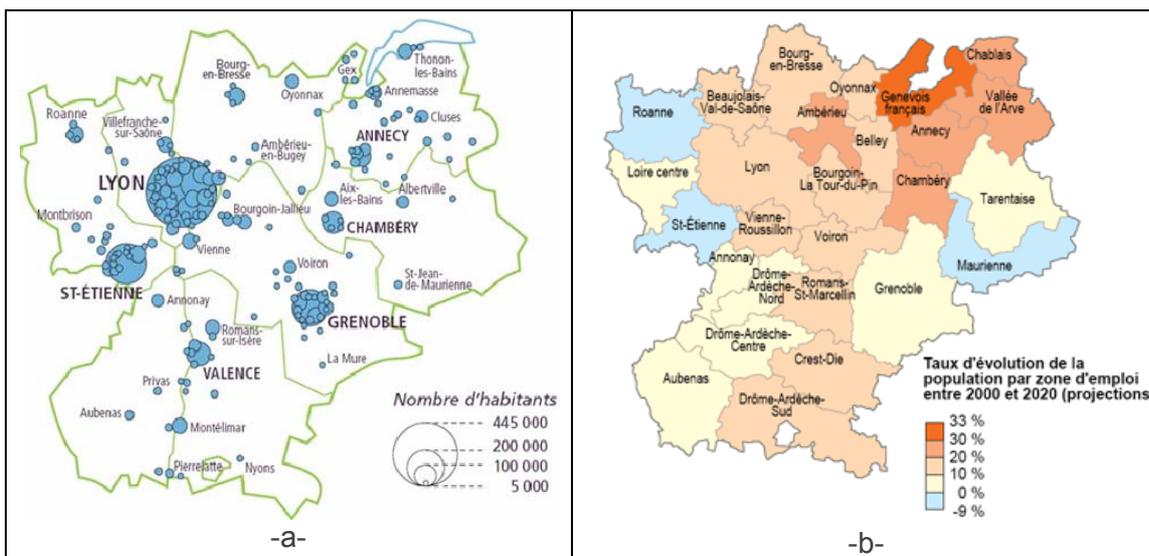


Illustration 9 : a) Population en Rhône Alpes 2010 (source : Conseil Régional [JJ]) ;  
 b) Evolution de la population par zone d'emploi entre 2000 et 2020 – projections –  
 (Source INSEE [F])

La cartographie suivante (Illustration 10) précise pour sa part le découpage en secteurs géographiques. Ce zonage concerne les « Contrats de Développement Durable Rhône-Alpes (CDDRA) » qui constituent un des principaux outils de la territorialisation de la politique économique régionale. Tel que précisé dans les documents de la région Rhône-Alpes sur la politique économique territoriale, cette territorialisation doit permettre de déployer la politique économique régionale tout en

intégrant les spécificités économiques des territoires. Les grands types d’actions économiques conduites sont les actions collectives spécifiques aux entreprises du territoire permettant de renforcer leur compétitivité, l’animation économique du contrat ou d’animations d’actions plus spécifiques, les projets d’investissements structurants, l’appui aux créateurs repreneurs d’entreprise.

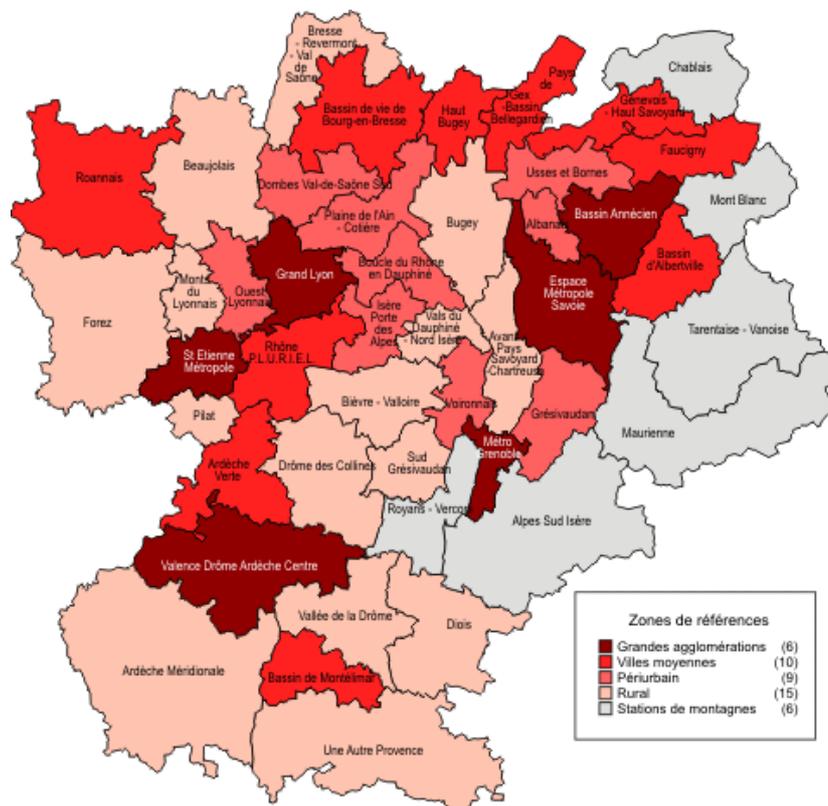


Illustration 10 : Secteur géographique et typologie (Source INSEE – Conseil régional [F])

### c) Spécificités au regard de la géothermie

Les éléments présentés précédemment fixent donc des référentiels importants à deux titres :

- Référentiel en matière démographique. Cet aspect a été analysé avec vigilance lors de la sélection des entités hydrogéologiques sur lesquelles a été évalué le potentiel géothermique afin de garantir une couverture des secteurs les plus densément peuplés et les secteurs d’activités.
- Référentiel économique : la sectorisation présentée a également son importance dans le cadre de l’étude du potentiel géothermique de façon à apprécier au mieux les zones de développement possible de cette ressource au regard des perspectives de développement économique.

La figure suivante (Illustration 11) présente la superposition des entités hydrogéologiques traitées au niveau de l’atlas des potentialités géothermiques sur aquifères avec une carte de population à l’échelle communale. On constate que toutes les agglomérations majeures sont couvertes.

On remarquera cependant (cf. rapport [42] BRGM/RP-60856-FR) que certaines entités, bien qu’identifiées, n’ont pu faire l’objet d’une caractérisation bibliographique complète pour les 3 critères requis (débits exploitables, profondeur d’accès à la ressource, température des eaux) et ne sont finalement pas caractérisées en termes de potentiel.

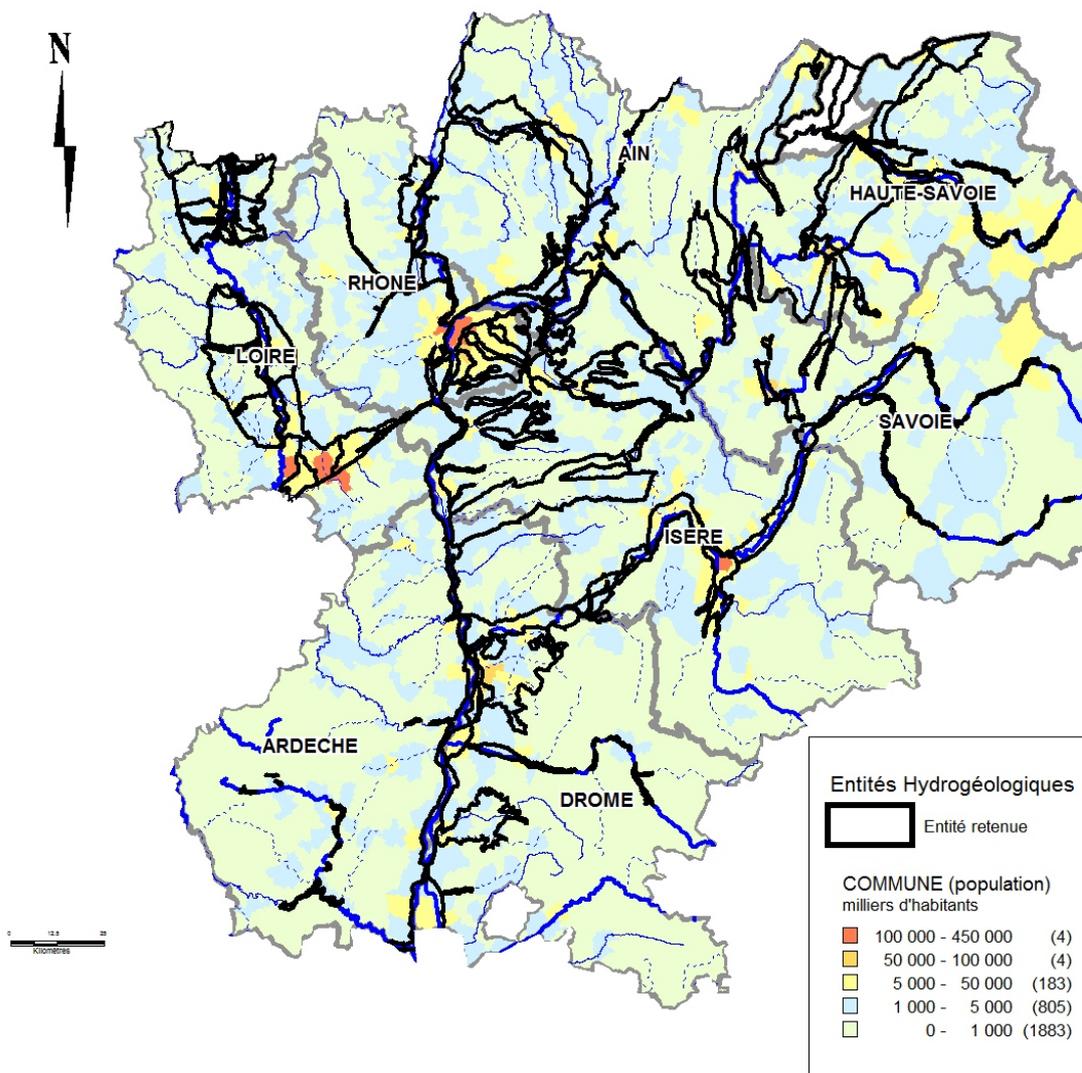


Illustration 11 : Entités choisies et population par commune (BRGM-IGN)

## 2.2. ETAT DES LIEUX

### 2.2.1. Données professionnelles AFPG

#### *a) Principes*

L'AFPG<sup>13</sup>, Association Française des Professionnels de la Géothermie, est une instance dont les membres rassemblent les principaux acteurs de la filière, et ce dans des métiers différents.

Considérant le risque d'une information partielle ou biaisée extraite des bases de données déclaratives (Banque du sous-sol et base des ouvrages soumis à redevances de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse), le comité de pilotage de la présente étude a souhaité élargir l'état des lieux en faisant appel à l'AFPG.

L'objectif fixé était de déterminer, sur les années récentes (3-5 ans) le nombre et le type d'installations relevant de la géothermie réalisées en région Rhône Alpes. Le principe a été d'une consultation des fabricants de pompes à chaleur afin de compiler différentes informations géographiques et techniques sur les systèmes mis en place.

A cette fin, un questionnaire a été établi afin de renseigner différents champs. Le questionnaire a été simplifié autant que possible pour que son renseignement ne constitue pas un obstacle à l'état des lieux.

Le questionnaire élaboré (présenté en annexe 2) permet de renseigner, pour chaque installation réalisée, les données de natures suivantes :

- identification de l'installation (date de livraison, département, commune)
- caractéristique de l'installation (type d'usage, type de bâtiment, besoins énergétiques, période de fonctionnement, capteurs & échangeurs, puissance de la PAC, COP<sup>14</sup> et EER<sup>15</sup>),
- programme thermique nominal (débit et température en entrée et sortie d'évaporateur).

Ce questionnaire a été accompagné d'une notice explicative à toutes fins utiles qui traite à la fois du projet d'inventaire des potentialités géothermiques pour la région et des modalités de renseignement du questionnaire. Ce questionnaire a été diffusé auprès des instances représentatives de l'AFPG afin qu'il soit diffusé auprès des membres de l'association en Mai 2011.

---

<sup>13</sup> <http://www.afpg.asso.fr/>

<sup>14</sup> Coefficient de Performance

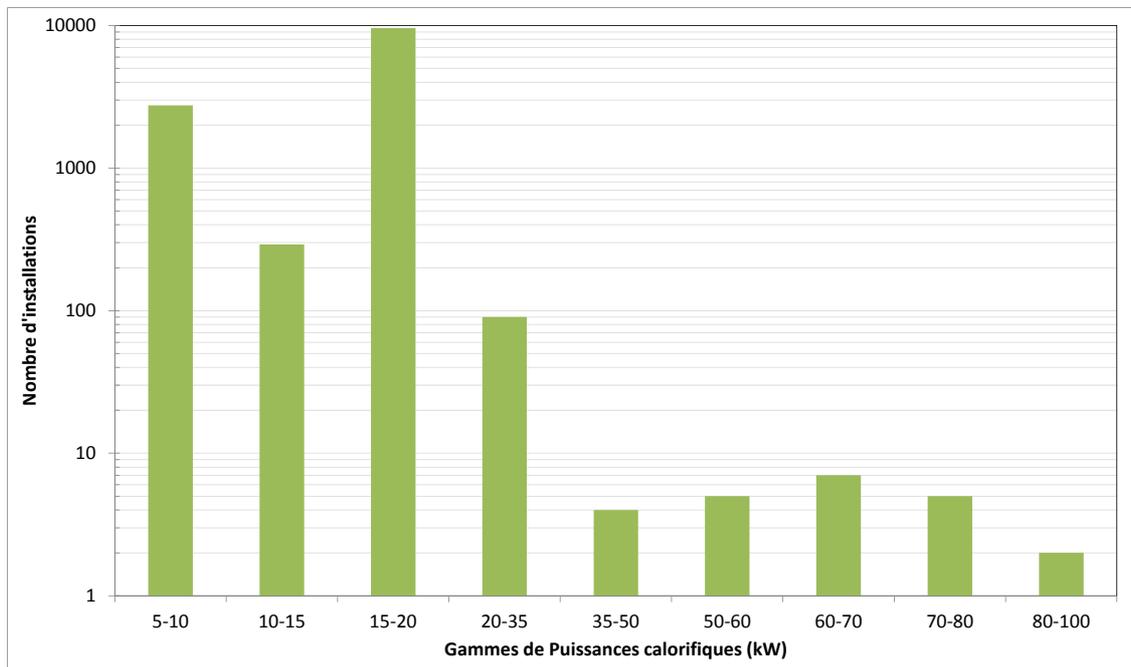
<sup>15</sup> Energy Efficiency Ratio : coefficient d'efficacité frigorifique

## b) Exploitation des résultats

L'AFPG a retourné des données relatives à 5 constructeurs (notés -1- à -5-). L'exploitation prévue initialement n'a pas été rendue possible, toutes les données fournies étant globales à l'échelle de la région à l'exception d'un constructeur. Il a néanmoins été possible :

- d'établir, pour différentes puissances ou gammes de puissances, le nombre d'installations mises en place (Illustration 12 et Illustration 13) ;
- d'établir une estimation de la puissance calorifique totale installée sur la région depuis 5 années –calcul basé sur les puissances indiquées ou sur la valeur intermédiaire en cas de gamme de puissance– (Illustration 14)

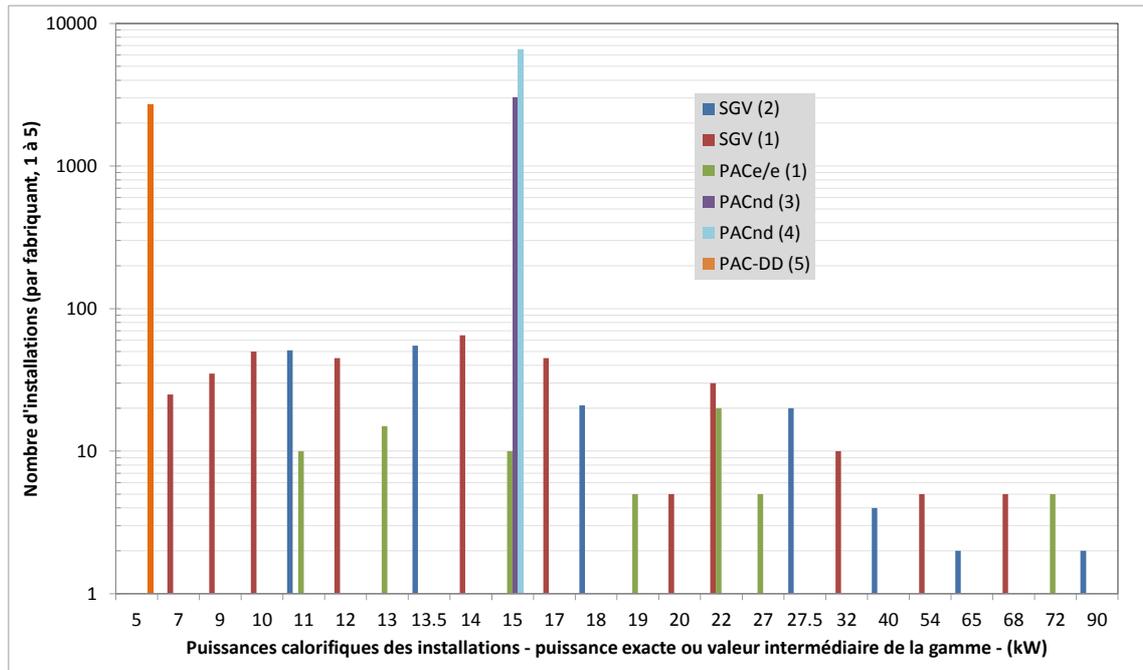
L'Illustration 12 permet d'établir que les gammes les plus représentées sont celle de moins de 35 kW, et en particulier les gammes 5-10 kW et 15-20 kW, tous types d'installation confondus. Le nombre total d'installations mises en place en 5 ans sur la région Rhône Alpes est proche de 13 000<sup>16</sup>. Cette donnée suggère ainsi la mise en place, tous types confondus, de l'ordre de 2 500 installations géothermiques par an en Rhône Alpes. Cette estimation est sans commune mesure avec les estimations faites par la suite et fondées sur d'autres sources de données. Elle ne concerne cependant que les installations de moins de 50 kW du secteur de la maison individuelle.



*Illustration 12 : Nombre d'installations en Rhône Alpes sur les 5 dernières années (données AFPG).*

<sup>16</sup> Pour information, les données AFPAC de 2011 indiquent 7762 PAC vendues

Dans le détail, on note à l'illustration 13, que le nombre d'installations est particulièrement élevé pour 3 constructeurs, dont un seul précise le type de PAC (-5-, PAC à détente directe). Il faut noter que ces valeurs sont présentées pour les puissances intermédiaires des gammes indiquées (moins de 10 kW pour le constructeur -5-, moins de 30 kW pour les constructeurs -3- et -4-). Il est dès lors impossible d'interpréter plus en détail les données en fonction du type d'installation.



(SGV : sondes géothermiques verticales – PAC e/e : PAC sur aquifère – DD : PAC à détente directe – nd : non déterminée)

*Illustration 13 : Distribution par constructeur et type de PAC du nombre d'installations en Rhône Alpes depuis 5 années en fonction des puissances calorifiques des installations (données AFPG).*

Les données de l'illustration 14 confirment que les puissances calorifiques installées sont essentiellement représentées dans la gamme 5-30 kW. Compte tenu du nombre d'installations réalisées par les fournisseurs -3-, -4-, installations dont la nature n'est pas déterminée, et du fournisseur -5- de PAC à détente directe, la puissance installée globale en 5 ans est estimée à 100 MW (ordre de grandeur).

Nota : le constructeur ayant fourni des données par département -5- est le 2<sup>ème</sup> fournisseur avec près de 2 700 PAC installées en 5 ans. A titre indicatif, la répartition géographique entre les différents départements pour ce seul constructeur est la suivante (Illustration 15). On constate une relative homogénéité entre départements, à l'exception de la Savoie. Ce résultat diffère également des bilans suivants fondés sur d'autres sources de données (cf. notamment Illustration 18) où le département de l'Ardèche, mais aussi ceux de la Drôme, de l'Isère et de l'Ain sont peu représentés.

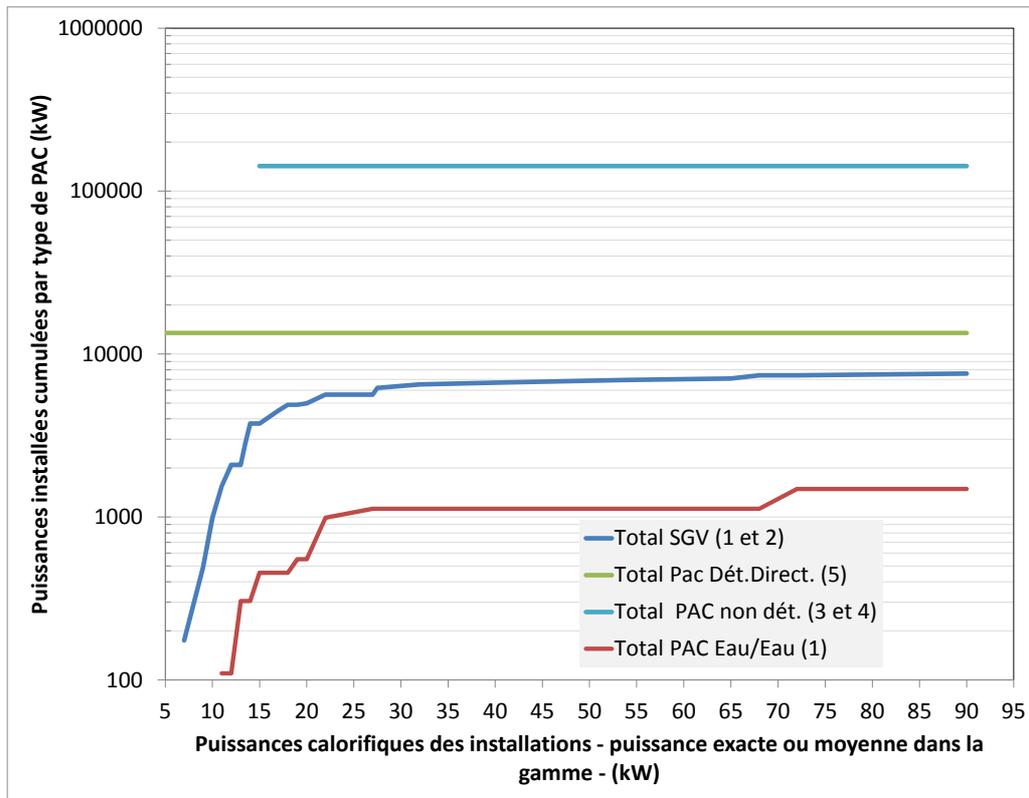


Illustration 14 : Puissances installées cumulées par gammes de puissances calorifiques – données AFPG pour les 5 dernières années (données AFPG).

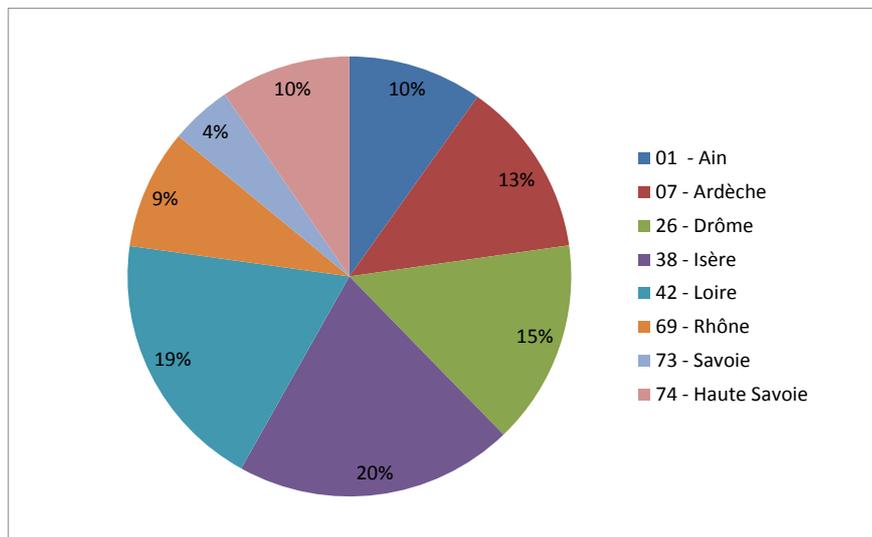


Illustration 15 : Répartition par département des données localisées fournies (unique constructeur – données AFPG 2011).

On peut trouver comme justification à cet égard la nature différente des installations géothermiques concernées : les données de l'AFPG concernent des installations pour maisons individuelles essentiellement (au vu des puissances concernées), les données de la BSS devant d'avantage concerner les gammes du collectif et tertiaire (du fait des profondeurs des ouvrages et des obligations de déclarations associées vraisemblablement). En particulier, la BSS ne recense pas les PAC à détente directe (échangeurs horizontaux).

### **2.2.2. Etat des lieux en banque du sous-sol (BSS)**

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'Etat compétents) 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<sup>17</sup> doivent être considérés avec précaution de ce point de vue.

Au regard également des données AFPG présentées auparavant, on sera attentif au fait que les déclarations en BSS d'ouvrages relevant du domaine de la géothermie est nettement moindre que les installations présentées par les fabricants. De ce point de vue, la BSS semble concernée par des gammes différentes de PAC, vraisemblablement celles relatives au tertiaire ou habitat collectif.

#### ***a) Situation actuelle***

La carte suivante (Illustration 16) présente la répartition géographique des installations relevant de la géothermie. Le tableau et le graphique suivants (Illustration 17) en précise la répartition pour les 8 départements de la région Rhône-Alpes (données 2009).

---

<sup>17</sup> Banque du sous-sol, BRGM

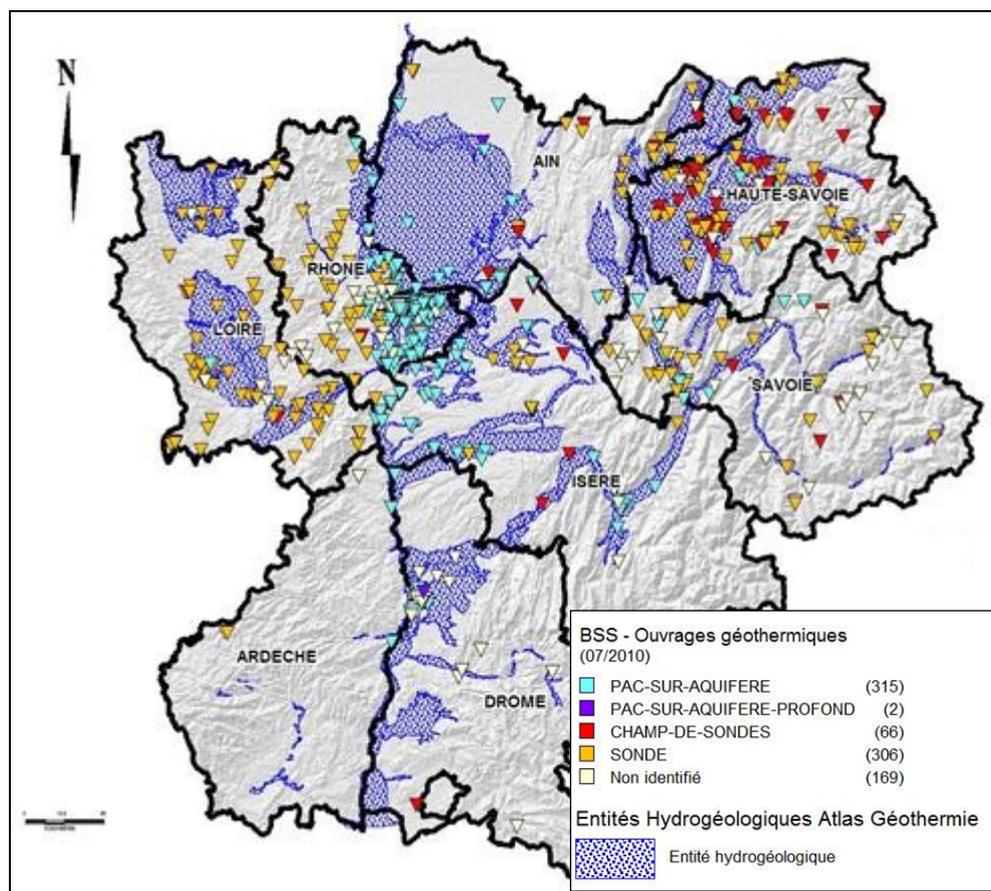


Illustration 16 : Cartes des installations géothermiques en région Rhône Alpes (données BSS).

Département	PAC-SUR-AQUIFERE	CHAMP-DE-SONDES	SONDE	Non spécifié	TOTAL
Ain	13	7	15	6	41
Drôme	18	1	1	8	28
Isère	30	5	8	5	48
Loire	2	2	48	14	66
Rhône	186	1	36	31	254
Ardèche	2	0	1	1	4
Savoie	14	6	25	34	79
Haute-Savoie	10	40	52	10	112
<b>TOTAL</b>	<b>275</b>	<b>62</b>	<b>186</b>	<b>109</b>	<b>632</b>

Illustration 17 : Synthèse des « installations » liées à la géothermie (source BSS)

Le décompte des installations est basé sur les déclarations en BSS. Mais tel qu'indiqué en Annexe (Annexe 2) un travail regroupement a été mené pour les ouvrages

appartenant apparemment à la même installation. Ce regroupement a engendré une réduction du nombre d'enregistrements de 1037 à 632.

De façon générale, en 2009, 80 % des installations se trouvent dans quatre départements (Rhône, Haute-Savoie, Savoie, et Loire) qui représentent 60 % de la population totale de la région (source : chiffre INSEE 2007). Le département du Rhône et celui de la Haute Savoie représentent à eux deux plus de la moitié des installations existantes.

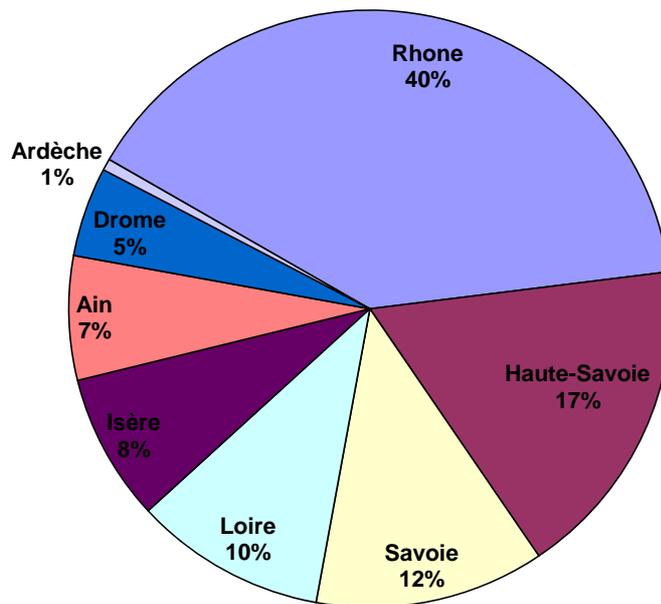


Illustration 18 : Répartition des installations par département (données BSS 2009)

Les points notables apparaissant à la lecture de ces illustrations sont les suivants :

- les départements du Rhône et de la Haute Savoie concentrent à eux plus de la moitié des installations ;
- hormis l'Ardèche (quasiment exempte de toute installation), les départements de l'Ain, de l'Isère, de la Drôme sont ceux où la géothermie est la moins présente ;
- les deux départements alpins Savoie et Haute Savoie comporte en très grande majorité des installations de type sondes ou champ de sondes ;
- le département de l'Isère est marquée par une partie orientale dépourvue d'installations géothermique, et une partie occidentale avec une large majorité de PAC sur aquifère ;

- le département du Rhône, en conformité avec sa géographie et sa géologie, montre une situation contrastée : l'est Lyonnais est très exploité par des PAC sur aquifère, alors que l'Ouest et le Nord du département ne présente que des ouvrages de type sonde ou champ de sondes ;
- le département de la Loire pour sa part est de façon surprenante, compte tenu de son contexte hydrogéologique malgré tout favorable, marqué par une quasi-exclusivité d'installations de type sondes ou champ de sondes.

## ***b) Evolutions***

### **• Evolution générale des installations de géothermie**

La figure suivante (Illustration 19) présente le cumul des installations géothermiques recensées en BSS pour la région Rhône Alpes depuis les années 1960. Les mêmes données sont traduites en termes de nombre d'entrées en BSS d'installations géothermiques sur la même période (Illustration 20)

Il est important d'avoir en mémoire que ces graphiques pointent à la fois :

- les nouvelles entrées annuelles liées au développement effectif d'installations géothermiques et les évolutions année après année,
- les nouvelles entrées en BSS liées à un accroissement des déclarations auprès des services instructeurs, par suite de contrôles, de démarches conjointes avec les sociétés de forages, etc.

Ainsi, pour chaque année, non seulement une partie seulement des nouveaux ouvrages est recensée, mais cette part est variable d'une année sur l'autre.

On observe une émergence lente du nombre des installations entre 1960 et 1980. On note trois accélérations peu après 1980 et 1990 et peu avant 2000, ces périodes étant suivies d'un ralentissement du nombre d'entrées annuelles en BSS (passage à moins de 10 entrées par an). Après les années 2000, la croissance est accrue et soutenue, avec accélération notable à partir de 2005. On voit dans ces dernières évolutions le résultat d'un intérêt croissant pour les énergies renouvelables et la multiplication des incitations fiscales.

Les trois dernières années, même si incomplètement renseignées du fait de la nature de la BSS, laissent entrevoir une croissance comprise entre 70 et 150 nouvelles installations par année pour la région.

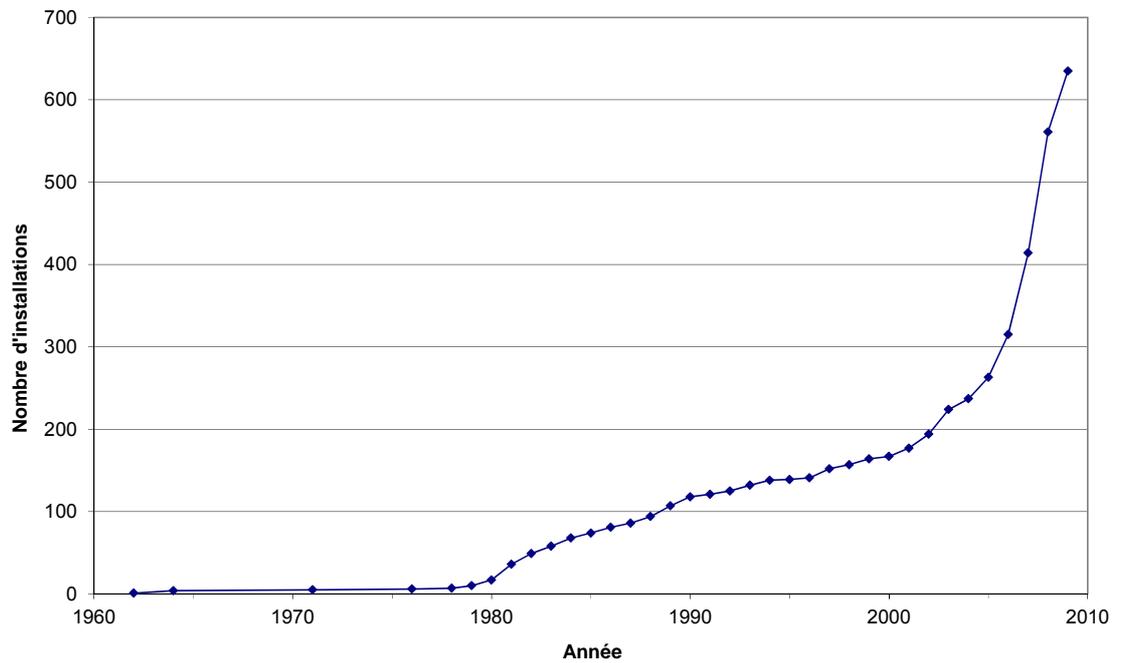


Illustration 19 : Cumul du nombre d'ouvrages de géothermie pour la région Rhône Alpes (source BSS).

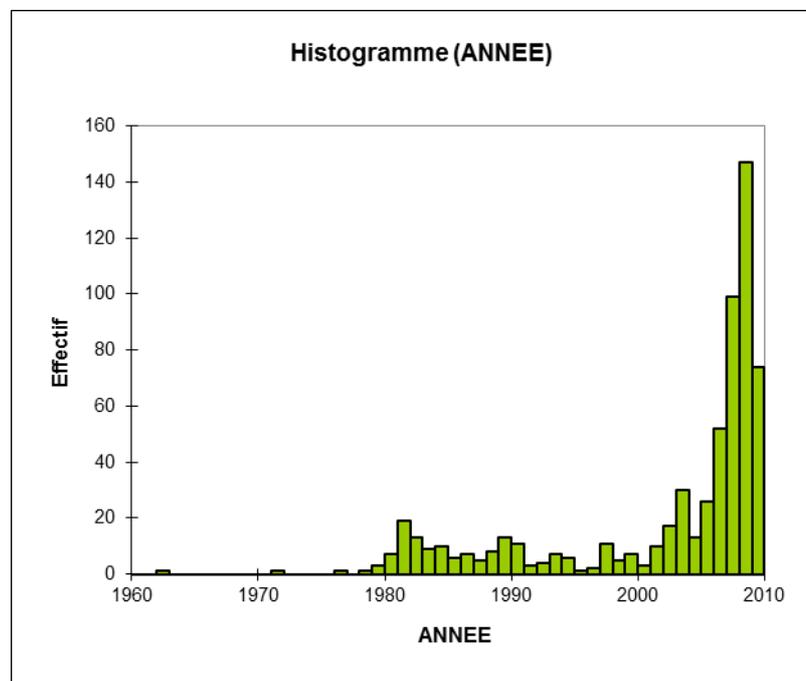


Illustration 20 : Histogramme des nouvelles installations géothermiques déclarées en BSS par année (région Rhône Alpes).

- **Evolution par catégorie d'installation**

L'évolution par catégories est présentée ci-dessous (Illustration 22 et Illustration 21).

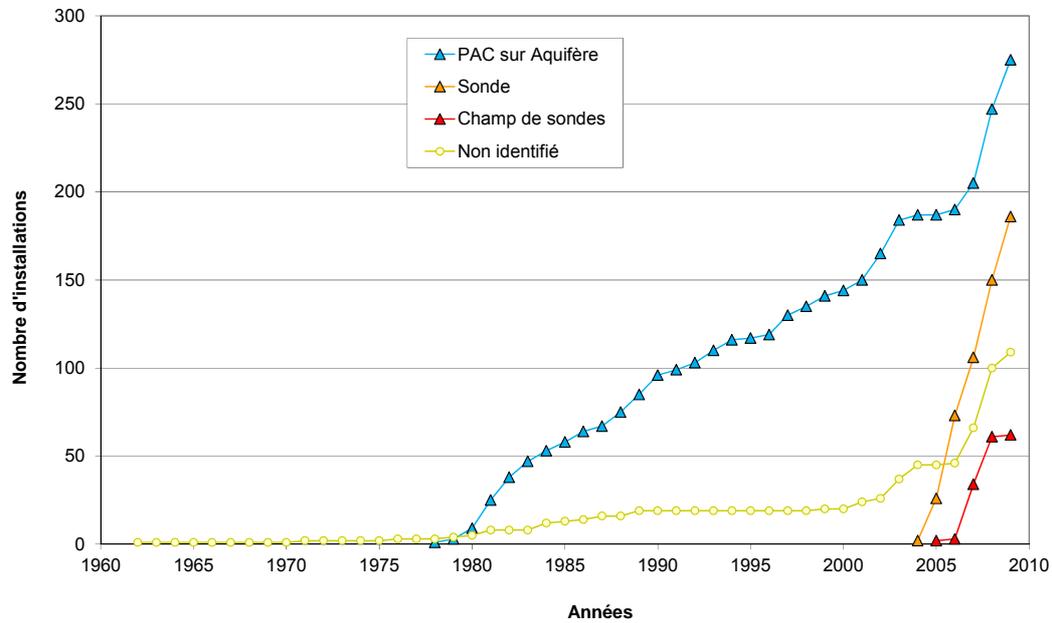


Illustration 21 : Evolution du nombre d'installations géothermiques par catégories en région Rhône Alpes (source BSS).

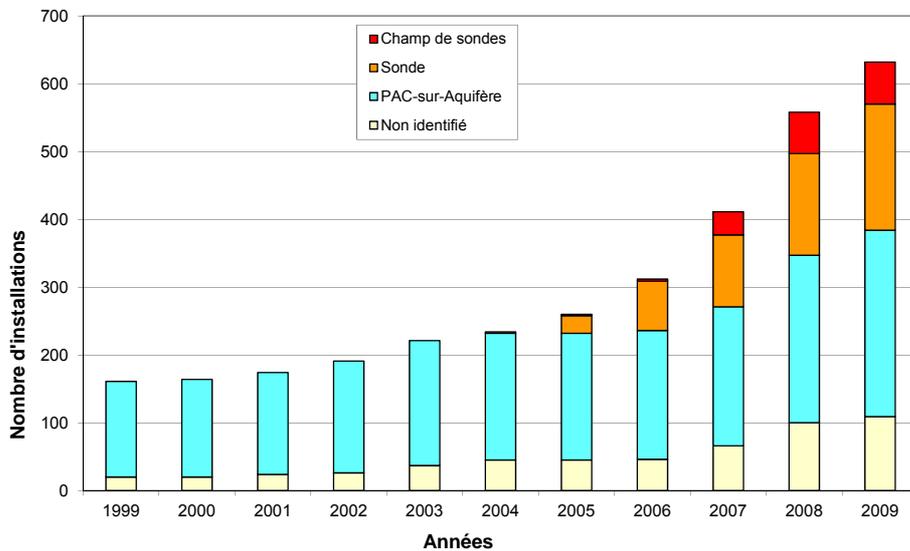


Illustration 22 : Evolution cumulée récente du nombre d'installations géothermiques par catégories en région Rhône Alpes (source BSS).

On constate un développement régional modéré de la géothermie sur aquifère depuis les années 1980, et ce au regard de l'accélération à partir de 2005 qui concerne toutes les techniques. Le renseignement de sondes verticales en BSS apparaît pour la région Rhône Alpes 2005 ; ce type de géothermie prend progressivement une part croissante du marché et apparaît en forte augmentation comparativement aux installations sur aquifères.

Un examen des départements concernés par la forte hausse des sondes et champ de sondes (SGV<sup>18</sup>) permet d'établir le graphique (Illustration 23) suivante. Les départements majoritairement concernés par les sondes verticales sont la Haute Savoie (plus d'un tiers), puis la Loire, le Rhône la Savoie.

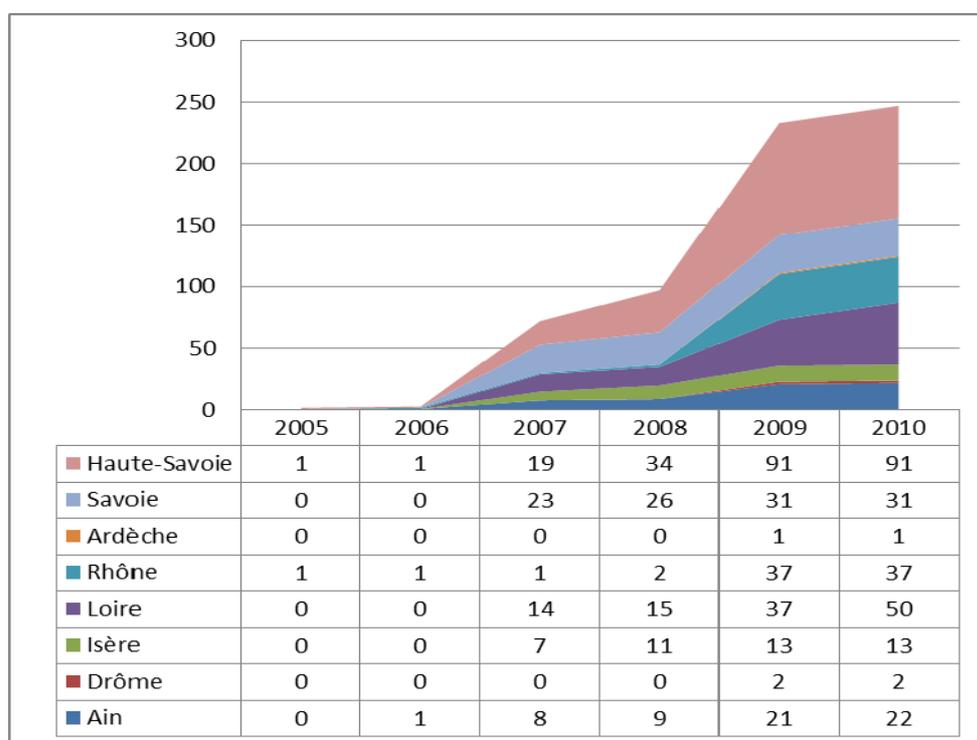


Illustration 23 : Distributions des installations de SGV par départements (source BSS).

- **Evolution par secteurs géographiques**

Il est intéressant de revenir sur l'évolution de la géothermie depuis 20 ans par secteurs géographiques tel que présenté aux figures suivantes (Illustration 24 et Illustration 25).

<sup>18</sup> Sondes Géothermiques Verticales

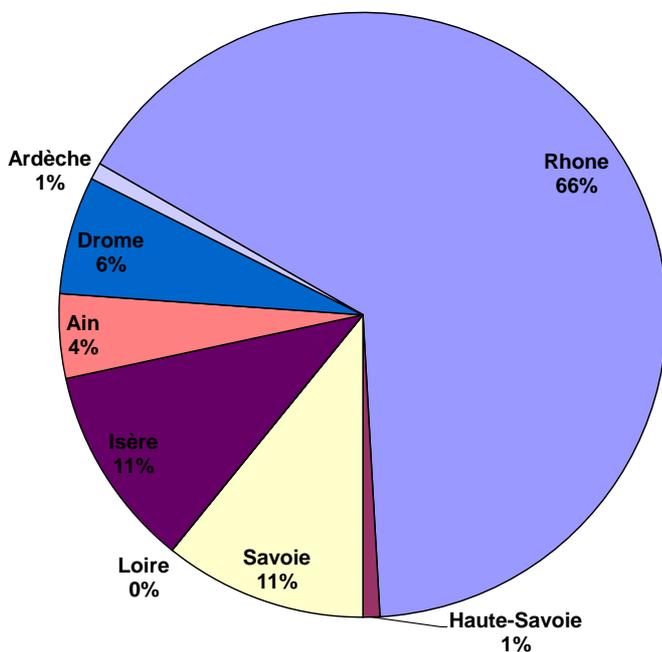


Illustration 24 : Répartition des installations géothermiques en région Rhône Alpes en 1989 (source BSS)

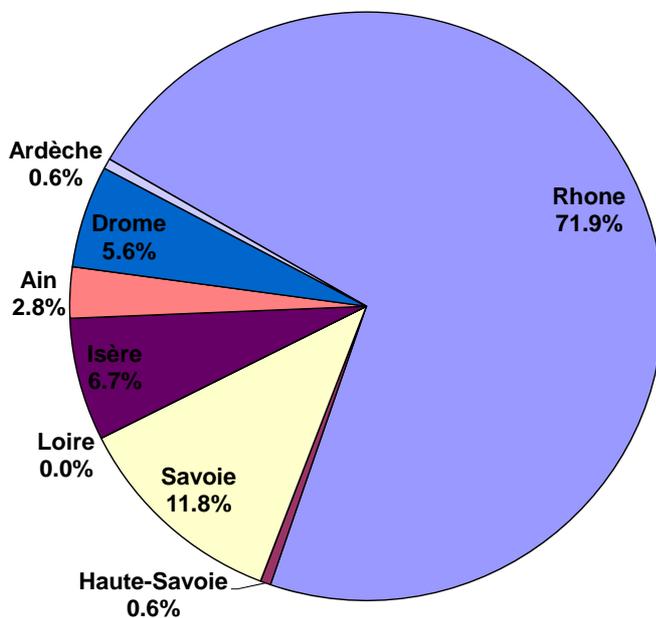


Illustration 25 : Répartition des installations géothermiques en région Rhône Alpes en 1999 (source BSS).

Entre 1989 et 1999, la seule évolution notable est un léger accroissement de la part du département du Rhône, lequel est alors le secteur qui concentre une large majorité d'installations géothermiques (autour de 70 %). Sur la décennie qui a suivie, par comparaison avec les données de 2009 (Illustration 18), à l'exception du département de l'Ardèche, et dans une moindre mesure du département de la Drôme, tous les départements sont concernés par un très fort développement des installations. Ce développement, plus important que celui opéré dans le département du Rhône, permet un rééquilibrage de la distribution régionale des installations, le Rhône ne représentant alors plus que 40 % du total régional.

Les deux graphiques suivants (Illustration 26 et Illustration 27) présentent l'évolution cumulée du nombre d'installations pour le département du Rhône et les autres départements de la région Rhône Alpes.

Les graphiques sont marqués par des différences nettes. Alors qu'entre 1980 et 2000, le département du Rhône est concerné par un développement continu, les autres départements progressent peu. Ce n'est qu'après 2000 que tous les départements, sauf le celui de l'Ardèche, connaissent des phases de croissance très rapides, croissances particulièrement marquées pour la Haute Savoie, la Savoie et la Loire.

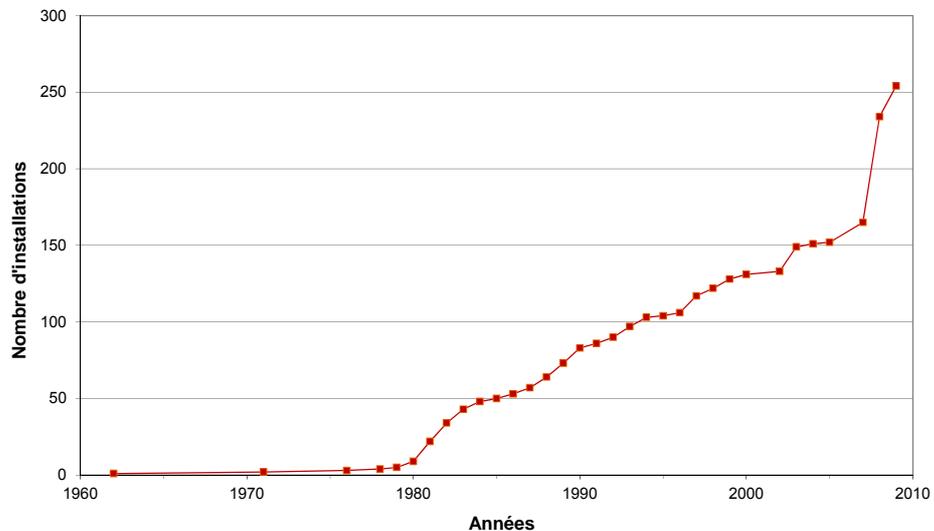


Illustration 26 : Evolution du nombre cumulé d'installations pour le département du Rhône (source BSS).

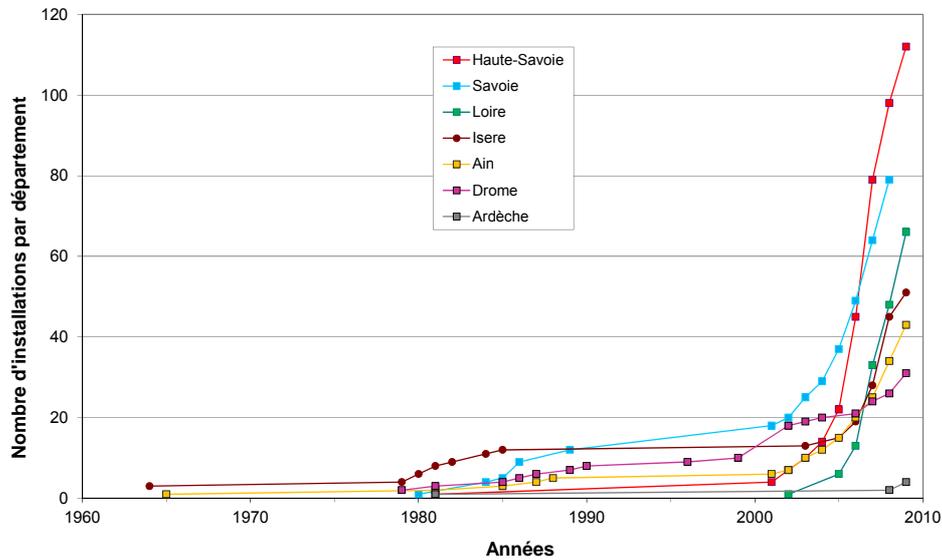


Illustration 27 : Evolution du nombre cumulé d'installations pour la région Rhône Alpes – hors Rhône – (source BSS).

### 2.2.3. Etat des lieux selon les données de redevance (AERMC<sup>19</sup>)

La base de données de recensement des ouvrages de prélèvements de l'Agence de l'eau est, comme la BSS, une base de données déclarative. Le rythme des déclarations annuelles est influencé à la fois 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 doivent être considérés avec précaution de ce point de vue.

#### a) Spécificités

Pour rappel, réglementairement, et selon l'Article L213-10-9 modifié par LOI n° 2010-788 du 12 juillet 2010 - art. 161, modifié par la LOI n°2010-874 du 27 juillet 2010 - art. 52,

- I.- Toute personne dont les activités entraînent un prélèvement sur la ressource en eau est assujettie à une redevance pour prélèvement sur la ressource en eau.
- II.- Sont exonérés de la redevance :
  - 1° Les prélèvements effectués en mer ;

<sup>19</sup> Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse

- 2° Les exhaures de mines dont l'activité a cessé ainsi que les prélèvements rendus nécessaires par l'exécution de travaux souterrains et les prélèvements effectués lors d'un drainage réalisé en vue de maintenir à sec des bâtiments ou des ouvrages, ou de rabattre une nappe phréatique conformément à une prescription administrative ;
- 3° Les prélèvements liés à l'aquaculture ;
- 4° Les prélèvements liés à la géothermie.

Les prélèvements effectués pour des installations relevant réglementairement de la « géothermie » ne sont pas soumis à redevance ; ces installations ne sont donc pas suivies par l'Agence de l'Eau. Par contre, les libellés utilisés par l'Agence indiquent que les installations de « rafraîchissement » ou « climatisation » sont recensées. Ce type d'installations étant considéré au travers d'autres bases (BSS ou AFP) comme des installations de « géothermie » au sens large, il est utile de s'y intéresser.

#### ***b) Utilisation des données de redevance***

##### **• Objectifs**

L'utilisation des données de prélèvement<sup>20</sup> liées aux redevances établies par les agences de l'eau est susceptible de permettre une confirmation des observations faites précédemment (à partir de la BSS) pour ce qui concerne les installations géothermiques sur aquifères.

Il faut en préalable noter que seules les données de redevance de l'AERMC ont été exploitées. Les données accessibles de l'AELB concernent en effet uniquement les Données brutes industrielles (émissions et prélèvements), les données « prélèvements eau potable » et les données « prélèvement irrigation ». Le bilan souffre donc d'un manque de données sur le département de la Loire, hors bassin Rhône Méditerranée. Ceci étant, et au regard des constats faits précédemment à partir des données BSS, peu d'installations sont concernées par des prélèvements en eau souterraines à des fins de géothermie sur le département de la Loire.

Par la suite, il est proposé :

- une présentation de l'évolution des installations soumises à redevances et relevant de catégories incluant l'usage géothermique,
- une présentation de la situation géographique actuelle.

---

<sup>20</sup> les prélèvements donnent lieu à restitution dans les eaux souterraines, dans les eaux superficielles ou en réseaux.

- **Principes**

Le principe du traitement des données de l'AERMC est l'extraction des caractéristiques des installations en fonction du « type d'usage ». Les valeurs retenues dans l'approche suivie pour ce champ sont celles en grisées dans le tableau suivant (Illustration 28).

<b>Code type d'usage + Libellé type d'usage</b>
01 Distribution publique
02 Mode de vie communautaire
03 Industriel (restitution directe ou autres usages)
04 Industriel (restitution par épandage)
05 Refroidissement des centrales thermiques (fil de l'eau)
06 Refroidissement des centrales thermiques (circuit fermé)
07 Irrigation par aspersion
08 Irrigation par ruissellement
09 Irrigation par goutte à goutte
10 Climatisation (circuit ouvert - restitution souterraine)
11 Fabrication de neige artificielle (ex.: stations de ski...)
12 (Autres)
13 Embouteillage d'eau
14 Thermalisme
15 Submersion d'hiver de la vigne (traitement phylloxéra)
16 Centre de loisirs aquatiques
17 Piscine
18 Aquaculture (eau souterraine uniquement)
19 Drainage pour maintien à sec
20 Réalimentation des milieux souterrains
21 Fabrication de glace (ex.: patinoires...)
22 Climatisation (circuit fermé - restitution souterraine)
23 Réalimentation des milieux superficiels
24 Rejet dans un milieu naturel
25 Climatisation (circuit ouvert - restitution superficielle)
26 Climatisation (circuit fermé - restitution superficielle)
27 Climatisation (circuit ouvert - restitution à l'égout)
28 Surverses de réservoir, fontaines publiques
29 Climatisation (estimation) (NE PLUS UTILISER)
30 Drainage (estimation) (NE PLUS UTILISER)
31 Piscine (estimation) (NE PLUS UTILISER)
32 Drainage (restitution superficielle)
33 Centre de loisirs aquatiques (estimation) (NE PLUS UTILISER)
34 Refroidissement (circuit fermé - restitution souterraine)
35 Refroidissement (circuit fermé - restitution superficielle)
36 Refroidissement (circuit ouvert - restitution souterraine)
37 Refroidissement (circuit ouvert - restitution superficielle)
38 Refroidissement (circuit ouvert - rejet à l'égout)

*Illustration 28 : Référentiel des types d'usages pour les données pour les années antérieures ou égale à 2007*

- **Précautions générales et limites dans l'utilisation des données**

Concernant l'utilisation des données de l'AERMC, il convient de remarquer plusieurs facteurs influençant les données :

- seules les données postérieures à 1997 sont exploitables (date mise en place de l'application informatique de « Redevance Prélèvement »)
- du fait de la mise en œuvre de la nouvelle loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA – 30 décembre 2006), des modifications sont intervenues dans les procédures de calcul des redevances à partir de l'année 2008. Les données 2008 sont présentées différemment des données antérieures ;
- enfin, avec l'application de seuils de redevance différents dans le temps du fait d'évolutions réglementaires, le recensement des installations peut différer d'une année sur l'autre.

D'autres biais peuvent apparaître dans l'évolution des données au fil des années. Ainsi, entre 1997 et 1998, un nombre important d'installations ont été ajoutées à la base. Ces installations sont pour la majorité situées à Lyon et Villeurbanne. Lorsque cela a été possible, la date d'entrée de l'ouvrage en BSS a été notée ; on remarque que cette date est souvent antérieure à 1998. Le pic de déclaration de 1998 semble donc d'avantage correspondre à une opération de recensement d'ouvrages existants qu'à la création de nouvelles installations.

**c) Principes de distinction des installations de nature « industrielle » ou « agroalimentaire »**

Une difficulté majeure avant l'interprétation des données et le traitement de celles-ci afin de discriminer ce qui relève de l'industrie de ce qui relève du logement ou du tertiaire.

En effet, de nombreuses industries et installations agricoles ont besoin d'eau dans leurs procédés (notamment : matière première, lavage et rinçage, etc.) ou pour leur fonctionnement. Lorsque l'eau est utilisée en circuit fermé, les prélèvements sont *a priori* limités au période de (re)démarrage ou pour des compléments ponctuels. Ce n'est pas le cas pour celles qui fonctionnent en circuit ouvert. Dans cette dernière catégorie, on trouve aussi centrales nucléaires qui rejettent en aval l'eau plus chaudes.

Dans les données brutes, on trouve donc aussi bien des installations de climatisation de bureau comme des installations de refroidissement destinées au fonctionnement d'installations industrielles de production, installations qu'il convient de distinguer dans l'analyse des données.

Une tentative d'identification de la nature de chaque installation a été faite pour toutes celles présentant des prélèvements excédent 2 000 m<sup>3</sup>/an. La méthode est incertaine : elle consiste en la recherche de mots clefs (nom d'industriel, termes industriels – métallurgie, fluide ou agroalimentaire ...–) dans différents champs de la base de donnée<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> champs « Nom\_ouvrage\_prélèvement » et « Nom\_Maître\_Ouvrage »

L'illustration ci-dessous (Illustration 29) présente l'évolution du nombre d'installations pour chaque catégorie (industrie ou agroalimentaire ou autres, à savoir non industrielle – type tertiaire ou résidentiel–), en distinguant si le prélèvement concerne les eaux superficielles – ou de surface – (P-ESU) ou les eaux souterraines (P-ESO). Les doublons (plusieurs entrées identiques pour un même maître d'ouvrage la même année) ont ici été supprimées, afin de considérer des installations et non des ouvrages de prélèvement.

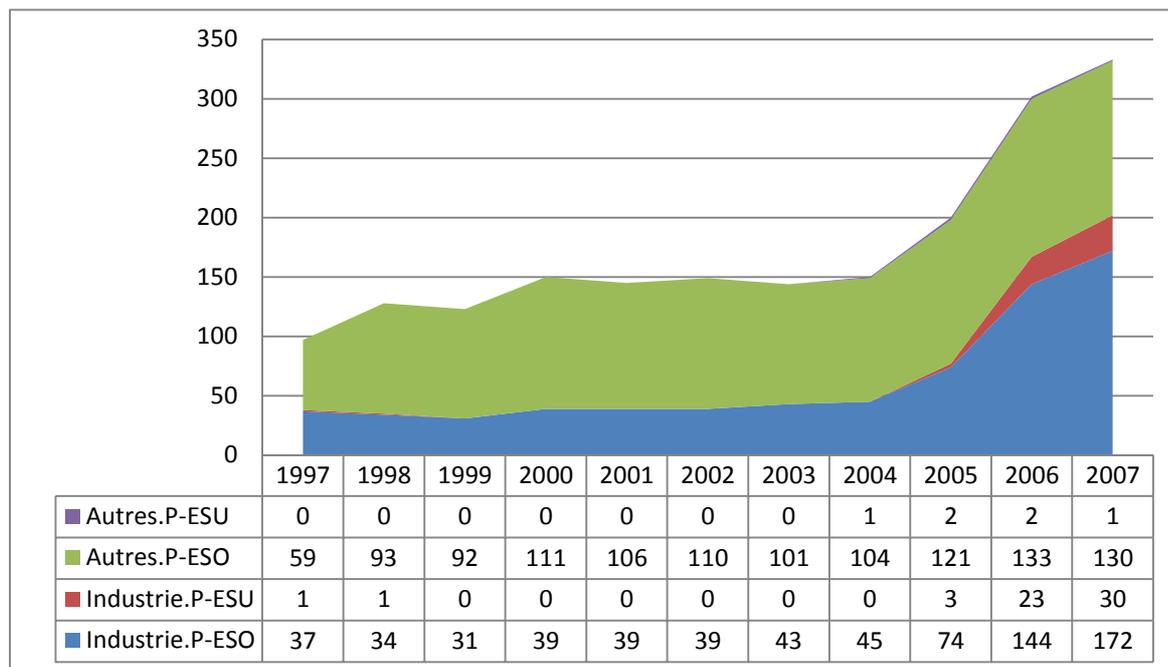


Illustration 29 : Evolution des installations de type climatisation ou refroidissement (source AERMC).

On note que les installations prélevant dans les eaux superficielles sont minoritaires (10 %) et sont quasiment exclusivement de type industriel.

L'augmentation du nombre d'installations intervient en 2005 et concernent essentiellement les installations de type industriel. Le BRGM ne dispose pas d'élément permettant de valider cette évolution propre aux seules installations industrielles ; elle ne semble cependant pas cohérente avec les observations faites à partir de la BSS (cf. Illustration 21).

Si l'analyse des données avec cette démarche peut être intéressante, elle a cependant été jugée trop incertaine. Ainsi, par la suite, seule une démarche intégrant toutes les installations est menée, avec un biais lié à l'intégration de certains systèmes de refroidissement industriels.

**d) Evolution des seules installations de nature « non industrielle ni agroalimentaire »**

- **Evolution du nombre d'installations par types d'usage des eaux**

La figure suivante (Illustration 30) permet d'observer l'évolution entre 1997 et 2007 du nombre d'installations de type refroidissement ou géothermie. Les données traitées ne concernent que les installations prélevant dans les eaux souterraines (1160 enregistrements entre 1997-2007), lesquelles représentent une très large majorité des installations (6 enregistrements en eaux de surface entre 1997 et 2007).

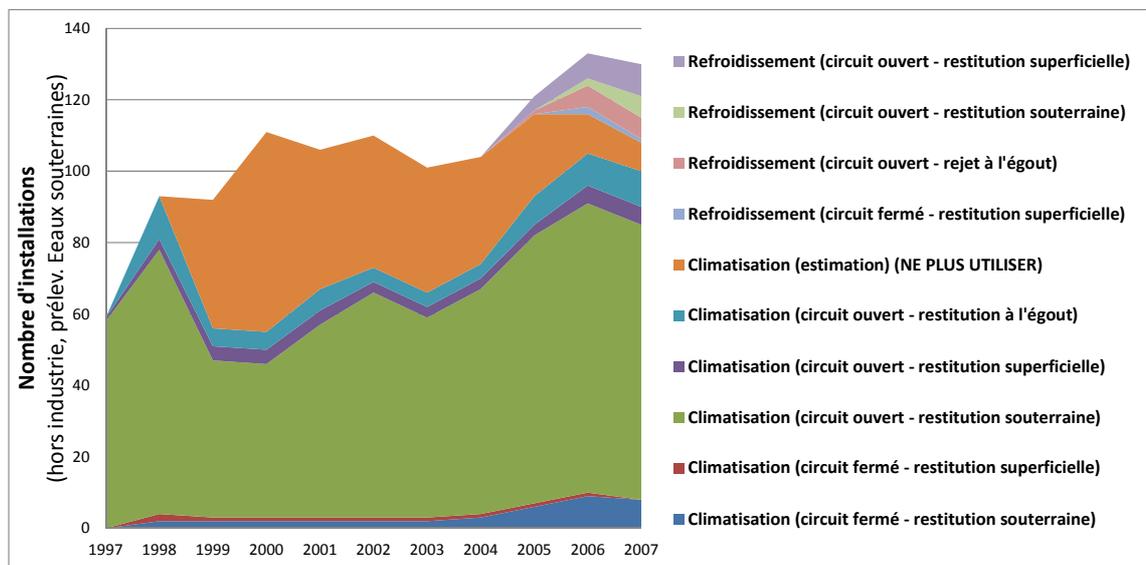


Illustration 30 : Evolution du nombre d'installations prélevant dans les eaux souterraines par type d'usages et mode de rejet des eaux (source AERMC)

La principale difficulté dans le traitement des données est liée aux libellés, notamment celui de « climatisation », pour lequel un libellé général, sans distinction du type de circuit et de restitution, a perduré en parallèle de libellés plus précis.

On note que le nombre d'installations a globalement doublé en 10 ans sur la période 1997-2007. Hormis la hausse importante entre 1997 et 1998, la progression reste limitée, avec des périodes de baisse et de hausse alternativement.

Le nombre d'installations de refroidissement, dont l'existence n'apparaît qu'en 2005, concerne cependant une part significative (17%) du nombre d'installations, son nombre ayant été multiplié par 4 en deux ans (2005-2007).

- **Evolution du nombre d'installation par catégories**

Il est classiquement admis que les installations géothermiques sur aquifères peuvent être réparties en différentes classes selon les débits concernés, selon que ces derniers sont inférieurs à 5 m<sup>3</sup>/h, supérieurs à 50 m<sup>3</sup>/h ou intermédiaires. Les calculs en

classes de débits sont réalisés en considérant les débits annuels déclarés à l'Agence de l'Eau et un fonctionnement 220 jours par an et 10 heures par jour. Les figures suivantes (Illustration 31 et Illustration 32) présentent les données selon ces catégories.

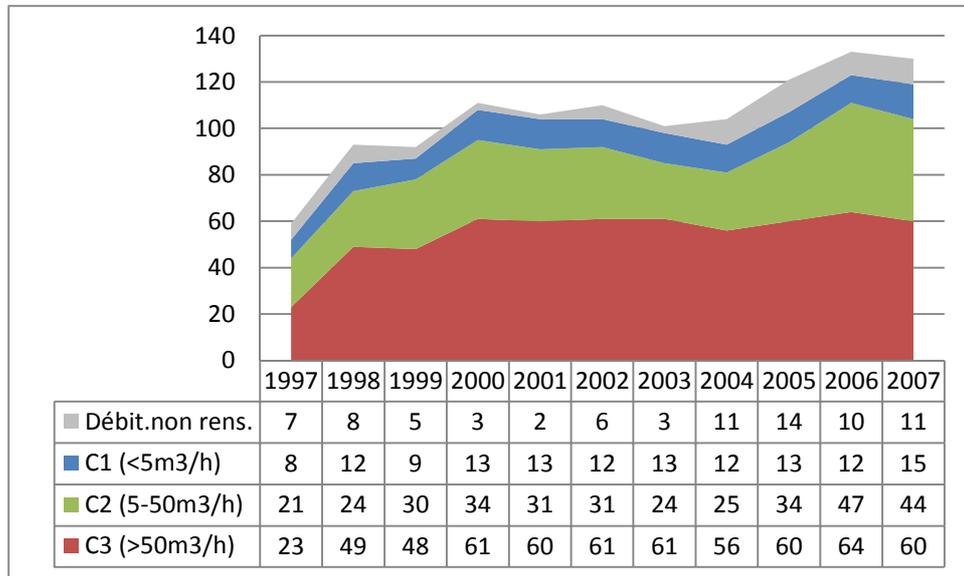


Illustration 31 : Evolution des installations « non industrielles » par catégories de débits

Débit de pompage	Nature du bâtiment	Nombre d'installations en 2007	Représentation en nombre	Représentation en volume prélevé	Puissances d'installations équivalentes (approximation)
Débit nul ou non renseigné	#	11	8%	nc	nc
Installations de moins de 5 m3/h	Habitation individuelle, mode chauffage essentiellement	15	12%	0,2 %	P < 50 kW
Installations entre 5 et 50 m3/h	Petit tertiaire, bâtiments communaux	44	34%	8,2 %	50 kW < P < 500 kW
Installations de débit supérieur à 50 m3/h	Gros tertiaire, résidentiel collectif	60	46%	91,6 %	P > 500 kW

Illustration 32 : Nature des installations recensées selon les caractéristiques de débits

Les installations sont à près de 50% de type résidentiel collectif ou gros tertiaire. Les volumes pompés, et donc vraisemblablement les puissances associées, représentent cependant selon les données AERMC plus de 90% du total. Au-delà de l'apparente augmentation du nombre d'installations de classe 3 (biais liés à l'abaissement de seuils de redevance), la classe 3 indique un développement modéré (+20% en 10 ans). Au contraire, les autres installations ont pratiquement doublé pour chacune des classes 2 et 3 (habitations individuelles et petit tertiaire).

Le dénombrement reste dans l'absolu assez faible ; il faut rester vigilant sur ce point et garder à l'esprit que le recensement en question ne concerne vraisemblablement qu'une fraction faible du volume total effectivement mis en place. On peut considérer au contraire que les tendances peuvent être plus réalistes.

• **Répartition et évolution géographique des installations**

Le graphique qui suit (Illustration 33) permet d'apprécier les évolutions différentielles entre les différents départements. Sur 10 années, le nombre d'installations a doublé. Dans le détail, chaque département a doublé, ou plus, son parc d'installations, exception faite de l'Ardèche (une seule installation) et de la Drôme (gain d'une installation).

En termes de volumes, le département du Rhône capte plus de 80% des installations recensées annuellement, et ce depuis au moins 10 ans. En pratique, ces installations sont concentrées (2007) sur le secteur Lyonnais (105 installations, dont 95 sur Lyon et Villeurbanne) et dans une bien moindre mesure sur le secteur Grenoblois (6 installations).

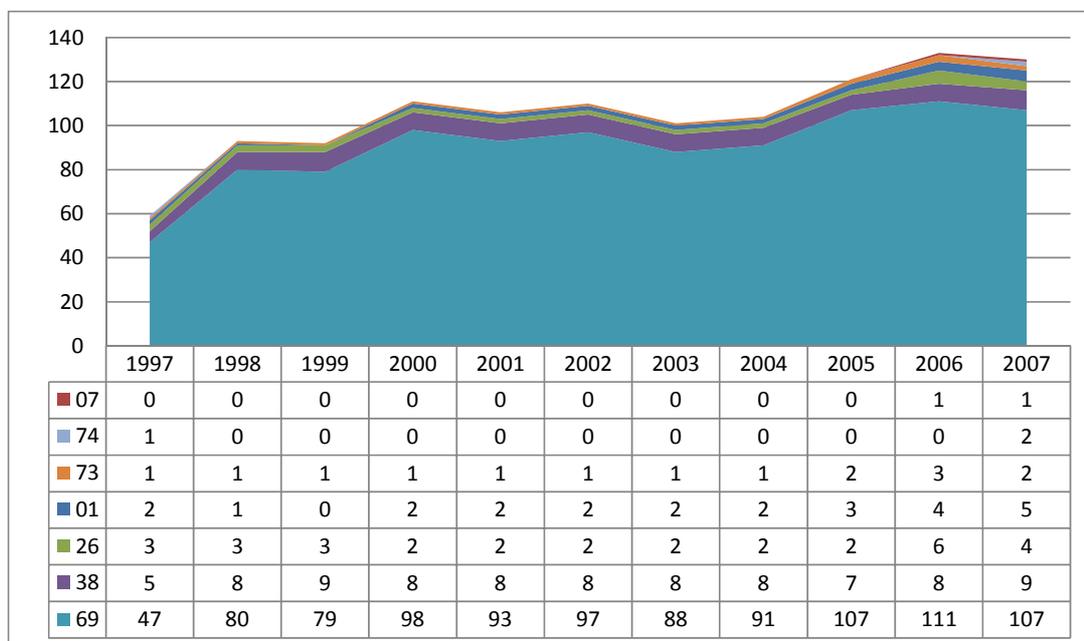
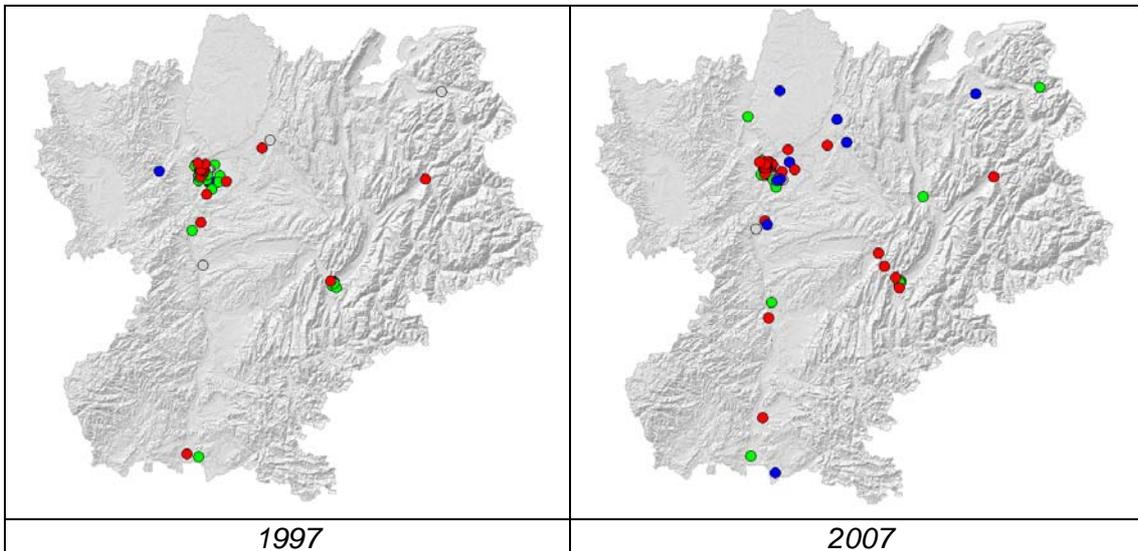


Illustration 33 : Evolution du nombre d'installations « non industrielles » par départements (selon données AERMC)

Les cartes page suivante (Illustration 34) présente la distribution géographique des installations recensées en 1997 et en 2007. On constate que les lieux de prélèvements sont historiquement concentrés sur les agglomérations Lyonnaises et Grenobloises. C'est ensuite le long du Rhône, en aval de Lyon essentiellement, et le long de l'Isère, en aval immédiat de Grenoble, que quelques développements se sont faits en 10 ans.



*Illustration 34 : Evolution 1997-2007 de la distribution des installations en Rhône Alpes (source AERMC)*

La pertinence des données reste incertaine. En effet :

- Sur le secteur Lyonnais, le dénombrement fondé sur les données de redevance représente 43 % des installations dénombrées dans la base de données du SAGE de l'Est Lyonnais (cf. paragraphe 0 suivant – périmètre Est Lyonnais, considérant les installations de tout type dans la base Agence) ;
- Egalement, sur le secteur Grenoblois, une étude SOGREAH réalisée pour la VILLE DE GRENOBLE [29] indique (données 2008) la présence de 23 doublets pour la climatisation et 24 ouvrages pour le refroidissement industriel. Le dénombrement fondé sur les données de redevance représente donc 26 % des installations dénombrées hors industrie, ou, 30 % en incluant les données « industrie » (14 installations dans la base AERMC au regard des 47 de l'étude Sogreah).

Sur la base des deux études du Conseil Général du Rhône et de la Ville de Grenoble, on peut donc estimer que les données de redevance de l'Agence de l'eau ne représentent que 25 à 45 % du nombre approximatif d'installations avec PAC sur aquifère. Il est par contre vraisemblable que la part des installations non recensées concerne essentiellement les installations de petite et moyenne puissance.

## 2.2.4. Etat des lieux sur le secteur Lyonnais (données SAGE Est Lyonnais)

### a) Origine des données

Dans le cadre du SAGE de l'Est Lyonnais, une base de données de l'ensemble des prélèvements en eaux souterraines (avec restitution ou non dans le milieu de prélèvement) a été constituée au terme d'un inventaire croisant différentes sources de données. Le territoire dépasse le seul périmètre du SAGE et comprend les secteurs de Lyon et du sud de Lyon.

Les données, propriétés du Conseil Général du Rhône, ont été traitées dans le cadre de l'étude sur le potentiel géothermique<sup>22</sup>.

### b) Description des données

Les données mises à disposition concernent l'inventaire mis à jour en 2008. On dénombre 1194 points de prélèvements recensés. Les données sont qualifiées au regard de 74 champs d'usage, parmi lesquels on retiendra le chauffage, la climatisation, les PAC, et le refroidissement. La répartition des ouvrages dans différentes classes (modifiées par le BRGM) est la suivante (Illustration 35) – hormis 285 ouvrages (24 %) dont l'usage n'est pas spécifié.

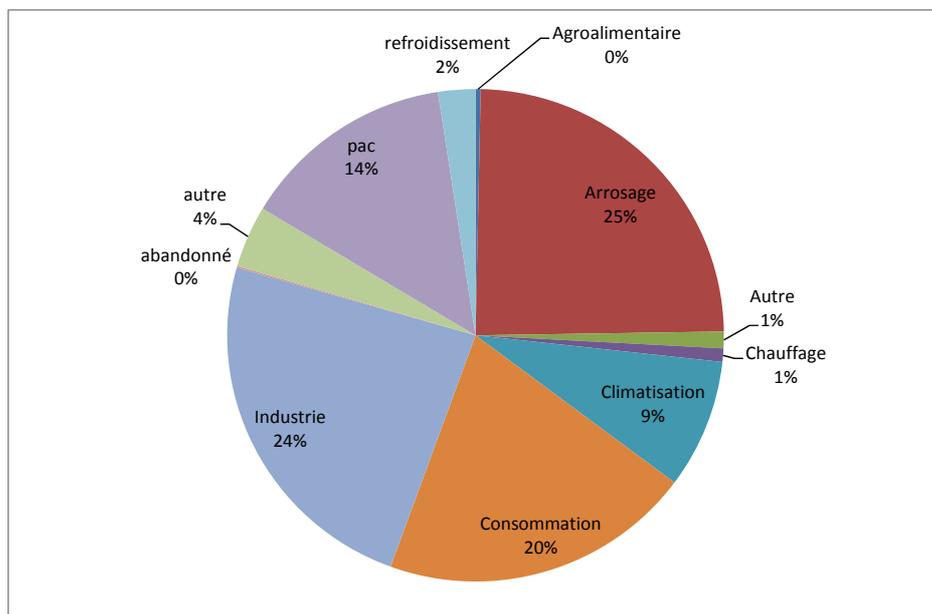


Illustration 35 : Nature des ouvrages recensés dans la base du CG69

<sup>22</sup> Une convention d'utilisation des données dans le cadre de cette étude a été établie entre le CG6 et le BRGM

La base ne permet d'exploiter l'évolution des ouvrages dans le temps. En effet, le champ correspondant n'est renseigné que pour une 60<sup>aine</sup> d'enregistrements.

Les catégories suivantes « PAC, Climatisation et Chauffage » concernent 234 ouvrages (année 2008). La carte de localisation de ces derniers est présentée par la suite (Illustration 36).

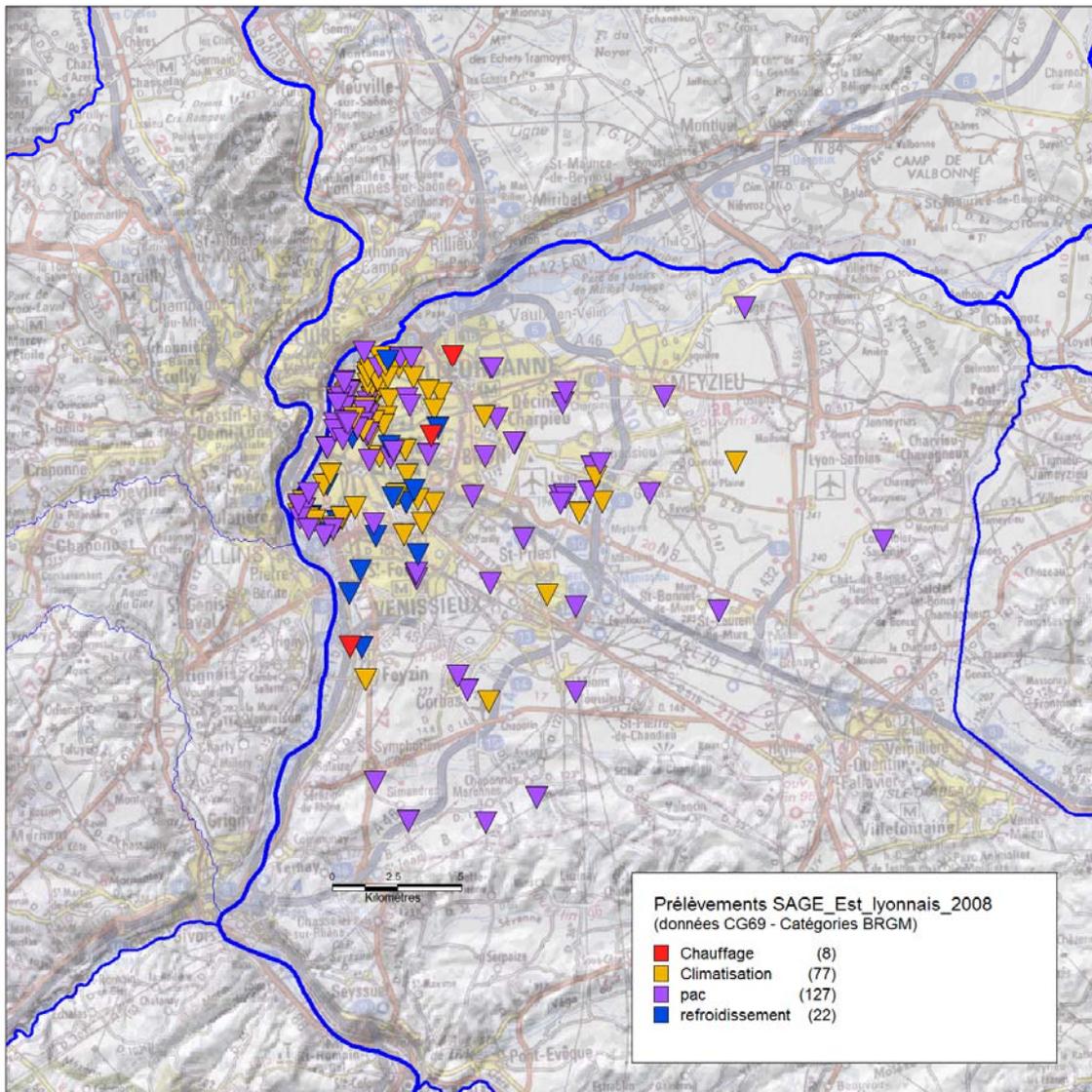


Illustration 36 : Ouvrages relevant de la géothermie recensés par le CG69 – Données SAGE Est Lyonnais 2008

On remarquera que ce recensement ne prend pas en compte la presqu'île de Lyon, laquelle est marquée par une forte concentration d'installations.

Par comparaison :

- le dénombrement sur le même périmètre des données 2007 de l'Agence de l'Eau indique 66 ouvrages (prélèvements eaux souterraines pouvant relever de la catégorie « géothermie », ouvrages de type « industriel » non pris en compte) ou 102 ouvrages (tous ouvrages pouvant relever de la catégorie « géothermie ») ;
- le recensement du BRGM (BSS) indique 191 ouvrages relevant de la géothermie, dont 177 de géothermie sur aquifères et 14 installations de type PAC non spécifié (attention : il s'agit du recensement global, l'ouvrage le plus ancien datant de 1978).

Les différences entre ces différents dénombrements soulignent la difficulté actuelle à établir un bilan chiffré fiable du nombre d'installations de type géothermie sur le secteur considéré.

### **2.2.5. Perspectives de développement**

La situation Rhône Alpine apparaît, au regard des données géothermiques issues de la banque du sous-sol du BRGM, des données de redevance de l'Agence de l'Eau et de la base du Conseil Général du Rhône fortement contrastée en fonction des secteurs et départements. En dépit de la difficulté à établir un recensement précis, on peut orienter les perspectives de développement de la façon suivante :

- Départements de l'Ain, de la Drôme et de l'Ardèche : si ces départements représentent 30% des installations géothermiques faible importance (AFPG), en revanche, le développement de la géothermie des gammes tertiaire et collectif est à engager, le potentiel étant *a priori* important au regard du peu d'installations présentes (BSS et AERMC). Pour le département de la Drôme, ceci concerne à la fois la géothermie sur aquifère, mais également la géothermie par sonde verticale, même si les contextes géologiques de la partie orientale du département ne sont pas tous favorables. Pour le département de l'Ardèche, ce sont des installations de type sonde verticale qu'il convient de promouvoir, seuls quelques secteurs limités, dans le bassin d'Aubenas, pouvant être concernés par la géothermie sur aquifère. Concernant l'Ain, ce sont surtout les installations sur aquifère, dans l'Ouest du département qui représentent une voie de développement. L'Est pour sa part est caractérisé par un contexte géographique et géologique plus défavorable, tant pour les installations sur aquifère que les sondes verticales (systèmes carbonatés localement karstiques) ;
- Les départements de Savoie, Haute-Savoie et Isère disposent d'un potentiel pour des installations de type « sondes verticales », mais les contextes géologiques doivent être regardés avec attention du fait des enjeux environnementaux (systèmes carbonatés localement karstiques). Il existe également un potentiel en géothermie sur aquifère dans les vallées alpines lesquelles sont particulièrement intéressantes au plan hydrodynamique (hors agglomération grenobloise qui pourrait rapidement saturer sur ce dernier point) ;

- Le département de la Loire dispose d'un potentiel en sonde verticale, mais également d'un potentiel important sur aquifère, lequel semble très peu exploité à ce jour, tout du moins sur les gammes de bâtiments tertiaire ou collectifs (20% des installations rhônalpines de faible importance mises en place depuis ces 5 dernières années y sont concentrées) ;
- Concernant le département du Rhône, il faut distinguer le secteur Lyonnais et le reste du département. L'agglomération Lyonnaise est à l'évidence saturée en exploitations géothermiques sur aquifère, sauf à reconsidérer la façon d'exploiter les PAC sur aquifère dans ce secteur (et développer les thermofrigopompes pour de la climatisation et du chauffage en alternance). Il y a par contre, sur une partie du secteur Lyonnais, comme sur le reste du département, un potentiel vraisemblable en sondes verticales.

Dans l'ensemble, au regard des données AFPG, ce sont plus de 2500 installations destinées à l'habitat individuel qui ont été mises en place annuellement ces 5 dernières années, et de façon assez homogène sur la région. Au regard des données de la BSS, lesquelles concernent les installations destinées à l'habitat collectif et au tertiaire principalement, le nombre annuel de nouvelles installations a été en moyenne de 47 (période de 10 années).

Ainsi, la situation est la suivante :

- Installations *a priori* destinées à l'habitat individuel (données AFPG sur les cinq dernières années):
  - nombre moyen annuel de nouvelles installations : 2500,
  - puissance moyenne installée annuellement : 20 MW,
  - type d'installations : non connu avec précision,
  - répartition géographique : mal connue (assez uniforme selon 1 fabricant),
- installations destinées *a priori* à l'habitat collectif et au tertiaire (données BSS sur les 10 dernières années) :
  - nombre moyen annuel de nouvelles installations : 79, dont
  - dont 12 de type Champ de sondes,
  - dont 37 de type Sonde : 37,
  - dont 17 de type installation géothermique sur aquifère,
  - dont 13 de type non déterminé.

## 3. Atlas des potentialités géothermiques

### 3.1. PRINCIPES ET ORIENTATIONS RETENUES

#### 3.1.1. Principes

L'atlas des potentialités géothermique est un outil d'aide à la décision pour l'installation de pompe à chaleur soit sur aquifère superficiel, soit avec des sondes géothermiques verticales, soit pour d'autres formes de géothermie relevant de la géothermie dite de « très basse énergie » (définie par l'exploitation d'une ressource présentant une température inférieure à 30°C, qui ne permet pas, dans la plupart des cas, une utilisation directe de la chaleur par simple échange ; elle nécessite donc la mise en œuvre de pompes à chaleur qui prélèvent cette énergie à basse température pour l'augmenter à une température suffisante pour le chauffage d'habitations par exemple).

Cet outil d'aide à la décision est destiné à tout porteur de projet, maître d'ouvrage potentiel s'interrogeant sur un choix énergétique : particuliers, bureaux d'études, collectivités territoriales, entreprises.

L'outil est basé sur un Système d'Informations Géographiques (SIG). En fonction de chaque situation géographique, via un site internet dédié, l'utilisateur peut donc évaluer l'intérêt de vous lancer dans un projet de production de chaleur par géothermie.

**Attention : l'Atlas des potentialités géothermiques demeure un outil à caractère indicatif. Il oriente votre choix mais il ne peut ni ne doit en aucun cas remplacer une étude de faisabilité réalisée par un bureau d'études compétent. En effet c'est une étude spécifique (étude de faisabilité sous-sol) qui détermine exactement les caractéristiques de la ressource et le potentiel du projet.**

#### 3.1.2. Orientations retenues

Les orientations retenues ont été décidées en Comité de Pilotage au cours de l'année 2011. Sous l'égide de la DREAL, de la Région Rhône Alpes, de l'Ademe et du BRGM, les membres de comité de pilotage ont orienté les études pour permettre la mise à disposition de l'Atlas dont les différents volets sont rappelés ci-dessous et détaillés par la suite.

Les résultats de cette étude et notamment l'Atlas sont mis à disposition du public sur l'« espace régional » du site internet ADEME-BRGM dédié à la géothermie ([www.geothermie-perspectives.fr/](http://www.geothermie-perspectives.fr/)). Il permet de renseigner différents aspects relatifs à la géothermie en région Rhône Alpes :

- l'Atlas comporte un outil permettant l'identification et la connaissance préliminaire des entités hydrogéologiques exploitables au plan géothermique. Dès lors que plusieurs aquifères superposés existent, l'outil permet de préciser la ressource en eau souterraine *a priori* la plus intéressante. Cet outil cartographique en ligne permet ainsi d'apprécier en première approche l'intérêt de la mise en place un projet de géothermie

très basse énergie sur nappe, sans pour autant avoir vocation à se substituer aux études de faisabilité à réaliser à la parcelle, préalablement requises pour tout projet ;

- l'Atlas mis en ligne traite en outre du potentiel géothermique par sondes géothermiques verticales. Pour cela, et sans aller jusqu'à l'évaluation des puissances possibles, l'étude permet un zonage des zones favorables ou non à l'implantation de SGV pour toute la région ;
- l'Atlas renseigne aussi sur les secteurs caractérisés par un potentiel sur d'autres types de géothermie (forages profonds, établissements thermaux, eaux lacustres, eaux de tunnels routiers et ferroviaires) ; ces aspects sont traités dans le chapitre 4 suivant ;
- enfin, à la demande des membres du comité de pilotage de l'étude, l'Atlas intègre différentes zones réglementaires afin d'avertir l'utilisateur sur les précautions éventuelles et obligations administratives. Dans le détail, cela concerne :
  - Les zones de répartition des eaux (données DREAL<sup>23</sup>),
  - Les zonages des Schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE<sup>24</sup>),
  - Les zones pour lesquels des titres miniers actuels ou anciens existent, et pour lesquelles des travaux miniers souterrains peuvent exister (données fournies par GEODERIS<sup>25</sup>),
  - Le secteur spécifique des installations de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN<sup>26</sup>) pour lequel les forages de plus de 10 m de profondeurs sont soit interdits, soit autorisés après accord explicite et écrit du CERN ;

En pratique, via l'Atlas en ligne, les données sont restituées à une échelle de mailles de 500 mètres de côté. Les modalités d'acquisition et de traitement des données par mailles pour le potentiel géothermique sur aquifère sont détaillées dans le rapport « Atlas du potentiel géothermique très basse énergie sur aquifères pour la région Rhône-Alpes », rapport final BRGM RP-60856-FR (2012) [42].

## 3.2. GEOTHERMIE SUR AQUIFERES

### 3.2.1. Principes

La partie de l'étude relative à la géothermie sur aquifères est traitée de façon spécifique dans un rapport distinct mentionné précédemment [42]. Ce rapport décrit la méthodologie mise en œuvre pour la réalisation des cartes de potentiel de géothermie très basse énergie. Les paramètres pris en compte pour l'analyse multicritères sur les aquifères superficiels concernent :

---

<sup>23</sup> [www.rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/](http://www.rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/)

<sup>24</sup> <http://gesteau.eaufrance.fr/>

<sup>25</sup> [www.geoderis.fr](http://www.geoderis.fr)

<sup>26</sup> [www.cern.ch](http://www.cern.ch)

- la **profondeur d'accès à la ressource**,
- la **productivité** hydraulique (débit exploitable),
- et la **température** de l'aquifère.

### 3.2.2. Résultats

#### a) Potentiel géothermique

L'atlas étant constitué de différentes cartes, une attention particulière a été apportée lors de la réalisation de celles-ci, en veillant à suivre une démarche cohérente, adaptée à la disponibilité et la distribution des données, et conforme aux orientations nationales en matière d'atlas des potentialités géothermiques appliquées à toutes les régions.

Les limites d'utilisation des résultats présentés sont indiquées. Ainsi, les résultats obtenus sont indicatifs, en raison de disponibilité variable des données de base et de la perte de précision liée à la spatialisation et aux traitements de ces données.

Pour rappel, et pour la région Rhône Alpes, les résultats obtenus pour le potentiel géothermique du meilleur aquifère sont présentés à la figure suivante (Illustration 37).

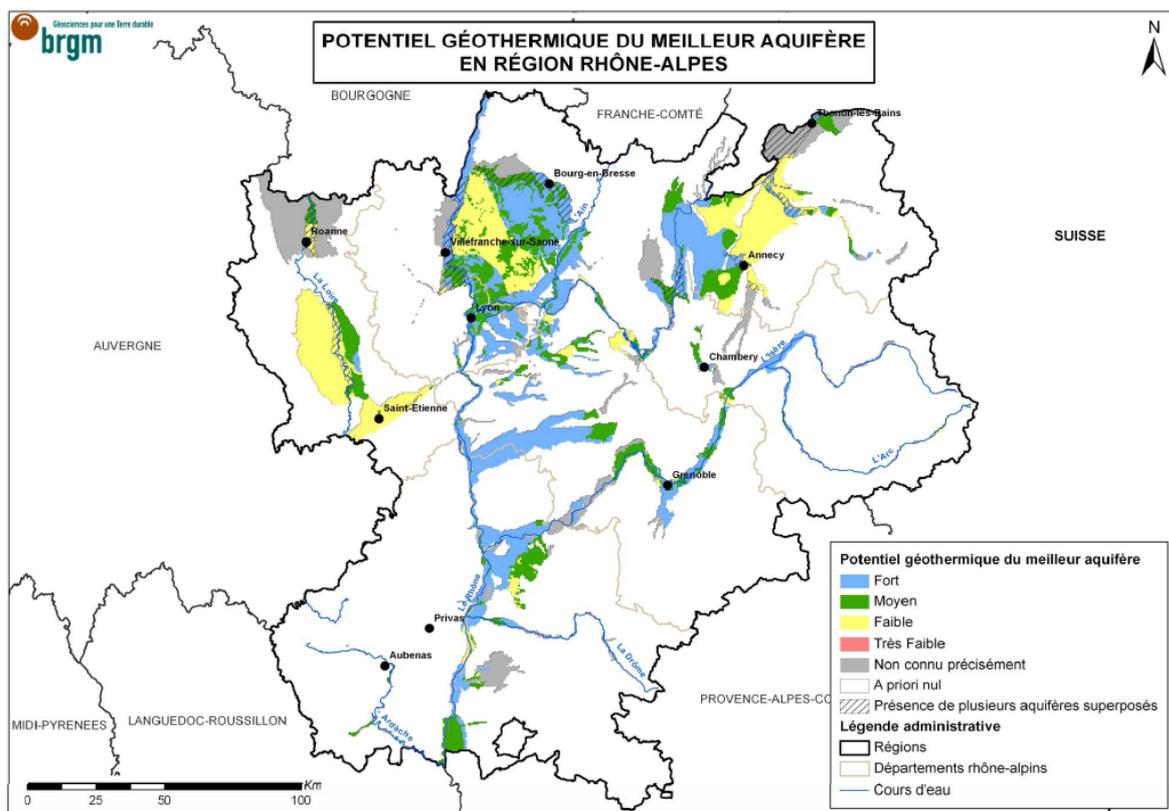


Illustration 37 : Carte du potentiel géothermique du meilleur aquifère

De façon synthétique, les résultats suivants présentent, en pourcentage de couverture des zones traitées, la distribution des différentes catégories de potentiel géothermique (Illustration 38).

Potentiel géothermique	Surface (km²)	% du total général
<b>Fort</b>	3098,3	34,4%
<b>Moyen</b>	1909,3	21,2%
<b>Faible</b>	2270,5	25,2%
<b>Très Faible</b>	0,7	0,01%
<b>Non connu précisément</b>	1732,5	19,2%
<b>Total général</b>	<b>9011,3</b>	<b>100,0%</b>

*Illustration 38 : Répartition des territoires étudiés en fonction du potentiel géothermique attribué*

Si le taux de couverture de la région en termes superficie peut sembler faible, en revanche, l'ensemble des secteurs les plus densément peuplés et de concentration des activités économiques sont couverts.

#### **b) Potentialités géothermales pour un forage, exprimées en kW thermique**

Le potentiel géothermique de la ressource souterraine est une grandeur qui peut être exprimés en puissance thermique - exprimée en kW - prélevable sur la ressource souterraine par une pompe à chaleur, pour un forage de production, avec certaines hypothèses de fonctionnement. La puissance thermique prélevée sur la ressource souterraine correspond en effet à la puissance de l'évaporateur de la pompe à chaleur. La puissance thermique disponible au condenseur de la pompe à chaleur pour le chauffage correspond à la puissance de l'évaporateur à laquelle il faut rajouter la puissance électrique du compresseur.

Sur la base des résultats obtenus, on a calculé le potentiel géothermique, exprimé en KW thermique, pour un forage de production, avec les hypothèses suivantes :

- débit du forage de production : gammes de débits habituellement utilisées pour les différents types d'usage en fonction des débits exploitables déterminées dans l'étude du potentiel,
- écart de température pris sur la ressource géothermale : 6 °C ;
- puissance thermique disponible en KW thermique = 1,16 x débit (m3/h) x 6 (°C).

Les résultats sont indiqués sur la carte suivante (Illustration 39). Ils correspondent en tout point à la puissance extractible avec un forage de production.

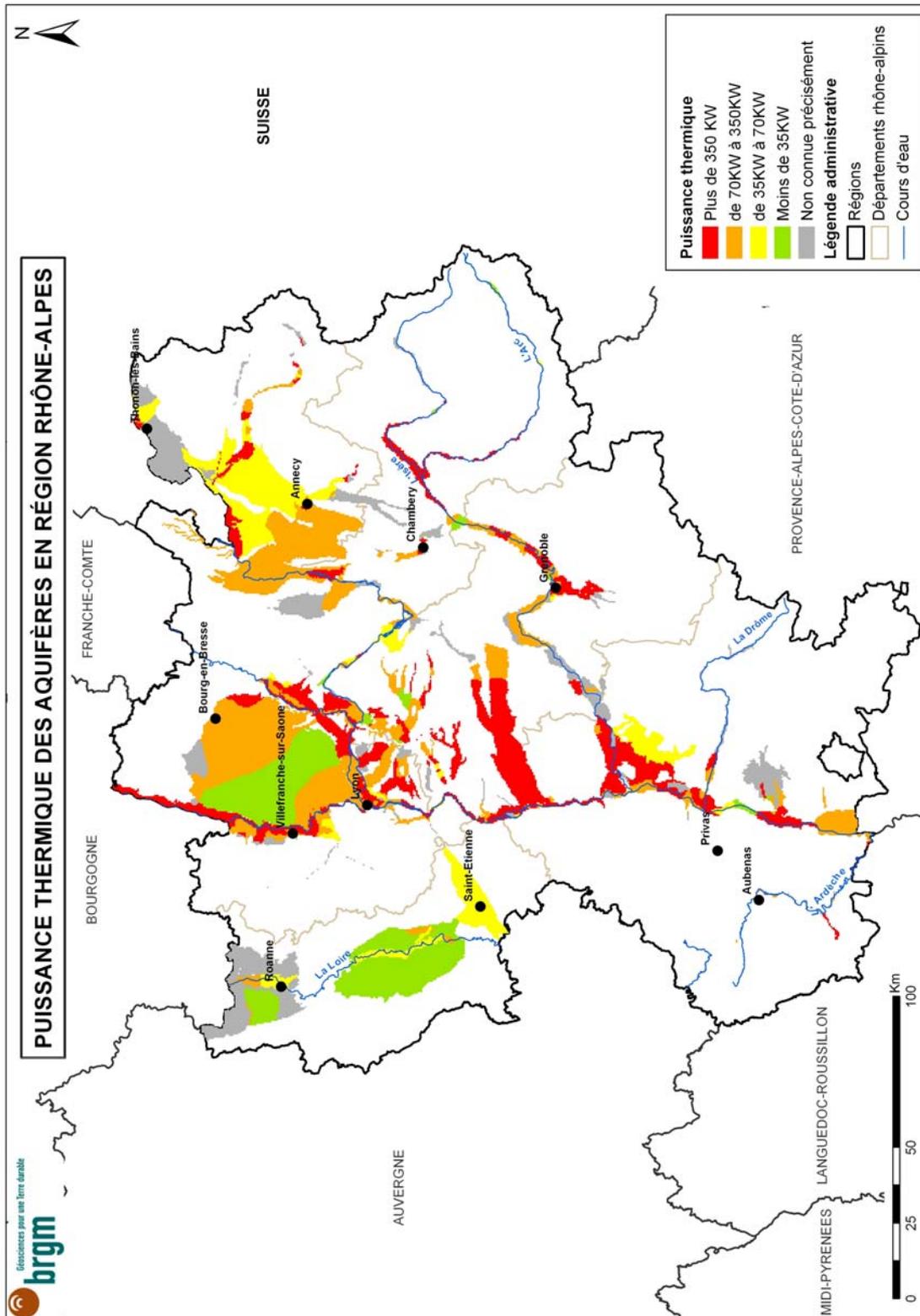


Illustration 39 : Puissance thermique prélevable sur les aquifères étudiés (kW)

### 3.3. SONDES ET CHAMPS DE SONDE

#### 3.3.1. Principes

##### a) *Sondes Géothermiques Verticales*

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, de récupérer la chaleur emmagasinée dans le sous-sol par le biais de sondes géothermiques.

Les sondes géothermiques verticales relèvent de la géothermie très basse énergie. La chaleur prélevée provient du sol et du sous-sol par le biais de capteurs verticaux. Une sonde géothermique est constituée par un forage équipé pour fonctionner comme un échangeur de chaleur. En surface, la sonde est reliée à une pompe à chaleur permettant ainsi de relever le niveau de température de la chaleur captée.

Les pompes à chaleur ayant un rendement optimal avec des émetteurs de chaleur basse température (de type "planchers chauffants"), le marché principal est celui du neuf. Dans 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), la géothermie peut également être mise en œuvre.

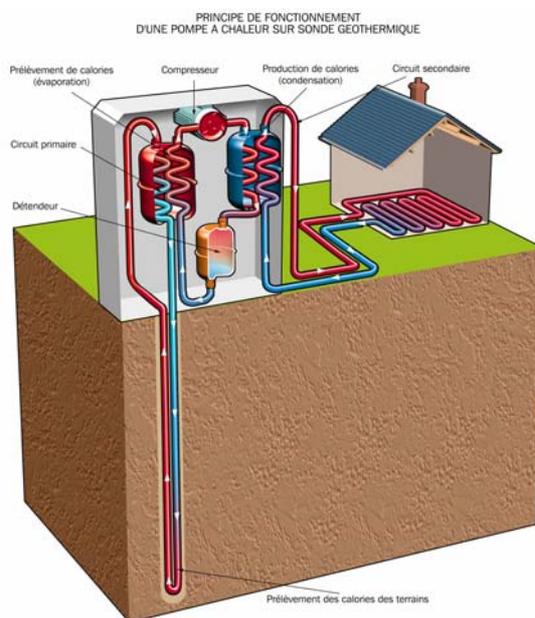


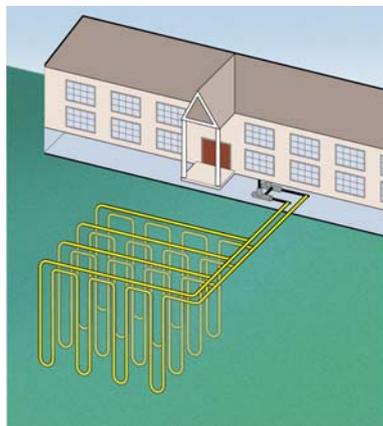
Illustration 40 : Solution capteur vertical (sonde géothermique)

### ***b) Les champs de sondes géothermiques***

En fonction de l'importance des besoins thermiques à couvrir il est possible d'installer plusieurs sondes (et donc forages) sur le même site ; on parle alors de champs de sondes géothermiques. Les opérations avec champs de sondes géothermiques se multiplient à l'étranger depuis plusieurs années.

En France, le développement est plus récent – on peut estimer à une cinquantaine le nombre d'opérations existantes sur le territoire national–.

Ces opérations sont constituées en moyenne de 10 à 50 sondes. Les cibles concernées sont celles du résidentiel collectif et du petit et moyen tertiaires (maisons de retraite, bâtiments communaux, bâtiments industriels, immeubles de bureaux).



*Illustration 41 : Schéma d'un champ de sondes géothermiques verticales*

### **3.3.2. Applicabilité en région Rhône Alpes**

#### ***a) Objectifs***

Pour appréhender le potentiel géothermique par sondes géothermiques verticales (SGV) de la région Rhône-Alpes, les cartes géologiques ne suffisent pas car elles sont une représentation des couches géologiques suivant l'âge de formation ou de dépôt de celles-ci.

La possibilité de mise en place de SGV est en effet étroitement liée à la nature lithologique des terrains géologiques. Certaines formations géologiques peuvent présenter des particularités qui vont nuire à la bonne performance des coefficients thermiques, c'est le cas des calcaires karstiques par exemple qui du fait de la présence de vide pénalise le coefficient de performance des sondes. De plus la foration de ces formations exige des précautions techniques particulières afin de ne pas mettre en contact différentes nappes hydrogéologiques superposées. D'autres formations de par leur composition peuvent montrer des sensibilités importantes à l'eau (cas des gypses par exemple). Si le forage est mal réalisé techniquement, des circulations d'eau peuvent

provoquer des dissolutions en profondeur entraînant parfois des désordres jusqu'en surface.

Par ailleurs, il a été considéré que l'existence de travaux miniers souterrains, parfois difficilement voire non identifiables en surface, constituait un facteur de risque pour les sondes géothermiques verticales. Ainsi, les données relatives aux titres miniers mises à disposition par GEODERIS<sup>27</sup> sont également prises en compte.

Le principe est donc, à partir données géologiques, d'établir une carte lithologique de ces formations. Connaissant ensuite la nature des formations et l'intérêt ou non de celle-ci à être le siège d'implantation de SGV, des cartes peuvent être élaborées afin de repérer les secteurs favorables ou non aux SGV.

Dans ce domaine, on pourra consulter le document suivant : Outil de décision et de quantification du potentiel géothermique pour l'implantation de sondes géothermiques verticales (Bastien Colliard, Centre d'hydrogéologie, Université de Neuchâtel 2004 [31]).

### ***b) Méthode***

L'objet est à terme de pouvoir indiquer sur carte, et par extension sur SIG, les zones « *a priori* favorables » à l'implantation de Sondes Géothermiques Verticales sur la base de la géologie à l'affleurement, voire de fournir les conductivités thermiques indicatives associées à la géologie de surface.

Ce travail a nécessité :

- l'établissement à l'échelle de la région d'une carte lithologique,
- l'examen du caractère favorable ou non de la géothermie par SGV en lien avec la lithologie,
- la recherche et le positionnement de tous les secteurs comportant des cavités karstiques ou de dissolution ou sujets aux mouvements de terrain,
- la cartographie indicative des conductivités thermiques (selon la lithologie des formations cartographiées sur la carte géologique) ;
- le positionnement des domaines avec titres miniers collectées auprès de GEODERIS.

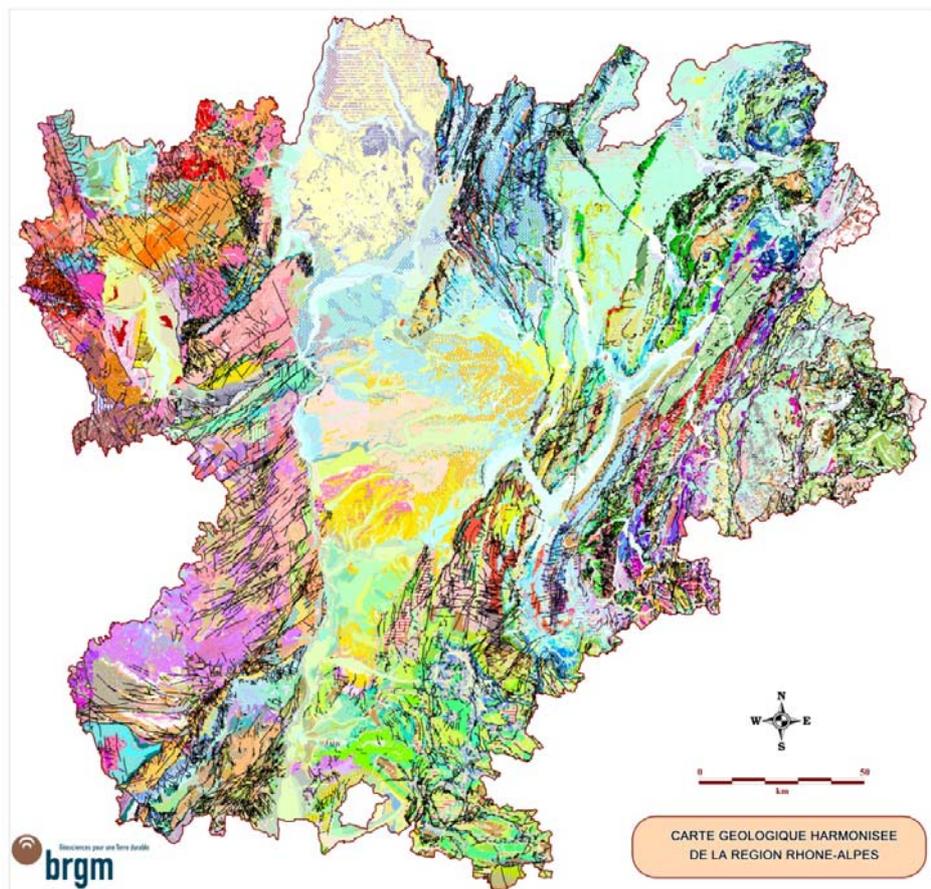
---

<sup>27</sup> Geoderis : Groupement d'Intérêt Public (GIP) constitué entre le BRGM et l'INERIS. Il apporte à l'Etat (administrations centrales et services déconcentrés, en particulier les DREAL) une assistance et expertise en matière d'après-mine) <http://www.geoderis.fr/>

### 3.3.3. Résultats

#### *a) Etablissement de la carte lithologique*

A partir des cartes géologiques harmonisées des 8 départements de Rhône-Alpes (Illustration 42), une carte lithologique de ces formations a été élaborée. Cette carte reflète donc la nature des dépôts et non leur âge. En aucun cas cette carte ne permettra de connaître les empilements géologiques et leur épaisseur au droit d'un futur projet géothermique par sonde, mais son objectif est d'alerter l'utilisateur sur la présence ou non de formations pouvant influencer le projet.



*Illustration 42 : Assemblage des différentes cartes géologiques harmonisées de la région Rhône-Alpes*

Les formations présentant des contraintes pour l'implantation de sondes sont les formations calcaires karstiques et les formations salifères et de gypse pour les raisons évoquées ci-dessus. Pour toutes les autres formations des coefficients thermiques peuvent être trouvés dans la littérature et seul la présence d'eau dans des formations très perméables (sables, alluvions...) peuvent entraîner des modifications dans les performances énergétiques.

Les différentes formations géologiques ont ainsi été regroupées en 17 types de formations lithologiques. Sont considérées comme défavorables, au plan lithologique, toutes les formations dans lesquelles peuvent se mettre en place des cavités karstiques ou de dissolution tel qu'indiqué dans le tableau suivant (Illustration 43). Le résultat des formations géologiques regroupées par lithologie est présenté carte suivante (Illustration 44).

Lithologies	Conditions SGV	Codage SIG	
		Code_Favorabil	Code_LithoGTH
Roches filoniennes	Zone a priori favorable	2	2
Roches métamorphiques	Zone a priori favorable	2	3
Roches plutoniques et arènes granitiques	Zone a priori favorable	2	4
Roches détritiques (conglomérats, grès, silts, grauwackes, diatomites)	Zone a priori favorable	2	5
Roches volcaniques	Zone a priori favorable	2	6
Roches volcano-sédimentaires	Zone a priori favorable	2	7
Dolomies (dolomies, cargneules associées aux dolomies, calcaires dolomitiques, encroutements dolomitiques)	Zone a priori favorable	2	9
Ophiolites et complexes ophiolitiques associés	Zone a priori favorable	2	11
Argiles (argiles dominantes, formations argilo-carbonatées, argiles sableuses, argilites)	Zone a priori favorable	2	14
Roches détritico-carbonatées (Calcaire gréseux, calcaire argileux)	Zone a priori favorable	2	15
Alluvions et colluvions (anciennes et récentes, Fluvio-glaciaire)	Zone a priori favorable	2	16
Autres formations (lœss, limons, éboulis, moraines, formations superficielles indéterminées, tourbes, dépôts anthropiques, paléosols ferrugineux, silicifications massives, altérites, cargneules, neiges et glaces, névés, cônes de déjection, dunes)	Zone a priori favorable	2	17
Roches broyées (cataclasites, mylonites) (*)	Zone incertaine	3	1
Alternances marnes et calcaires	Zone incertaine	3	12
Marnes	Zone incertaine	3	13
Calcaires (Calcaire, calcaire marneux, travertins)	Zone a priori défavorable	1	8
Gypse	Zone a priori défavorable	1	10
Zones sujettes à mouvements de terrains (lithologies variables)	Zone a priori défavorable	1	18
Eaux surfaciques, glaciers et névés	Non concernée	4	999

(\*) : Conditions soit défavorables (circulations importantes d'eau "froide"/ perte de performances), soit favorable (eaux de T° plus élevées, thermales), soit neutre (zones broyées recristallisées)

Illustration 43 : Lithologies prises en compte et conditions pour des SGV – Données SIG

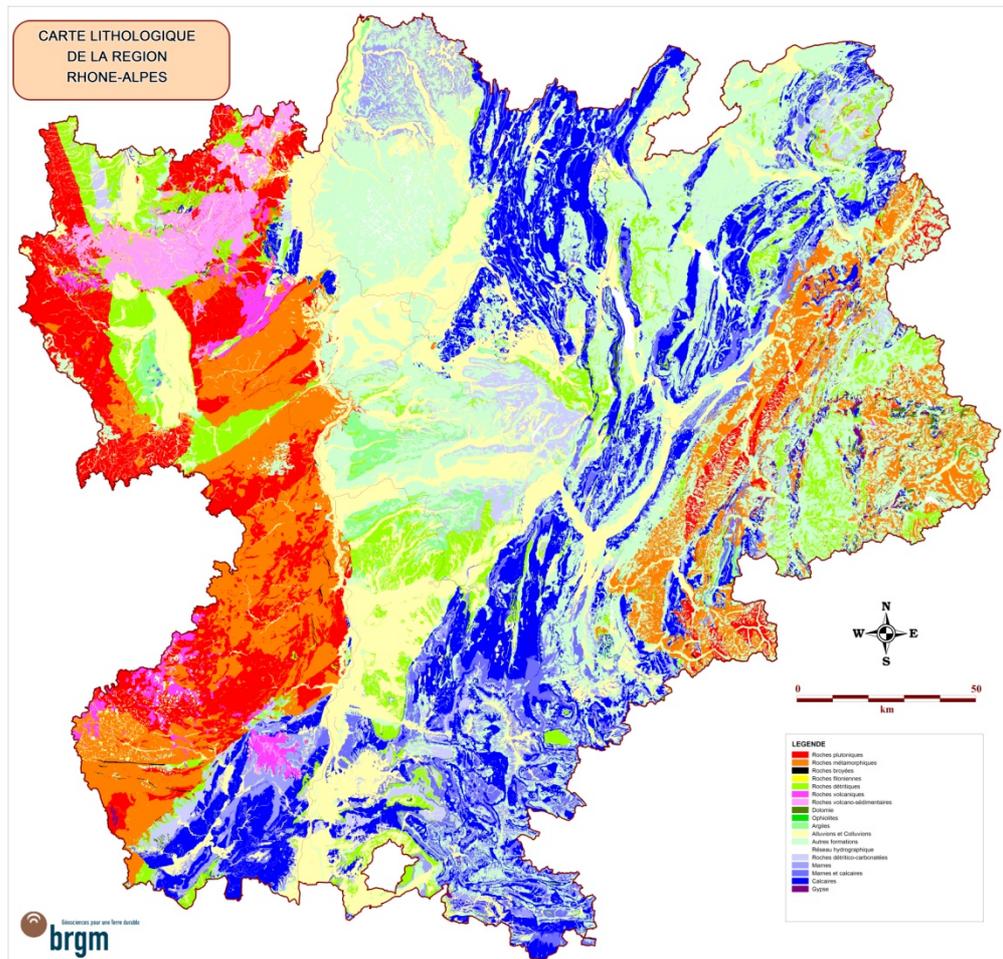


Illustration 44 : Carte lithologique de la région Rhône-Alpes

### b) Cavités souterraines et mouvements de terrains

Les formations karstiques sont par endroit recouvertes par des formations non susceptibles à la karstification (marnes par exemple). Quand l'épaisseur est importante, aucun indice de déformation en surface ne laisse supposer la présence de formations karstiques en profondeur. Par contre la présence d'effondrements dans des formations qui ne sont pas susceptibles à la karstification signifie que le recouvrement, avant de rencontrer des terrains karstiques, est inférieur à 50 m. Grace aux données des bases cavités souterraines ([www.bdcavite.net/](http://www.bdcavite.net/)) et mouvement de terrain ([www.bdmvt.net/](http://www.bdmvt.net/)) (Illustration 45), ces secteurs ont été identifiés (Illustration 46).

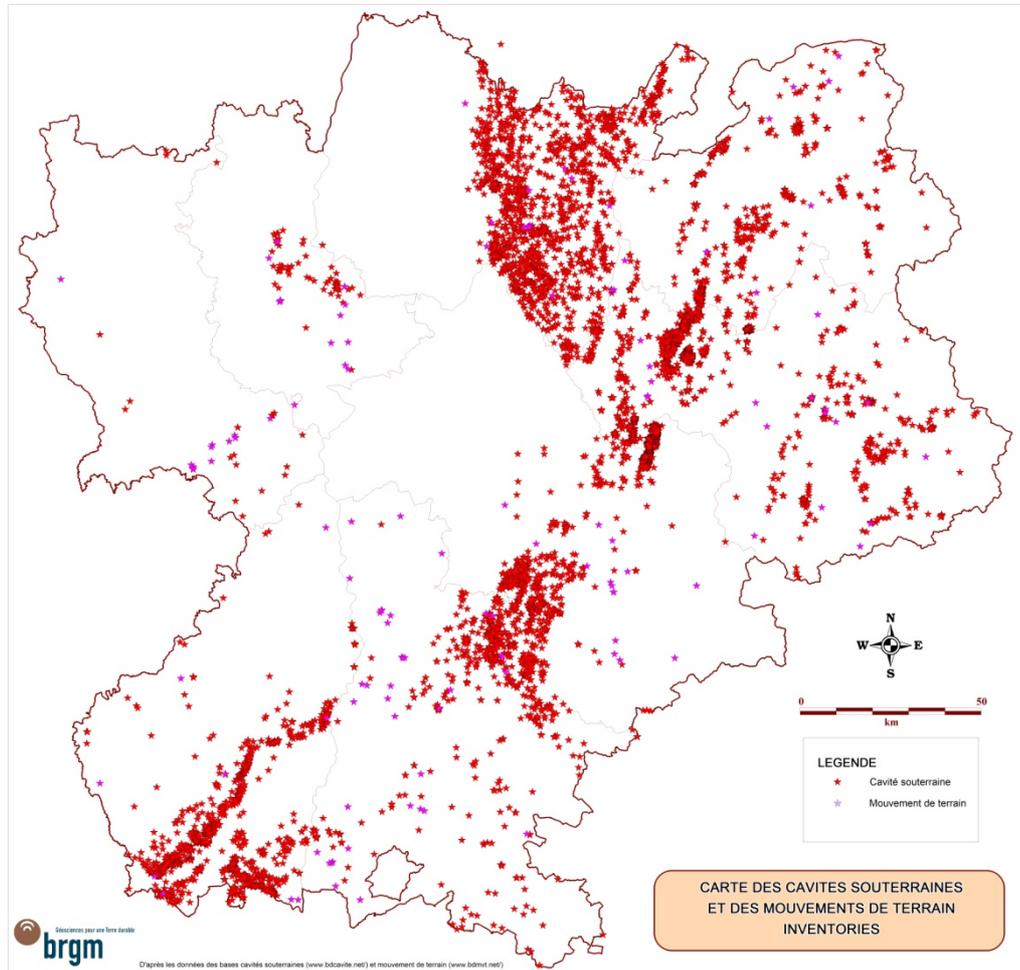


Illustration 45 : Carte des cavités souterraines et des mouvements de terrain inventoriés (d'après les données de [www.bdcavite.net/](http://www.bdcavite.net/) et [www.bdmvt.net/](http://www.bdmvt.net/))

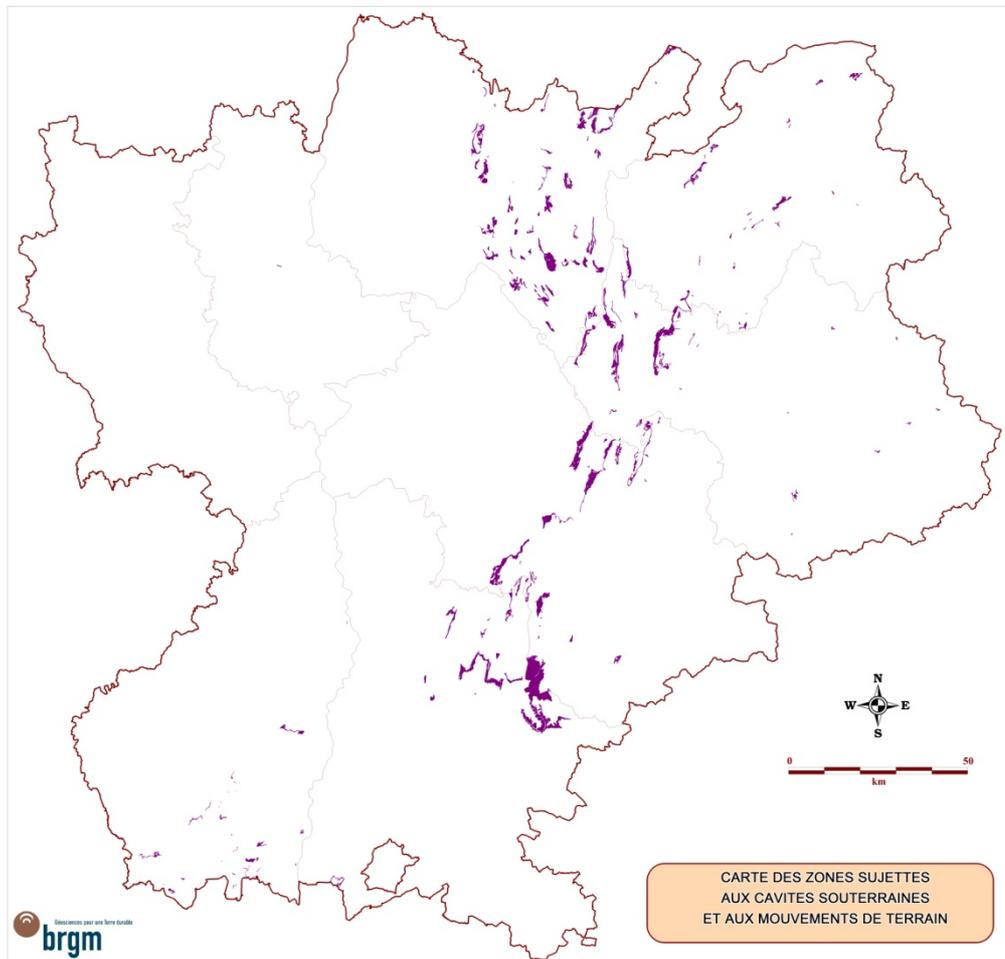


Illustration 46 : Carte des secteurs susceptibles de cacher des zones karstiques

### ***c) Carte lithologique et des zones potentiellement karstiques***

La superposition des figures précédentes (Illustration 44, Illustration 45, Illustration 46) permet d'établir la figure suivante (Illustration 47).

Pour plus de lisibilité, l'illustration 48 montre une représentation régionale des zones géologiquement et lithologiquement favorables à la géothermie avec :

- En rouge, les zones a priori défavorables (Gypse, Calcaire, zones présentant des risques cavités ou mouvement de terrain) ;
- En jaune les zones nécessitant des investigations complémentaires (Marnes, alternances marno-calcaires, roches détritico-carbonatées) ;
- En vert, les zones a priori favorables (les autres formations).

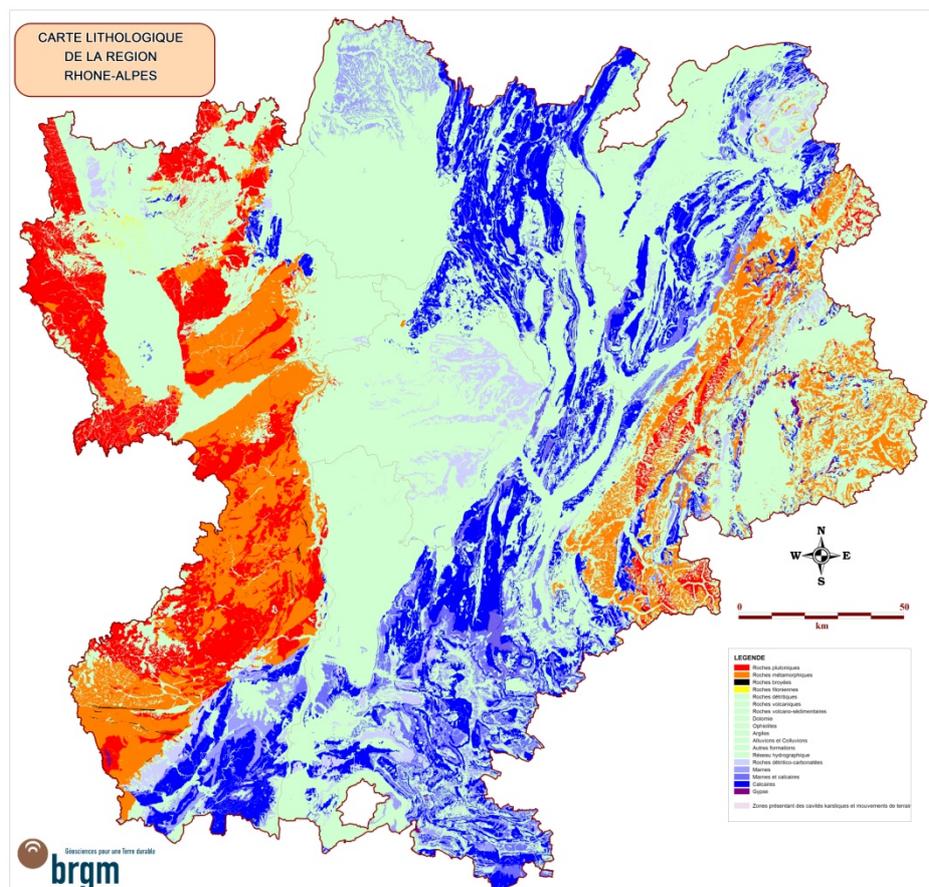


Illustration 47 : Carte lithologique et zones susceptibles de cacher des zones karstiques (en bleu sur la carte)

Les résultats de cette étude multicritère est intéressante à divers points de vue.

- Elle peut servir d'orientation préliminaire pour les acteurs, bureaux d'étude et maître d'ouvrage, dans les orientations sur le type de géothermie à envisager. Cette carte demeurant cependant indicative, elle ne peut suffire à elle-même et des études complémentaires locales restent nécessaires. Afin de valoriser au mieux ce résultat, cette carte a été intégrée à l'Atlas SIG en ligne avec la légende présentée à la figure suivante (Illustration 48). L'avertissement suivant est indiqué sur le site :

*« Le caractère favorable ou non est donné de façon indicative et se base sur les lithologies identifiées d'après la carte géologique au 1/50000. La présence de mouvements de terrain, de zones présentant des formations calcaires ou gypseuses impliquent que l'implantation de sondes géothermiques verticales est a priori défavorable. Toutes les précautions nécessaires doivent être prises avant d'envisager de réaliser un forage. Un examen des données géologiques existantes est nécessaire et des investigations complémentaires peuvent être à prévoir. Le caractère favorable ou non peut être modifié au regard des données géologiques et lithologiques plus précises disponibles ou acquises par ailleurs. »*

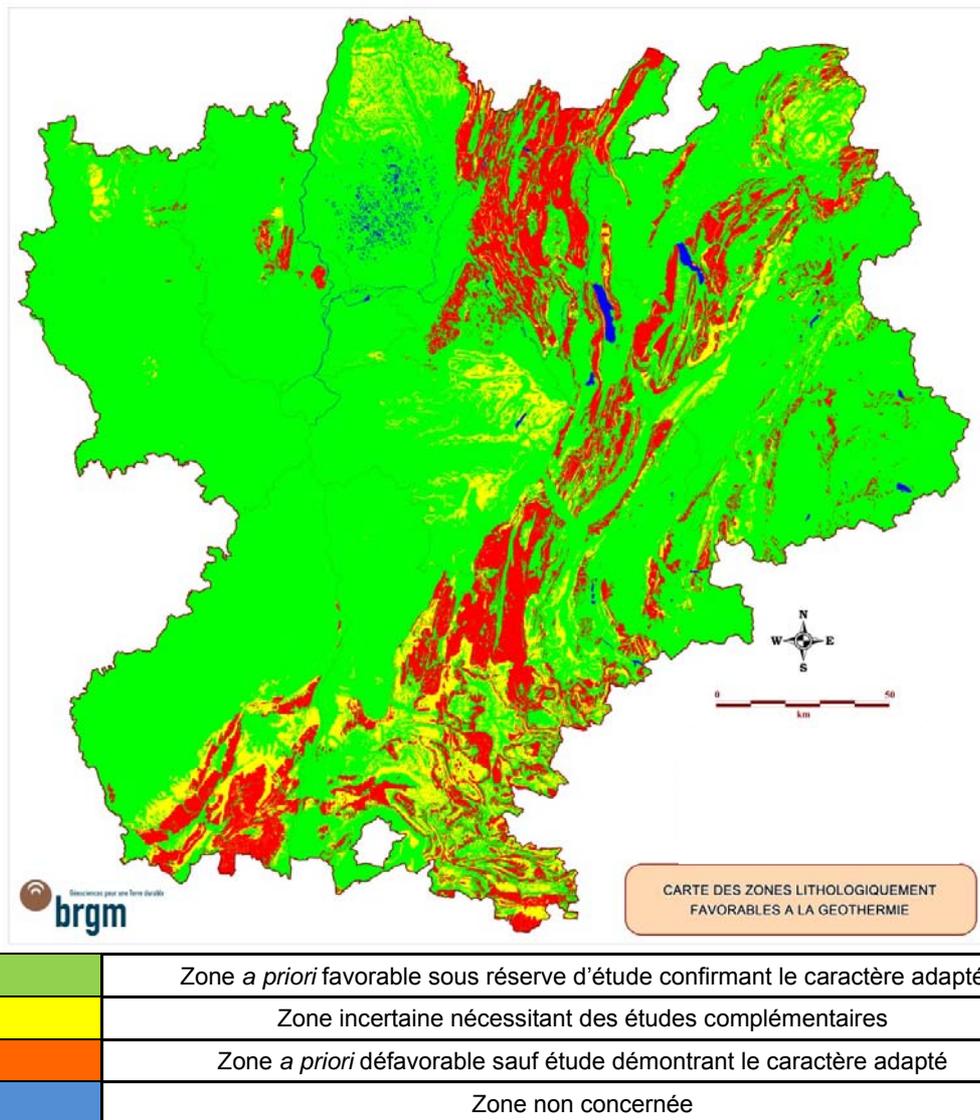
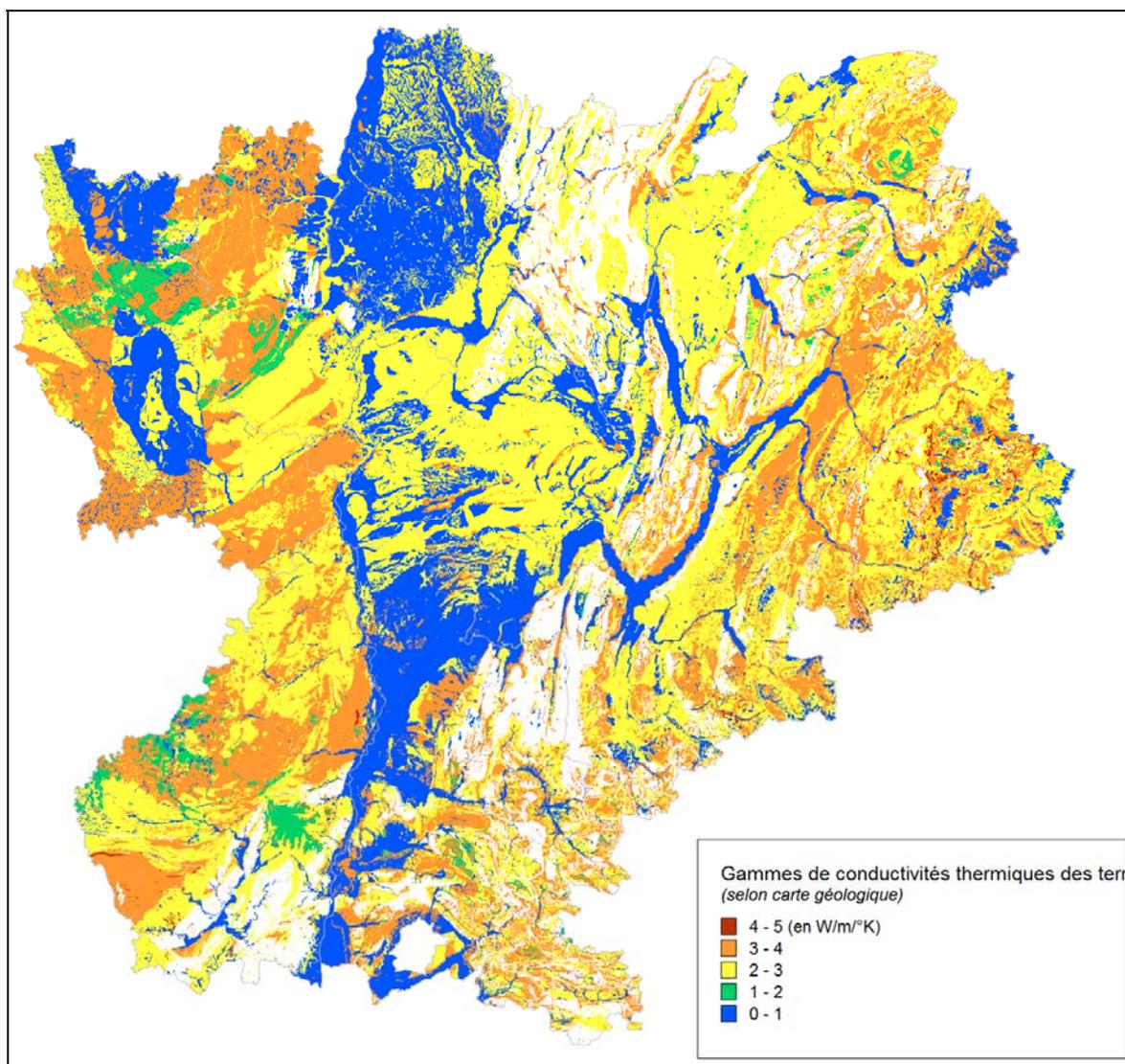


Illustration 48 : Carte synthétique de l'aptitude des formations géologiques à la géothermie par sonde

- Sur la base de cette cartographie, il est également intéressant d'examiner les implantations actuelles connues de SGV et identifier les secteurs où les installations existantes semblent par ailleurs au droit de formations dont la lithologie est *a priori* incertaine ou défavorable. En comparant la carte suivante (Illustration 48) et la carte présentée auparavant (Illustration 16). La forte concentration de SGV dans le département de la Haute Savoie particulièrement, mais aussi celui de la Savoie, secteurs marqués par des zones *a priori* défavorables (présence de massifs calcaires) interpelle. De ce point de vue, la déclaration préalable des ouvrages profonds au titre du code minier voit son importance pleinement justifiée compte tenu des contextes potentiellement karstiques.

**d) Carte indicative de conductivité thermique**

Dans l'objectif de permettre de favoriser la mise en place de SGV sur les secteurs les plus favorables, des conductivités thermiques caractéristiques ont été associées aux différentes lithologies présentes. Les tables de conductivités thermiques utilisées sont présentées en Annexe 3. Dans la carte suivante (Illustration 49), les conductivités thermiques caractéristiques pour les matériaux non saturés en eau sont présentées. Les secteurs pour lesquels les sondes géothermiques verticales ne sont pas recommandées ne sont pas présentés. Cette carte, indicative, n'a pas été intégrée à l'Atlas SIG sur internet (demande des membres du COPIL).



*Illustration 49 : Carte indicative des conductivités thermiques moyennes selon les lithologies identifiées*

### 3.3.4. Risques complémentaires du fait de structures souterraines

La mise en place de SGV implique la réalisation de forages verticaux pouvant être profonds, généralement à moins de 100 m pour rester en régime dérogatoire du code minier relatif à la géothermie.

Il est apparu essentiel d'apporter une information complémentaire du fait de la présence possible de structures souterraines existantes pouvant perturber la réalisation de l'ouvrage et comporter des risques environnementaux ou pouvant être endommagées. A ce titre, deux informations sont données dans l'Atlas SIG :

- l'information sur l'existence de titres miniers,
- l'information particulière mais sensible sur les secteurs d'extension des installations souterraines du CERN (Organisation européenne pour la recherche nucléaire).

#### a) Cartes des titres miniers en région Rhône – Alpes

La carte présentant les titres miniers renseignés dans la Base BDSTM gérée par GEODERIS (extraction 12/2011) est présentée page suivante (Illustration 50). Les données issues de cette carte ont été insérées dans l'Atlas SIG afin d'indiquer l'existence de titres ou travaux miniers, sans distinction de la nature du titre minier en question, ni de la substance générale objet du titre.

L'avertissement suivant est inséré pour toute consultation de données sur un secteur concerné :

*« Risques liés aux structures minières : sur le secteur sélectionné, un ou plusieurs titres ou concessions minières, actuels ou anciens, auxquels peuvent être associés des travaux miniers souterrains (galeries, puits ...) existent. Toutes les précautions nécessaires doivent être prises à ce titre avant d'envisager de réaliser un forage. La DREAL est le service de l'état en charge de l'instruction réglementaire des titres miniers. (Données GEODERIS, Titres Miniers, extraction BDSTM 2011). Une vérification de l'absence d'autres infrastructures souterraines (tunnels ...) est également nécessaire avant d'envisager de réaliser un ouvrage. On veillera enfin aux périmètres de protection des captages d'alimentation en eau potable, aux zones de répartition des eaux (protections réglementaires) et aux zonages des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux. »*

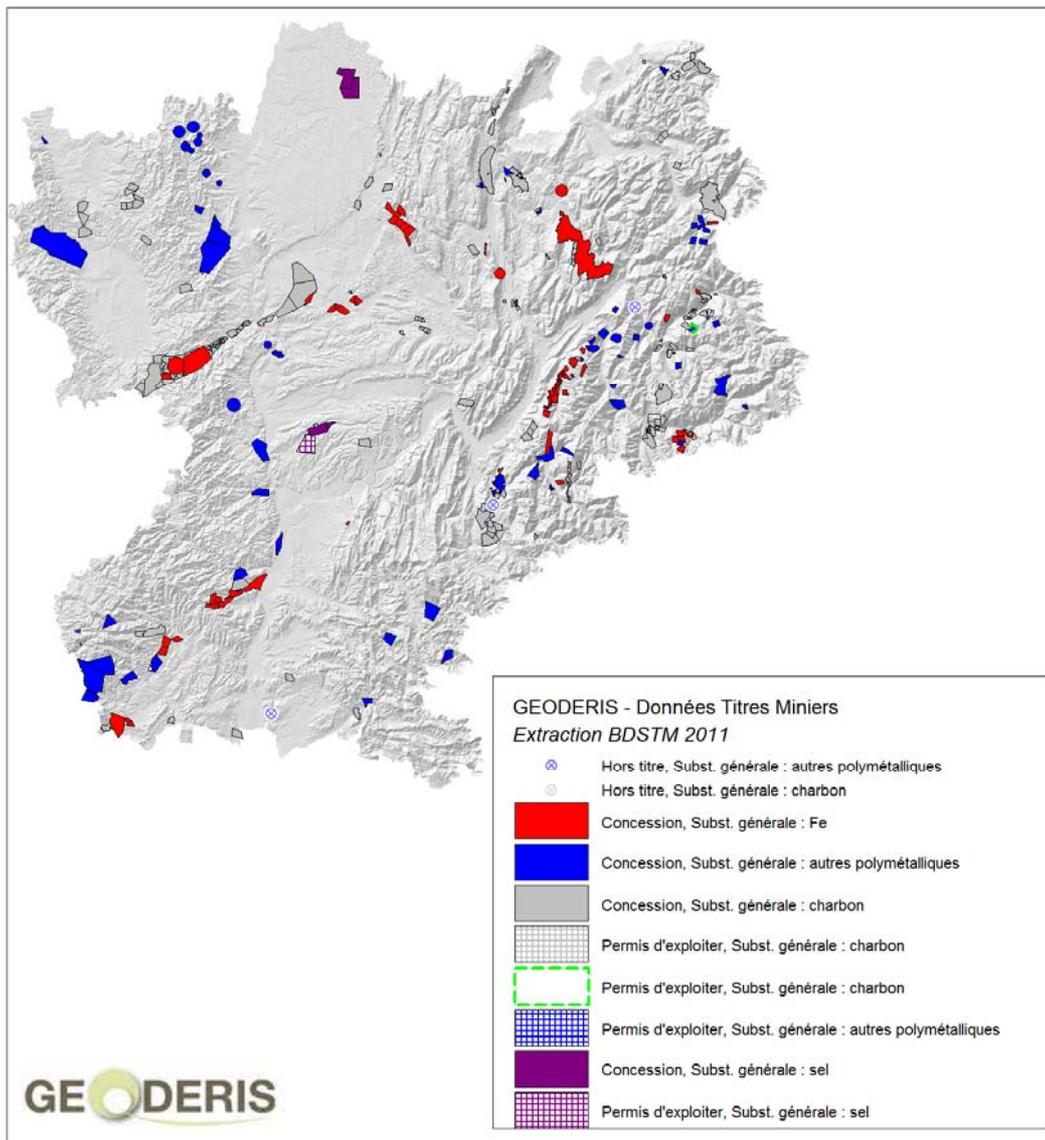
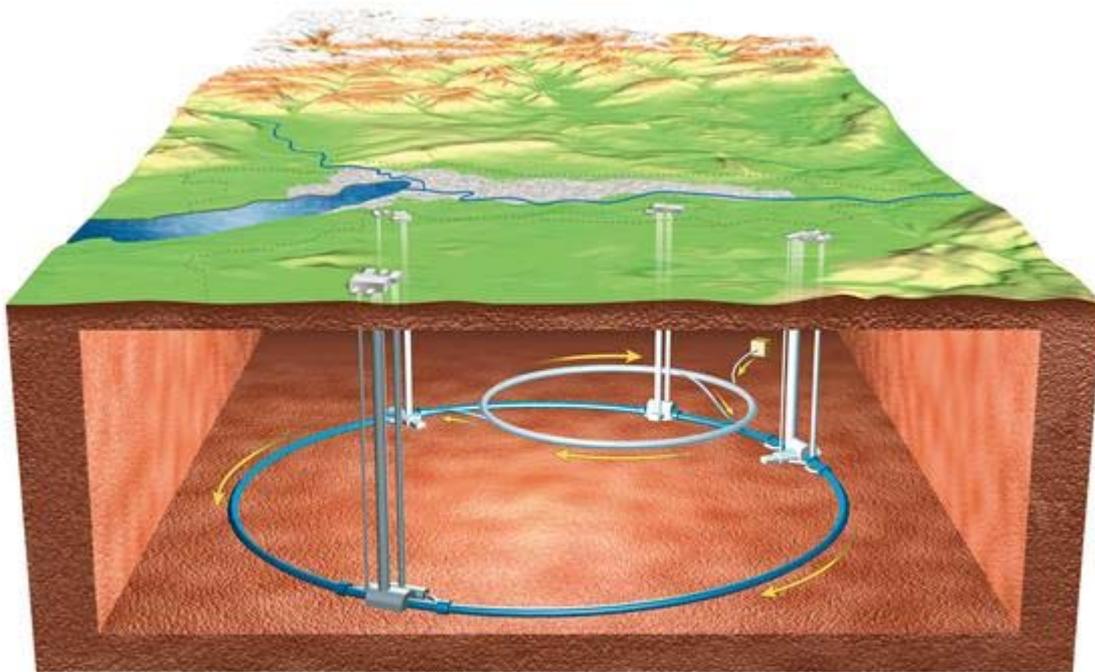


Illustration 50 : Cartes des titres miniers en région Rhône Alpes

**b) Carte des infrastructures souterraines du CERN**

Les infrastructures souterraines du CERN sont présentes en profondeur sur les territoires français et suisses à proximité de Genève. Une réglementation stricte interdit la réalisation de forages de plus de 10m sur certaines zones et nécessite une autorisation écrite sur d'autres zones. La carte suivante présente le zonage en question (Illustration 51).



(c) CERN

*Illustration 51 : Schéma indicatif des structures souterraines du CERN*

Les secteurs concernés par ces infrastructures ont été positionnés sur l'Atlas SIG avec l'avertissement suivant (sans distinction des secteurs avec interdiction ou autorisation préalable requise) :

*« RISQUES LIES AUX STRUCTURES SOUTERRAINES DU CERN : sur le secteur sélectionné, des infrastructures souterraines du CERN (Organisation européenne pour la recherche nucléaire) existent. Les forages de plus de 10m de profondeur sont localement interdits et dans tous les cas impérativement soumis à accord préalable, écrit et explicite du CERN. Contactez le service « Information du Site et du Patrimoine » du CERN par mail ([Dict.Service@cern.ch](mailto:Dict.Service@cern.ch)) ou le standard CERN au +41 22 767 6111. »*



## 4. Potentiel géothermique des autres formes de production d'énergie

### 4.1. JUSTIFICATIONS

L'exploitation de la géothermie regroupe au sens large les différents procédés industriels, mis en œuvre à différentes échelles, qui visent à l'exploiter, pour produire de l'électricité et/ou de la chaleur. Les principales utilisations de la géothermie en fonction des températures sont rappelées ci-dessous (Illustration 52).

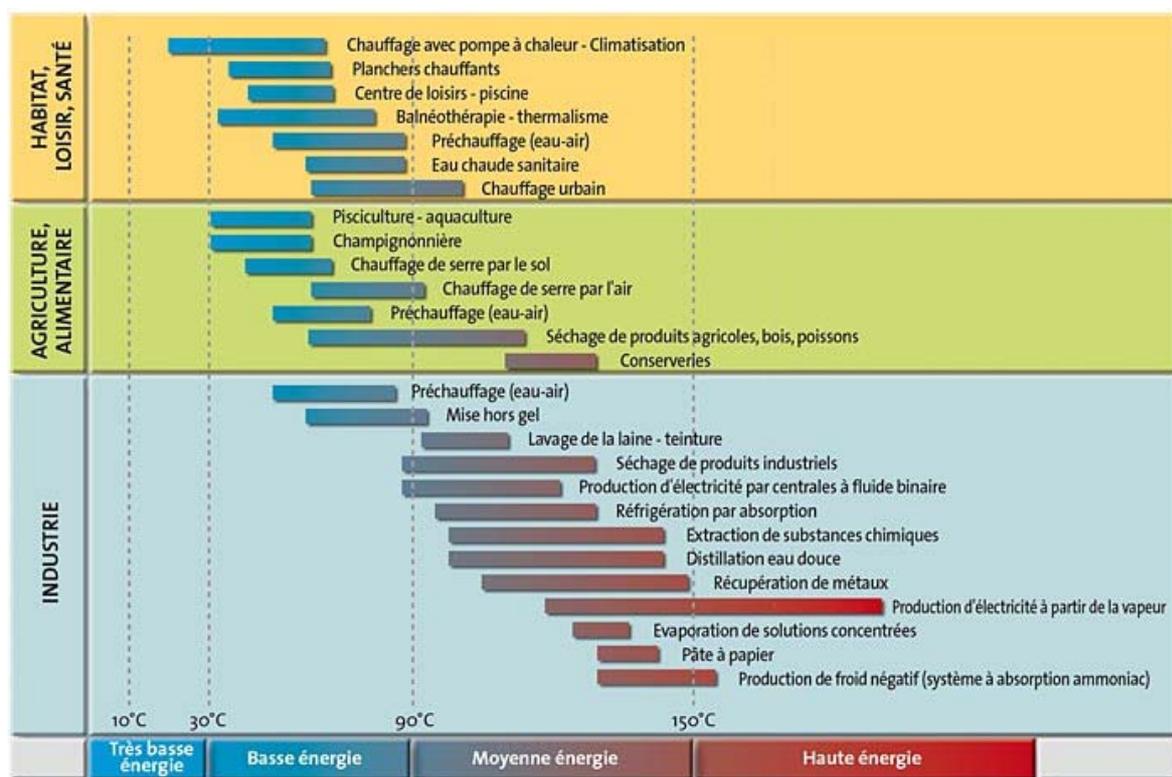


Illustration 52 : Principales utilisations de la géothermie en fonction des températures (source [N])

En pratique, et pour le cadre de développement de la géothermie dite de « très basse énergie » qui est l'objet principal de la présente étude, l'exploitation du potentiel géothermique se fait souvent à l'aide de forages sur aquifères, de sondes ou champ de sondes. Pourtant, il est dans certains cas possible de bénéficier d'un potentiel géothermique de « basse énergie » en utilisant des installations existantes pouvant être optimisées. C'est le cas avec la réutilisation d'anciens forages pétroliers profonds ou avec l'optimisation de l'utilisation d'eaux thermales captées par ailleurs. Il est également possible, et certains développements récents dans ces domaines le démontrent, de

valoriser différemment le potentiel du sous-sol (par pieux énergétiques) ou de certaines eaux superficielles et ainsi développer d'autres formes de récupération d'énergie, assimilables en partie à de la géothermie, et ce même s'il s'agit en pratique de récupérer des calories mais aussi des frigories (usage de climatisation ou rafraîchissement).

Dans la perspective d'un usage le plus large possible des potentialités en région Rhône Alpes, il a été donc décidé d'explorer également d'autres formes de géothermie, moins conventionnelles, mais dont les capacités peuvent s'avérer intéressantes localement. Ceci est particulièrement intéressant lorsque les formes classiques de géothermie évoquées auparavant sont peu accessibles, au regard de critères techniques et financiers.

## 4.2. OBJECTIFS

Pour étudier les autres formes de géothermie, l'approche retenue a consisté essentiellement à examiner préalablement les particularités de la région Rhône Alpes sous l'angle de la géographie physique et de la géologie. L'examen a pu mettre en évidence différents points particuliers :

- la région a été marquée par des périodes de prospection pétrolières, dont il reste à ce jour certains ouvrages, profonds parfois de quelques kilomètres. La possible reconversion de ce type d'ouvrages pour y implanter des sondes géothermiques a été démontrée dans différents endroits, en France et ailleurs. L'examen du potentiel rhônalpin des ouvrages potentiellement intéressants a donc été décidée ;
- la région est dotée de nombreuses capacités de stockage d'eau (lacs naturels ou artificiels) essentiellement dans les Alpes du nord. L'étude des potentialités de rafraîchissement par une utilisation des eaux lacustres apparaît comme nécessaire ;
- la région est aussi marquée par la présence de reliefs importants, tant à l'Ouest avec le Massif Central qu'à l'Est avec les Alpes. Nombre de tunnels y ont été réalisées pour les besoins de communication, avec comme conséquence, le drainage d'eaux souterraines. Ces eaux, dès lors que leurs températures sont à la fois stables au long de l'année et supérieures à celles des eaux souterraines des aquifères de plaine ou de vallées, peuvent avoir un potentiel énergétique intéressant ;
- la région est également particulièrement riche en eaux minérales et thermo-minérales. Le potentiel thermique des eaux captées, à des températures parfois élevées, doit être étudié. Par ailleurs, sous un angle différent, les établissements thermaux qui sont amenés à chauffer des eaux pour des besoins médicaux travaillent occasionnellement aux pistes de valorisation en « aval » de leurs eaux usées. Il est également apparu important de faire un point sur cette question ;
- Enfin, bien que ce ne soit spécifiquement une question rhônalpine, l'aménagement dans les centres urbains de bâtiments importants (bureaux, musées, centre hospitaliers...) nécessite de faire le point sur les avancées récentes en matière de pieux énergétiques.

Ces différentes thématiques sont traitées par la suite afin de préciser les intérêts avérés ou potentiels de valorisation énergétique des ressources considérées.

## 4.3. LA GEOTHERMIE PROFONDE : LES FORAGES PETROLIERS

### 4.3.1. Etat des connaissances

#### *a) Principes et Etat de l'art*

Le principe pour ce type d'installation consiste à utiliser des « anciens » forages réalisés initialement dans le cadre de prospections pétrolières ou d'explorations géothermiques. En effet, ces ouvrages atteignent généralement des profondeurs importantes et sont inutilisés aujourd'hui. Pourtant, du fait des profondeurs atteintes, des températures importantes peuvent avoir été rencontrées. Par ailleurs, pour certains ouvrages géothermiques, les systèmes envisagés à l'époque s'étaient avérés non faisables ou simplement rentables ; cependant, l'amélioration des techniques, et notamment celles liées aux « échangeurs souterrains », peut permettre désormais d'envisager des solutions distinctes de celles initialement visées et intéressantes.

Le forage étant réalisé, il peut dans certains cas être envisagé de le rouvrir pour y implanter une sonde géothermique verticale. Cette technique pose des difficultés techniques dans le maniement des sondes du fait des pressions existantes. Elle a cependant déjà été utilisée dans différents pays (un cas recensé en France) et s'avère efficace si l'ouvrage était bien conçu, s'était maintenu en état et que la sonde a été correctement mise en œuvre.

La technologie employée est celle des sondes géothermiques verticales profondes. Il en existe plusieurs types ; on citera les sondes en U ou double U (utilisables jusqu'à 700 – 800 m [E]) ainsi que les sondes coaxiales qui permettent d'atteindre des profondeurs jusqu'à 3000 m (cf. Illustration 53).

Lors de la réouverture du forage, des investigations doivent être menées afin de déterminer l'état de celui-ci. Même s'il peut être utilisé à des fins géothermiques, il faut anticiper des coûts de réouverture (examens, éventuel rechemisage du puits, etc.) et ceux liés à la mise en place de l'échangeur coaxial dans le forage et de l'installation de surface (circulateur, échangeur de chaleur). Deux modes d'exploitation sont ensuite envisageables :

- Mode direct (exemple du forage de Weggis en 1994), *i.e.* sans pompe à chaleur,
- Mode indirect, *i.e.* avec pompe à chaleur, permettant d'augmenter la puissance fournie au bâtiment par rapport au mode direct, au prix d'une consommation d'énergie électrique du compresseur de la PAC.

Dans une première approche, on considère habituellement que les coûts de réouverture d'un forage sont faibles devant les coûts de réalisation d'un nouveau forage. Il paraît alors judicieux d'évaluer les forages disposant du meilleur potentiel.

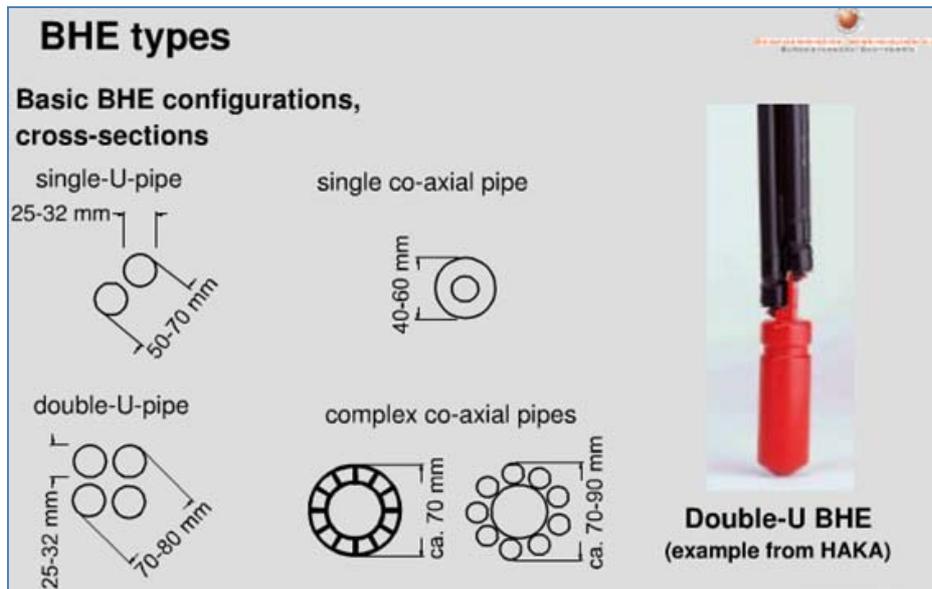


Illustration 53 : Document technique de la société HAKA [5]

### b) Expériences recensées

La recherche d'exemples dans ce domaine permet de pointer certaines expériences concluantes de réutilisation d'anciens forages :

- Forage de Mios-Le Teich (Gironde) [N] : l'exploitation de l'ouvrage situé à une quinzaine de kilomètres à l'est d'Arcachon consiste à fournir à une exploitation piscicole une eau de température constante été comme hiver. Cet établissement utilise pour cela un puits pétrolier abandonné profond de 3 000 mètres et cimenté vers 2 000 mètres. La production de l'installation est évaluée à 3000 tep/a pour une puissance thermique maximale de 12000 th/h (14MW). Le fluide géothermal favorise cependant un développement de bactéries sulfurogènes et obligent à des traitements réguliers et à un changement des pompes en moyenne tous les 4 ans. Les opérations de curages très onéreuses interviennent tous les 15 ans ;
- La sonde de Prenzlau en Allemagne est un bon exemple. le forage a été approfondi jusqu'à 2786 m permettant l'atteinte d'une température de 108°C et ainsi de fournir entre 2 900 et 3 900 MWh/an (après la pompe à chaleur), pour un coût d'investissement compris entre 1.5 et 2 M€ ; L'installation fonctionne depuis sa mise en service (1994) sans problème majeur. La production d'énergie est restée constante. La pompe de circulation de la sonde a été échangée au cours de l'année 2002, le débit étant resté le même, la capacité de refoulement étant restée la même (12m<sup>3</sup>/h), la puissance de propulsion électrique a cependant pu être divisée par deux et passer de 11kW à 5,5 kW. [6] ;

<u>Données techniques relatives au forage</u>	<u>Principe du forage</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation d'une canalisation existante et poursuite de son forage</li> <li>• Profondeur finale : 2 786 m</li> <li>• Température de la roche à la profondeur finale : 108°C</li> <li>• diamètre interne du tube échangeur de chaleur : jusqu'à 950 m, 9 <sup>6</sup>/<sub>8</sub> pouces et jusqu'à la profondeur finale, 6 <sup>5</sup>/<sub>8</sub> pouces</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• échangeur de chaleur souterrain sous forme de canalisation coaxiale</li> <li>• surface active d'échange de chaleur : 1 463 m<sup>2</sup></li> <li>• canalisation intérieure isolée destinée au transfert du fluide caloporteur vers le haut</li> <li>• source de chaleur : chaleur du sous-sol, utilisation du degré géothermique</li> <li>• temps de séjour du fluide caloporteur dans la sonde : 4 à 10 h</li> <li>• Vitesse d'avancement : 5 à 65 m/min</li> </ul>

Illustration 54 : Principales caractéristiques de la sonde profonde de Prenzlau [7]

- Un 3<sup>ème</sup> exemple est celui de la sonde coaxiale de Weggis (Illustration 55), installée depuis 1994 en Suisse (avec une pompe à chaleur depuis 2000), qui atteint une profondeur de 2300 m et produit jusqu'à 440 MWh/an (derrière une pompe à chaleur) permettant ainsi de chauffer environ 50 logements. Le COP annuel de l'installation est de l'ordre de 4 [27]. En 1994, la puissance crête appelée était beaucoup plus faible (40 kW), la température de sortie de puits relativement stable à 40 °C ; la PAC n'a fonctionné que 10 h ; le COP annuel atteint une valeur particulièrement élevé à 9 [28] ;

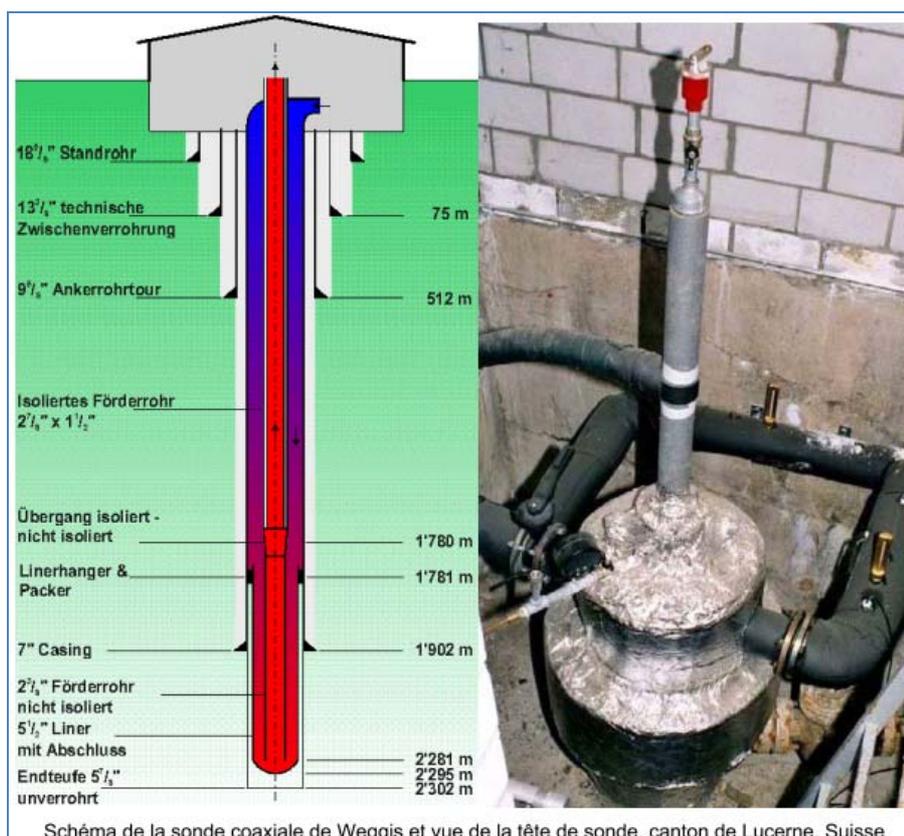


Illustration 55 : Exemple du forage de Weggis à Lucerne, Suisse [7]

- Un troisième exemple est celui de la sonde verticale d'Arnsberg (Allemagne) qui atteint 3000 m de profondeur où les roches ont une température supérieures à 90°C ce qui permet de récupérer une eau à 60°C pour un débit de circulation dans la sonde 10 m<sup>3</sup>/h. La puissance de l'installation est estimée (projet en cours en 2007-2008) à 240 kWth pour une production de chaleur de 2100 MWh/a [8] ;
- Un dernier exemple concerne le forage en Suisse de Thônex [L] : le forage THX-1 réalisé initialement pour une exploitation de l'aquifère profond calcaire du Malm à 2500m de profondeur (projet de 20l/s à 60°C) s'est avéré trop peu productif. Depuis, un projet de conversion de cet ouvrage avec une sonde géothermique est en cours. La température serait de 67°C à 1850m, ce qui pourrait permettre une installation de 100kW. Le projet est actuellement en cours de réalisation et est suivi par l'Office fédéral de l'énergie OFEN et les services techniques de la ville de Genève (SIG) [30] ;

### ***c) Aspects réglementaires***

Les principaux textes réglementaires régissant la réalisation des forages géothermiques ont été évoqués au début du rapport. L'objet de cette partie est de pointer les éléments particuliers de reconversion d'anciens forages à des fins géothermales. Les éléments sur ce point font l'objet d'une étude spécifique BRGM (RP-60685-FR, 2012 [50]).

Les ouvrages pétroliers peuvent être soit propriété de leur maître d'ouvrage soit abandonnés. L'abandon d'un ouvrage suppose une renonciation au titre minier, elle-même nécessaire à l'arrêt d'une exploitation pétrolière.

Il est possible de reprendre un forage ayant été préalablement abandonné, lequel est alors dans le domaine public. Le forage aura alors été fermé, ce qui n'implique pas a priori son « rebouchage ». Son utilisation à des fins géothermiques suppose l'application du code minier, et notamment des parties relative à la géothermie. Considérant que les puissances recherchées ne permettent pas d'évoquer les principes de « minime importance », il peut alors être nécessaire d'obtenir une autorisation de recherche dans un premier temps, puis d'un permis d'exploitation.

On notera qu'un ouvrage pétrolier non abandonné peut être utilisé à des fins géothermiques sous conditions d'accord du pétitionnaire du titre minier le cas échéant.

## **4.3.2. Etude du contexte rhônalpin**

### ***a) Etude de recensement et des besoins***

Le sous-sol français est depuis longtemps soumis à diverses prospections, notamment pétrolières. Or, avant d'identifier une zone suffisamment intéressante pour être exploitée, de nombreuses investigations sont réalisées sous la forme de prospections géophysiques ou via la réalisation de forages profonds. Sans être la région où la prospection pétrolière a été la plus importante de France, la région Rhône-Alpes a connu de nombreuses recherches depuis les années 1950 jusqu'aux années 1980.

Dans le cadre de notre étude, les ouvrages présents sur la région ont été inventoriés afin de connaître leur répartition spatiale et faciliter la compilation des informations recueillies pour chacun des forages. En effet, une fois les forages géolocalisés, il a été nécessaire

de compiler différents paramètres afin d'en estimer le potentiel et identifier les ouvrages les plus intéressants *a priori*.

D'après les recherches bibliographiques réalisées, il ressort que les paramètres suivants permettent d'évaluer l'intérêt énergétique d'un ouvrage :

- la profondeur (m),
- la température (°C),
- la conductivité thermique (W/m/°K).

Ces données, une fois connues, permettent donc d'estimer le potentiel brut d'un ouvrage, en supposant que le forage peut être récupéré et équipé d'un échangeur coaxial.

On notera cependant que si aucun besoin ne se situe à proximité de l'ouvrage, le projet perd alors de son intérêt ; c'est pourquoi il est également important de prendre en compte la proximité ainsi que la taille des communes voisines des forages.

### ***b) Données collectées***

- **Inventaire des forages :**

Les forages relatifs aux prospections pétrolières sont tous renseignés dans la banque de données du sous-sol (BSS) du BRGM. Une première extraction dans la BSS a été faite pour les forages dont l'objectif était la recherche d'hydrocarbures. Une 1<sup>ère</sup> liste de 168 forages pétroliers présents sur la région a été obtenue (Illustration 56).

Comme indiqué précédemment, différents paramètres sont essentiels pour l'appréciation du potentiel géothermique de ces ouvrages. Si la profondeur est renseignée pour tous les ouvrages sélectionnés, il a été nécessaire de réaliser des recherches complémentaires pour la température ainsi que la conductivité thermique. Toutefois, l'intérêt des forages pétroliers étant d'économiser le coût du forage, une première sélection est réalisée en ne conservant que les 125 forages pétroliers dont la profondeur est supérieure à 100 m.

- **Température**

La consultation des archives du BRGM n'a permis de retrouver que quelques données de températures du fait que la majorité des forages datent des années 1950 et 1960 ; à cette époque la géothermie est très peu développée et les températures n'étaient pas systématiquement collectées.

Afin d'obtenir plus de renseignements, notamment en termes de températures, une demande a été réalisée au « Guichet H » (Service spécialisé dans le recueil de données sur les forages liés aux prospections d'hydrocarbures, en lien avec le Bureau exploration-production des hydrocarbures du ministère en charge de l'écologie). Cela a permis d'obtenir les logs validés ainsi que des rapports de fin de sondage pour 90 des ouvrages sélectionnés.

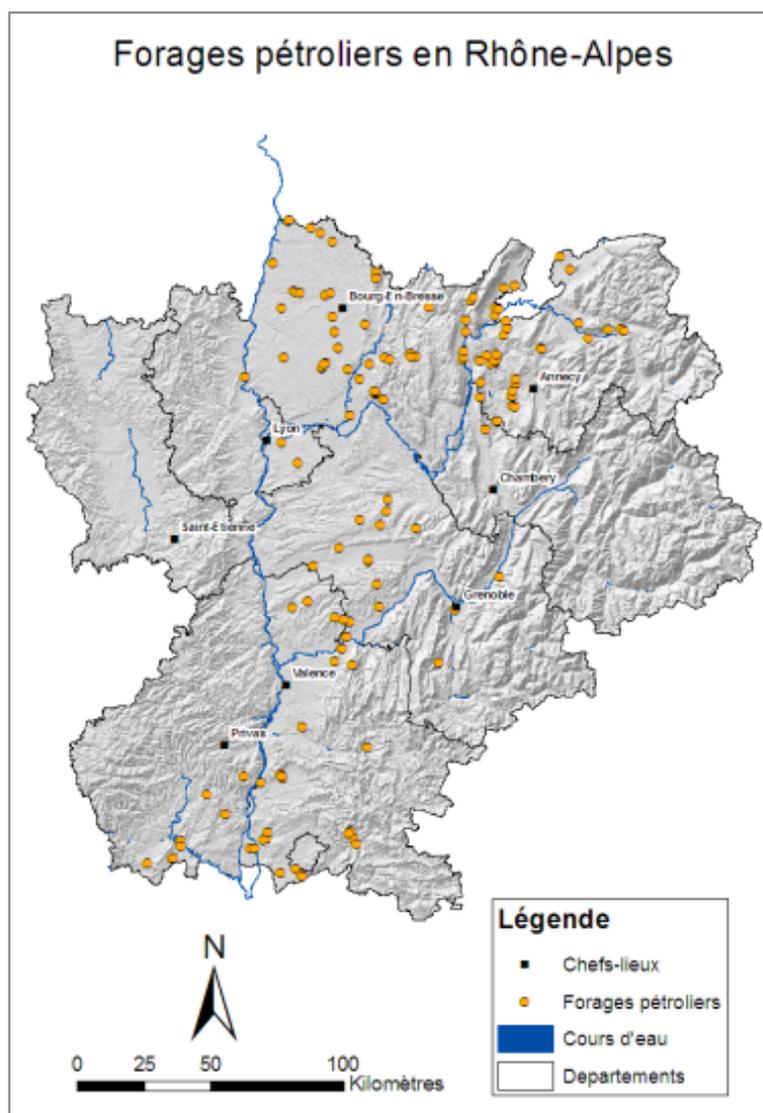


Illustration 56 : Localisation des 168 forages de « prospection pétrolière »

Cependant ces documents se trouvent également peu intéressants pour ce qui est des températures. Au final, en compilant également les températures relevées par en 1978 lors de son acquisition des données géothermiques en France [9], ce sont 35 températures qui ont pu être relevées, allant de 27 à 191°C.

Toutefois, ces données de températures ne peuvent être utilisées en tant que telles. En effet, étant de type « BHT » (*Bottom Hole Temperature*), cela signifie que la température est mesurée après le refroidissement du forage par la circulation des boues de forage, notamment à la fin pour éliminer les cuttings [10]. La perturbation étant connue, il est possible de la corriger mathématiquement. Pour cela on utilisera la méthode statistique de l'AAPG (*American Association of Petroleum Geologists*).

Leur méthode de correction est basée sur l'analyse de 20 000 données BHT dont 602 correspondent à des données BHT à l'équilibre. Cette étude a abouti à un polynôme du quatrième degré permet ensuite la correction du gradient géothermique moyen en fonction de la profondeur :

$$\Delta T = az + bz^2 + cz^3 + dz^4$$

Où  $\Delta T$  est la correction de température (en °C) et  $z$  la profondeur (en m). Les coefficients  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , et  $d$  sont donnés dans le Tableau ci-dessous :

Zone \ coef	a	b	c	d
Texas ouest	$-1,169.10^{-3}$	$-4,689.10^{-7}$	$6,609.10^{-10}$	$-8,312.10^{-14}$
Louisiane	$4,926.10^{-3}$	$2,164.10^{-6}$	$-7,628.10^{-10}$	$4,950.10^{-14}$
Hors zones calibrées	$1,878.10^{-3}$	$8,476.10^{-7}$	$-5,091.10^{-11}$	$-1,681.10^{-14}$

*Illustration 57 : Coefficients de correction pour la méthode de l'AAPG [10]*

Une fois les températures corrigées, elles reflètent au mieux la température réellement rencontrée au fond des forages. Toutefois, ces étapes ne permettent de connaître que 36 températures de forages sur 125 et il serait dommage d'écarter 89 ouvrages par manque d'informations. Par conséquent des recherches complémentaires ont été réalisées afin d'estimer la température pour un maximum d'ouvrages restants, principalement via des études de gradient géothermique.

A défaut de trouver une étude ciblant la région Rhône-Alpes dans son ensemble, la recherche s'est focalisée sur les données relatives aux gradients thermiques. Deux rapports concernent partiellement la région. Un rapport du BRGM [11] traite de l'étude du gradient du bassin Bressan ; la thèse de doctorat de Cynthia Garibaldi [12] traite pour sa part de la situation dans le bassin du Sud-Est de la France. Ces deux études recoupent en partie la région Rhône-Alpes comme le montre l'illustration 58, page suivante.

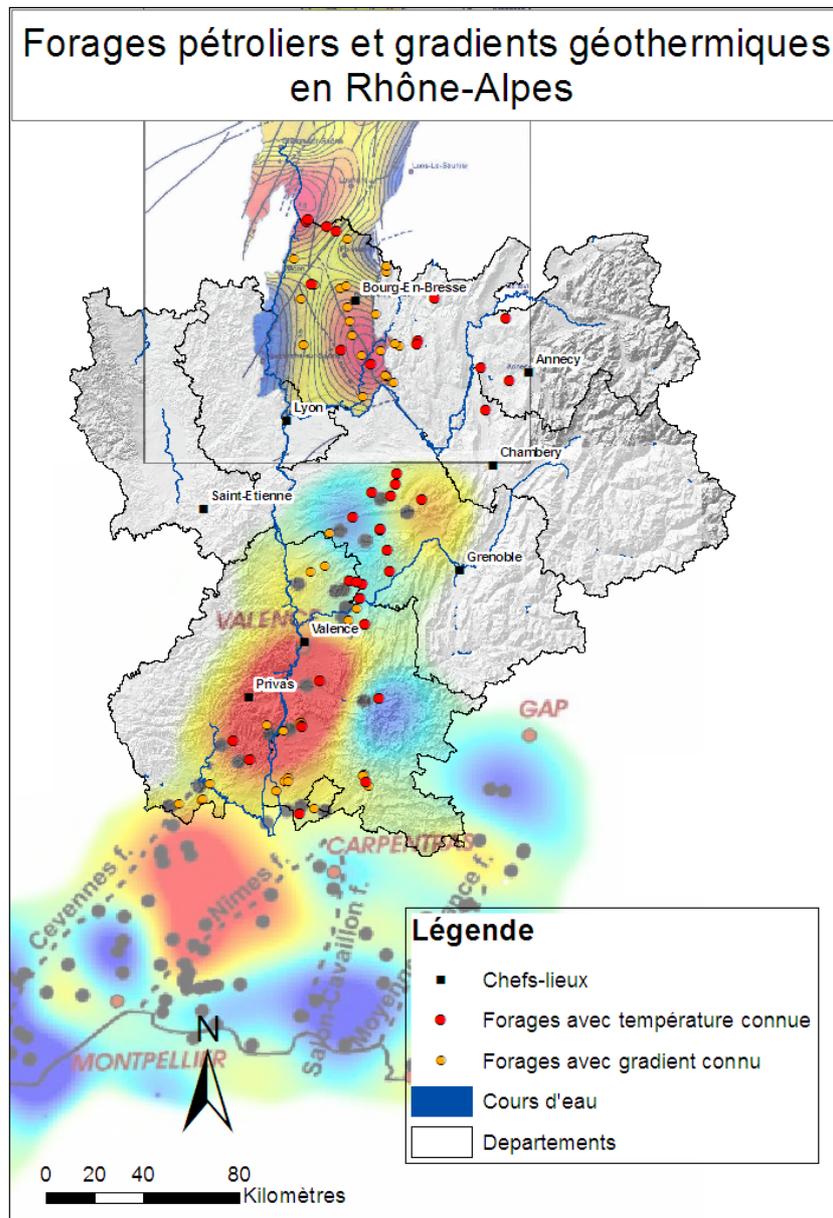


Illustration 58 : Cartes des gradients thermiques et forages renseignés

La cartographie des gradients permet la connaissance de ceux-ci pour 76 forages. En compilant ces informations avec celles de températures précédemment recueillies, ce sont donc 85 forages pour lesquels la température est connue ou estimée.

- **Conductivité thermique**

Si la température est un paramètre important pour la géothermie, il n'est évidemment pas le seul. En effet, la conductivité thermique des roches est déterminante pour l'extraction de la chaleur du sous-sol. Cette grandeur physique représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par unité de temps sous un gradient de température de 1 degré Kelvin par mètre [13]; elle est exprimée en  $W/m/^{\circ}K$ .

Le BRGM possède les rapports de fin de sondage ainsi que différents graphiques (diagraphies...) résultant des mesures réalisées lors des forages pétroliers. Si les températures maximales rencontrées sont rarement renseignées, les logs géologiques des forages sont quasiment toujours présents. Par conséquent la description des logs a été utilisée pour définir la conductivité thermique du forage. Pour cette estimation, les données de conductivités thermiques retenues sont issues de recherches bibliographiques [14] [15] sont présentées en annexe.

Le travail réalisé a consisté en une numérisation des lithologies et profondeurs rencontrées sur l'ensemble du linéaire des forages sélectionnés. Les valeurs de conductivité ont ensuite été appliquées aux différents horizons rencontrés lors du forage, ce qui permet d'obtenir la conductivité thermique moyenne (pondérée par l'épaisseur des couches) du forage en  $W/m/^{\circ}K$ .

***c) Traitement des données***

- **Première sélection d'ouvrage**

Une première démarche a consisté en une hiérarchisation des ouvrages présélectionnés et dont la température est renseignée. Cette hiérarchisation se fonde sur 1) la profondeur, 2) la température et 3) la conductivité thermique. Afin que chaque paramètre ait le même poids, une notation est mise en place. Elle se base sur des classes définies de façon à respecter le type d'échelle employée pour chacun des paramètres (graduations linéaires, logarithmiques...) tout en ayant des populations équivalentes pour chaque classe. Les classes ainsi définies sont présentées ci-dessous dans l'illustration 59.

Il est à noter que cette sélection s'est réalisée en deux étapes. Dans un premier temps, les forages sont classés uniquement en fonction de leur profondeur et de leur gradient géothermique. Une fois ce classement réalisé, 19 forages semblent plus intéressants que les autres, leur conductivité thermique est alors déterminée permettant ainsi de hiérarchiser leur potentiel.

Note	1	2	3	4	5
Profondeur (m)	0 – 1000	1000 - 2000	2000 - 3000	3000 - 4000	4000 - 5000
Gradient (°C/km)	20 - 25	25 - 30	30 - 35	35 - 40	>40
Conductivité thermique (W/m/°K)	< 2.7	2.7 – 2.8	2.8 - 9	2.9 – 3.	> 3

Illustration 59 : Classes de notation des paramètres des forages pétroliers

Le résultat est présenté dans le tableau suivant Illustration 60 et la répartition géographique des forages est représentée page suivante Illustration 61.

INDICE	DPT	COMMUNE	profondeur m	Gradient °C/100m	Conductivité moy. W/m/°K
08424X0001	26	UPIE	3976	4.5	2.96
08663X0001	26	MARSANNE	5015	4.4	2.87
06512X0001	1	POLLIAT	2002	4.0	4.08
06537X0003	74	VIRY	3051	3.0	3.26
08424X4001	26	UPIE	3624	4.4	2.89
06516X0002	1	LENT	3018	4.4	2.84
06028X0006	1	SERMOYER	1189	4.4	3.05
06757X0043	1	CORMOZ	1810	4.6	3.02
08658X0001	7	VALVIGNERES	4636	4.2	2.72
07952X0001	26	MONTMIRAL	2476	3.9	2.90
08891X0001	7	VALLON-PONT-D'ARC	3243	3.6	2.87
06753X0001	1	VILLETTE-SUR-AIN	2421	4.6	2.81
06512X0007	1	PARCIEUX	1535	4.2	2.94
07956X0002	38	SAINT-LATTIER	2790	3.6	2.87
08653X0001	7	VILLENEUVE-DE-BERG	2754	4.2	2.70
07486X0010	38	BONNEFAMILLE	2119	3.8	2.75
08662X0003	26	SAVASSE	2084	4.5	2.60
08437X0003	26	AUREL	2805	3.5	2.38
06993X0001	1	BLYES	1286	4.1	2.60

Illustration 60 : Liste des 19 forages au meilleur potentiel

La note finale présentée sur les ouvrages sélectionnés à la figure suivante correspond à un produit des différentes notes.

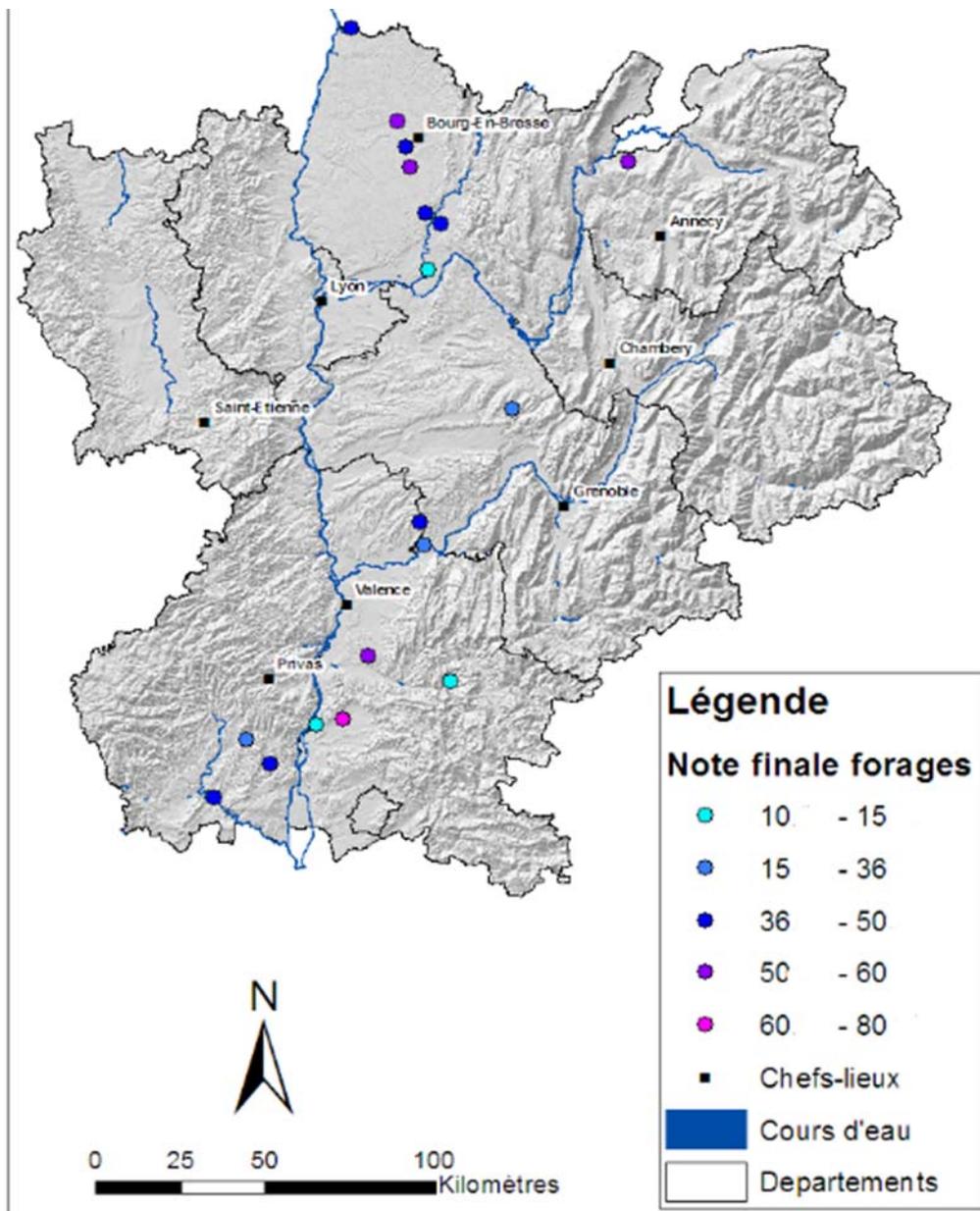


Illustration 61 : Localisation des 20 forages au meilleur potentiel

La répartition des forages au meilleur potentiel suit un axe nord sud et la distribution le long de cet axe est assez homogène, si on fait abstraction du léger déficit dans le centre de la région (Nord Isère). On peut noter la présence des ouvrages les plus importants aux alentours de Bourg-en-Bresse et au sud de Valence.

Le potentiel des ouvrages ainsi retenus est uniquement défini par leurs caractéristiques intrinsèques (profondeur, température ...), or sans besoins à proximité, le plus prometteur des ouvrages peut s'avérer sans intérêt.

Mise à part une exploitation agricole sous serre ou une pisciculture, il y a peu de valorisation possible de ces ouvrages en milieu rural. C'est pourquoi il vaut mieux privilégier la reconversion des ouvrages situés à proximité de communes pouvant exploiter la chaleur de façon conséquente et pérenne.

- **Besoin à proximité**

Il est évident que si aucun besoin ne se situe à proximité d'un forage, la pertinence de sa reconversion est remise en cause. C'est pourquoi il est important de prendre en compte la proximité ainsi que la taille des communes voisines. Ceci est l'objet d'une 2<sup>ème</sup> approche de sélection des ouvrages.

Pour cela, les distances séparant les ouvrages des sources de consommation éventuelles ont été mesurées via un outil SIG (Système d'Information Géographique). Pour chacune des villes, le nombre d'habitants a été également identifié [F]. Ces deux types d'informations reflètent dans une 1<sup>ère</sup> approche les besoins susceptibles d'être couverts par les forages pétroliers équipés.

L'analyse des communes situées à proximité des ouvrages pétroliers a permis de mettre en valeur **16** forages situés à moins de 500 m du centre-ville ou de la ville en fonction de son importance (cf. Illustration 103 en Annexe 3). Leur répartition géographique présentée en annexe 3, Illustration 102, montre une répartition divisée entre le nord de la région (nord Haute Savoie et Ain), le centre (centre Isère) et dans une moindre mesure le sud (sud Ardèche et Drome).

Ces ouvrages, bien qu'ayant un potentiel intrinsèque moins important que les forages précédemment sélectionnés, ont un réel intérêt de par la proximité d'une zone de consommation de chaleur. Pour faciliter une éventuelle reconversion de ces ouvrages et afin d'améliorer les connaissances sur ces derniers, le maximum d'informations a été collecté vis-à-vis de :

- Responsable de l'ouvrage : Maître d'œuvre, propriétaire, exploitant, entrepreneur, suivi des travaux...
- Caractéristique de l'ouvrage : Profondeur, date travaux, diamètre du forage et du tubage, état actuel (bouchon ciment, plaque métallique...), lithologie rencontrée,
- Besoin à proximité : Nom de la ville, distance, nombre d'habitants, remarques éventuelles (présence collège, lycée ...).

#### ***d) Cas particuliers des forages de Valence et de Bourg en Bresse***

En région Rhône Alpes, on note la présence de deux ouvrages pétroliers ayant déjà fait l'objet d'une identification du potentiel géothermique<sup>28</sup>. Le potentiel était évalué cependant sur la base d'une exploitation directe de l'eau des aquifères, lesquels ne se sont finalement pas révélés assez productifs. Dans une perspective d'implantation de sondes verticales, ces deux ouvrages pourraient néanmoins s'avérer particulièrement intéressants. Les éléments suivants reflètent leur potentiel [16] [17]:

- ils atteignent tous deux des profondeurs importantes (2255 m pour Bourg-en-Bresse et 3666 m pour Valence) ;
- ils sont plus récents que la plupart autres ouvrages associés aux prospections pétrolières ; il est possible que les ouvrages soient en meilleur état ;
- ils sont situés sur une anomalie géothermique positive avec 84,3°C à 1991 m pour Bourg-en-Bresse et 140°C à 3250 m (135°C à 3666 m) pour Valence, soient respectivement des gradients de 37 et 40°C/km.

Il faut noter que les aquifères identifiés dans ces ouvrages sont peu susceptibles d'assurer un renouvellement de la température du sous-sol. En effet, bien que la présence d'eau améliore la conductivité thermique et donc la diffusion de la chaleur, les portions aquifères peuvent être faibles et de faibles transmissivité ; il n'y a donc pas de garantie sur un gain lié aux circulations aquifères pouvant assurer un renouvellement des eaux à température élevée autour du forage.

#### ***e) Estimation de la puissance***

Une estimation fine de la puissance récupérable sur un forage pétrolier demande des connaissances précises que nous n'avons pas à disposition (test de réponse thermique, profondeur réellement exploitable de l'ouvrage ...). Toutefois, il paraît important d'estimer le potentiel de ces ouvrages afin d'avoir une première idée quant à l'énergie susceptible d'être récupérée.

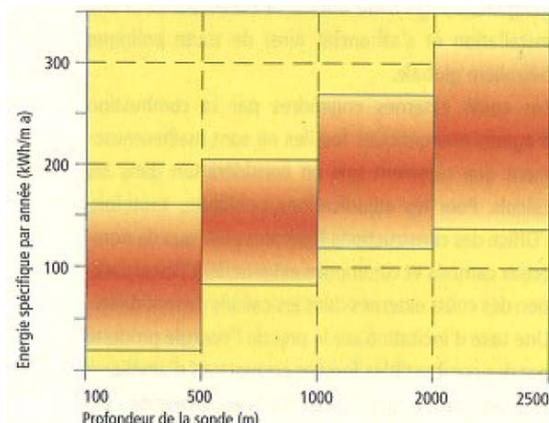
Pour cela, on se base sur le diagramme présenté ci-après (Illustration 62, Geoform AG) qui représente l'énergie spécifique par année (kWh/m/a, soit kWh par mètre linéaire et par an) en fonction de la gamme de profondeur de la sonde. Cette énergie ne dépend pas uniquement de la profondeur de l'ouvrage (également fonction de la conductivité thermique, du type de sonde ...), ainsi le graphique ne donne pas une valeur d'énergie précise mais une gamme d'énergie potentiellement récupérable.

En multipliant cette gamme de valeur par la profondeur du forage, on obtient alors une estimation de la production annuelle de l'ouvrage (kWh). Afin de rester le plus objectif

---

<sup>28</sup> On notera également l'existence de différentes études BRGM pour le Syndicat Mixte Intercommunal du lac du Bourget entre 1975 et 1979 sur la réutilisation de l'ouvrage 07016X0004/LTA1 (ouvrage ESSO REP La Tailla 1A) profond de 3557m. Les mesures faites en 1981 (NT 82-RHA-01) indiquent une température de 72°C à 2400m – soit un gradient de 28,8°C/km°. En 1978, le débit exploitable était estimé entre 50 à 100m<sup>3</sup>/h (formations jurassiques à environ 2000m). Aucune suite à ces études n'est connue.

possible, le potentiel de chaque forage est calculé pour la valeur minimale, maximale et intermédiaire de la gamme correspondante.



*Illustration 62 : Estimation de l'énergie annuelle récupérée par la sonde en fonction de sa profondeur (source [19])*

Ces données ont donc été utilisées pour convertir la profondeur des forages issus de la première et de la deuxième sélection (potentiel intrinsèque et proximité ville) en énergie. Cette même conversion est appliquée aux forages géothermiques abandonnés de Valence et Bourg-en-Bresse.

On notera que le graphique précédent se limite aux forages dont la profondeur n'excède pas 2500m, or cette profondeur correspond également à la limite des profondeurs exploitables avec les technologies actuelles (maximum aux environs de 3000m à Arnsberg).

Par conséquent, la profondeur maximale retenue pour le calcul de l'énergie spécifique annuelle sera 2500 m. Pour les forages dont la profondeur excède cette limite, l'énergie sera également calculée pour la profondeur réelle du forage et le résultat est donné à titre indicatif entre parenthèses. Les résultats sont présentés ci-après, à l'illustration 63.

Pour l'interprétation, on se basera sur les valeurs intermédiaires, en considérant les valeurs minimales et maximales comme étant respectivement, les hypothèses pessimistes ou optimistes. Si on considère les 10 forages les plus intéressants étant à proximité d'une ville, on peut alors estimer leur potentiel total à 4,2 GWh par an, soit une moyenne de 420 MWh par an et par ouvrage. Au vu de l'énergie fournie par l'installation de Prenzlau (de l'ordre de 3000 MWh/an), on peut supposer que, dans le cas d'une sonde raccordée à une PAC, l'énergie fournie par l'installation (sonde + PAC) est supérieure aux indications du graphique, au prix cependant d'une consommation d'énergie électrique par la PAC.

Forages issus de la première sélection				Forages à proximité des villes			
INDICE	Energie spécifique annuelle MWh/a			INDICE	Energie spécifique annuelle MWh/a		
	Min.	Interm.	Max.		Min.	Interm.	Max.
08663X0001	350 (702)	575 (1153)	800 (1605)	08891X0001	350 (454)	575 (746)	800 (1038)
08658X0001	350 (649)	575 (1066)	800 (1484)	06516X0002	350 (422)	575 (694)	800 (966)
08424X0001	350 (557)	575 (915)	800 (1272)	07486X0010	297	487	678
08424X4001	350 (507)	575 (834)	800 (1160)	06784X0093	221	359	497
08891X0001	350 (454)	575 (746)	800 (1038)	07714X0007	220	357	495
06537X0003	350 (427)	575 (702)	800 (976)	06757X0043	217	353	489
06516X0002	350 (422)	575 (694)	800 (966)	08906X0001	161	262	362
08437X0003	350 (393)	575 (645)	800 (898)	07711X0008	85	150	210
07956X0002	350 (391)	575 (642)	800 (893)	06297X0002	63	111	155
08653X0001	350 (386)	575 (633)	800 (881)	06253X0010	62	109	152
07952X0001	347	569	792	06761X0002	50	89	125
06753X0001	339	557	775	07964X0028	8	36	66
07486X0010	297	487	678	06752X0005	7	33	60
08662X0003	292	479	667	06534X0040	6	26	48
06512X0001	280	460	641	06534X0039	5	23	42
06757X0043	217	353	489	07732X0001	4	18	33
06512X0007	184	299	414	<b>Bourg-en-Bresse et Valence</b>			
06993X0001	154	251	347	B-en-B	316	519	722
06028X0006	143	232	321	Valence	350 (513)	575 (843)	800 (1173)
TOTAL	5753 (7141)	9438 (11718)	13124 (16297)	total	2771 (3111)	4656 (5214)	6533 (7310)

Illustration 63 : Energie spécifique annuelle (MWh/a) des forages pétroliers

– Les codes couleurs correspondent aux gammes de profondeurs des ouvrages présentées en abscisses de l'illustration 62 –

On remarquera qu'il n'existe aucun forage commun entre ces deux modes de sélection. Ainsi:

- les forages sélectionnés pour leurs profondeurs et leurs caractéristiques thermiques sont implantés à distance (plus de quelques km) de villes importantes (critère approximatif);
- les forages à proximité de centres urbains ne semblent pas, en principe, les plus intéressants (les trois 1ers mis à part); il convient de nuancer cet intérêt en apparence moindre du fait que tous le linéaire des forages les plus profonds n'est vraisemblablement exploitable.

### **4.3.3. Perspectives et recommandations**

Il est donc possible de constater la richesse de la région Rhône-Alpes en prospections pétrolières. Après diverses récupérations de données sur chaque ouvrage, une classification permet d'en faire ressortir les plus intéressants.

En fonction du type de projets, deux approches sont possibles pour mettre en place la valorisation des forages pétroliers:

- Le projet est en milieu rural :
  - Peu d'exploitations du milieu rural ont des besoins importants en chaleur. Généralement, elles se résument à l'agriculture sous serre et à la pisciculture. Toutefois, il est possible d'utiliser la chaleur récupérée au fond du forage pour faire sécher des récoltes ou bien pour assurer le chauffage d'un centre aqua-ludique ou d'un centre d'affaire ;
  - Lors de la rénovation ou de la mise en place de ce genre d'infrastructure, il est alors primordial de se renseigner sur l'éventuelle présence d'un forage pétrolier et sur la rentabilité de sa reconversion en forage géothermique vertical ;
- Le projet est en milieu urbain : si le milieu urbain considéré fait partie des 18 communes ayant un forage pétrolier sur leur territoire alors il est utile d'examiner sa possible reconversion géothermique en tant que source de chaleur. En fonction du coût de reconversion du forage ainsi que des aides allouées par l'Etat, cette solution peut s'avérer avantageuse économiquement parlant, tout étant respectueuse de l'environnement.

## **4.4. LES EAUX SUPERFICIELLES : LES LACS**

### **4.4.1. Etat des connaissances**

D'un point de vue technique et énergétique, afin d'assurer une stabilité de la performance des installations, la stabilité de la température de la source est un paramètre important. A ce titre, l'exploitation des aquifères dont les températures sont relativement stables est un des éléments permettant de garantir la pérennité d'une installation que ce soit pour produire du chaud ou du froid. Dans le cas des eaux de surface, le cas des lacs est particulier : avec la profondeur, tout comme dans le sous-sol où les fluctuations des

températures atmosphériques sont atténuées à partir de quelques mètres en profondeur, la température de certains lacs se stabilise à partir d'une profondeur donnée ; dans ce cas, il devient alors possible d'exploiter cette ressource dans les mêmes conditions qu'un aquifère superficiel, en s'affranchissant par ailleurs de certaines contraintes liées aux forages.

### **a) Principes et Etat de l'art synthétique**

La frange superficielle des eaux d'un lac varient en fonction des conditions climatiques, alors que les zones les plus profondes ont tendances à rester stables. Sauf conditions particulières, la zone avec les températures les plus élevées est observée à la surface, appelé épilimnion ; la température des eaux est influencée par la température atmosphérique ainsi que l'intensité de l'ensoleillement. A l'opposé, le fond du lac n'est chauffé ni par l'air présent à la surface ni par le rayonnement solaire ; la température y est alors particulièrement faible (4-6°C sur les données observées en Rhône-Alpes) et constante ; on appelle cette zone l'hypolimnion. Entre ces deux couches se situe une zone de transition, appelée métalimnion, où la température diminue rapidement (thermocline). L'exploitation thermique des eaux de lacs repose sur cette stratification de la température des eaux pompées étant celles de l'hypolimnion.

Il existe en pratique deux techniques d'exploitation géothermique des eaux de surface : les systèmes en boucle dite « ouverte » et ceux dits en boucle « fermée » :

- Dans le premier cas, **boucle ouverte**, l'eau est pompée dans le lac pour être acheminée vers le bâtiment. En général l'eau est pompée juste sous la thermocline (meilleur rapport profondeur/température) puis acheminée jusqu'au bâtiment où le rafraîchissement est assuré par un circuit secondaire. Dans ce cas, le système vise habituellement une production de froid du fait des températures assez faibles rencontrées ; il peut s'agir de production par une PAC ou de simple rafraîchissement. L'existence de deux circuits permet, comme pour les systèmes classiques, deux avantages : cela évite les risques d'une contamination, par le bâtiment, de l'eau circulant dans la boucle ouverte et deuxièmement ; cela permet également de réguler les vitesses de circulation des fluides indépendamment d'une boucle à l'autre, assurant ainsi des réglages optimums pour l'installation ;
- Dans le deuxième cas, **boucle fermée**, les boucles sont déposées au fond du lac, soit dans la zone où les températures sont les plus faibles (généralement entre 4 et 6°C). Toujours dans un souci de régulation des vitesses de circulation des fluides, il existe un réseau secondaire circulant uniquement dans le bâtiment.

Les lacs présents dans la région Rhône-alpine sont majoritairement de type alpin, c'est-à-dire alimentés principalement par la fonte des neiges (ou glacier) dans la partie ouest de la région, puis par les précipitations au niveau du centre de la région (voir en annexe Illustration 104). La température des eaux est donc plutôt faible. La stabilité thermique nécessaire à une exploitation géothermique pérenne sera donc uniquement atteinte pour des températures froides. Par conséquent, les lacs sont une ressource privilégiée pour un usage de rafraîchissement / climatisation. Les différents éléments techniques à intégrer dans les études préliminaires sont présentés par la suite (cf. paragraphe 4.9.2 p.144).

La figure suivante (Illustration 64) présente les deux options, boucle ouverte ou boucle fermée.

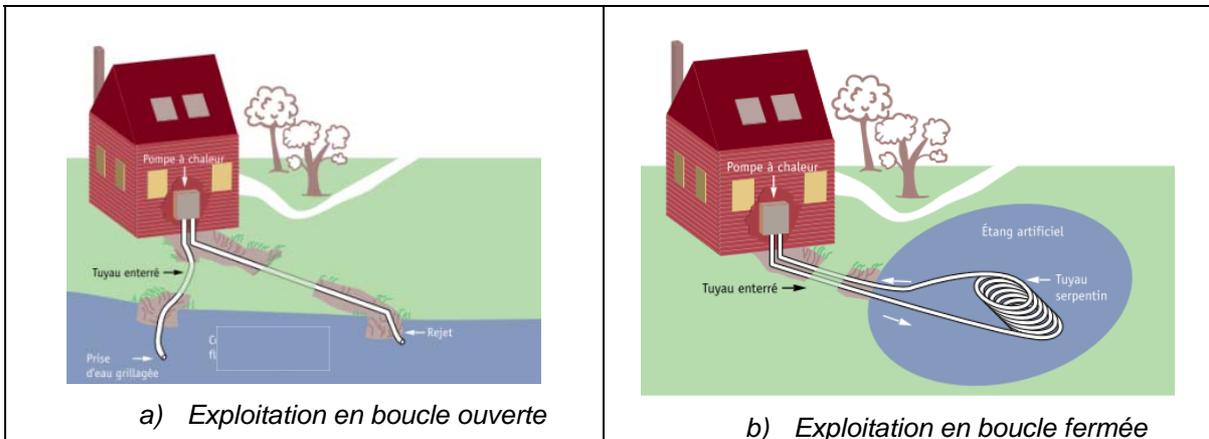


Illustration 64 : Schémas de principes des échangeurs en eaux de surface (Source Géothermie Canada)

### ***b) Expériences recensées***

L'étude n'a pas permis de recenser de nombreux exemples en région Rhône-Alpes illustrant ce type d'installation. Les éléments suivants présentent les cas identifiés de la région et deux exemples significatifs au niveau international.

#### **Cas de la salle polyvalente municipale à Paladru**

On notera dans un premier temps l'existence d'un système de chauffage (système en boucle ouverte avec pompe à chaleur) mis en place pour la salle polyvalente municipale à Paladru exploitant les eaux du lac. L'installation de ce système s'est intégrée dans un programme de rénovation de la salle polyvalente. La pompe à chaleur est d'une puissance de 400 kW. Cette solution a été retenue car elle est apparue comme la plus avantageuse financièrement, même sans percevoir d'aides pour l'utilisation d'énergie renouvelable (informations renseignées par le maire adjoint de Paladru en charge de ce dossier).

La seule contrainte rencontrée lors de la mise en place de ce système résidait dans l'interdiction de pomper directement l'eau du lac, celui-ci étant privé. Pour cela, le prélèvement ainsi que le rejet se font dans des puits situés à quelques dizaines de mètres des rives du lac, sur un terrain appartenant à la commune.

Ce cas nous a été présenté comme étant de la géothermie sur eaux de lac. Après vérification, l'ouvrage pompant les eaux est un forage implanté sur les berges du lac. Les eaux pompées sont donc vraisemblablement un mélange entre les eaux du lac et les eaux de la nappe bordant celui-ci. Il ne s'agit donc pas à proprement parler d'un système exploitant les eaux du lac et appartenant à l'une ou l'autre des 2 catégories évoquées précédemment, mais d'une solution intermédiaire entre les solutions PAC sur aquifères superficiel et sur eaux de lac.

### Cas de l'université de Cornell, USA [A]

Le projet de refroidissement de l'Université de Cornell avec l'eau du lac (Lake Source Cooling) est proposé par l'université en 1994 pour remplacer l'ancien système datant de 1960. Les informations collectées précisent que ce système est apparu comme le plus intéressant après une étude technico-économique. La construction commença en mars 1999 pour être finalisée en Juillet 2000, pour un coût de 58.5 million de dollars US soit 40 millions d'euros. Le système est composé de deux boucles, comme le montre l'illustration ci-dessous.

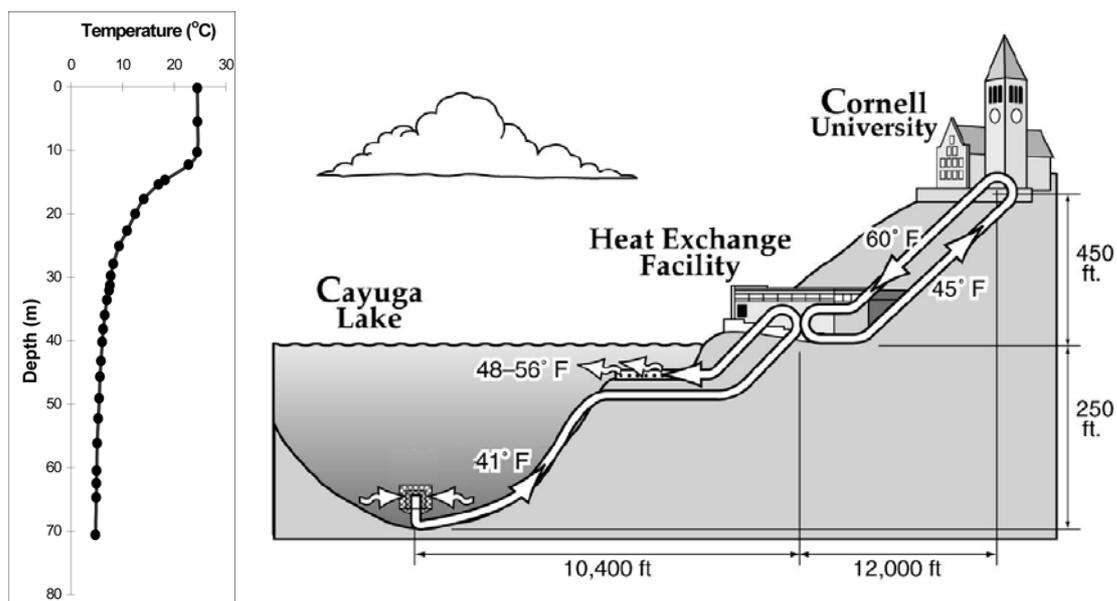


Illustration 65 : Profil thermique et Schéma du système de refroidissement de l'Université de Cornell [A]

- **Boucle ouverte du lac** : L'eau froide du lac est pompée à 70 m de profondeur par 3 pompes immergées de 260 kW pour un débit total maximal autorisé de 32000 gpm (gallon per minute) soit 48 m<sup>3</sup>/s. Après être passée au travers de l'échangeur thermique (plaque en acier inoxydable) situé sur le rivage, l'eau est restituée en surface du plan d'eau via un diffuseur de 23 m de long à 3 m de profondeur ;
- **Boucle fermée de l'Université** : L'Université est située à environ 3 km du lac avec un dénivelé d'approximativement 120 m. Afin d'éviter que le transfert de l'eau jusqu'à Cornell consomme trop d'énergie, la consommation est réduite au minimum en utilisant des canalisations réduisant les pertes de charge et également minimisant l'énergie utile au pompage de l'eau au profit de l'action gravitaire.

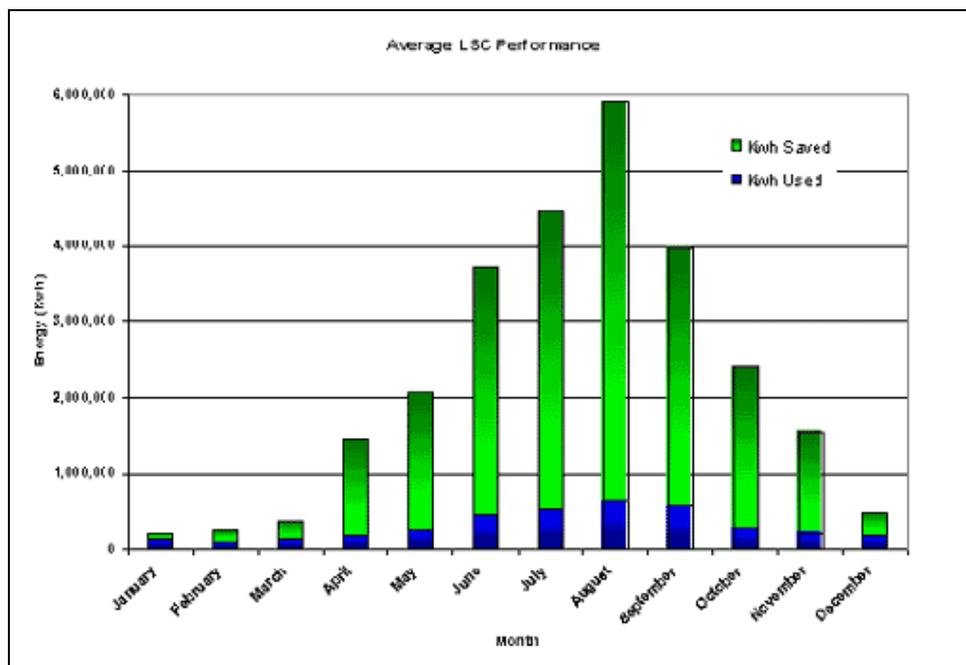


Illustration 66 : Bilan énergétique du système LSC sur une année type [A]

Abscisses : Mois ; Ordonnées : Energy (kWh)

Ce projet de LSC (Lake Source Cooling) est une solution à long terme pour subvenir aux besoins de rafraîchissement de l'université. Ce système a été conçu pour durer en principe 75 à 100 ans, soit deux fois la durée de vie de l'ancien système (groupes froids utilisant des CFC – Chlorofluorocarbones–). Cette durée de fonctionnement couplée à l'économie d'énergie de 80% permet donc de rendre cette installation intéressante malgré un investissement initial plus important.

**Projet « Genève Lac Nations » :**

Un autre exemple, alpin et suisse, est celui de la ville de Genève avec le projet "Genève Lac Nations". Le principe de ce projet consiste à « amener l'eau du lac » directement aux bâtiments consommateurs en les raccordant à un réseau hydraulique de transport et de distribution d'eaux profondes issues du lac Léman afin d'assurer des prestations de rafraîchissement en direct (free cooling), par le seul biais d'un échangeur et en adaptant les systèmes de régulation. Ce réseau en cours d'installation permettra également de chauffer des bâtiments neufs par le biais de pompes à chaleur haute performance (voir en Annexe 3, Illustration 108). Les principales caractéristiques sont données ci-dessous.

Le projet GLN en cours permet d'envisager la production annuelle suivante : 12 000 MWh de rafraîchissement et 500 MWh de chaud. Ceci ne représente cependant qu'une partie du projet global d'utilisation des eaux du lac Léman à des fins de chauffage et de refroidissement. A terme en effet ce sont plus de 25 500 MWh, dont 1500 MWh de chaud qui seront produits à partir des eaux du Léman, avec notamment l'alimentation du centre-ville (GLU) de l'Aéroport (GLA) et du CERN.

<b>Potentiel de puissance à raccorder</b>	<b>: 18 MW (rafraîchissement) et 13 MW (chaleur)</b>
<b>Températures moyennes de l'eau du lac</b>	<b>: 5°C en hiver, 8°C en été, 10°C en automne</b>
<b>Débit nominal</b>	<b>: 2'700 m<sup>3</sup>/h</b>
<b>Longueur de réseau</b>	<b>: Environ 5 kms (longueur simple)</b>
<b>Température de l'eau produite par la PAC</b>	<b>: 48°C</b>
<b>Profondeur de la crépine</b>	<b>: 37 m</b>
<b>Coût</b>	<b>: 36 millions de CHF</b>

Illustration 67 : Principales caractéristiques du projet GLN [B]

On peut remarquer que les deux projets de l'Université de Cornell (USA) et de Genève Lac Nation (Communauté Helvétique) ont plusieurs points communs, comme le fait de pomper l'eau froide en profondeur et de la rejeter en surface afin de diminuer l'impact du rejet sur la température de l'eau du lac, comme le montre l'illustration 68. Une deuxième similitude apparaît autour de l'investissement financier initial qui est important. Toutefois, les faibles coûts d'exploitation ainsi que la pérennité de l'installation (durée de vie de 75 – 100 ans) compensent les coûts initiaux importants et assurent la rentabilité de tels projets.

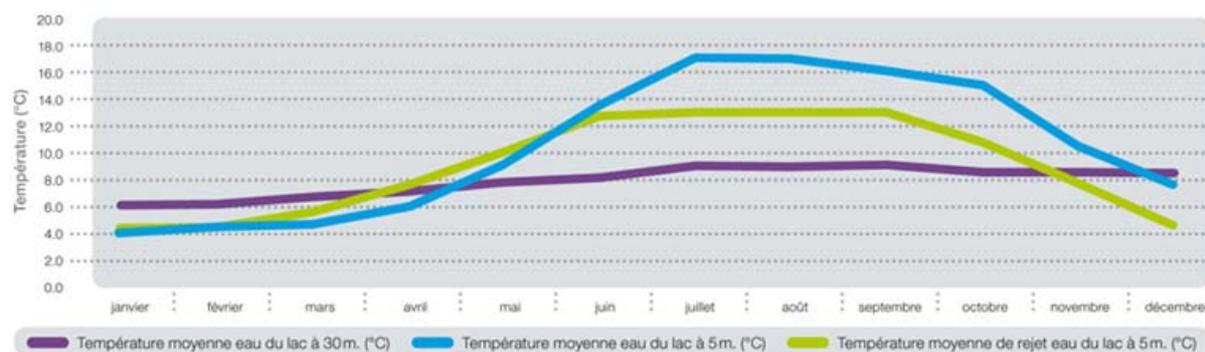


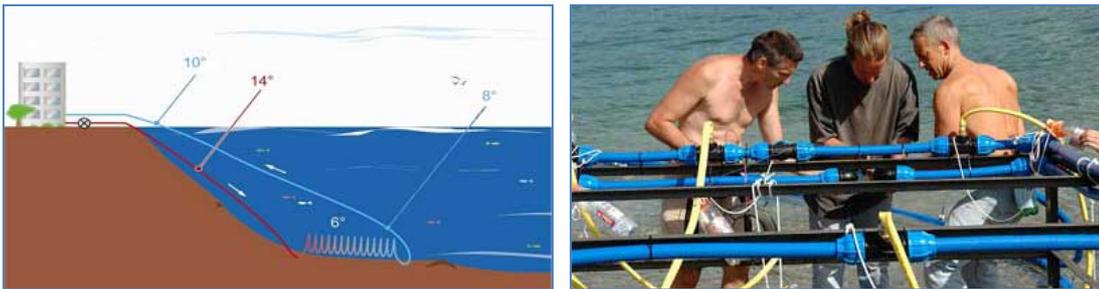
Illustration 68 : Impact du rejet sur l'eau du lac [B]

Au niveau du projet de Genève, la question des impacts nécessite la mise en place d'un dispositif de suivi. Les impacts majeurs considérés comme potentiels se posent en termes de flux thermiques (température, bilan thermique), en termes biologiques et chimiques (mobilisation du phosphore, chloration des eaux) du fait des rejets. La question de la mobilisation du phosphore est également posée pour le cas de Cornell ; certains éléments évoquent une accentuation du développement alguaire des eaux en superficie du Lac en lien avec un transfert des eaux profondes naturellement plus riches vers les eaux de surface. A Genève, la nécessaire acceptation du projet par le public et les risques de conflits d'usage des eaux du lac sont également des enjeux importants, lesquels apparaissent dans le cas suivant du pilote réalisé au Lac du Bourget.

Le système novateur GLN ne bénéficiant pas d'un retour d'expérience, le suivi du système dans son ensemble est nécessaire, différents paramètres seront suivis durant les premières années de fonctionnement du système GLN, au niveau du lac (à la fois pour l'efficacité du système et les éventuels impacts sur son écosystème) du réseau (débits, températures, pression, composition de l'eau), des bâtiments (débits, températures, consommations finales thermiques et électriques).

### **Cas du lac de Bourget (système en boucle fermée) :**

On peut enfin citer le lac du Bourget qui a récemment permis l'utilisation d'un prototype (Société De Profundis) en boucle fermée. Le système est basé sur l'immersion de tuyaux en cuivre dans lesquels circule le fluide (eau) servant au rafraîchissement du bâtiment. La consommation d'énergie est alors minimale (puissance de la pompe : 400 W, puissance en froid restituée : 7,5 kWf [C]). Cette technique en boucle fermée semble assez prometteuse (COP aux alentours de 20) notamment pour les lacs où l'eau est trop profonde pour être pompée depuis la surface.



*Illustration 69 : Illustration du cas du Lac du Bourget (73) [C]*

Il existe donc deux types de systèmes permettant d'exploiter les eaux froides des lacs Rhône-alpins. Ces premières expériences permettent de faire ressortir de premiers éléments :

- Premièrement, ces deux systèmes (boucle ouverte/boucle fermée) nécessitent des coûts de mise en place importants ; ces coûts d'investissement initiaux peuvent cependant être compensés par le faible coût d'exploitation, pouvant ainsi assurer la rentabilité de l'installation (à étudier au cas par cas) ;
- Les puissances ainsi que les coûts des systèmes en boucle ouverte les destinent à une utilisation à grande échelle (gros complexe universitaire, réseau de distribution de froid) ;
- A contrario, les puissances et les coûts moins importants des systèmes en boucle fermée les rendent plutôt favorables à des bâtiments de taille moyenne (immeuble, regroupement de quelques bâtiments, etc.).

### ***c) Aspects réglementaires***

L'exploitation géothermique des eaux de surface est un domaine émergent en France. A notre connaissance, aucune exploitation en boucle ouverte n'existe sur le territoire et seul un prototype de boucle fermée fut testé sur le lac du Bourget pendant 2 mois.

Cette émergence semble être confrontée à difficulté de cadrage réglementaire. En effet, les particularités de ces exploitations comme l'existence d'un prélèvement et d'une restitution simultanées (boucle ouverte) ou la seule circulation d'un fluide (eau) au sein du lac pour les boucles fermées, ne semblent pas être spécifiquement pris en compte par la réglementation actuelle vis-à-vis de la ressource en eau (à confirmer).

On peut toutefois citer quelques éléments qui ont été nécessaires lors de la mise en place du prototype de boucle fermée dans le lac du Bourget. Il s'agissait :

- 1) de l'agrément au titre de la loi sur l'eau avec un questionnaire d'une dizaine de pages. Il est apparu (selon les données collectées auprès de De Profundis) que l'installation correspondait rarement aux situations proposées dans le document. Au final, lors de cette phase, la partie relative aux travaux nécessaires à la mise en place du système aura posé plus de contraintes que la partie relative aux prélèvements en eau ;
- 2) l'autorisation d'utilisation du domaine public fluvial, qui est formulée à l'ONEMA par la DDT. Lors de la mise en place du prototype sur le lac du Bourget, le principal problème aura été la maîtrise du conflit d'usage avec les pêcheurs professionnels.

#### **4.4.2. Etude du contexte rhônalpin**

##### ***a) Etude de recensement***

Dans un premier temps, il faut inventorier les principaux lacs Rhône-Alpins. Pour cela, nous avons utilisé les informations de BD CarTHAgE®, qui est la Base de Données sur la CARtographie Thématique des Agences de l'Eau et du ministère de l'écologie. L'avantage de cette base de données est qu'elle contient la superficie des lacs, ce qui permet un premier classement. La démarche a consisté à prioriser la recherche d'information pour les lacs les plus importants. A ce stade, le choix a été fait de ne considérer que les 51 plans d'eau de plus de 10 ha (Illustration 105 p.180). Pour les lacs de moindre importance, la connaissance sur la stabilité physique des lacs (et notamment l'hypolimnion) est moindre et devrait nécessiter un examen plus spécifique. De façon générale, pour les lacs de moindre importance, l'existence d'une stratification thermique est plus incertaine et l'existence vraisemblable d'un contexte pouvant être l'occasion d'un projet thermique intéressant l'est également.

La liste de tous les plans d'eau considérés (extraction BDCarthage) est présentée en Annexe 3 (Illustration 105). Ils sont présentés sur carte page suivante (Illustration 70).

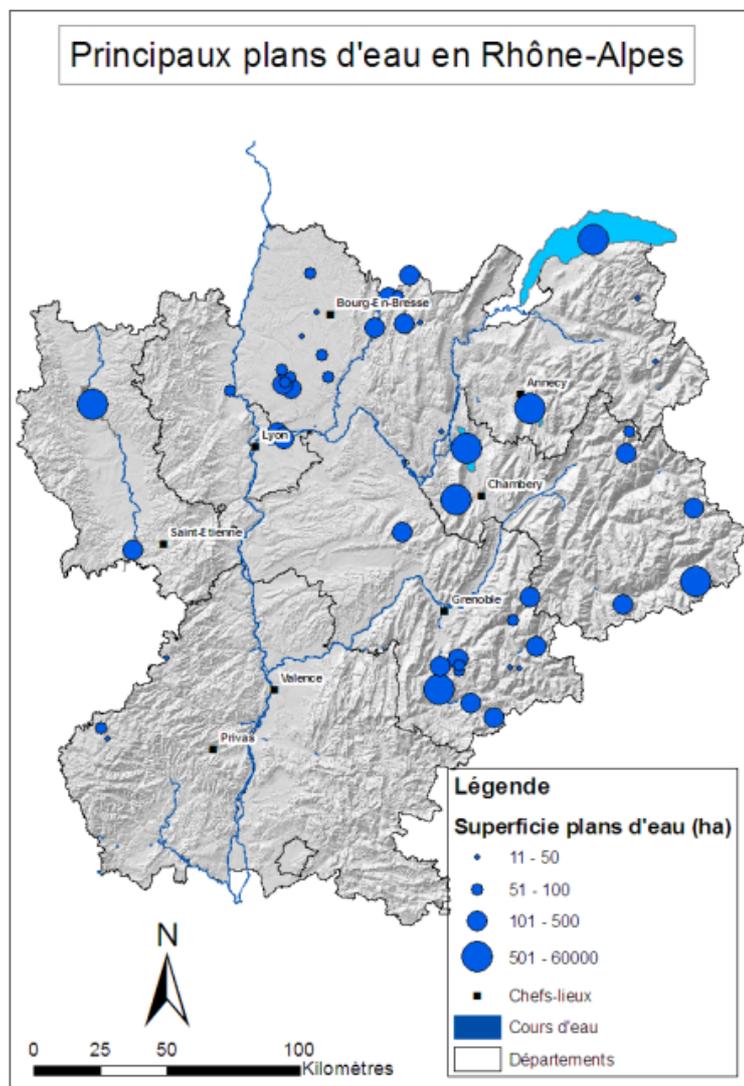


Illustration 70 : Carte des lacs rhônalpins de superficie supérieure à 10 ha

### **b) Données collectées**

Le site de l'agence de l'Eau Rhône - Méditerranée et Corse [D] met à disposition une partie des données recueillies lors du programme de surveillance établi dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE). Ces données sont mises à disposition sous la forme brute ou sous forme de rapport où les résultats sont commentés. Les liens présents sur leur site de l'agence ont permis de récupérer les données suivantes :

- les profils thermiques de 17 plans d'eau de plus de 80 ha,
- la morphologie (volume, surface, profondeur) de 28 lacs.

Les données de températures étant absentes des bases de l'AERMC pour certains grands lacs tels que le lac de Nantua, le lac d'Annecy, le lac du Bourget ainsi le lac Léman, des recherches bibliographiques ont donc été réalisées afin de déterminer les profils thermiques de ces derniers (voir références [1] [2] [3] [4] respectivement).

La problématique du transport de chaleur ou de froid (ou frais) étant importante, il est nécessaire que la consommation se fasse à proximité du lac. C'est pourquoi une attention particulière est portée sur les communes et zones urbanisées situées à proximité des lacs. La démarche suivie a conduit à l'identification à la fois de la distance entre le lac et les communes ainsi que le nombre d'habitants de ces dernières.

### ***c) Traitement des données***

La démarche suivie permet l'établissement du tableau suivant (Illustration 73), lequel ne comporte que les lacs pour lesquels toutes les données nécessaires ont pu être collectées (17). Il est possible d'identifier les lacs apparaissant comme les plus intéressants, sur la base de différents critères :

- variation de niveau : il est important que le marnage<sup>29</sup> soit le plus faible possible. En effet, si le niveau du lac diminue par exemple de 15 m, il est alors nécessaire d'augmenter la profondeur du pompage de 15 m pour garder les mêmes températures. Or il est difficile de mettre en place une installation de pompage disposant d'une profondeur de crépine variable facilement. Par conséquent le choix doit se porter sur les lacs dont le marnage sera suffisamment faible pour permettre un pompage à la même profondeur tout au long de l'année. Par ailleurs, plus le marnage est important, plus les eaux subissent un mélange lequel modifie la stratification thermique. Par conséquent la stabilité thermique recherchée apparaîtra uniquement à des profondeurs beaucoup plus importantes ou sera absente ;
- profondeur et épaisseur de la thermocline : la thermocline correspond à la "gamme" de profondeurs sur laquelle la température décroît le plus rapidement. Il s'agit de la zone de transition entre la surface chauffée par le soleil et le fond dont la température est constante et avoisine les 5°C. Plus cette transition sera marquée (abrupte), plus le dimensionnement de l'installation sera fiable car basée sur une température stable toute l'année. Plus la profondeur de la thermocline est faible, plus le besoin en énergie de pompage est faible ; l'installation sera plus rentable et le lac alors propice à la mise en place de « freecooling » directement.

A titre d'exemple, la figure suivante expose les profils thermiques pour deux cas Rhônalpins (Illustration 71). Le cas d'Aiguebelette apparaît favorable, car sa thermocline est très marquée entre 5 et 15 m de profondeur, au contraire de celui de la retenue de Bissorte où aucune thermocline n'est visible traduisant ainsi son instabilité thermique.

---

<sup>29</sup> Variation entre les niveaux de hautes et basses eaux

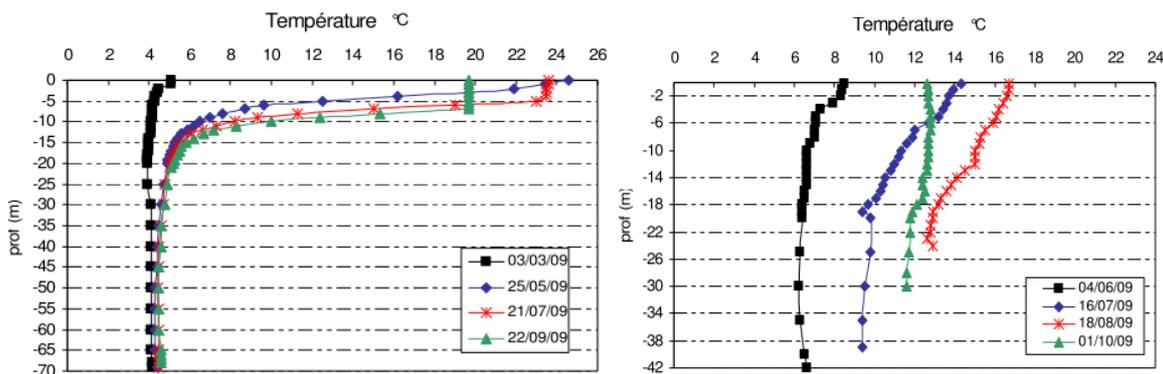


Illustration 71 : Profils thermiques du lac d'Aiguebelette et de la retenue de Bissorte

- proximité d'une commune : Si un lac possède toutes les conditions favorables à l'exploitation géothermique de ces eaux mais qu'aucun besoin n'est présent à proximité, la difficulté à transporter de la chaleur ou du froid remet alors en cause la rentabilité d'une telle installation. Par conséquent, seront conservés uniquement les lacs sur le pourtour desquels on peut identifier soit le bourg d'un village soit la partie urbanisée de la commune.

L'application préliminaire de ces critères permet d'identifier 6 lacs intéressants. Ceux-ci sont figurés sur la carte suivante Illustration 72 et les principaux résultats ayant permis cette sélection sont résumés dans le tableau suivant (Illustration 73). Il est évident que d'autres lacs pourraient apparaître intéressants, dès lors qu'en bordure de ceux-ci un centre d'affaire, complexe hôtelier ou autre devait être identifié.

#### d) Estimation Puissance

Dans l'objectif de s'assurer de l'utilité de l'exploitation de cette ressource, il paraît primordial d'en estimer le potentiel ou les limites d'exploitation. Quel que soit la technique d'exploitation (boucle ouverte ou fermée) il n'y a aucun prélèvement en eau qui ne soit pas restitué au lac. On peut donc estimer, que d'un point de vue hydraulique, il n'y a pas de limite à l'exploitation thermique des lacs.

La limite peut néanmoins provenir d'un risque de réchauffement ou du refroidissement du lac en cas d'exploitation intensive d'un seul mode de fonctionnement (chauffage ou climatisation). Cependant, les volumes des lacs sélectionnés sont tels que l'impact sur leur température ne semble pas être un enjeu majeur en cas de mise en place d'un nombre limité d'installations, d'autant plus dans le cas d'une exploitation combinant chauffage et rafraîchissement. A ce jour, aucune étude n'a mis en évidence un impact de ce type d'exploitation sur la température des masses d'eau. Toutefois le faible nombre d'installations, ainsi que leur mise en place récente (maximum 10 ans) ne permet peut-être pas un recul suffisant pour attester d'un impact ou non sur la température du lac.

En l'absence de document stipulant une limite du point de vue de la ressource (volume ou température), on peut donc considérer que la limite de l'exploitation des lacs est d'avantage contrainte par la « demande » des structures à proximité du plan d'eau. Par conséquent, on cherchera d'avantage à estimer le besoin en froid et en chaud des communes ou établissements situés en bord des lacs retenus précédemment.

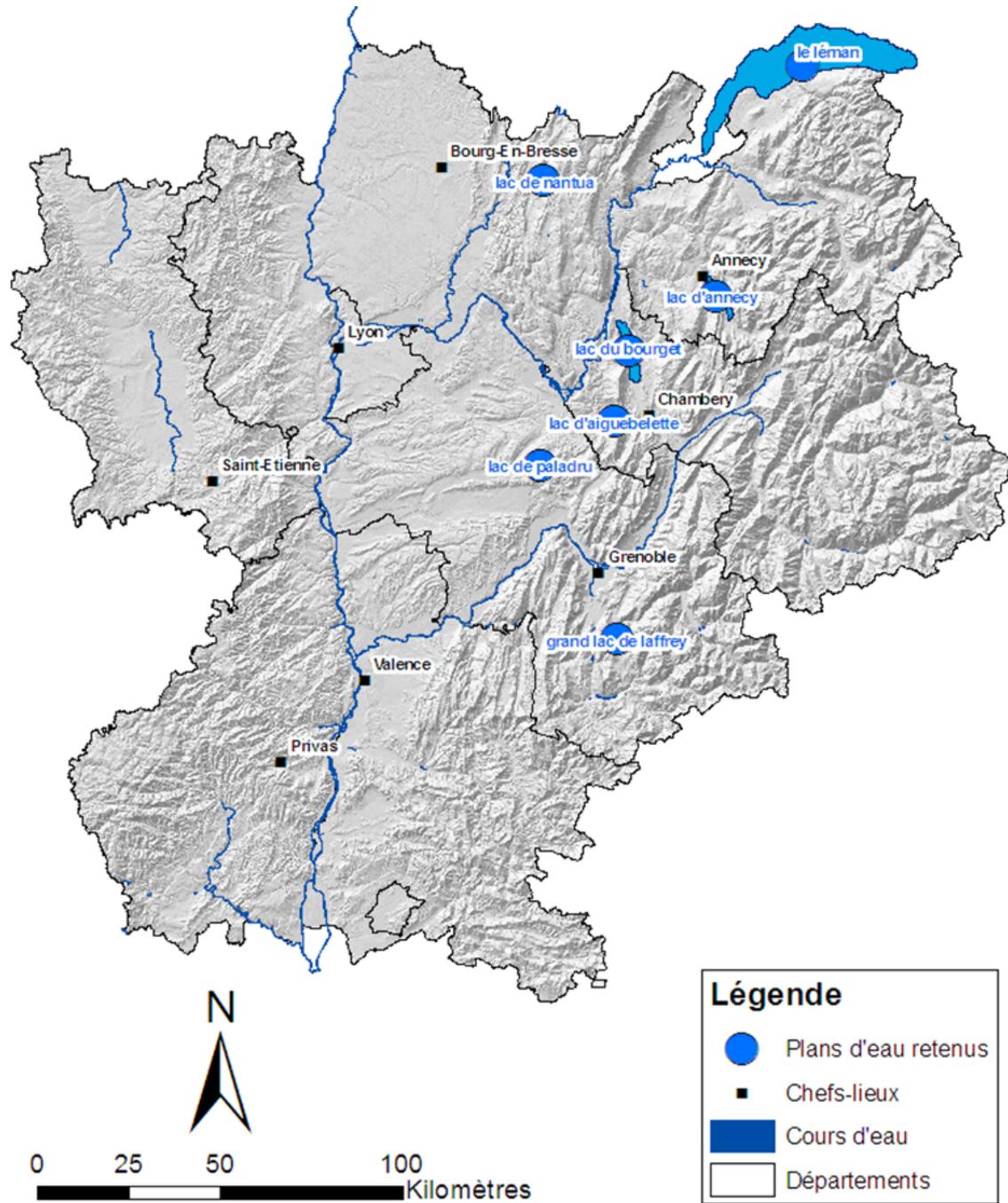


Illustration 72 : Carte des 6 lacs présélectionnés

Nom du lac	Dyr	Données morphologiques			Données hydrauliques			Données thermiques		Besoin à proximité		
		Superficie (ha)	Volume (m <sup>3</sup> )	Profondeurs (m) Max. moy	Origine du lac	Temps de séjour	Maréage	Profondeur caractéristique	Température hypothétique	Ville	distance	Habitants
Lac Lémman	74	58010 (dit 23480 en France) G lac : 40890° P lac : 8120°	89000°	G lac 309,7° P lac 76°	Naturelle (glacier)	11,4 ans°	1-2 m°	10-30°	6-8°	Thonon les bains Evian les bains	0 km	28980 7787
Lac du bourget	73	4462	3600	147	Naturelle (glacier)	9 ans	1 m	10-30	4,5-7	Aix les bains Le bourget du lac	0 km	25 721 3 948
Lac d'Annecy	74	2700	1134,5°	65° bombes : 78,7	Naturelle (glacier)	110°	0,3 m°	G lac : 5-20° P lac : 5-15°	G lac et P lac : 5-7°	Annecy, Veyrier du lac, Sévrier, Saint-Jorioz	0 km	50 800 2 138 3 905 5 638
Lac d'Alignelette	73	517	166	72	Naturelle	1095	1 m	5-15 très marquée	4-6	St-alban de montbel, Aliguelette le lac, Lépin le lac	0 km	446 224 347
Lac de Mouteynard	38	507	270	110	Barrage	55	40 m	10-20 (50-70)	11-18 (8-14)	Montmaynard	0,5 km	459
Lac de Paladru	38	382	97	35,9	Naturelle	85°	0,5-2 m	5-15	6-10 (12)	Avallan	3,5 km	1 752
Lac du Saurer	38	317	108	53	Barrage	39	40 m	Fabriqueux marquée	3-16	Paladru Amboi Corpa	0 km 0,2 km 0,5 km	1002 25 456
Lac de Chevill	73	247	235	140	Barrage	240	340 m	Gradier sur 0-20	7-12	Les boissés Tignes le lac	0 km 1 km	? 2232
Retenue de Grand-Maison	38	230	137	120	Barrage	480	>20m	3-25	3-10	rien à 20 km		
Noire-Daire-de-Cornières	38	162	33	30	Aval barrage	7	13 m	Isométrie plutôt au gradient	6-16	NDOC	0,5 km	463
Lac de Nanna	1	147	40	50°	Naturelle	60°	faible	5-15 m°	5-8°	Nanna	0	3840 (15000)
Lac de Grandjeu	69	145		3,7	Reservoir hydrolec		0-1m	brassage	3-23,5	Mayzieu	0 km	1709
Lac de Laffrey	38	115	28,2	39	Naturelle (glacier)	854	0,5-2m	10-20	6-8	Laffrey	0,5 km	360
Emay du bisieux	1	84		1,5				Absence	3-22			
Lac du Pescher	38	81		19	Naturelle (glacière)	420	1-1,5 m	3-12	6-11	Saint-macfoy	0,5 km	417
Lac de Pierrechalet	38	97		11	Naturelle (glacière)			absence	5-20	Pierre-Chalet	1 km	1234
Lac de Bissorte	73			43 (en 55)	Naturelle barrage	70	43 m	gradient sur 0-20	6-14	Bissorteta, La Praz	3 km	

Illustration 73 : Liste des lacs disposant des données complètes

### 4.4.3. Perspectives et recommandations

Il ressort de cette étude que l'exploitation des eaux de lacs à des fins géothermiques est surtout favorable pour une production de froid, la température de la ressource étant généralement faible. Toutefois, il reste possible de faire du chaud. De façon générale, compte tenu des faibles températures de la « source froide » (eaux du lac), les performances sont plus faibles pour des besoins élevés en températures au niveau de la « source chaude » (bâtiment à chauffer). Les systèmes avec des émetteurs « basse température » sont alors à privilégier. La mise en place de PAC performantes est également recommandé (projet Genève avec des PAC dites à « haut rendement », voir documents suisses [B]).

Les systèmes à boucle ouverte développés aujourd'hui concernent majoritairement de grosses installations nécessitant des frais importants lors de la construction mais dont la rentabilité est assurée par la pérennité de la ressource ainsi que la durée de vie des installations.

Les systèmes à boucle fermée sont relativement peu développés en France. Ces installations semblent surtout intéressantes pour alimenter des infrastructures de moyenne importance.

## 4.5. LES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES : LES TUNNELS

### 4.5.1. Etat des connaissances

#### *a) Principes et Etat de l'art*

Les tunnels et les galeries traversant des massifs rocheux drainent pour la plupart les eaux souterraines qu'ils rencontrent (Illustration 74). Ces eaux sont évacuées vers les portails des galeries par des canaux et sont ensuite, dans la plupart des cas, évacuées dans des cours d'eau. Suivant l'épaisseur et le volume de roches qui recouvrent le tunnel, la température des eaux interceptées peut atteindre 20 à 40° C, voire plus. Si les débits sont importants, cette ressource peut devenir intéressante pour des besoins en chaleur de consommateurs proches des sorties des tunnels.

En fonction de la répartition de la consommation de chaleur, les eaux récupérées peuvent être acheminées vers une ou plusieurs pompes à chaleur permettant d'atteindre les températures correspondant aux besoins (chauffage et/ou eau chaude sanitaire). L'usage direct des calories n'est généralement pas envisageable au vu des températures des eaux drainées.

Lors de réalisation de tunnel, l'objectif est néanmoins généralement de limiter les venues d'eau. La première protection des tunnels envers les venues d'eau consiste à rendre étanche l'intérieur de l'ouvrage. Pour cela, un voile de béton peu perméable ou des géomembranes étanches sont utilisés. Cependant, les venues d'eau importantes peuvent alors exercer une pression remettant en cause l'intégrité des ouvrages. C'est pourquoi, l'imperméabilité de l'ouvrage est alors combinée à un système de drainage.

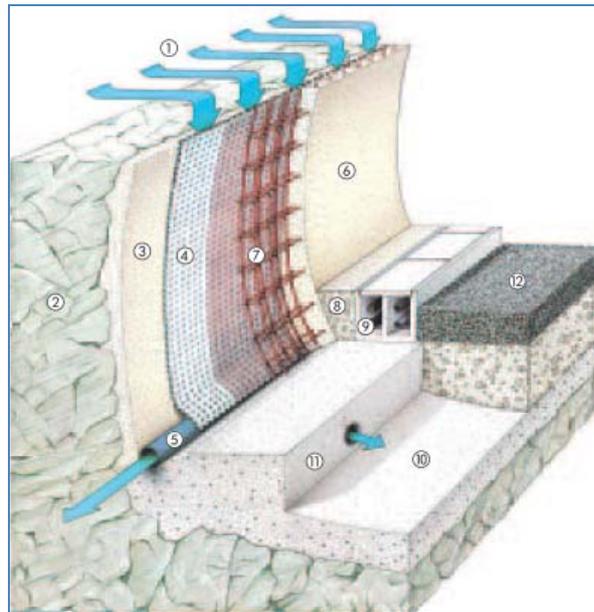


Illustration 74 : schéma type du drainage d'un tunnel [20]

Il existe deux types de systèmes de drainage de façon générale :

- Soit les eaux bloquées par la membrane étanche sont évacuées par un drain ;
- Soit la collecte des eaux est optimisée par la mise en place de drains dans le massif rocheux, perpendiculaires (radialement) à l'ouvrage, permettant ainsi de diminuer la pression exercée sur ce dernier.

### ***b) Expériences recensées***

En suisse, une étude réalisée en 2000 sur plus de 700 tunnels a révélé, après évaluation du potentiel, que 15 d'entre eux ont un potentiel géothermique intéressant. Sur ces 15 tunnels, aujourd'hui, 5 valorisent les eaux drainées et un (celui du Grand S<sup>t</sup>-Bernard) valorise l'air réchauffé pendant son trajet au sein de l'ouvrage, comme le montre le tableau ci-dessous (Illustration 75).

Tunnel	Type	Can-ton	Débit max. d'eau au portail (l/sec.)	Température de l'eau au portail (°C)	Utilisation de la géothermie	Production de chaleur (MWh/an)
Furka	ferroviaire	VS	90	16	177 logements, halle de sport	1700
Gothard	routier (A2)	TI	110	15	Chauffage et rafraîchissement du centre d'entretien autoroutier	860 (hiver) 1440 (été)
Hauenstein	ferroviaire	SO	42	19	150 appartements	2100
Mappo-Moretina	routier	TI	16	16	Centre sportif et récréatif	180
Ricken	ferroviaire	SG	12	12	Salle polyvalente de Kaltbrunn	249
Grand-St-Bernard	routier	VS	--	8 (air)	Bâtiment administratif du centre d'entretien	167
<b>Projets en cours de construction ou d'évaluation aux portails des tunnels de base alpins</b>						
Loetschberg	ferroviaire	BE VS	Nord: 150-200 Sud: 80-200	18-22 15-17	Serre tropicale, élevage d'esturgeons, réseau de chaleur à Frutigen (en construction)	Puissance prévue des installations: 3-5 MWth
Gothard	ferroviaire	UR TI	Nord: 60-110 Sud: 80-440	19-25 30-35	Serres, pisciculture, centre thermal, réseau de chaleur (à l'étude)	--

Illustration 75 : Utilisation de la géothermie dans les tunnels Suisses [21]

Deux projets, concernant les tunnels Loetschberg et Gothard (suisse) sont également en cours, reflétant ainsi la rentabilité de ce genre d'installations qui peuvent produire plus de 5000 MWh/an. Compte tenu de l'importance de ce potentiel, il est logique de s'interroger sur son éventuelle application en Rhône-Alpes.

#### 4.5.2. Etude du contexte rhônalpin

La région Rhône-Alpes est située sur le massif montagneux des Alpes tout en étant à proximité du Massif Central. Il s'agit donc d'une zone au relief particulièrement marqué. Les nécessités de développement économique du territoire ont donné lieu à un fort développement des tunnels routiers et ferroviaires.

##### a) Etude de recensement

L'inventaire des tunnels est déjà réalisé au niveau national par le CETU (Centre d'Etude des Tunnels) pour les tunnels routiers et par ITFF (Inventaire des Tunnels Ferroviaires Français) pour les tunnels ferroviaires. Si ces ouvrages sont recensés, il n'existe cependant pas de jeu de données exploitables sous SIG. C'est pourquoi, la première étape de la démarche suivie a consisté à référencer les ouvrages les plus intéressants. Considérant que la longueur des ouvrages était un critère intéressant reflétant également logiquement l'épaisseur de terrains traversée, un nombre limité de tunnels a été sélectionné parmi ceux les plus longs. Compte tenu de l'importance du travail de collecte à réaliser, le travail s'est limité à 56 tunnels routiers de plus de 300 m et à 88 tunnels ferroviaires de plus de 500 m. Ce recensement permet d'établir la carte suivante (Illustration 76).

Afin d'estimer le potentiel de ces ouvrages, il est primordial d'obtenir des informations sur les venues d'eau avec notamment leur débit et leur température. La chaleur ne pouvant être transportée sur de longues distances, une attention particulière sera portée sur les tunnels ayant un besoin à proximité. Si les locaux d'entretien et d'exploitation des tunnels sont souvent situés à l'un des portails, leurs besoins sont généralement faibles et ne justifient pas la mise en place de récupération de chaleur. C'est pourquoi on considérera

plutôt les tunnels situés à proximité de communes traduisant des besoins plus importants et pouvant justifier la mise en place d'opérations de géothermie.

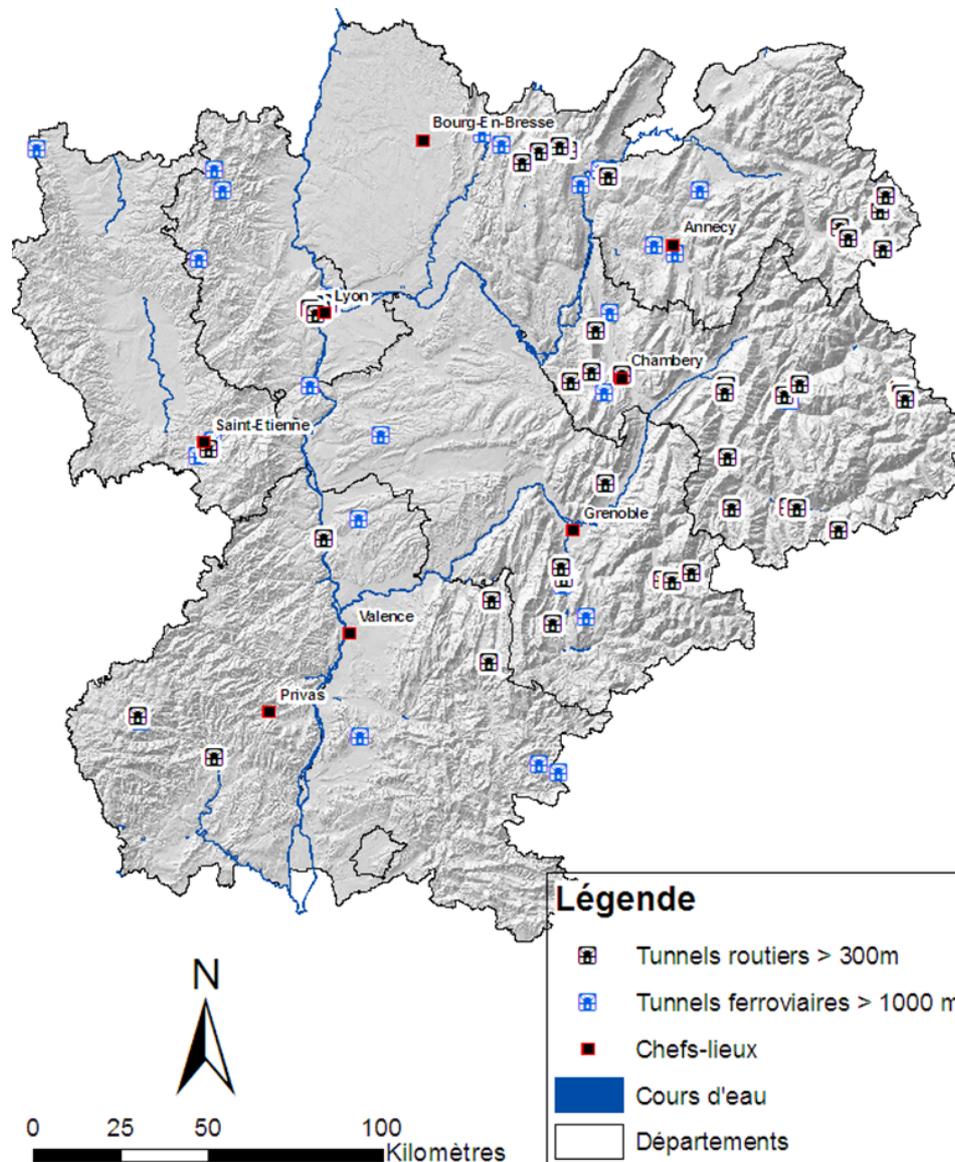


Illustration 76 : Localisation des tunnels recensés

Pour estimer l'énergie « brute » qu'il est possible de soutirer à l'eau drainée par un tunnel avec Pompe à Chaleur (considérant un COP standard), le calcul est basé sur la formule suivante [23]. La puissance se calcule avec la formule suivante<sup>30</sup> :

$$P \text{ (kW)} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times \Delta t \times 1.66$$

<sup>30</sup> Le coefficient de 1,66 intègre un COP de 3.3

Dans la formule, la valeur de  $\Delta t$  est variable en fonction de la température du rejet tel que présenté ci-dessous *Illustration 77*.

Solution géothermique	Température de la nappe	dt	Equation utilisée
PAC	< 20°C	6°C	$P(kw) = Q(m^3/h) \times dt \times 1.66$
	< 30°C	8°C	
	< 40°C	10°C	
	< 50°C	12°C	
	< 65°C	15°C	
Echangeur	≥ 65°C	20°C	$P(kw) = Q(m^3/h) \times dt \times 1.16$

*Illustration 77 : Gammes de différences de température applicables (source : nc)*

Pour les obtenir les données nécessaires, les rapports du CETU ont été étudiés afin de récupérer les données hydrogéologiques relevées lors de la réalisation du tunnel.

#### **b) Données collectées pour les ouvrages routiers**

Après avoir étudié la majorité des rapports présents au CETU, il s'avère que le peu de données hydrogéologiques présentes ne sont pas pertinentes car elles correspondent aux estimations des hydrogéologues avant la réalisation des travaux.

Afin d'obtenir des informations actualisées et plus pertinentes, les exploitants des ouvrages routiers ont été contactés. En effet, leur personnel intervenant directement sur les ouvrages, ils sont susceptibles de disposer d'une connaissance sur l'importance des venues d'eau.

Dans un premier temps, il a été nécessaire de référencer l'intégralité des exploitants ainsi que les ouvrages correspondants. Cela a été réalisé en utilisant la base de données gérée par l'association SARATLAS [G] ainsi que d'autres données disponibles dans les archives du CETU. Au total, 26 personnes travaillant au sein des services tunnels des autoroutes ou dans les services voiries responsables des routes nationales (Directions Régionales) et départementales (Conseils Généraux) ont été contactées.

Si les personnes ainsi contactées travaillent régulièrement sur les ouvrages concernés par l'étude, elles ont cependant rarement pu fournir des données précises. En effet, très peu de suivis sont réalisés sur les venues d'eau ou sorties dans les ouvrages. Sauf pour les tunnels du Chat, de Fréjus et du Mont-Blanc où un débit est disponible, aucune donnée de température n'a pu être fournie. Les informations sur les débits consistent ainsi en une simple approximation pouvant se résumer aux catégories suivantes :

- Absence d'eau,
- Traces d'infiltration / suintement,
- Venues d'eau importantes (en réponse aux précipitations ou à la fonte des neiges),

- Venues d'eau pérennes correspondant généralement à la traversée de sources ou d'aquifères.

Seule la dernière catégorie traduit des venues d'eau potentiellement exploitables d'un point de vue thermique. Seuls les ouvrages avec cette mention ont donc été présélectionnés Illustration 78.

Il conviendrait, pour évaluer le potentiel géothermique, de réaliser un suivi périodique des venues d'eau et des températures associées.

Nom de l'ouvrage	Dpt	agglomération proche	route	tube 1		tube 2		Exploitants
				longueur (m)	date ouverture	longueur (m)	date ouverture	
SAINT GERMAIN DE JOUX	1	BELLEGARDE	A 40	1196	1989	1161	1989	APRR - St Martin
CHAMOISE	1	NANTUA	A 40	3270	1986	3270	1995	APRR - St Martin
COL DU ROUSSET	26	SAINT AGNAN EN VERCORS	RD 518	712	1979			CG drome
SINARD	38	SINARD - MONESTIER-DE-CLERMONT	A 51	964	2007			AREA - Crozet
GRAND CHAMBON	38	MIZOEN	RD 1091	752	1935			CG Isere
EPINE	73	NOVALAISE	A 43	3182	1974	3157	1991	AREA - Nances
CHAT	73	BOURDEAU	RD 1504	1488	1932			CG Savoie
SIAIX	73	MOUTIERS	RN 90	1619	1990			DIRCE chambéry
PONSERAND	73	MOUTIERS	RN 90	1371	1989			DIRCE chambéry
HURTIERES	73	AIGUEBELLE	A 43	1198	1997	1183	1997	SFTRF
AIGUEBELLE	73	AIGUEBELLE	A 43	926	1997	905	1997	SFTRF
FREJUS	73	MODANE	A 43	6580	1980			SFTRF
ORELLE	73	ORELLE	A 43	3684	2000			SFTRF
MONT BLANC	74	CHAMONIX	RN 205	7640	1965			ATMB

Illustration 78 : Liste des 14 tunnels routiers présélectionnés

### c) Données collectées pour les ouvrages ferroviaires

Pour les tunnels ferroviaires, les contacts établis avec la SNCF (Société Nationale des Chemins de Fer Français) et RFF (Réseau Ferré de France), ont permis de mettre en évidence 10 tunnels avec des venues d'eau susceptibles d'être exploitées (Illustration 79). Afin d'obtenir des informations plus précises sur ces venues d'eau, les archives correspondant à ces ouvrages vont être consultées aux Pôles Régionaux d'Ingénierie respectivement situés à Chambéry et Lyon.

Nom	Dpt	Longueur	Ligne	Gares encadrantes	Point Kilom.
<b>SAUVAGES</b>	69	2943	Le Coteau à St Germain au Mont d'Or	Amplepuis et Tarare	454,208
<b>CALUIRE</b>	69	2403	Collonges Fontaine à Lyon Guillotière	Collonges et Lyon Guillotière	501,432
<b>FRANCE*</b>	42/69	292	Moret les sablons à Lyon Perrache	Treves-Burel et St Germain en Giers	529,358
<b>TERRENOIRE</b>	42	1298	Moret les sablons à Lyon Perrache	St Etienne et St Chamond	504,199
<b>ECHARMEAUX</b>	69	4154	Paray le monial à Givors Canal	Belleroche et Poule	45,935
<b>MORNAY<sup>2</sup></b>	01	2587	Bourg en Bresse à Bellegarde	Villereversure et Nurieux	29,914
<b>COL DES MONTETS<sup>°</sup></b>	74	1882	St Gervais les bains à Vallorcine	Montrroc et Le Buet	29,649
<b>L'EPINE<sup>°</sup></b>	73	3075	St Andre le Gaz à Chambéry	Aiguebelette et Chambéry	92,749
<b>CRET D'EAU</b>	01	4005	Lyon Perrache à Geneve	Bellegarde et Longera	135,291
<b>ORELLE*</b>	73	65	Culoz à Modane	Saint Michel Valloire et Modane	226,122

Légende : \* = galerie de drainage, ° = captages d'eau, <sup>2</sup> = karst actif avec étude de débit

Illustration 79 : liste des 10 ouvrages ferroviaires présélectionnés

#### **d) Besoins à proximité des tunnels**

De la même façon que pour les forages pétroliers, les communes situées à proximité des tunnels ont été inventoriées. La distance les séparant des portails des tunnels ont été mesurées via un logiciel SIG et le nombre d'habitants établis par l'INSEE [F].

Les résultats, considérant une distance de moins de 5 km entre le tunnel et le bourg ou la ville la plus proche, sont présentés dans les tableaux en annexe (Illustration 106 et Illustration 107).

#### **e) Cas particulier du tunnel ferroviaire du Fréjus**

Il s'agit de l'un des principaux tunnels européens. La partie commune franco-italienne du tunnel aura une longueur d'environ 80 km. L'ouvrage majeur est constitué par un «tunnel de base» d'une longueur d'environ 57 km. La longueur importante de cet ouvrage, couplée aux épaisseurs de roches traversées laissent supposer des venues d'eau importantes, le drainage de celles-ci devant se faire vers la France. Les possibilités de récupération des calories est à l'étude par la société Lyon Turin Ferroviaire<sup>31</sup>.

<sup>31</sup> <http://www.ltf-sas.com> – Certaines estimations ont déjà été réalisées ou sont en cours dans le cadre d'études commanditées par la société LTF. N'ayant pas obtenu à ce jour les données, elles ne peuvent être présentées.

### 4.5.3. Perspectives et recommandations

Lors de cette étude, il fut très délicat de quantifier cette ressource. En effet, les venues d'eau dans les tunnels sont peu ou pas du tout suivies. Généralement l'eau correctement drainée n'est pas surveillée au contraire des venues d'eau présentes à l'intérieur de l'ouvrage. Sans qu'il soit possible de quantifier la ressource, les tunnels où les venues d'eau sont les plus abondantes ont pu être sélectionnés (cf. Illustration 80).

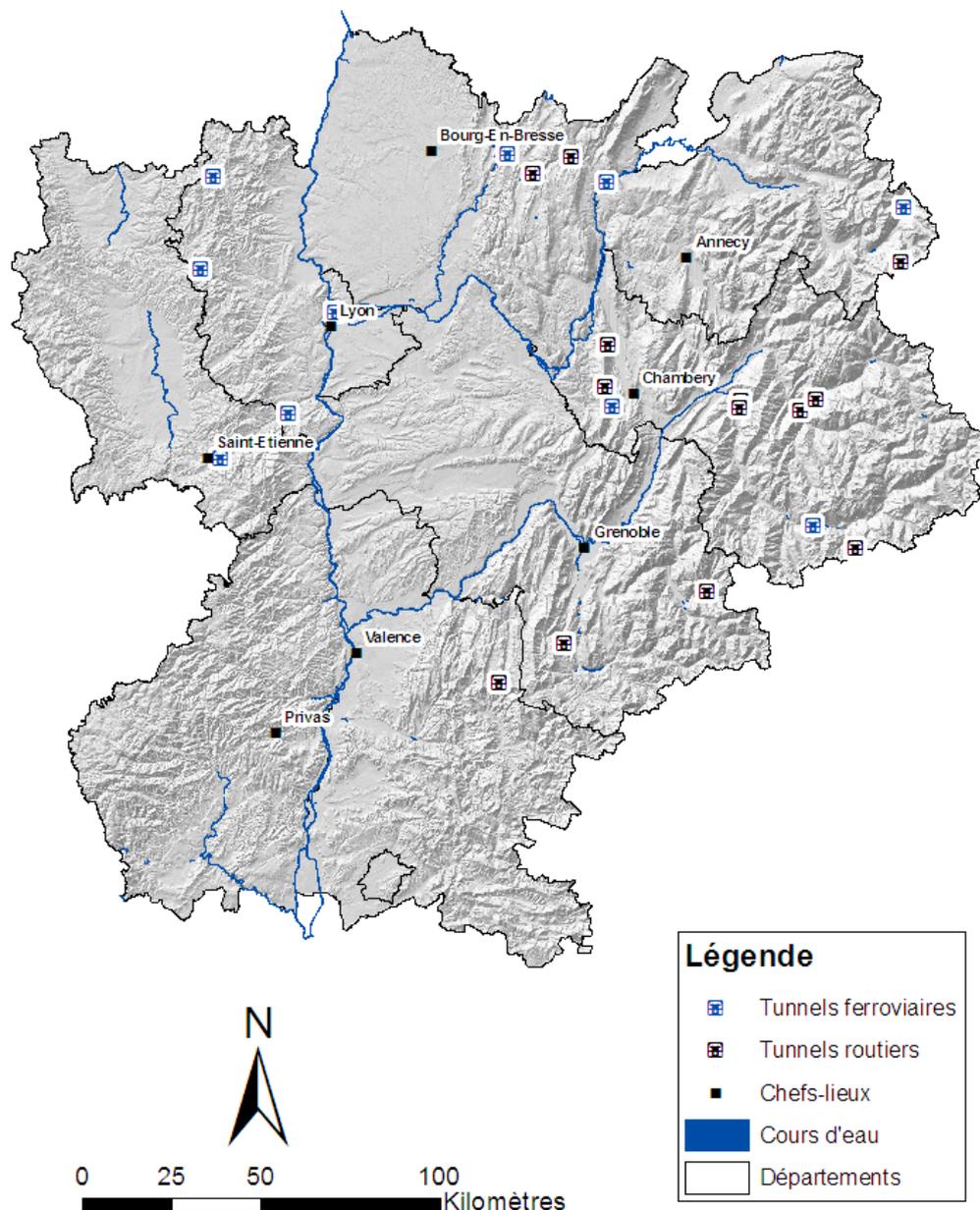


Illustration 80 : Localisation des 25 tunnels sélectionnés

Toutefois, pour favoriser l'exploitation de cette ressource, il est nécessaire d'affiner ces connaissances avec des campagnes de suivi annuel afin de connaître l'importance des venues d'eau sur un cycle hydrologique.

Les besoins aux alentours des portails des tunnels ont été assimilés aux communes présentes à des distances inférieures à 5 km. Il convient bien de noter que c'est l'importance de la ressource et son adéquation avec les éventuels besoins qui définiront l'étendue sur laquelle il est possible de distribuer, de façon rentable, la chaleur récupérée.

Les expériences recensées en Suisse révèlent des productions moyennes à importantes (de 200 à 2000 MWh/an), permettant d'alimenter des structures allant du simple bâtiment administratif jusqu'à plus de 150 logements. L'importance de ces projets est donc modulable en fonction des ressources et des besoins disponibles. D'où l'intérêt de connaître le plus finement possible le potentiel des ouvrages sélectionnés, afin de lancer leur exploitation dès qu'un projet correspond à leur capacité.

## **4.6. LES EAUX THERMO-MINERALES**

### **4.6.1. Etat des connaissances**

#### ***a) L'Association française des exploitants d'établissements thermaux***

Le récent congrès (novembre 2011) de l'Association Française des Techniques Hydrothermales regroupant les Exploitants d'Etablissements Thermaux (AFTH<sup>32</sup>) avait pour thème spécifique la question énergétique avec l'« optimisation énergétique des eaux minérales ». Le constat dressé pointe plusieurs particularités du contexte des eaux minérales [45] :

- Sur certains sites, la valorisation énergétique des eaux captées, organisée pour optimiser le chauffage de logement ou l'agriculture, existe depuis les XIX et XXe siècles ;
- Depuis une dizaine d'années, le poste des dépenses de fourniture en énergie est celui ayant le plus augmenté (129%). Les besoins en énergie, liés notamment dans différents cas au réchauffage de l'eau thermale constitue le 2<sup>ème</sup> poste de charges.
- De nombreuses sources d'économie d'énergie sont réalisables, dont la récupération de chaleur ;

Il est ainsi important de souligner la prise de conscience déjà ancienne des exploitants des thermes sur les réductions des facteurs énergétiques et sur l'intérêt d'un recours aux options géothermiques. On peut évoquer :

- Hors région Rhône Alpes, l'institut du thermalisme a présenté les données relatives aux établissements thermaux sur Dax et les environs avec des comparaisons mettent en avant l'intérêt de la géothermie. En Saône et Loire, à Bourbon Lancy, le besoin en

---

<sup>32</sup> [www.afth.asso.fr/](http://www.afth.asso.fr/)

une eau thermale refroidie est réalisé, après réhabilitation, par récupération de calories couvrant 89% besoins énergétiques d'un centre de remise en forme.

- En région Rhône Alpes, l'exemple des thermes de Saint Gervais illustre la récupération mise en place d'une cuve récupérant une partie non utilisée des eaux thermales et permettant, par une pompe à chaleur, de couvrir une partie des besoins de chauffage de l'établissement. L'exemple des thermes de Divonne illustre les possibilités d'une récupération des calories sur les eaux réchauffées et avant rejets, avec une couverture estimée à plus 40% des besoins énergétiques de chauffage des eaux en amont.

L'examen du potentiel énergétique des eaux minérales apparaît réel, mais ne peut être examiné autrement qu'au cas par cas. Il comporte, aux plans économiques, techniques et écologiques, des avantages (subventions et fiscalité, frais de fonctionnement faibles, techniques simples, absence d'impact sanitaire, moindre impact environnemental), et inconvénients (investissements, saisonnalité, équilibre des besoins, pérennité, écologie bactérienne des eaux).

### ***b) Principes et Etat de l'art synthétique***

Les établissements thermaux exploitent pour la plupart des sources susceptibles de faire l'objet d'une valorisation thermique, que ce soit pour les besoins propres de l'établissement ou pour d'autres utilisateurs potentiels aux alentours.

Si on doit étudier les pistes de valorisation des eaux captées, il faut certes s'intéresser aux eaux captées, mais également envisager une valorisation des eaux rejetées ou non utilisées. En effet, la majorité des eaux rejetées par les établissements après usage sont encore chaudes (20°C voire 30°C et plus) et les débits peuvent atteindre plus de 50 m<sup>3</sup>/h. Sachant que les établissements thermaux exploitent principalement des eaux froides aux alentours de 15°C, ils consomment de l'énergie pour la chauffer aux températures adéquates aux bains ; ceux exploitant des eaux chaudes sont pour leur part amenés à refroidir ces eaux pour l'utilisation qui en est faite (cas de La Léchère). La température des eaux rejetées apparaît alors suffisamment élevée pour justifier d'un système de (pré)chauffage des eaux froides provenant de sources. De plus, les établissements thermaux sont généralement équipés de chambres ou d'hôtels ; il y a alors un besoin de chauffage à proximité ce qui rend d'autant plus intéressante une valorisation des rejets de ces établissements.

Certains établissements sont déjà équipés de pompes à chaleur ou d'échangeurs thermiques. Les technologies employées sont identiques à celles mises en œuvre pour la géothermie sur aquifères ou sur sondes. En fonction de la température des sources on peut considérer deux types de valorisation, usage direct de la chaleur ou nécessité d'utilisation de PAC.

- Lorsque les sources ont des températures « chaudes », soit supérieures à 50°C, il est possible d'utiliser des échangeurs thermiques afin de chauffer des locaux ainsi que de l'eau chaude sanitaire tout en assurant le fonctionnement des thermes aux températures adéquates ;
- Lorsque les sources exploitées sont froides, inférieures à 30°C, il est possible d'utiliser une pompe à chaleur pour récupérer des calories sur le rejet de l'établissement afin de

chauffer les eaux en entrée des thermes. En fonction du rendement de l'installation, il est possible de fournir également de l'eau chaude sanitaire ainsi que d'assurer le chauffage des locaux.

### ***c) Expériences recensées***

Le travail de recensement des établissements mettant en œuvre des installations géothermiques permet de citer plusieurs exemples intéressants :

- L'établissement thermal de Lavey-les-Bains en Suisse exploite une source dont la température avoisine les 63°C. Cette température élevée permet, outre les besoins strictement thermaux, de combler la quasi-totalité des besoins en chaleur de l'établissement (chauffage des bassins, Eau Chaude Sanitaire, chauffage des locaux et ventilation CVS ...). L'appoint est réalisé par un chauffage au mazout qui représente 5,5% des besoins globaux de l'établissement (100 kW sur 1829 kW) ;
- L'établissement de La Léchère en Savoie valorise une partie de ces eaux depuis 2005. Un projet, actuellement en cours [22], devrait augmenter la quantité de chaleur récupérée avec la mise en place de plusieurs échangeurs à plaques ainsi que des pompes à chaleur. La particularité de ce projet est de s'être déroulée en deux phases permettant ainsi d'échelonner l'investissement financier.

## **4.6.2. Etude du contexte rhônalpin**

### ***a) Données disponibles***

La carte suivante (Illustration 81) présente sur la région les sites dits d'« eau minérale » ; il s'agit soit établissements thermaux, soit d'installations exploitant des ressources en eaux minérales (ce dernier cas n'étant pas concerné par l'étude).

L'AFTH met également en ligne certaines fiches descriptives sur les opérations réalisées dans certains établissements thermaux. Par exemple, la fiche sur la récupération d'énergie aux thermes de Saint Gervais [33] permet d'avoir quelques éléments techniques de synthèse sur les cuves de stockage énergétique mise en place (37°C), et leur couplage à une pompe à chaleur alimentant le système de chauffage par émetteurs haute température (65°C).

Pour la région Rhône Alpes, le rapport du BRGM RP-52587-FR [32] « Inventaire du potentiel géothermique de la Limagne (COPGEN) – Synthèse bibliographique de la géochimie des eaux », outre de synthétiser les connaissances géochimiques disponibles, propose des éléments sur les sites les plus favorables. La compilation des températures estimées de circulations des eaux thermales permet d'identifier les secteurs les plus favorables. La zone de Vals les bains est la seule étudiée en région Rhône Alpes, compte tenu des températures estimées (170-200°C), cette zone serait propice à la géothermie.



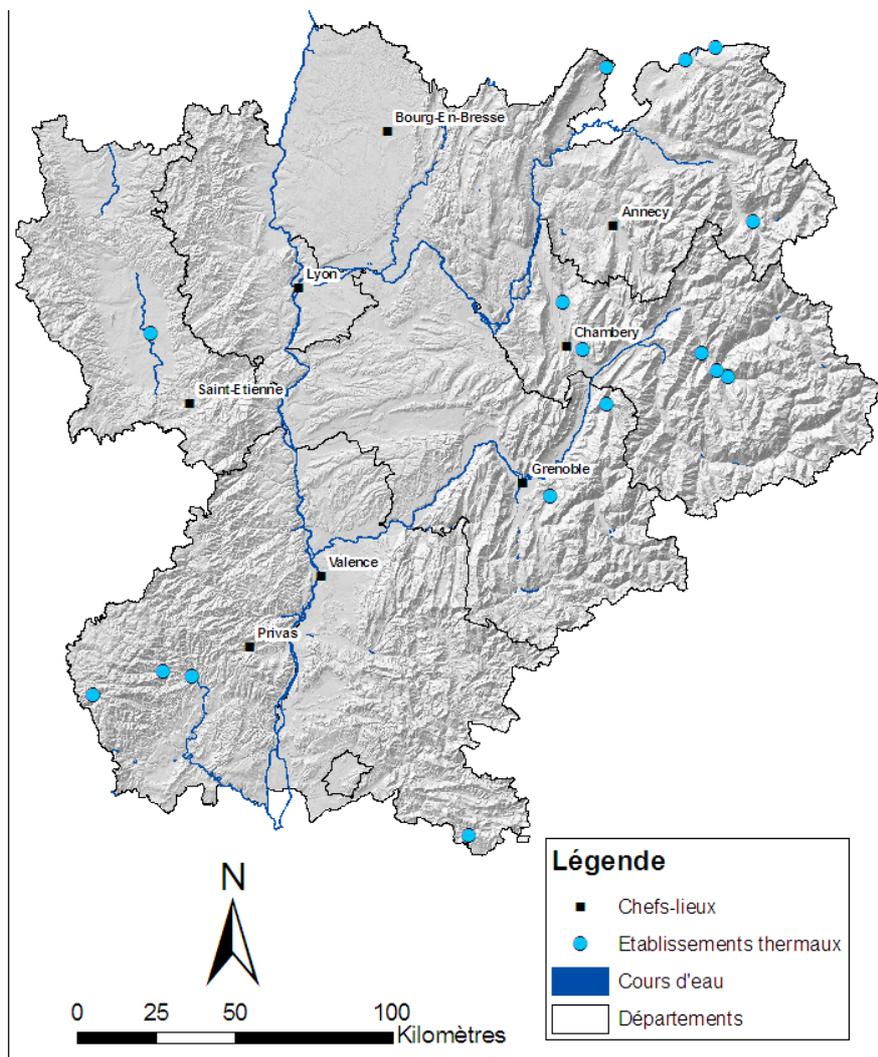


Illustration 82 : Localisation des établissements thermaux recensés et étudiés

### **c) Données collectées**

Pour obtenir les valeurs des rejets des établissements thermaux, tous les exploitants ont été contactés (soit 14 contacts, une société –Valvital– gérant 4 établissements). Un questionnaire a été préparé au préalable afin d'harmoniser les informations obtenues pour chaque établissement. Les entretiens téléphoniques ont porté sur plusieurs points :

- rejet de l'établissement : débits et températures (données nécessaires à l'estimation de la puissance récupérable en sortie),
- systèmes de récupération de chaleur éventuellement mis en place,
- besoins en chaleur situés au sein même de l'établissement ou à proximité (hôtel, ...).

Pour estimer l'énergie qu'il est possible de soutirer de l'eau rejetée par les établissements thermaux, il est possible d'utiliser la même formule que pour les tunnels, considérant une PAC de COP standard :

$$P \text{ (kW)} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times \Delta t \times 1.66$$

A ce stade, les données des établissements de Valvital et de Challes-les-Eaux restent incomplètes. Les résultats disponibles sont résumés dans le tableau ci-dessous (Illustration 83), ceux en rouge étant non validées (dans l'attente d'informations complémentaires).

Dpt	Commune	débit rejet	température	Potentiel thermique kw	E (MWh/an)	Valorisation rejet
74	Thonon-Les-Bains		30 - 40	448	1963	en projet
7	Vals-Les-Bains	70 - 400 m3/sem	37°C	7 - 40	30 - 175	non
42	Montrond-Les-Bains		30-40	112	491	Echangeur thermique
26	Montbrun-Les-Bains			66	291	Echangeur thermique
73	Aix-Les-Bains_Chevalley			1594	6980	Echangeur thermique
1	Divonne-Les-Bains			1195	5235	en projet
7	saint-Laurent-les-bains			100	436	Echangeur thermique
73	Saint-Gervais	146m3/jour		30 - 35	80	354
73	Salins-Les-Thermes	60m3/h	34°C	996	4362	Echangeur thermique
73	Aix-Les-Bains_Marlioz	faible	environ 30°C	30	131	non
73	Brides-les-bains	25m3/h	32,7°C	415	1818	PAC
38	Uriage-Les-Bains	Non fourni	30°C	100	436	non
7	Neyrac-Les-Bains	140 - 230 m3/j	28	80 - 130	438	PAC
74	Evian-Les-Bains	4m3/h	25	50	219	non
73	Challes-Les-Eaux		30 - 40	3	12	non renseigné
38	Allevard-Les-Bains	80-100 m3/j	37-40°C	55 - 70	240 - 300	non
73	La Léchère	125 m3/h	27°C	1660	7271	Echangeur thermique

Illustration 83 : caractéristiques des établissements thermaux étudiés<sup>33</sup>

### c) Les sources thermales non exploitées

Une recherche est réalisée sur les deux sources chaudes non exploitées par les établissements, il s'agit des sources de l'Echaillon à l'Hermillon (73) et Massiagio à Salins-les-thermes (73).

#### • Source Massiagio :

Il s'agit d'une source située à la sortie sud de Salins-les-thermes (Illustration 84), en amont de la confluence du Doron de Bozel et du Doron de Belleville, en rive droite du Doron de Bozel (voir figure ci-après). Elle apparaît sous la forme d'une petite mare dont le trop plein est évacué dans le Doron [24]. La source étant sous la forme d'une mare, les écoulements se font par surverse pendant la période où les précipitations sont les plus intenses c'est-à-dire de Février à Septembre. Un test de pompage a été réalisé le 28 Avril

<sup>33</sup> Pour les établissements dont les données ne sont pas validées : les débits se fondent sur les rapports BRGM d'état sur la ressource de chaque établissement; les gammes de températures sont celles habituellement rencontrées.

1988 pendant 4h à 37 m<sup>3</sup>/h avec un rabattement stabilisé à 4 cm. Pendant ce pompage, la température s'est stabilisée à 24 °C et la conductivité à 5540 mS/cm. L'étude conclut en stipulant que l'influence du pompage à Massiagio sur les sources exploitées par l'établissement est limitée de par la distance entre les points de captage [26].

En considérant un débit de 37 m<sup>3</sup>/h à une température de 24 °C, il serait alors possible de soutirer une puissance thermique de 490 kW, permettant ainsi la production annuelle de chaleur de 2150 MWh. De plus la source présente en surface a une variation annuelle de hauteur d'eau d'environ 1 m ainsi qu'un rabattement lié au pompage relativement faible. Par conséquent la mise en place d'une station de pompage peut se faire à un coût limité.

- **Source de l'Echaillon :**

Cette source se situe en Maurienne, sur la rive droite de l'Arc (Illustration 85). Aujourd'hui inexploitée, elle a permis le fonctionnement de l'établissement thermal "des bains de l'Echaillon" qui captait la source au contact du massif du Chatelard et des terrains sédimentaires de la Zone Dauphinoise [24].

Une étude réalisée en 1968 [25] a déterminé un débit allant de 85 à 250 l/mn (soit 5 à 15 m<sup>3</sup>/h) pour un rabattement de 0,34 à 1,38 m. Une étude complémentaire réalisée en 1979 montre une température de 40 °C. Si on considère que la source présente encore ces caractéristiques, il serait alors possible de soutirer une puissance thermique entre 80 et 250 kW, permettant ainsi la production annuelle de chaleur de 350 à 1095 MWh.



Illustration 84 : Position de la source de Massiagio

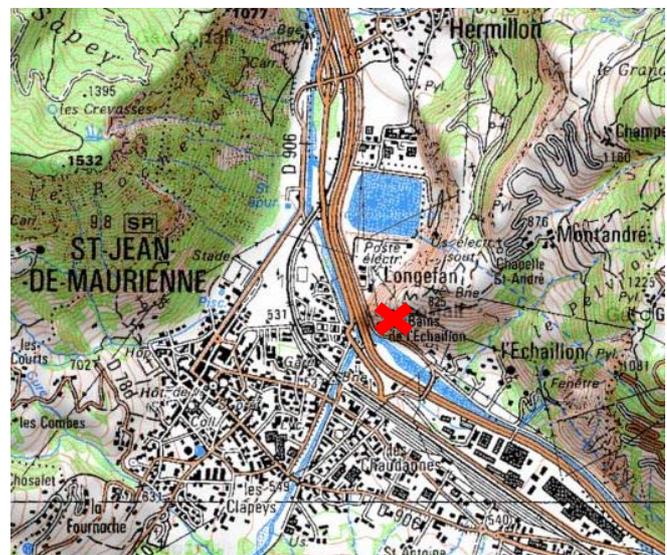


Illustration 85 : Position de la source l'Echaillon

Source	BSS	Débit (m <sup>3</sup> /h)	Température	Puissance (kW)	Energie (MWh/a)
Echaillon	07743X0001	5 à 15	40°C	80 - 250	350 - 1095
Massiago	07511X0024	37	24°C	490	2150

Illustration 86 : Synthèse des sources supérieures à 30°C et non exploitées

### 4.6.3. Bilan

#### a) Bilan pour les Etablissements thermaux

Le travail de recensement et de collecte de données réalisé permet d'établir le bilan provisoire suivant :

- Si on considère la nature des systèmes de récupération thermique déjà mis en place par les établissements thermaux, on observe : 30% des établissements ne dispose d'aucun système de valorisation géothermique, 30% dispose d'au moins un échangeur thermique, (une valorisation complémentaire peut être étudiée), et 30% dispose de PAC ou étudient la possibilité de valoriser thermiquement leurs rejets Illustration 87 ;

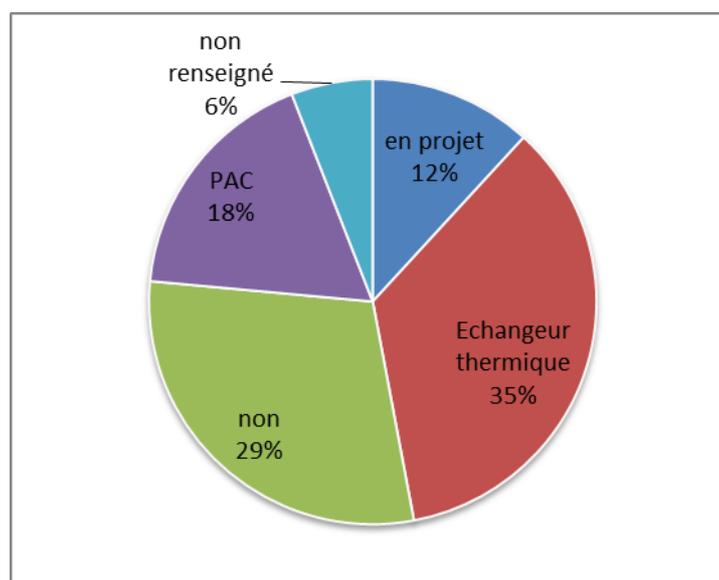


Illustration 87 : Type de valorisation des rejets en % du nombre d'établissements

Si on évalue la puissance totale qui serait récupérable à partir des rejets de ces établissements (voir Illustration 88) laquelle n'est à ce jour pas ou peu valorisée, on constate les éléments suivants :

- la puissance totale estimée pour l'ensemble des établissements est égale à 10 MW ;
- une large partie (71 %) de cette puissance concerne les établissements qui disposent déjà de systèmes (échangeurs thermiques ou PAC) – l'énergie récupérable (à hauteur de 71 %) pourrait donc venir en complément de celle déjà récupérée par les systèmes existants ; elle le serait d'autant plus aisément, que les infrastructures de chauffage ou de climatisation sont déjà en place ;
- 17 % de cette puissance serait récupérable dans les établissements ayant des projets de valorisation ;
- En soutenant soit l'optimisation soit les projets en cours de valorisation thermiques, on cible environ 88 % du potentiel valorisable.

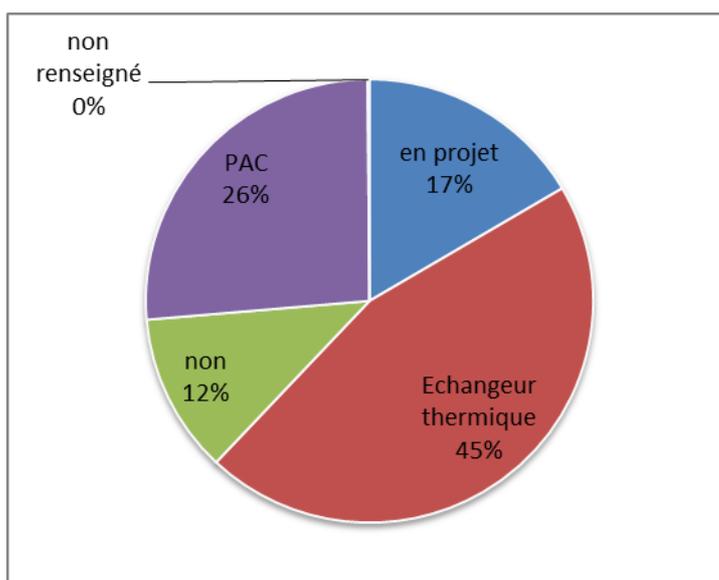


Illustration 88 : Type de valorisation des rejets en pourcentages de la puissance des rejets d'établissements

La figure ci-après (Illustration 89) permet de constater qu'en ciblant les actions sur 6 établissements parmi les 17 étudiés, l'énergie totale récupérable correspond à 90% du potentiel total.

Les établissements thermaux représentent donc un potentiel géothermique important pour la région Rhône-Alpes. La rentabilité de ce type de valorisation étant déjà prouvée, de nombreux établissements ont déjà investis dans des pompes à chaleur ou des échangeurs thermiques. Cependant certains de ces établissements valorisent moins de 20 % de leur rejet, alors que des besoins en chaleur existent au sein de l'établissement ou à proximité.

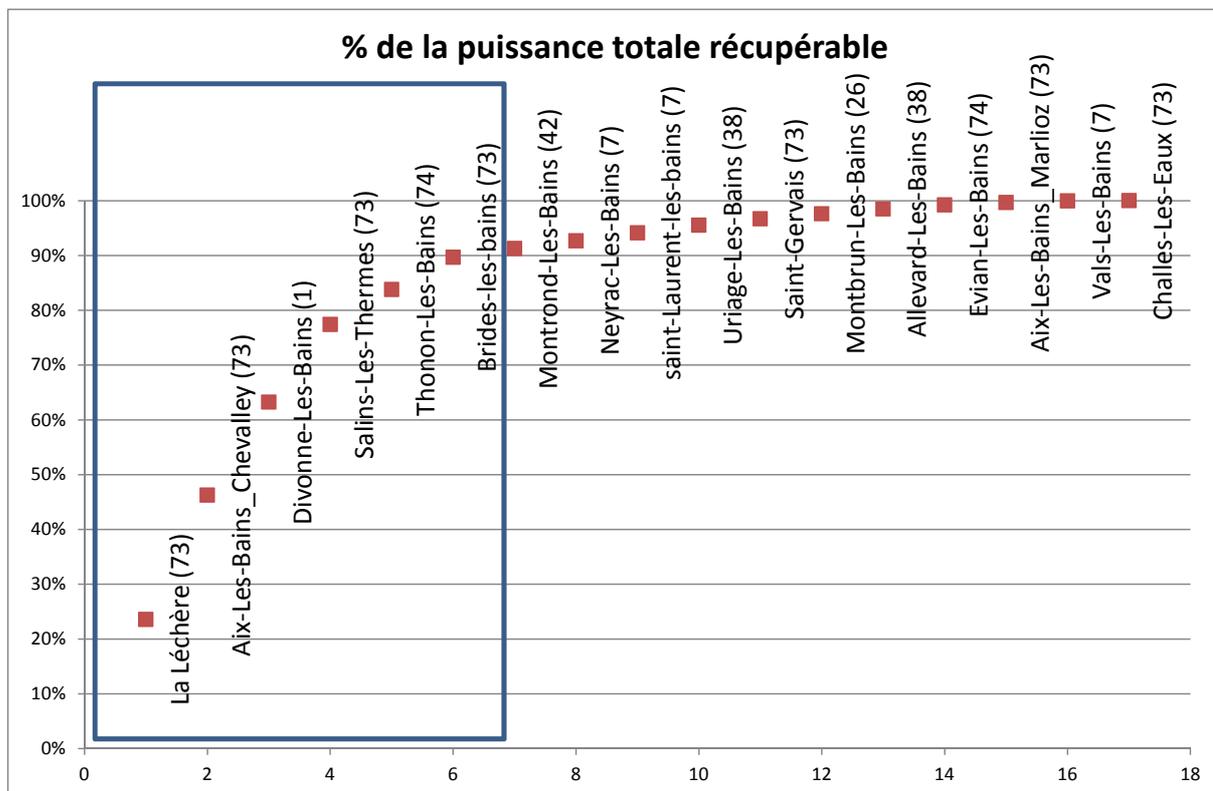


Illustration 89: Distribution des établissements par le potentiel récupérables sur les rejets

- **Les deux sources non exploitées**

Il existe par ailleurs les 2 sources non exploitées évoquées plus haut. Pour l'une d'elles (Salin les thermes), la commune travaille à un projet d'utilisation de cette ressource<sup>34</sup>.

#### 4.6.4. Valorisation du potentiel des Eaux Grises

Une large partie des potentialités énergétiques évoquées précédemment relève du domaine général des « eaux grises ». Ces eaux, de rejet, usées, ont en effet, du fait de leur origine et des traitements, des températures variables entre 10 et 20°C qui peuvent être valorisées. La récupération nécessite la mise en place d'un système permettant de jouer le rôle d'échangeur, tel que présenté ci-dessous (Illustration 90).

<sup>34</sup> Des échanges préliminaires ont été établis avec l'exploitant ; le BRGM reste en attente de données complémentaires

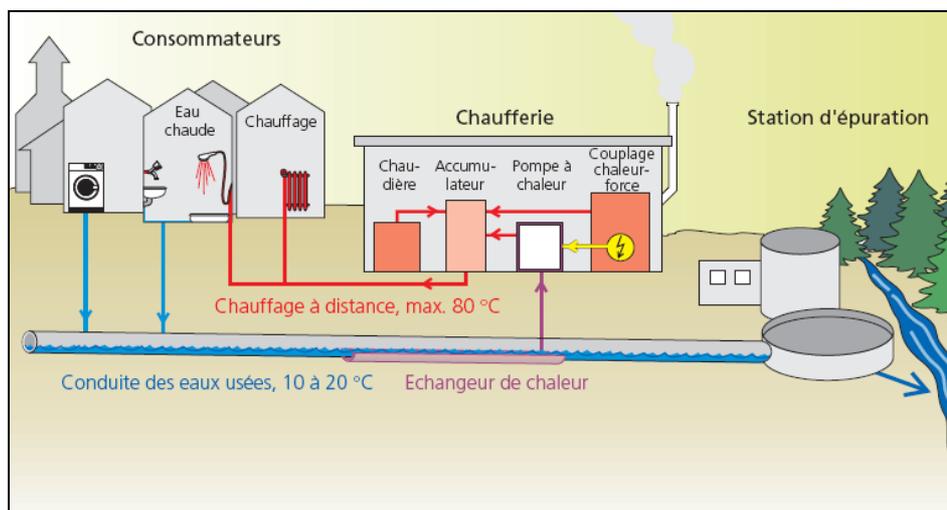


Illustration 90 : Principe d'un échangeur sur collecteur Eaux Usées (source [43])

On notera également le développement de collecteurs spéciaux jouant le rôle de « capteurs » tel que présenté ci-dessous (Illustration 91).



Illustration 91 : Illustration de canalisation avec capteurs préfabriqués (source [43])

Il faut à ce sujet rappeler l'existence du 1<sup>er</sup> projet de géothermie subventionné par l'ADEME en Rhône-Alpes concernant la valorisation énergétique d'eaux usées afin de couvrir une partie des besoins énergétiques pour le préchauffage des eaux d'un centre nautique (Agglomération d'Annemasse, 74).

Le projet soumis à l'ADEME (2011) précise les points suivants :

- « L'objectif est d'assurer la fourniture d'environ 48% des besoins énergétiques du centre nautique après son réaménagement par l'exploitation de la ressource thermique que représentent les eaux usées ;
- Un échangeur thermique de 59 m<sup>2</sup> (85 m de longueur dans le réseau) sera posé dans le collecteur d'eaux usées. Le fluide caloporteur (eau glycolée) se réchauffera au contact des eaux usées (débit moyen de 250 m<sup>3</sup>/h en temps sec et température moyenne de 8 à 14°C en hiver). Il alimentera une pompe à chaleur située dans la chaufferie du centre nautique ;
- La pompe à chaleur fournira son énergie au réseau de distribution de la chaleur de la piscine. Lequel assure la déshumidification de l'air des bassins, le maintien en température des bassins, le chauffage des locaux (centrale de traitement de l'air, plancher chauffant dans les vestiaires, radiateurs à l'accueil et dans les bureaux). »

Le grand Lyon a également, dans le cadre de son Plan Climat Energie, lancé une réflexion [44] sur « Identifier et récupérer le potentiel de récupération d'énergie fatale (eaux usées, industrie) pour développer le mix énergétique du territoire ».

On pourra sur ce point utilement consulter le guide « Chauffer et rafraîchir grâce aux eaux usées, Guide pour les maîtres d'ouvrage et les communes » SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie (OFEN) [43].

## **4.7. LES PIEUX ENERGETIQUES**

### **4.7.1. Etat des connaissances**

#### ***a) Principes techniques généraux***

La principale étude nationale sur le sujet a fait l'objet du rapport « COnception de Fondations GEothermiques » (étude ALTO, BRGM, CSTB, INES, Soletanche Bachy 2007 [34]. Le principe y est décrit : « Les fondations sont des ouvrages souterrains (dalles, parois ou pieux) destinés à reporter les charges d'un bâtiment en profondeur ou encore à stabiliser le terrain. A l'intérieur de ces fondations un réseau de tubes peut être installé de manière à pouvoir faire circuler un fluide caloporteur pour échanger de l'énergie thermique avec le terrain, on parle alors de fondations thermoactives ou fondations géothermiques. Dans ce rapport, seules les fondations profondes sont traitées. »

Le principe est présenté à la figure suivante (Illustration 92) extraite de l'étude de l'OFEN [35], lequel est comme le document [34] illustré par différents exemples de réalisations.

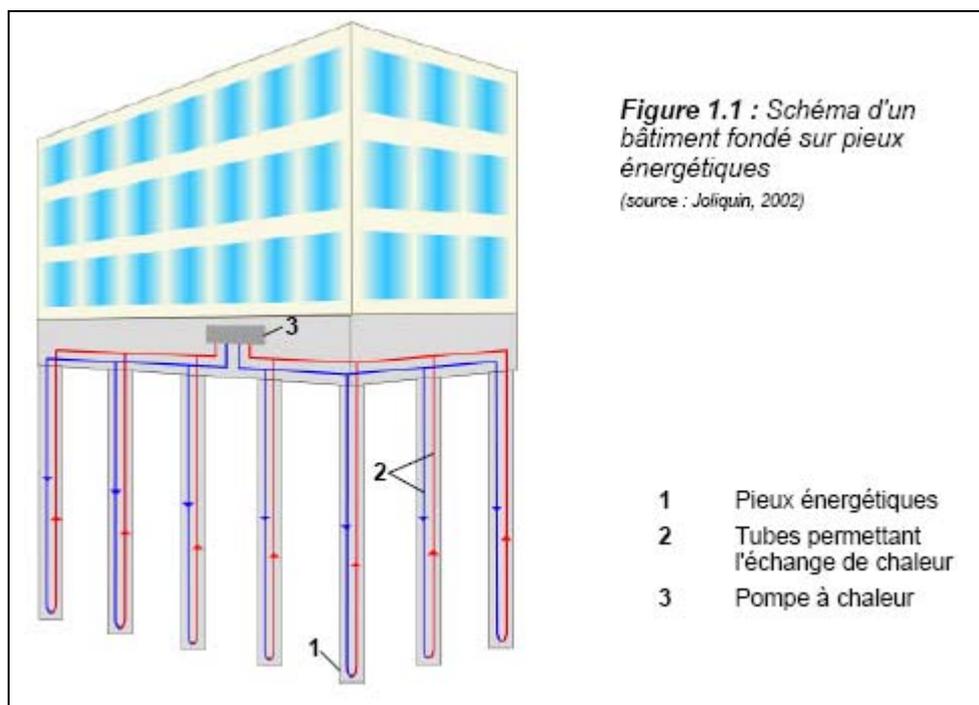


Illustration 92 : Schéma d'un bâtiment fondé sur pieux énergétiques (source Joliquin 2002 in [35])

### **b) Retours d'expériences**

Au-delà des connaissances relatives aux techniques, on ne dispose que d'un faible retour d'expériences antérieures au niveau national, notamment en termes de nombre, de caractéristiques et de d'énergie récupérée. Un rapport du PIPAME indiquait en 2009<sup>35</sup> qu'il ne semblait pas y avoir de références en France sur cette technique. Cependant, des enseignements peuvent être tirés des 300 expériences recensées menées à l'échelle européenne.

On peut malgré cela noter, en région Rhône Alpes l'existence d'un projet de pieux énergétiques d'importance : la Cité du Design à St. Etienne (source CSTB [M]). « La Cité du Design sera le premier projet réalisé en France utilisant des pieux énergétiques dans son concept de chauffage/refroidissement. Un suivi énergétique de ce projet est réalisé dans le double objectif :

- aider la Cité du Design et l'exploitant retenu à s'approprier l'outil de supervision pilotant les équipements techniques dans le but de mettre en place la meilleure gestion énergétique de La Platine,

<sup>35</sup> Rapport DGCIS, ADEME, Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (PIPAME), 2009, Diffusion des nouvelles technologies de l'énergie (NTE) dans le bâtiment, Conclusion du groupe de travail interministériel

- permettre, en plus d'une première expérience sur la conception et réalisation d'un tel projet, de faire un suivi détaillé du projet afin d'acquérir une expérience sur le fonctionnement de ce concept en France.
- L'instrumentation du projet permet de réaliser un suivi énergétique et thermique au niveau du bâtiment et du sol, des pieux et des sondes géothermiques ainsi qu'un suivi mécanique des pieux. »

### ***c) Données techniques et économiques du secteur***

En dépit du faible retour d'expérience disponible, l'examen de données techniques et économiques permet de mieux cerner le potentiel dans ce domaine. En effet, il est possible, sur la base de différentes données, d'évaluer la situation ainsi :

- Marché national des fondations :
  - 2005 : 300 M€ (source COFOGE),
  - 2010 : 1000 M€ en 2010 (Source SOFFONS),
  - seuls 25 % de ce marché concernent les pieux battus ou forés pour lesquels la technique des « pieux énergétiques » est envisageable ;
- Surface du bâti correspondante :
  - 2005 : 7,5 Mm<sup>2</sup> de logement et 10Mm<sup>2</sup> de bureaux (source COFOGE),
  - 2010 (*estimation sur la base de 2005*) : 25 Mm<sup>2</sup> de logement et 33.3 Mm<sup>2</sup> de bureaux
  - NB : le ratio COFOGE des surfaces logement / tertiaire est de 0,75 ; A titre indicatif, le ratio des Chiffres d'Affaire logement / tertiaire est de 0,93 selon les données BSCOCOM<sup>36</sup> (logement collectif seulement, représentant 17% du CA des secteurs de la construction et du bâtiment gros œuvre en 2005 ; les bureaux, commerce –et usines et bâtiments agricoles- représentant 18 % du CA du secteur) ;
  - seuls 25% de ces surfaces pourraient être associées à des bâtiments disposant de pieux énergétiques (part du marché avec des pieux battus ou forés)
- Sur la base de prix au mètre linéaire de fondations par pieux (compris entre 200 et 300 €/ml) on peut évaluer :
  - 2005 : entre 250 et 375 km linéaires de pieux battus ou forés au niveau national,
  - 2010 : entre 830 et 1 250 km linéaires de pieux battus ou forés, dont 10 % en Rhône Alpes.

---

<sup>36</sup> <http://developpement-durable.bsocom.fr>

Ces données soulignent l'importance que peut revêtir l'équipement des fondations le permettant en capteurs énergétiques.

#### **4.7.2. Estimation du potentiel national et rhônalpin**

Sur la base des données de 2005, le document du COFOGE présente une estimation un gain énergétique si toutes les fondations de 2005 avaient été transformées en fondations géothermiques : ce gain est évalué à 400 GWh/an sur le chauffage. Il faut appliquer à cette estimation un facteur de 0,25 (25% des fondations par pieux battus ou forés adaptés pour des pieux énergétiques) pour une évaluation nationale, et encore un facteur 0,1 pour la part rhônalpine ; ceci porte le gain énergétique à 10 GWh/an en Rhône alpes pour 2005. Pour les constructions réalisées en 2010, considérant les mêmes ratios, le gain potentiel rhônalpin était de 33 GWh/an.

Le détail des modalités de calcul est présenté dans le document [34]. L'évaluation préliminaire de la puissance de soutirage des capteurs mis en place dans les pieux nécessite la connaissance d'une conductivité thermique et l'application des formules proposées par Sanner 1999 [5]. Pour information, pour une conductivité thermique comprise entre 2 et 3 W/m/°K, la puissance de soutirage est comprise entre 40 et 50 W/ml (W par mètre linéaire de sonde, selon présence ou non d'eau, avec ou sans production d'Eau Chaude Sanitaire, fonctionnement entre 2100 et 1800 h/an).



#### 4.8. BILAN GENERAL POUR LA REGION RHONE - ALPES

Les différentes données présentées auparavant pour le potentiel géothermique par d'autres formes de production d'énergie que celle sur aquifère peuvent être synthétisées ainsi (Illustration 93) :

Ressource	Inventorié en RHA	Sélectionné en RHA	Energie récupérable par ressource (MWh/a) <sup>°</sup>	Energie totale récupérable (GWh/a)
Forages pétroliers	168	19 (sélection ouvrages)	500 à 4000	5 - 16
		16 (prox. Ville)	500 à 4000	1 - 7
Eau de surface	151 (> 10 ha)	7	500 à 25000*	3 – 175
Tunnels	> 300	25	170 - 2100	4 – 52
Etablissements thermaux	17	6	100 – 7000	1 - 42
Sources thermales > 30°C	26	2	500 - 2000	1 - 4
<b>Total</b>	<b>&gt;650</b>	<b>75</b>		<b>15 – 300</b>
<p><sup>°</sup> Les gammes d'énergie indiquées pour les tunnels, les eaux de surface et les forages pétroliers sont basées sur un retour d'expérience de cas réels ; au contraire, pour les établissements thermaux et les sources thermales, l'énergie est estimée à partir des calculs théoriques. Pour les cas calculés, on suppose un fonctionnement à pleine puissance sur 50% du temps (12h00/j) ; pour les données basées sur le retour d'expérience, les gammes correspondent aux productions réelles ou projetées</p> <p>* Pour les eaux de surface, les deux seuls types d'exemples identifiés se situent dans des gammes extrêmes de puissance (potentiels très faibles ou très élevés).</p>				

Illustration 93 : Bilan énergétique *indicatif* lié aux formes étudiées de géothermie

Les données fournies par l'INSEE et pour la région Rhône Alpes en matière de consommation d'énergie par habitants sont rappelées ci-dessous. En considérant le nombre d'habitant en région Rhône Alpes (Recensement de la population 2008 - Limites territoriales au 1er janvier 2010), le tableau suivant (Illustration 94) peut être établi. Il met en évidence le niveau contribution envisageable pour les autres formes de géothermie à la consommation globale rhônalpine.

	tep/hab	tep	GWh/a
Résidentiel tertiaire	1.2	7 340 674.8	85 152
Transport	0.8	4 893 783.2	56 768
Industrie	0.7	4 282 060.3	49 672
Agriculture	0.03	183 516.87	2 129

Illustration 94 : Données de consommation énergétique pour la région Rhône Alpes

## **4.9. ELEMENTS A INTEGRER DANS LES ANALYSES PRELIMINAIRES DE FAISABILITE**

### **4.9.1. Principes généraux**

Sans que cette section soit exhaustive sur les critères à intégrer dans un avant-projet sommaire, celle-ci décrit, d'une manière simple et synthétique, la démarche à suivre si l'on souhaite exploiter une des ressources géothermique évoquée. Dans ce cas-ci, on étudiera les démarches à entreprendre dans le cas de la reconversion d'un forage pétrolier.

La priorité consiste à s'assurer de la faisabilité réglementaire de son projet. Ensuite il est nécessaire d'estimer le plus finement possible les besoins auxquels la ressource doit subvenir et via quelle technique il est possible d'y parvenir. Enfin la dernière étape consiste à s'assurer que les coûts initiaux ne soient pas trop important afin d'assurer la rentabilité de ce type d'installation.

On se référera à l'étude [51] qui présente un comparatif technique et différentes mesures d'encadrement de la géothermie en Rhône Alpes.

#### ***a) Contraintes réglementaires***

L'assurance préalable des contraintes réglementaires applicables est essentielle pour tout projet relevant de la géothermie. On distingue dans ce contexte :

- les réglementations nationales<sup>37</sup> : le code minier s'applique et permet avant tout de distinguer les installations dites de « minimales importance » des autres cadres de prospection et d'exploitation des ressources géothermiques. Le code minier réglemente également les procédures de déclaration ou d'autorisation des forages (seuils de 10m et 100m<sup>38</sup>). Le code de l'environnement, notamment par application des lois sur l'eau, concerne à la fois les eaux souterraines et superficielles. Le code des collectivités réglemente également pour sa part les implantations de forages de particuliers. Enfin, en application du code de santé publique, certaines limitations existent à proximité des captages d'alimentation en eau potable (périmètres de protection réglementés). On notera également l'existence de procédures complémentaires pour les travaux programmés à proximité d'ouvrages existants de transport ou de distribution<sup>39</sup>
- les décrets relatifs à différentes restrictions locales : on notera notamment les Zones de Répartition des Eaux (ZRE) qui, pour certains secteurs hydrographiques, limitent

---

<sup>37</sup> Consultables sur <http://www.legifrance.gouv.fr>

<sup>38</sup> Une évolution réglementaire en discussion pourrait étendre la profondeur au-delà de laquelle une autorisation est requise à plus de 100m (actuellement : décret n° 78-498 du 28 mars 1978 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie)

<sup>39</sup> Décret no 91-1147 du 14 octobre 1991 relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution (Demandes de Renseignement et DICT – demandes d'intention de commencement de travaux)

les prélèvements envisageables. On notera également les périmètres des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux dont la portée est réglementaire et qui définissent certains objectifs de protection des milieux. D'autres zonages peuvent également exister : ZNIEFF, ZICO...

En région Rhône Alpes, les ZRE existantes à ce jour sont :

- 1 – Bassin du Doux (Eau superficielle) : Arrêté 95-951 du 26/09/1995 (dpt 07)
- 2 – Bassin de la Drôme :
  - 2.1- Bassin de la Drôme à l'aval de Saillans (Eau superficielle) - Arrêté 443 du 07/02/1995 (dpt 26)
  - 2.2 - Bassin de la Drôme et de la nappe alluviale de la Drôme (Eau superficielle + Eau souterraine) - Arrêté n°10-3371 et AR-2010-229-5 du 17 août 2010 (départements 26 et 07). L'arrêté est commun (sous-bassin amont et sous-bassin aval, avec classement de la nappe d'accompagnement - nappe alluviale).

#### ***b) Evaluation du besoin à proximité de l'ouvrage étudié***

Lors de cette phase, il faut s'assurer de prendre en compte l'intégralité des besoins en chaleur de la commune située à proximité de l'ouvrage. Les besoins en question peuvent correspondre au chauffage des habitations (logements collectifs ou individuels), des bâtiments publics (mairie, école ...) mais également aux besoins tertiaires ou industriels lorsqu'une zone d'activité correspondant est présente.

Il est également nécessaire de fixer des objectifs précis, en décidant dès le début du projet si celui-ci à vocation uniquement au chauffage des bâtiments ou également à la fourniture d'eau chaude sanitaire ou de froid. L'évolution géographique est à intégrer : construction, zone d'activité...

Pour estimer ces besoins, plusieurs approches sont possibles :

- En première approche, <sup>i<sup>40</sup></sup> est possible de se baser sur des calculs utilisant les DJU (Degré jour unifiés), qui estiment les besoins de chauffage en se basant sur la différence entre la température de la ville et une température de mise en marche du chauffage fixée par défaut à 18 °C. En rapportant ces besoins au volume bâti de la commune étudiée et en prenant en compte différents facteurs (intermittence, pertes fatales, apports et déperditions thermiques) il est possible de passer des DJU à des kWh/an ce qui permet une estimation directe des besoins de chaleur annuels. Cette technique est décrite dans le document « Guide technique, Pompe à chaleur géothermique sur aquifère, Conception et mise en œuvre » 2008 [36] ;

---

<sup>40</sup> Des modélisations plus poussées à pas de temps horaires sont possibles dans certains cas

- Une deuxième méthode peut être utilisée via une enquête auprès des usagers. Il est alors nécessaire de s'assurer d'impliquer la population afin de maximiser le nombre de réponses et donc la pertinence de l'enquête. De plus, il faut s'assurer que le traitement du questionnaire permet une approximation des besoins en chaleur sans être trop technique afin qu'un maximum de personnes puisse le remplir. Il faut donc un questionnaire simple mais suffisamment complet pour permettre un post-traitement efficace. L'avantage de cette méthode réside dans le fait qu'elle implique directement la population et permet également de sonder son intérêt sur le projet évoqué. Il est possible de se baser sur l'exemple de l'enquête réalisée pour le projet de « *free cooling* » à Neuchâtel. (Annexe 3).

#### 4.9.2. Cas particulier des échangeurs en eaux superficielles

Les aspects suivants devront être analysés pour toute étude visant, pour un lac spécifique et un type de bâti donné, à évaluer la faisabilité d'une géothermie sur eaux de lac :

- 1) Analyse des contraintes réglementaires. Ce type d'installation ne relevant pas de la géothermie et donc du code minier, c'est le code de l'environnement qui devrait s'appliquer de façon générale, et notamment la police de l'eau. L'existence de zonage réglementaires particulier (préservation des espèces aquatiques, lacustres et des milieux) doit faire l'objet d'une attention particulière ;
- 2) Description de la demande à proximité de la ressource :
  - De façon générale, la détermination des puissances nécessaires à mettre en œuvre pour assurer les besoins de chaud et de froid pour un bâtiment du secteur tertiaire est en général une opération complexe qui fait entrer en jeu de nombreux paramètres. On pourra pour cela se référer au « Guide technique, Pompe à chaleur géothermique sur aquifère, Conception et mise en œuvre, Cas de la Lorraine » (document Ademe, Conseil Régional de Lorraine, EDF, BRGM) qui décrit la démarche d'établissement des puissances à installer [36] ainsi qu'aux guides récents édités en 2012 (guide pour les PAC géothermiques sur champ de sondes [52] et par forages sur aquifère [53]);
  - Il est important de prendre en compte la **répartition géographique** de la demande. Si la demande est localisée, il est alors plus simple de mettre en place un réseau de chaleur/froid que lorsque la demande est répartie sur des constructions éparses ;
  - Il est également nécessaire de prendre en compte le **type d'habitat** que l'on souhaite alimenter (particulier, collectif, tertiaire, etc...) et surtout si l'on souhaite se focaliser sur l'habitat **existant ou en projet**. En effet, sauf dans le cas où un réseau de chaleur est déjà en place, les habitations existantes ne sont pas nécessairement compatibles avec un chauffage géothermique (nécessite système de chaleur par diffusion). Il paraît donc judicieux de prendre un compte la construction d'une nouvelle résidence, d'une ZAC, etc. qui pourraient alors avoir des besoins compatibles avec la ressource à disposition ;

- Il est possible d'étaler dans le temps le raccordement des différents bâtiments. Toutefois dans ce cas, il est impératif de prévoir dès le dimensionnement de l'installation le nombre de bâtiments susceptibles de se raccorder à la ressource géothermique ;
- 3) Etude d'impact et description de la ressource. Un examen précis de la physico-chimie et de la géométrie du lac ou du secteur concerné est nécessaire. La pérennité de la ressource doit être évaluée en fonction des aménagements prévus ou prévisibles. Sans disposer à ce jour d'un retour d'expérience important et techniquement étayé, on rappellera par exemple que le projet Cornell fait l'objet de critiques en termes de remobilisation du phosphore par la prise d'eau en fond de lac et le rejet en partie superficiel. De ce point de vue, les deux techniques d'exploitation, boucles ouvertes et fermées ne sont pas équivalentes et les deux options pourront devoir être étudiées selon la production énergétique souhaitée ;
- 4) Aspects économiques : selon la technique choisie et les besoins à couvrir, le projet nécessitera une analyse fine des contraintes en termes d'investissement, de coûts de fonctionnement et de maintenance. L'objectif est de cerner le domaine d'adéquation entre la ressource avec les besoins ;
- 5) Aspects socio-économique : les installations sur lac empiétant sur le domaine public, l'examen des autres usages actuels et futurs des eaux doit être réalisé, et la compatibilité du système avec ces usages examinée (notamment les usages de pêche et de loisirs).

#### **4.9.3. Cas particulier des pieux énergétiques**

Dans ce domaine, on se réfèrera à l'étude Suisse de l'OFEN [35]. Les critères identifiés sont les suivants :

- Critères conditionnant la réalisation de géostructures : on distingue des critères classiques d'aménagement du territoire (zones constructibles ou non) et des critères de mécanique des sols (critères classiques de Génie Civil) ;
- Critères conditionnant l'équipement des géostructures en échangeurs de chaleur : on distingue les critères vis-à-vis des caractéristiques thermiques du sol, de la présence d'eau souterraine (saturation partielle ou totale requise) et vis-à-vis de la vitesse d'écoulement de l'eau souterraine (pour évaluer la recharge thermique naturelle du sous-sol ou non) ;
- Critères pouvant limiter la réalisation de géostructures énergétiques : on distingue les contraintes de protection des eaux souterraines, les effets thermiques (peu connus, sauf nécessité de ne pas congeler les sols), les risques de barrage hydraulique (seules parois moulées concernées) et les modalités d'exécution des travaux.

Le rapport de l'OFEN permet finalement d'établir le caractère favorable ou non pour l'implantation de pieux énergétiques, présenté à la figure suivante (Illustration 95).

Critères		Plutôt favorable à la réalisation de géostrucures énergétiques	Plutôt défavorable à la réalisation de géostrucures énergétiques
Critères conditionnant la réalisation de géostrucures	Aménagement du territoire (genre de construction)	Bâtiment locatif et administratif de taille importante	Bâtiment de petite taille, villa
	Caractéristiques mécaniques du sol	Charge admissible par le sol	De peu supérieure ou inférieure à la charge du bâtiment
		Tenue du sol à l'excavation	Ne permettant pas une excavation sans soutènement
Critères conditionnant l'équipement des géostrucures en échangeurs de chaleur	Conductibilité thermique	Supérieure à environ 1.3 [W/mK]	Inférieure à environ 1.3 [W/mK]
	Eau souterraine	Présence d'eau	Absence d'eau
	Vitesse d'écoulement de l'eau souterraine pour un cas sans recharge thermique	Supérieure à 0.5 - 1 [m/jour]	Inférieure à 0.5 - 1 [m/jour]
	Vitesse d'écoulement de l'eau souterraine pour un cas avec recharge thermique	Inférieure à 0.5 - 1 [m/jour]	Supérieure à 0.5 - 1 [m/jour]
Critères pouvant limiter la réalisation de géostrucures énergétiques	Protection des nappes souterraines	Autorisé dans les zones S3 de protection des eaux souterraines et les secteurs de protection des eaux	Non autorisé dans les zones S1 et S2 de protection des eaux souterraines et dans les périmètres de protection des eaux souterraines
	Effets thermiques	Perturbation moyenne annuelle de la température du sol inférieure à 1°C	Perturbation moyenne annuelle de la température du sol supérieure à 1°C
	Barrages hydrauliques	Faible modification de l'écoulement souterrain	Forte modification de l'écoulement souterrain
	Exécution des travaux	Faibles vibrations, peu de bruit	Beaucoup de vibrations et de bruit

Illustration 95 : Synthèse des différents critères avec évaluation plutôt favorable ou plutôt défavorable à la réalisation de géostrucures énergétiques (source [35])

#### **4.9.4. Principes pour les forages pétroliers**

##### ***a) Contraintes réglementaires***

Dans un premier temps, il faut s'assurer que le projet est bien en adéquation avec la réglementation. En effet, si la réalisation du forage pétrolier respectait la réglementation en vigueur à l'époque de la réalisation des travaux, sa transformation en puits géothermique peut s'heurter à une évolution de la législation imposant de nouvelles contraintes (ex : protection d'un captage d'eau potable inexistant auparavant, etc.).

Une fois s'être assuré de la faisabilité réglementaire du projet, il est alors possible de débiter la phase d'estimation des besoins de la commune à proximité de l'ouvrage.

##### ***b) Inspection du forage***

Cette phase est très importante, son résultat influençant directement la faisabilité technique du projet ainsi que les coûts qui y sont associés.

Concernant la démarche générale, la mise en œuvre, l'interprétation des résultats et les éléments financiers pour un projet de remise en état d'un forage profond existant pour y placer une sonde géothermique, on pourra consulter le document spécifique établi par l'OFEN et les services techniques de Genève « Valorisation du forage géothermique de Thônex 1, Etude d'opportunité » en Mai 2009 [30]. Les coûts ainsi que les techniques évoquées dans le paragraphe suivant sont indicatifs et proviennent de renseignements fournis à la demande du BRGM par un bureau d'étude spécialisé<sup>41</sup>.

La première étape consiste à passer un gabarit (80 mm dans leur cas) afin de contrôler le forage. Cette étape permet de constater la présence d'éventuelles obstructions qui empêcheraient le passage des autres appareils de mesure.

Ensuite, il est nécessaire de mesurer le diamètre du forage tout au long de sa longueur (au moins la longueur sur laquelle est passé le gabarit). Cette mesure permet de constater un déplacement des tubages suite à un mouvement de terrain ou bien de mettre en évidence des zones de corrosion ou au contraire de dépôts susceptibles d'influencer la réussite du projet.

Enfin, la finalité du projet étant géothermique, il est primordial de mesurer la température afin que l'estimation de puissance extractible soit la plus fine possible. Les calculs de puissance thermique extractible dépendant, entre autre, de cette valeur. Connaître la température au fond du forage permettra donc un dimensionnement précis, favorisant ainsi le bon rendement de l'installation.

Ces premières mesures permettent donc de connaître la profondeur du forage qu'il est possible d'utiliser ainsi que la température du sous-sol. Il s'agit de paramètres

---

<sup>41</sup> IdéesEaux <http://www.ideeseaux.com/>

nécessaires pour s'assurer de la faisabilité du projet à moindre coût et ainsi lancer le projet en en minimisant les risques. Toutefois, des mesures complémentaires peuvent être réalisées comme le passage d'une caméra (proposé par les prestataires afin d'observer ce qui est susceptible d'obstruer le forage) ou un test de réponse thermique qui permet de cibler très précisément la capacité du terrain à laisser diffuser la chaleur. Ce test est intéressant du point de vue des résultats fournis mais nécessite un investissement nécessaire.

### **Coût de l'inspection :**

Le coût total de l'inspection du forage va varier en fonction de la distance entre le forage et le BE (transport du matériel) et surtout en fonction de la profondeur de forage analysée par les différents instruments de mesure.

Afin de préciser ces éléments, des données ont été collectées auprès d'un prestataire. D'après les chiffres indicatifs fournis par un bureau d'étude spécialisé, il est possible d'estimer le coût de cette inspection. Celui serait compris entre environ 10 000 € pour un forage de 500m à 25 000 € pour un forage 2500 m, ou respectivement 12 500 € à 37 500 € avec le passage de la caméra OPTV.

	Origine cout	500 m	1000 m	1500 m	2000 m	2500 m
Coût variable	Sonde diamètreur	1500	3000	4500	6000	7500
	Sonde température	1500	3000	4500	6000	7500
	Caméra OPTV (option)	2500	5000	7500	10000	12500
Coût fixe	Transport / installation matériel (300 km)	800				
	Passage gabarit	3000				
	Rédaction rapport	1500				
Coût total €HT		8300	11 300	14 300	17 300	20 300

Illustration 96 : Coût de l'inspection du forage (devis 2011, prix en euros HT)

### ***c) Evaluation de la capacité de la ressource à répondre aux besoins***

L'objectif est de connaître la capacité de la ressource à répondre aux besoins en intégrant les contraintes de « pérennité » de cette ressource.

A ce stade du projet, on considère que les besoins en chaleur ont été évalués le plus finement possible afin de dimensionner au mieux l'installation. Une fois que ces besoins sont clairement définis, il est possible d'analyser les faisabilités techniques pour y subvenir. En général, deux possibilités s'offrent au monteur du projet, exploiter le forage en l'état ou le rénover lorsque c'est nécessaire.

Lorsque le forage est suffisamment profond et exploitable en l'état, il est possible de débiter la phase de mise en place de la sonde rapidement et à moindre coût. La longueur de la sonde est alors limitée par la profondeur du forage ou, dans le cas où le forage est relativement profond et en bon état, par la demande en chaleur à proximité.

Au vu de l'ancienneté des ouvrages (75% des forages à proximité d'une commune ont plus de 50 ans) il est plutôt probable que les ouvrages se soient détériorés avec le temps. Dans ce cas-là, des coûts supplémentaires sont à prévoir pour les remettre dans un état exploitable, mais les profondeurs atteintes étant plus importantes cela permet de récupérer d'avantage de chaleur. C'est pourquoi, un bilan coûts/avantages est requis intégrant les investissements initiaux. En général cela procède d'un nettoyage du forage à l'aide de la méthode du "*coiled tubing*" ou bien d'une re-foration lorsque les obstructions sont trop importantes ou pour réaliser un approfondissement s'il faut atteindre des températures plus importantes pour répondre aux besoins en chauffage.

Il est également très important de prendre en compte la mise en place ou non d'une pompe à chaleur en fonction de la température et de la puissance recherchée en sortie de l'installation. En fonction des solutions retenues, il peut être plus économique d'installer une PAC sur une sonde atteignant une profondeur plus faible. Ceci est bien sur fonction des coûts du forage et de la pompe à chaleur.

Méthode	Utilisation du forage en l'état	Nettoyage au coiled tubing	Nettoyage via reforage	Nettoyage + approfondissement
Principe	Mise en place de la sonde sur la profondeur exploitable sans intervention d'entretien	Nettoyage de particules facilement mobilisables (sable, copeaux ...)	Utilisation d'une foreuse pour nettoyer l'ouvrage	Nettoyage de l'ouvrage et approfondissement du forage
Avantages	Coûts et temps d'intervention minimales	Coût plus faible que forage. Profondeur intéressante	Nettoyage de tout type d'obstruction. Profondeurs plus intéressantes	Profondeur très importantes pour un cout modéré
Inconvénients	Faible profondeur, donc faible puissance	Limitée à la partie tubée du forage. Nécessite matériel et temps d'intervention conséquent	Coût plus important	Coûts très importants, tout comme le temps d'intervention.

Illustration 97 : Options de remise en état d'un forage pétrolier

#### ***d) Discussion sur les différentes propositions et choix de la plus pertinente***

Pour chacun des cas de figures possibles, il est donc nécessaire d'étudier les faisabilités techniques et financières, notamment à travers les points suivants :

- Dimensionnement : moyens disponibles pour subvenir aux besoins (Température, profondeur, type de nettoyage, avec ou sans PAC...),
- Investissements nécessaires pour mettre en place les moyens définis précédemment,
- Exploitation : coût d'exploitation (maintenance de l'installation, consommation énergétique de la PAC...),
- Rentabilité : calcul du retour sur investissement, en fonction de la durée de fonctionnement de l'installation, du coût des autres moyens de chauffage (électricité, fioul ...).

Une fois ces différents points détaillés, il est alors possible d'aboutir à des propositions techniques ainsi qu'à la mise en place d'un financement (partenariats privés – publics), permettant de lancer la phase de réalisation concrète du projet.

#### **4.9.5. Particularités des techniques géothermiques**

##### ***a) Intérêt et applicabilité du « free cooling »***

La technique de free cooling (ou géocooling) consiste à récupérer les calories dans un échangeur à partir d'un fluide ayant circulé dans un capteur sans mise en œuvre de Pompe à chaleur. Cette technique est par exemple mise en œuvre dès que la température du fluide issue de la source chaude est proche ou excède celle de la source froide (distribution). Elle permet d'économiser la consommation énergétique mise en œuvre par une PAC.

Dans ce domaine, le rapport de recherche suivant de l'Université de Genève traite spécifiquement des éléments de dimensionnement : « Rafraîchissement par geocooling : Bases pour un manuel de dimensionnement » [37]. Ce guide traite du contexte des puits canadiens, des sondes géothermiques horizontales et verticales.

Les principaux facteurs analysés et présentés sont repris ci-dessous :

- « les conditions géologiques et hydrogéologiques locales,
- le nombre, la disposition et la longueur des sondes géothermiques possibles,
- les transferts thermiques supplémentaires engendrés sous la base du bâtiment, en particulier par les raccords horizontaux entre les sondes, si ces dernières sont placées sous le bâtiment (isolation nécessaire ou pas) ;

- les besoins thermiques à couvrir (puissances et énergies en chaud et en froid),
- les niveaux de température des distributions de chauffage et de refroidissement,
- le concept de système (schéma de principe) pour satisfaire les demandes d'énergie tout en intégrant au mieux les sondes géothermiques. »

### ***b) Intérêt et applicabilité de systèmes réversibles***

On ne peut clore ce chapitre sans évoquer l'intérêt des systèmes réversibles. Ceux-ci visent la production de froid ou de chaud (pompe à chaleur qui assure de la production de chaleur en hiver et de la production de froid en été). Les pompes à chaleur dites « réversibles » qui assurent cette double fourniture sont particulièrement adaptées aux bâtiments du secteur tertiaire où les besoins en rafraîchissement sont souvent indispensables. Les principes de ces systèmes sont décrits dans le guide ADEME-BRGM sur les pompes à chaleur [36]

#### **• Intérêts pour limiter la modification thermiques des aquifères**

Ces systèmes, outre leurs atouts au regard des besoins de chauffage ou de climatisation des bâtiments, doivent également être recommandés au regard de la préservation de la qualité des eaux. En effet, certains secteurs urbains, largement exploités au plan géothermique, sont caractérisés par une évolution de la température des eaux souterraines pouvant être liée aux pompes à chaleur sur aquifères. C'est le cas vraisemblable de l'agglomération Lyonnaise, la question se posant également sur Grenoble.

La géothermie qui est l'exploitation énergétique du sous-sol concerne essentiellement le prélèvement des calories pour le chauffage des bâtiments. Dans la région Lyonnaise, tel qu'indiqué dans le rapport BRGM RP-57507 [46], les conditions de climat et de fort développement des bâtiments du secteur tertiaire, notamment les bureaux (présentant souvent de nombreux équipements producteurs de chaleur telles les salles informatiques) ont également amené à un fort développement de la climatisation. Par ailleurs, l'orientation vers le sous-sol a été renforcée à la fois par la présence d'un aquifère productif et facilement accessible dans les alluvions fluviales modernes et du fait de l'émergence des risques de légionellose autour de tours aéro-réfrigérantes. La Presqu'île ainsi que l'ouest et le sud de l'agglomération Lyonnaise ont ainsi connu un fort développement de la géothermie depuis la fin des années 70 avec un nombre d'installations avoisinant les 200 fin des années 80.

Rapidement cependant, différentes communes prennent conscience de la nécessité d'évaluer les impacts des PAC sur la qualité des eaux compte tenu de la multiplication de celles-ci au rythme de plus d'une quinzaine par an. Les premières études de recensement sur la fin de cette période témoignent pourtant à la fois d'une connaissance insuffisante des installations, 50% n'étant pas localisées, mais aussi de quelques difficultés occasionnelles (développement de biofilms, corrosion). Dans le même temps, un suivi des températures de nappe est organisé ponctuellement et les

premiers travaux de modélisation des écoulements et des influences thermiques sont menés afin d'anticiper d'éventuelles difficultés.

Fin des années 90, les services de l'Etat en charge de la police de l'eau sont confrontés à une multiplication des demandes d'autorisation de prélèvements sur la nappe. Ils initient alors une succession d'études à l'échelle de l'agglomération visant à mettre à jour les premiers inventaires et également à renseigner les températures de pompage et rejet. Avec la mise en place d'un groupe technique de suivi et une concertation avec les exploitants, différentes recommandations sont émises afin de permettre un suivi des données sur la qualité des eaux pompées et réinjectées. Parallèlement, les prescriptions réglementaires intègrent différents seuils en termes de limites hautes et basses de température mais également de différentiel thermique admissible. Les projets de constitution de réseaux de suivi des installations et de la qualité de la nappe ne seront cependant pas menés à terme.

A partir de 2000 néanmoins, et en lien avec la multiplication des travaux souterrains et des ouvrages de prélèvements, les premières interrogations vis-à-vis de l'augmentation de la température de l'eau apparaissent suite à l'apparition de dysfonctionnements et de conflits sur les usages des eaux de nappe. Ainsi, certaines installations subissent une hausse de la température des eaux pompées ; une installation municipale est également perturbée par un fort développement de bactéries filamenteuses.

Différents enjeux sont alors identifiés, et la question de la politique de l'agglomération sur ce sujet se précise. Pour la Ville de Lyon, les enjeux sont ceux du partage et de la gestion pérenne de la ressource commune que constituent les eaux de nappe. Pour les services en charge de la police de l'eau, il apparaît incontournable de pouvoir argumenter techniquement les prescriptions de suivi des paramètres physico-chimiques sur les installations soumises à autorisation. Les inventaires sont alors mis à jour, et un travail d'harmonisation des prescriptions est engagé. Finalement, courant 2010, la transmission obligatoire des résultats de surveillance par les exploitants est renforcée.

L'état des lieux de la situation actuelle montre une concentration de l'essentiel des installations inventoriées dans une relative proximité du Rhône, laquelle correspond aux zones les plus favorables au plan hydrodynamique. En termes de répartition, parmi les 3 classes de débits ou puissances établies, celle relative aux grosses installations (plus de 500 kW) englobe moitié de celles-ci, lesquelles représentent cependant plus de 90 % des volumes soutirés et réinjectés. Les petites installations non réglementées ne représentent finalement que 10 % en nombre et 0.2 % en volumes pompés. Une partie également significative (30 %) des installations suivies pratiquent des réinjections, en été pendant les périodes de climatisation, à plus de 28 °C dans la nappe. Par ailleurs, si la tendance sur Lyon reste encore d'une 15<sup>aine</sup> de nouvelles installations par an (alors que les chiffres nationaux semblent en baisse), en revanche, aucun suivi des fermetures ou arrêts n'est réalisé. Pour la température de nappe, les variations saisonnières des températures sont mises en évidence, avec des amplitudes de 1 à 2 °C, les secteurs à proximité du Rhône indiquant des températures globalement plus élevées (autour de 17 °C, jusqu'à une 20<sup>aine</sup> de degrés Celsius) que

sur l'Ouest ou le Nord (entre 15 et 16 °C) ; Cependant, plusieurs dispositifs distincts de collecte cohabitent, lesquels pourraient bénéficier d'une mise en cohérence, l'objectif étant d'identifier et de suivre les paramètres pertinents pour caractériser la nappe.

L'enjeu apparaît finalement ainsi : réussir à fonder la croissance en géothermie sur une exploitation durable et raisonnée de la ressource. Eviter le développement insuffisamment organisé et dommageable pour la collectivité nécessite différentes actions, sur des sujets tels que les besoins, le partage et la pérennité de la ressource. Sur ce point, services de l'Etat, collectivités et organismes techniques de référence ont un rôle important à jouer. A ce titre, la généralisation de systèmes réversibles est une option à considérer.

- **Stockage énergétique**

Les systèmes réversibles sont également recommandés dans une perspective de stockage d'énergie. Cela concerne potentiellement à la fois le stockage dans les aquifères et le stockage dans le sous-sol.

Tel que précisé dans un document préliminaire du projet ATESTOC [48] et dans le document [47], la notion de stockage géologique de chaleur sensible se retrouve, dans la littérature en Anglais, sous le vocable générique UTES (Underground Thermal Energy Storage) qui désigne une grande diversité de variantes techniques répartis en deux grands groupes selon le mode de transport / échange de chaleur : convectif ou diffusif. Il existe en effet deux grandes familles de stockage suivant le transport/la diffusion de chaleur : diffusion ou convection.

Le stockage est une manière d'utiliser l'énergie géothermique qui tend à équilibrer les énergies injectées et prélevées. Classiquement, le stockage peut être en boucle fermée (fluide caloporteur) ou boucle ouverte (sur aquifère).

On différencie le « stockage » - accumulation d'énergie dans le sous-sol pouvant avoir un fort impact thermique (modification des conditions initiales du milieu) pour s'en servir si besoin avec un déphasage – de la « régénération thermique », gestion de la ressource de manière à retrouver les conditions de température initiale.

Le stockage nécessite la présence d'une énergie excédentaire (relative à la demande à l'instant de la production), facile à capter pour la sauvegarder. Une autre demande doit être déphasée avec cet instant (typiquement dû aux changements saisonniers de température). Mais le stockage nécessite un milieu favorable, qu'il s'agisse d'aquifères ou du sous-sol plus généralement.

L'évaluation de la faisabilité de tels projets passe nécessairement par une bonne intégration économique du dispositif et un impact environnementale acceptable. A ce titre, ces projets doivent donc être envisagées et étudiés au cas par cas, en fonction à la fois des « énergies excédentaires » qu'il conviendrait de stocker et de la nature favorable ou non du sous-sol.

De nombreuses expérimentations ont ainsi été faites dans le domaine, en pilote ou à échelle réelle, et des possibilités diverses ont été explorées. En France, ces aspects

ont été peu étudiés, et également peu mis en place, du fait de conditions jugées historiquement peu favorables au regard des techniques disponibles.

On peut néanmoins noter l'existence de travaux de recherche qui portent sur des techniques nouvelles. Ainsi, des réflexions sont en cours au BRGM avec d'autres partenaires sur le stockage de chaleur industrielle dans le massif rocheux. On peut également citer le projet SOLARGEOTHERM<sup>42</sup> impliquant le BRGM et d'autres partenaires [49]. Le projet s'attache à évaluer les capacités d'un massif rocheux pour le stockage et le déstockage de l'énergie thermique produite par une installation solaire, via un transfert de chaleur vers le sous-sol par sondes géothermiques. Un site expérimental mis en place dans le département des Pyrénées Orientales teste l'injection et la récupération de chaleur via trois sondes géothermiques. A noter que le projet débouchera sur la publication d'un guide de conception et de bonne pratique de ce type d'installations géothermiques pour satisfaire les besoins de chauffage l'hiver.

---

<sup>42</sup> <http://eliaus.univ-perp.fr/~solargeotherm/index.htm>

## 5. Conclusions

L'inventaire du potentiel géothermique en région Rhône Alpes est une étude cofinancée par le Conseil Région Rhône-Alpes, l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la région Rhône Alpes (DREAL) et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).

L'étude réalisée permet une synthèse de différents éléments de contexte sur la géothermie, à la fois d'un point de vue réglementaire et d'un point de vue développement au niveau national. Les attentes en matière de développement, inscrites à la fois dans les lois dites « Grenelles Environnement » et dans les outils de programmation (PPI Chaleur) sont une multiplication par 6 de la production de chaleur géothermale entre 2006 et 2020. Au niveau local, pour orienter ce développement, on notera les outils tels que les Schémas Régionaux Climat Air Energie (SRCAE) – élaborés par les Conseils Régionaux et l'Etat – et les Plans Climat Energie Territoriaux – élaborés par les collectivités–. La réforme du code minier, domaine réglementaire dont la géothermie dépend, doit par ailleurs favoriser ce développement de bonnes conditions de durabilité, c'est-à-dire un respect des ressources et des autres usages de ces ressources.

Au niveau rhônalpin, le retour d'expérience établi à partir des données existantes et collectées s'avère assez contrasté et incertain. Le travail à partir des données de la banque du sous-sol (BSS) indique qu'une faible proportion des installations est recensée, essentiellement celle appartenant aux gammes de puissances du collectif ou tertiaire. La base de données de l'Agence de l'eau ne constitue pas une source de données pleinement satisfaisante ; elle ne recense que les installations de type climatisation / refroidissement sur aquifères, avec par ailleurs une difficulté à faire la part entre les installations de géothermie et celles industrielles de refroidissement. Les données recueillies auprès des industriels restent également partielles et peu documentées. Il ressort néanmoins que sur les 5 dernières années, pour les installations de particuliers (<50 kW), la puissance moyenne installée annuellement est de l'ordre de 20 MW. Pour les installations plus importantes, la puissance installée n'est pas estimée ; l'estimation de près de 80 installations par an en BSS est vraisemblablement une sous-estimation de la réalité (facteur 2 au moins) ; la part des sondes géothermiques verticales est croissante et représenterait déjà plus de la moitié du volume, localisée essentiellement sur les départements de Savoie et Haute-Savoie, du Rhône et de la Loire. Selon les données Agence de l'eau enfin, les installations de géothermie sur aquifères relevant de la catégorie du gros tertiaire ou collectif représente 50% du total, avec une évolution non significative et une concentration géographique sur le département du Rhône essentiellement.

L'étude a par ailleurs permis de mettre en place un Atlas des potentialités géothermiques, atlas consultable en ligne sur le site internet [www.geothermie-perspectives.fr](http://www.geothermie-perspectives.fr). Celui-ci traite, pour la région Rhône Alpes, des potentialités de la

géothermie sur aquifères et du potentiel pour la mise en place des sondes géothermiques verticales. Concernant les aquifères, 20 % du territoire rhônalpin les plus densément peuplés ou qui sont le siège des principales activités économiques ont été étudiés. Il ressort que plus de la moitié de ces secteurs dispose d'un potentiel moyen à fort. Concernant la perspective de mise en place des sondes géothermiques verticales, tout le territoire rhônalpin a été caractérisé. Hormis les secteurs marqués par un contexte géologique laissant apparaître des phénomènes karstiques potentiels ou avérés et des zones présentant des mouvements de terrain associés, le reste du territoire est caractérisé comme *a priori* favorable, sous réserve d'études confirmant le caractère adapté.

L'étude permet également de préciser le potentiel géothermique lié à d'autres formes de production d'énergie : l'implantation des sondes géothermiques dans des forages pétroliers profonds après reconversion, la mise en place d'échangeurs dans les eaux superficielles lacustres pour la production de frais ou de froid, la récupération de calories sur les eaux drainées par les tunnels routiers et ferroviaires, la valorisation des eaux thermo-minérales, en amont ou en aval des activités de soin. On note que ces autres formes de production d'énergie sont assez bien réparties sur tout le territoire, avec ainsi des perspectives de développement dans tous les départements concernés. En dépit d'incertitudes encore importantes, qui ne pourront être levées que par des études locales, il est possible de chiffrer l'énergie récupérable entre 15 et 300 GWh/a. On peut ajouter que deux autres formes de récupération d'énergie méritent une attention particulière : la valorisation thermique des eaux dites « grises » et les pieux énergétiques. La valorisation thermique des eaux grises est déjà mise en œuvre sur différents établissements thermaux ou municipaux (eaux de bains et eaux de piscines rejetées) et permet à la fois une récupération d'énergie et un abattement des températures de rejets limitant les impacts sur le milieu naturel ; sa mise en œuvre sur des collecteurs d'eaux usées en contexte urbain est à l'étude sur différentes communes. Concernant les pieux géothermiques, cette technique devrait être particulièrement encouragée à l'occasion de tout aménagement important de bâtiments publics ou privés nécessitant la mise en œuvre de fondations importantes.

Si le développement de la géothermie en région Rhône Alpes apparaît finalement important au regard des données fournies par les professionnels, les perspectives d'accroissement le restent également, dans les secteurs classiques (géothermies sur aquifères, sondes et champ de sondes), mais également dans des domaines encore peu conventionnels, tels le réaménagement d'anciens forages pétroliers, le rafraîchissement par les eaux lacustres et la mise en place de pieux géothermiques. De manière générale cependant, pour garantir une préservation de la qualité des ressources, il importe d'une part d'optimiser la récupération de calories sur les eaux rejetées (eaux grises) et d'encourager, pour les systèmes sur aquifères, la mise en place de systèmes réversibles afin de « compenser » en fonction des besoins les rejets de calories ou frigorifiques.

## **Annexe 1 – Bibliographie et Webographie**



## Bibliographie :

- [1] Jann-Para G., Schwob I., Feuillade M., Occurrence of toxic *Planktothrix rubescens* blooms in lake Nantua, France, *Toxicon*, Volume 43, Issue 3, 1 March 2004, Pages 279-285
- [2] Domaizon I., Gerdeaux D., Druart J.C., Laine L., Lazzarotto J., Perga M.E. et Rimet F., 2010. Suivi de la qualité des eaux du lac d'Annecy. Rapport 2009. SILA (éd.) et INRA-Thonon. 64 pages et annexes
- [3] Yon V., Mesure en continu de l'oxygène dissous dans le lac du Bourget (Savoie), relation avec la production phytoplanctonique, Laboratoire Géochimie des Eaux, Université Pierre et Marie Curie, Ecole des Mines de Paris, Septembre 2004.
- [4] Lazzarotto J., Rapin F., Evolution physico-chimique des eaux du Léman, Rapport de la Commission Internationale pour la protection des eaux du Léman contre la pollution, Campagne 2006, p. 33-57, **2007**
- [5] Sanner B., Borehole Heat Exchanger, prototype for ground coupling, Groundhit Final Workshop, Berlin, Germany, May 5, 2008
- [6] Wetzel H., Stutzke R., Géothermie Chauffage urbain Prenzlau (Allemagne), Fiche Energie-Cités, programme ALTENER
- [7] Lesueur H., Etat de l'art des échanges souterrains des pompes à chaleur géothermales - Présentation des techniques disponibles, rapport BRGM/RP-57416-FR
- [8] Midderhoff U., Geothermie-Projekt Arnsberg, Projektsteckbrief, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Dezember 2007
- [9] Gable R., Acquisition et rassemblement de données géothermiques disponibles en France, rapport BRGM/78-SGN-284-GTH, 1978
- [10] Deming, D. "Application of bottom-hole temperature corrections in geothermal studies." *Geothermics* 18(5/6): 775-786, 1989
- [11] Jorand C., Bouchot V. - Evaluation du potentiel géothermique du réservoir clastique "Buntsandstein" du bassin bressan, France. Rapport BRGM, RP-56462-FR, 34 p, 2008
- [12] Garibaldi C., Détermination des températures profondes du bassin du sud-est de la France et relations entre anomalies thermiques, géologie et circulations hydrothermales par modélisation 3d " BRGM. Orléans, Université de Nice. 284p, 2010

- [13] Mathieu J.P., Kastler A. et Fleury P., Dictionnaire de la physique. 2<sup>e</sup> édition. Masson Eyrolles 1985.
- [14] Clauser C., and Huenges E., Thermal Conductivity of Rocks and Minerals, Rock Physics and Phase Relations, Ed. T. Ahrens, 1995
- [15] Gong G., Physical properties of alpine rocks: a laboratory investigation. Thèse de doctorat : Univ. Genève, no. Sc. 3658, 2005
- [16] Herve J.Y., Bourg-en-Bresse Opération Géothermie, Rapport technique de fin de sondage GBG1, rapport BRGM/81-SGN-740-GTH, 1981
- [17] Dossier BSS et rapport fin de sondage, Forage de Valence
- [18] Abandon et fermeture des forages, Note technique n°11, Division Nationale des Eaux Minérales et Thermales, Novembre 1997
- [19] Géothermie Exploitation de l'énergie géothermique, Guide pour concepteurs, maîtres d'ouvrages, investisseurs et décideurs, Office fédéral de l'Energie, Octobre 2008
- [20] DELTA<sup>®</sup>, Nappes à excroissance DELTA<sup>®</sup>, conception technique, société du groupe Doerken, 2010
- [21] Wilhelm J., Rybach L., Potentiel géothermique des tunnels transalpins suisses, OFEN, 2003
- [22] Chartier R., Rapport d'expertise : Avis sur le projet d'utilisation des eaux à des fins thermiques – Etablissement thermal de La Léchère (73), rapport BRGM/RP-60252-FR, 2011
- [23] Gourmez D., Lemale J., Guide technique pompe à chaleur géothermique sur aquifère : Conception et mise en œuvre, Collection Scientifique et Technique, ADEME, BRGM Editions, 2009
- [24] Simeon, Y., Etude hydrogéologique des sources thermominérales de Tarentaise (Savoie) : Brides-les-Bains - Salins-les-Thermes - La Lechere, Grenoble : Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 219 p. 1980
- [25] Grenoble : Direction Départementale de l'Agriculture, Etude des ressources en eau de la vallée de l'Isère : II : Versants de Belledonne, Chartreuse et Vercors, des confins de la Savoie au Bec de l'Echaillon, 22p. 1968
- [26] Barat A. avec la collaboration de Malatrait A., Lundt F. et Roignot G. (1988) Etude des systèmes hydrothermaux de Brides-les-bains et Salins-les-thermes. Rapport final. BRGM/88-SGN-441, 42p.
- [27] Eugster W. J., Füglistner H. Tiefe (2003) Erdwärmesonde Weggis - Messkampagne zur Dokumentierung der neuen Einflüsse beim Ausbau der Abnehmerleistung. s.l. : Bundesamtes für Energie (Suisse)

- [28] Kohl T., Brenni R., Eugster W. (2002) System performance of a deep borehole heat exchanger. *Geothermics* 2002, pp. 687-708.
- [29] Claire Charguéron, Bruno Canaletta, Marc Boisson, Frédéric Jacques (2007) Utilisation énergétique d'une nappe – Nécessité d'un recensement – Exemple de la Ville de Grenoble, XIV<sup>es</sup> journées techniques du Comité français d'hydrogéologie – Lyon 8-10 novembre 2007
- [30] Jacques Jenny *et al* (2009) Valorisation du forage géothermique de Thônex 1, Etude d'opportunité, OFEN, Rapport final 25. Mai 2009
- [31] Bastien Colliard (2004) Outil de décision et de quantification du potentiel géothermique pour l'implantation de sondes géothermiques verticales, mémoire de formation, Centre d'hydrogéologie, Université de Neuchâtel
- [32] Serra H., Petelet-Giraud E., Négrel P. (2003) Inventaire du potentiel géothermique de la Limagne (COPGEN) – Synthèse bibliographique de la géochimie des eaux thermales. BRGM/RP-52587-FR, 84p., 21fig., 5tabl., 2ann.
- [33] AFTH (2010) Récupération d'énergie aux thermes de Saint Gervais, Afth - Bulletin d'information N°21 - 2010 page 29
- [34] Peter RIEDERER, Gérard EVERS, Daniel GOURMEZ, Florence JAUDIN, Pascal MONNOT, Vincent PARTENAY, Sandrine PINCEMIN et Etienne WURTZ (2007) COnception de Fondations GEothermiques, Etude ALTO, BRGM, CSTB, INES, Soletanche Bachy, Rapport CSTB n° ESE/ENR n° 07.044RS
- [35] P. Joliquin (2002) Exploitation de la chaleur terrestre par des géostructures énergétiques. Méthodologie de détermination des zones potentielles, Rapport final OFEN du 27 septembre 2002
- [36] Lemale J., Gourmez D. (2008) Guide technique Pompe à chaleur géothermique sur aquifère, Conception et mise en œuvre » Conseil General de Lorraine, Ademe, EDF, BRGM, 75p. (accessible sur <http://www.geothermie-perspectives.fr>)
- [37] Pierre Hollmuller, Bernard Lachal, Daniel Pahud (2005) Rafraîchissement par geocooling : Bases pour un manuel de dimensionnement, Rapports final de recherche du CUEPE n° 5, Mai 2005 Université de Genève CUEPE
- [38] Bézèlgues-Courtade S., Martin J.C. (2011) – Synthèse de la réglementation française codifiant la recherche et l'exploitation de l'énergie géothermique. Rapport final. BRGM/RP-60195-FR, 102 p., 7 ann.
- [39] M.F. Parascandola (1982) Synthèse hydrogéologique de la région Rhône Alpes, Rapport BRGM/82-SGN-380-RHA, 145p.

- [40] M. Terrier, collab. G. Bertrand, A. Roullé (2006) Document d'information sur le risque sismique à destination des media. rapport BRGM/ RP-55012-FR, 219p., 128fig.
- [41] Bertin C. – Référentiel hydrogéologique français BDRHF-Version 2. Bassin Loire-Bretagne. Année 2. Délimitation des entités hydrogéologiques du département de la Loire. Rapport d'étape. Rapport BRGM RP-56950-FR, 45 p., 17 ill., 3 an.
- [42] N. Bernon, R. Chartier, P. Herniot (2012) – Atlas du potentiel géothermique très basse énergie sur aquifères pour la région Rhône-Alpes. Rapport final. BRGM RP-60856-FR, 102 p., 40 illustrations, 6 annexes, 1 CD
- [43] Chauffer et rafraîchir grâce aux eaux usées, Guide pour les maîtres d'ouvrage et les communes (non daté) SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie, 36p.
- [44] Grand Lyon (2010) Plan Climat Energie, Elaboration des Scenarios d'agglomérations, Document de travail : énergie, 32p.
- [45] AFTH (2012) Gestion de l'énergie dans les établissements thermaux, Evian les Bains, 18/11/2011, AFTH Bulletin n° 23, 30p.
- [46] Chartier R., Desplan A., Bezelgues Courtade S. (2009) – Surveillance des installations géothermiques sur aquifères dans l'agglomération lyonnaise (69) – Rapport final – BRGM RP-57507-FR, 56 p., 7 fig., 3 ann.
- [47] Lesueur H (2010) Le stockage saisonnier de l'énergie, Note interne BRGM
- [48] Projet de recherche ANR - ATESTOC - Stockage d'énergie thermique en aquifère pour la réalisation d'éco-quartier : Etude d'un site à proximité de Valenciennes. Partenaires ESETA, BRGM, CTIFL.
- [49] Laperche D. (2011) Stockage d'énergie : le sous-sol, allié des énergies renouvelables, Environnement et technique n°309, septembre 2011
- [50] Maragna C. (2012) Méthodologie de la reconversion des forages profonds en échangeurs géothermiques
- [51] A. Le Bel, S.Bezelgues-Courtade, M.Philippe, M.Jorio, A.Poux (2010). La géothermie en Rhône-Alpes : comparatif technique et mesures d'encadrement. Rapport final. BRGM/RP-59048-FR. 109 p., 21 fig., 5 ann
- [52] Les pompes à chaleur géothermiques sur champ de sondes, Manuel pour la conception et la mise en œuvre (2012), Editions ADEME – BRGM
- [53] Les pompes à chaleur géothermiques à partir de forages sur aquifères, Manuel pour la conception et la mise en œuvre (2012) Editions ADEME - BRGM

## Webographie (internet) :

- [A]. <http://energyandsustainability.fs.cornell.edu/util/cooling/production/lsc/default.cfm>  
Site de l'Université de Cornell consacré au système de refroidissement avec l'eau du Lac
- [B]. <http://www.sig-ge.ch/gln/index.lbl> Site des Services Industriels de Genève
- [C]. <http://www.enerzine.com/7/8603+climatisation-a-lenergie-thermique-des-eaux-profondes+.html> Webzine spécialisé dans les énergies
- [D]. <http://sierm.eaurmc.fr/plans-eau/donnees-qualite.php> Site de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée – Corse
- [E]. [http://www.hakagerodur.ch/front\\_content.php?idcat=41](http://www.hakagerodur.ch/front_content.php?idcat=41) Site du constructeur de sondes géothermiques HAKA GEODUR
- [F]. <http://www.insee.fr> Site de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
- [G]. <http://saratlas.free.fr/> Base de données associative des autoroutes et voies rapides
- [H]. <http://www.france-thermal.org> Site du thermalisme français
- [I]. <http://www.developpement-durable.gouv.fr> Site du ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement
- [J]. [www.rhonealpes.fr/](http://www.rhonealpes.fr/) Site du Conseil Régional - Région Rhône-Alpes
- [K]. <http://www.erdfdistribution.fr> , Fiche « La Pompe à chaleur »
- [L]. <http://www.batimag.ch> Page « L'exploitation d'aquifères profonds, un domaine d'avenir », octobre 2010
- [M]. <http://enr.cstb.fr> Page « Suivi énergétique du projet Cité du Design à St. Etienne », Ce projet est cofinancé par l'ADEME ; Partenaires : EDF, St. Etienne Métropole
- [N]. <http://www.geothermie-perspectives.fr/11-informations-utiles/pdf/Bulletin-GTH-IDF-08.pdf> Fiche sur le cas du forage profond de Mios Le Teich
- [O]. [http://www.rdbmrc-travaux.com/spge/site\\_v2/article\\_index\\_per.php](http://www.rdbmrc-travaux.com/spge/site_v2/article_index_per.php) Profil environnemental Rhône Alpes



## **Annexe 2 –**

### **Documents relatifs au chapitre 2 - Contexte et état des lieux de la géothermie en région Rhône Alpes**

- Principes retenus pour l'exploitation de la BSS
- Formulaire d'enquête diffusé à l'AFPG



## Etat des lieux – Exploitation de la BSS

### 1) Les données de la BSS

La banque nationale du sous-sol géré par le BRGM est une base de recensement des ouvrages, sources, cavités, sondes, gisements... Pour ce qui concerne la géothermie, chaque ligne de donnée est un ouvrage. Les données ont été extraites de la BSS à la date du 01/07/2010.

### 2) Etapes

#### **Etape 1 : Sélection**

Pour chaque département, toutes les lignes contenant les mots clef listés dans le tableau suivant se référant aux installations ou à la prospection de géothermie ont été conservées.

<b>Champ</b>	<b>Mots clés</b>
NATURE	SONDE-GEOTHERMIQUE CHAMP-DE-SONDES PAC-SUR-AQUIFERE
UTILISATION	CHAUFFAGE POMPE-A-CHALEUR RAFRAICHISSEMENT SONDE-GEOTHERMIQUE
RECHERCHE	GEOTHERMIE GEOTHERMIE-BE GEOTHERMIE-TBE
EXPLOITATION	ENERGIE-GEOTHERMIQUE EAU-THERMALE EAU-THERMO-MINERALE
RECONNAISSANCE	GEOTHERMIE

*Illustration 98 : Mots clefs retenus pour l'extraction en BSS*

#### **Etape 2 : Regroupement**

Au regard de l'information souhaitée, la donnée brute extraite de la BSS présente des doublons. En effet, une installation de géothermie peut comporter plusieurs ouvrages : doublet géothermique (puits de pompage et de réinjection pour certaines installations sur nappe), ouvrage de surveillance, ouvrage abandonné, multiplicité des puits de pompage etc.

Un travail a donc été fait pour regrouper sous la même entrée les ouvrages appartenant apparemment à la même installation. Ce regroupement a engendré une réduction du nombre d'enregistrements de 1037 à 636.

Les critères retenus pour examiner la nécessité de rassembler les installations sont les suivant, dans leurs principes :

- même commune
- même lieux dit,
- proximité dans les coordonnées Lambert (différence < 300m)
- même propriétaire, exploitant ou maître d'ouvrage.

Une vigilance particulière a été nécessaire pour les 3 premiers critères, notamment pour les grandes agglomérations où des installations distinctes peuvent présenter une égalité des champs correspondants.

A l'étape de regroupement, l'enregistrement conservé est sélectionné en fonction de la représentativité qu'il donne de l'ensemble. Par exemple, le choix s'est porté si possible l'ouvrage dont la date des travaux est la plus ancienne, ou sur celui qui comporte les mots clés les plus explicites pour qualifier le type de géothermie ou l'état du puits.

Afin cependant de ne pas perdre d'information, deux nouveaux champs ont été créés. Il s'agit de « NB\_OUVRAGE » et « DONT\_REJET » dans lesquels sont notés respectivement le nombre d'ouvrages regroupés et le nombre de rejets que l'on compte parmi ceux-ci. Un rejet se caractérise par le mot clé « REJET-EAUX-USEES » ou « INJECTION-EAU » dans le champ « RECONNAISSANCE ».

Champ	Entrée possible	Note
CATEGORIE	SONDE	
	CHAMP-DE-SONDES <sup>43</sup>	
	PAC-SUR-AQUIFERE	
	PAC-NI	Utilisé quand la distinction sonde/PAC sur aquifère n'a pas été faite (terme « PAC » non identifiée)
NB_OUVRAGE	<i>Entier</i>	Nombre total d'ouvrages
DONT_REJET	<i>Entier</i>	Décompte du nombre de point de rejet identifiés
EXPLOITE	OUI	
	NON	
	(vide)	Situation inconnue
ANNEE	<i>Entier</i>	Année des travaux et à défaut année d'entrée de l'ouvrage en BSS

Illustration 99 : Nouveaux champs créés

<sup>43</sup> Le mot clef CHAMP-DE-SONDE apparaît après 2007 seulement dans la BSS

### **Etape 3 : Création de nouveaux champs utiles**

La structure de la BSS et les modalités de son renseignement ne permettent pas d'opter pour une approche immédiate d'identification du type d'installation mise en place ou envisagée. Plusieurs champs peuvent contenir une information importante de ce point de vue : NATURE, UTILISATION, RECHERCHE, EXPLOITATION, RECONNAISSANCE).

Pour cette raison, et à des fins de simplification, un champ appelé « CATEGORIE » a été ajouté, champ dans lequel le type d'installation est renseigné de manière simple, sur la base d'un lexique à 3 entrées. Ce champ CATEGORIE a été complété suivant la procédure suivante :

- Examen du champ NATURE : la présence des mots CHAMP-DE-SONDE, ou PAC-SUR-AQUIFERE ou SONDE-GEOTHERMIQUE implique l'utilisation, dans le champ CATEGORIE, des valeurs CHAMP-DE-SONDE, PAC-SUR-AQUIFERE ou SONDE
- Examen du champ UTILISATION : la présence des mots SONDE-GEOTHERMIQUE implique l'utilisation de la valeur SONDE ;
- Pour tous les ouvrages restants, la présence des mots CREPINE ou de POMPE dans le champ ETAT, ou mention de « EAU » et « GEOTHERMIE » ou « POMP-A-CHALEUR » dans deux autres champs distincts implique la valeur PAC-SUR-AQUIFERE. A défaut, la valeur PAC-NI est utilisée (NI pour non identifié).

Ensuite, la BSS permet de connaître si, au moment de l'entrée de l'ouvrage dans la base, celui-ci était exploité ou non. Toutefois, cette donnée n'est pas toujours renseignée ; ainsi, en région Rhône Alpes et pour la géothermie, presque 60% des ouvrages n'ont pas de mention à ce titre. Par ailleurs, le caractère exploité ou non d'un ouvrage peut évoluer dans le temps et la pertinence de l'information est donc limitée. Malgré ces limites, nous avons tout de même répertorié ce caractère dans un nouveau champ EXPLOITE basé sur le champ existant ETAT (dans lequel on trouve les valeurs suivantes : EXPLOITE, NON si NON-EXPLOITE ou INACCESSIBLE).

Enfin, un nouveau champ est nécessaire à la notification de l'année de l'opération. En effet, d'une part l'année des travaux est notée sous forme de date complète dans la BSS (difficilement exploitable pour les graphiques) et d'autre part elle n'est pas notée dans chaque cas. On a donc ajouté un dernier champ ANNEE dans laquelle on reporte l'année des travaux ou à défaut année d'entrée en BSS.

### **3) Limites et pertes d'information**

L'usage de la BSS comme source d'information pour l'état des lieux révèle différentes difficultés ou particularités qu'il convient de rappeler :

- La déclaration n'est obligatoire que pour les ouvrages relevant du code minier, c'est-à-dire d'une profondeur au-delà de 10m ; en pratique, il est avéré que le BRGM ne « capte » qu'une partie de l'information sur les ouvrages réalisés et relevant du code minier ;
- Le renseignement de la base n'est peu contraint, ce qui peut donner lieu à des omissions, voire des incohérences à plusieurs niveaux :

Il est possible que certains ouvrages soient utilisés pour la géothermie, mais que les entrées correspondantes ne comportent pas les mots clés associés. A titre d'exemple pour le Rhône, il existe 98 ouvrages de nature FORAGE ayant les champs ETAT, UTILISATION, RECHERCHE, EXPLOITATION et RECONNAISSANCE vides.

De nombreux ouvrages sont identifiables comme étant liés à la géothermie sans qu'il soit possible de déterminer s'ils sont relatifs à des pompes à chaleur sur aquifère ou des sondes. Dans certain cas on peut en première approximation considérer que les ouvrages comportant une crépine et/ou une pompe sont des PAC sur aquifère, mais cela ne concerne finalement que peu d'entrées.

Au fil des années, de nouvelles entrées ont été ajoutées dans la BSS, comme l'entrée CHAMP-DE-SONDES dans le champ NATURE en 2007 et l'entrée SONDE-GEOTHERMIQUE en 2005. Cette technologie existant avant ces dates, il est possible que de nombreux ouvrages n'aient pas été déclarés comme tels.





## **Annexe 3 – Documents relatifs au chapitre 4 Potentiel géothermique des autres formes de production d'énergie**

- Synthèse des valeurs de conductivités thermiques par lithologie et saturation en eau,
- Cartes des forages pétroliers situées à proximité d'un centre urbain,
- Tableau des forages pétroliers et villes situées à proximité,
- Carte des régimes hydrologiques rencontrés en Rhône-Alpes (source DREAL Rhône Alpes),
- Liste des lacs et plans d'eau étudiés,
- Tableau d'informations sur les villes situées à proximité des portails des tunnels routiers avec des venues d'eau,
- Tableau d'informations sur les villes situées à proximité des portails des tunnels ferroviaires avec des venues d'eau,
- Schéma de fonctionnement du projet « Genève Lac Nations »,
- Extrait des documents d'enquête suisses de Neuchâtel pour l'examen des besoins thermiques,



Type de roche	Conductivité thermique W/m/°K					
	Sec			Saturé d'eau		
	min	typique	max	min	typique	max
Amphibolite	2.29	2.46	2.69	2.44	2.78	3.07
gneiss (Augen-)	2.92	3.265	3.61	3.72	4.135	4.55
Argile	2	2.7	3.4	2	2.7	3.4
Argile limon	0.4	0.5	1	0.9	1.7	2.3
Basalte	1.3	1.7	2.3	1.3	1.7	2.3
Bentonite	0.5	0.6	0.8	0.5	0.6	0.8
Béton	0.9	1.6	2	0.9	1.6	2
Breccia	2.84	3.48	4.34	3.27	3.85	4.31
Calcaire	2	2.97	4.41	2.22	3.18	5.16
Calcaire bioclastique	3.17	3.19	3.21	3.22	3.265	3.31
Calcaire bioclastique siliceux	2.95	3.555	4.16	4.87	5.015	5.16
Calcaire biodétritique	3.01	3.14	3.27	3.05	3.235	3.42
Calcaire congloméré?	2.72	2.73	2.74	2.96	3.17	3.38
Calcaire de dune	2.33	2.41	2.49	2.55	2.59	2.63
Calcaire dolomitique	2.71	2.725	2.74	2.76	2.805	2.85
Calcaire (recifs coraliens)	2.7	2.775	2.85	2.77	2.855	2.94
Calcaire marbre	2.46	2.48	2.5	2.86	2.875	2.89
Calcaire marneux	2.27	2.285	2.3	2.49	2.51	2.53
Calcaire micritique	3.02	3.035	3.05	3.08	3.115	3.15
Calcaire pelagique	2.78	2.81	2.84	2.84	2.925	3.01
Calcaire siliceux	3.295	3.33	3.365	3.445	3.4875	3.53
Calcaire sublithographique	3.1	3.11	3.12	3.29	3.305	3.32
Conglomérat	2.51	2.91	3.24	3.49	3.64	3.76
Diorite	2.08	2.23	2.46	2.36	2.61	2.8
Dolomite	4.22	4.71	5.09	4.99	5.26	5.53
Quartz (galet/cailloux)	3.635	3.9	4.165	4.675	4.835	4.995
gabbro	1.7	1.9	2.5	1.7	1.9	2.5
Gneiss	1.48	2.78	3.61	2.84	3.7	4.55
Gneiss granitique	2.32	2.6275	3	3.38	3.605	3.94
Gneiss monzonitique	2.94	3.025	3.11	3.58	3.62	3.66
Granite	2.1	3.4	4.1	2.1	3.4	4.1
Monzonite	2.99	2.99	2.99	3.26	3.305	3.35
Granodiorite	2.12	2.2075	2.46	2.52	2.72	2.8
Gravier sec	0.4	0.4	0.5	1.8	1.8	1.8
Grès	1.56	2.57	3.86	2.34	3.2	4.16
Grès marneux	1.56	1.625	1.69	3.23	3.325	3.42
Grès quartz calcite	3.11	3.11		4.16	4.16	
Grès rose	1.6	2.26	2.95	2.55	3.2275	4.03
Gypse	1.08	1.24	1.34	1.38	1.81	2.76
Gypse à bande	1.33	1.335	1.34	1.67	2.215	2.76
Kinzigite	2.58	2.71	2.84	3.61	3.96	4.31
Marbre	2.49	3.88	6.03	2.61	4.54	6.08
Marbre à bande	3.93	4.16	4.39	5.33	5.505	5.68
Marbre dolomitique	5.76	5.895	6.03	5.89	5.985	6.08
Marne	1.5	2.1	3.5	1.5	2.1	3.5
Méta-conglomérat	2.51	2.61	2.71	3.62	3.69	3.76
Méta-gabbro	2.61	2.65	2.69	3.01	3.04	3.07

Illustration 101 : Conductivités thermiques par lithologies

Type de roche	Conductivité thermique W/m/°K					
	Sec			Saturé d'eau		
	min	interm	Max.	Min.	Interm.	max
Méta-quartzite	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
Micaschiste	3.24	3.415	3.59	3.5	3.735	3.97
Micaschiste albitique	2.17	2.72	3.27	2.96	3.505	4.05
Monzonite	2.99	2.99	2.99	3.26	3.3	3.35
Moraine	1	2	2.5	1	2	2.5
Oolithe calcaire	2.23	2.5325	2.78	2.82	2.845	2.88
Ortho-gneiss mylonitique	2.92	3.08	3.24	3.81	3.835	3.86
Pegmatite	3.69	3.72	3.75	4.62	4.78	4.93
Péridotite	3.8	4	5.3	3.8	4	5.3
Quartzite	2.39	4.71	5.83	3.25	6.17	8.44
Radiolarite	3.99	4.1	4.22	3.91	4.14	4.36
Rhyolithe	3.1	3.3	3.4	3.1	3.3	3.4
Sable	0.3	0.4	0.8	1.7	2.4	5
Roche argileuse limoneuse	1.1	2.2	3.5	1.1	2.2	3.5
Schiste	1.9	3.12	5.2	2.77	3.93	5.87
Schiste argilleux .	2.85	2.87	2.89	2.9	2.92	2.94
Schiste quartzeux	2.99	3.715	4.44	3.56	4.22	4.88
Schiste vert	2.04	2.29	2.54	2.77	2.94	3.11
Serpentinite	2.39	2.83	3.24	2.42	3.37	5.89
Sel	5.3	5.4	6.4	5.3	5.4	6.4
Shiste calcique	1.9	3.33	5.20	3.09	4.31	5.87
Siltstone	2.56	2.67	2.78	2.87	2.9	2.93
Tourbe	0.2	0.4	0.7	0.2	0.4	0.7

Illustration 101 : Conductivités thermiques par lithologie (suite)

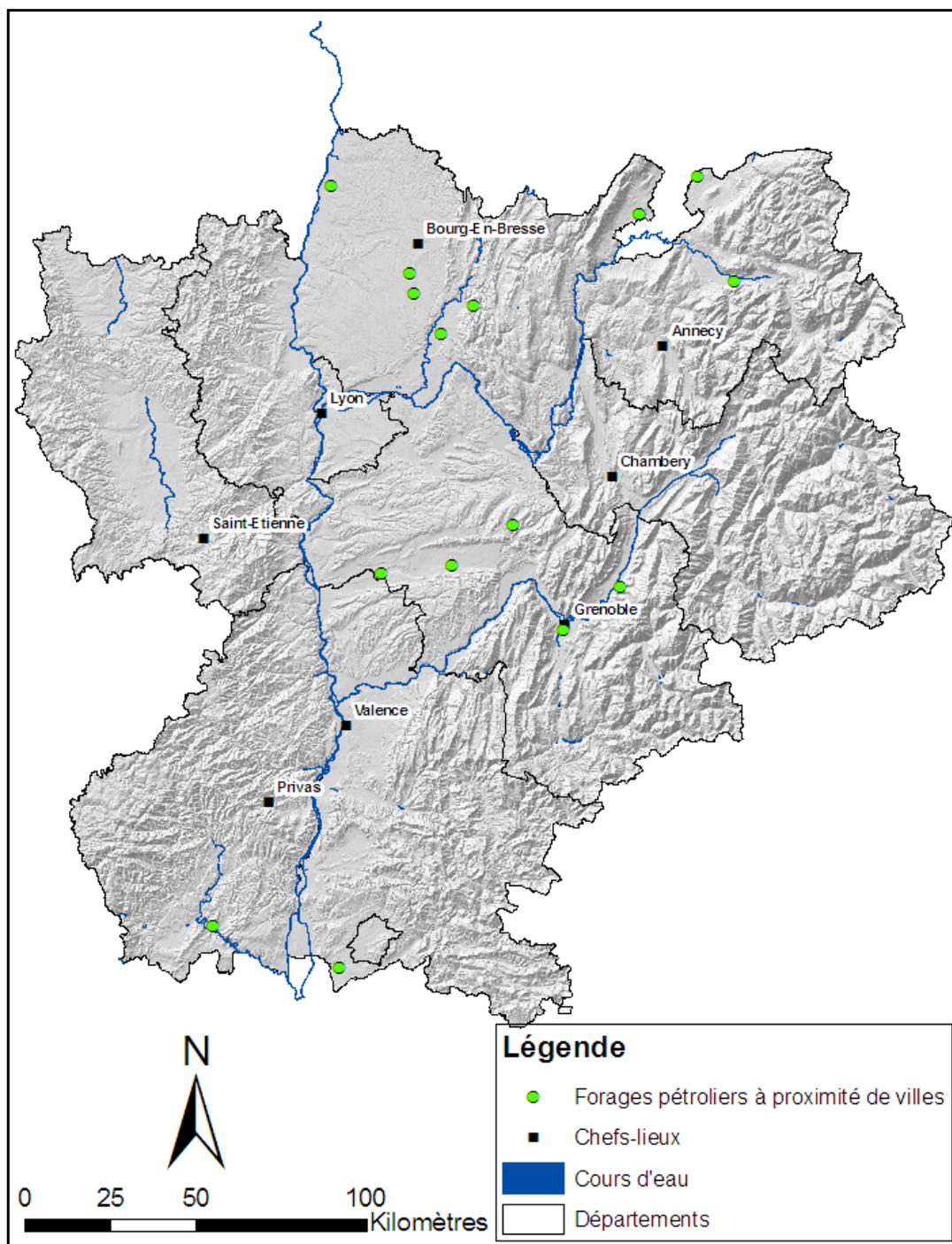


Illustration 102 : Forages pétroliers situées à proximité d'un centre urbain

INDICE	Besoins à proximité		
BSS	Ville	Distance (ville / centre ville - en km)	nombre habitants
07732X0001	Frogès	0 / 0.4	3100
06534X0039	Prévessin Moens	0.2/0.8	5480
06534X0040	Prévessin Moens	0.2/0.8	5480
06752X0005	Dompièrre sur Veyle	0 / 0.2	1000
07964X0028	Grenoble	0 / 2	159 000
06761X0002	Cossieux / Jujurieux	0.3 / 1.3	2000
06253X0010	Manziat	0 / 0.7	1600
06297X0002	Messery	0 / 0.35	1900
07711X0008	Beaurepaire	0.15 / 0.7	4300
08906X0001	Suze-La-Rousse	0.2 / 0.4	1600
06757X0043	Cormoz	0 / 0.2	555
07714X0007	Brézins	0.15 / 0.4	1300
06784X0093	Bonneville / Zone indus	1.3 / 0	10900
07486X0010	Bilieu	0 / 0.7	900
06516X0002	Lent	0 / 0.5	1200
08891X0001	St Martin / Vallée Pont d'Arc	0.2 / 1	? / 2000

*Illustration 103 : Forages pétroliers et villes situées à proximité*

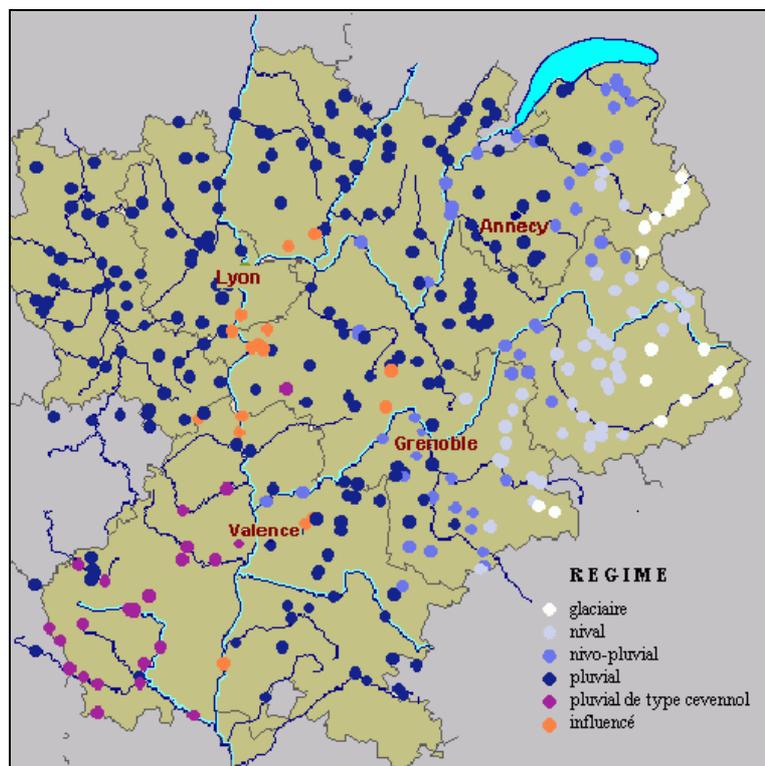


Illustration 104 : Régimes hydrologiques rencontrés en Rhône-Alpes (source DREAL Rhône-Alpes)

DEP	CODE_HYDRO	NOM_ME	SUPERFICIE (ha)	Niveau d'information
73	V1335003	lac du bourget	4396	Suffisant
74	V1235003	lac d'annecy	2639	Suffisant
73	V1535003	lac d'aiguebelette	517	Suffisant
38	W2--3003	lac de monteynard-avignonet	507	Suffisant
38	W3125023	lac de paladru	355	Suffisant
38/05	W22-4003	lac du sautet	317	Suffisant
73	W0005083	lac du chevril	247	Suffisant
38/73	W2755283	réservoir de grand-maison	230	Suffisant
01	U4406723	grand étang de birieux	162	Suffisant
38	W2615003	lac de notre-dame de commiers	162	Suffisant
69	V3005003	le grand large	145	Suffisant
01	V2515003	lac de nantua	133	Suffisant
38	W2765003	grand lac de laffrey	115	Suffisant
73	W1035063	lac de bissorte	115	Suffisant
38	W2405023	lac de pierre-chatel	97	Suffisant
38	W2765023	lac de pétichet	81	Suffisant
74	V03-4003	le léman	57812	Suffisant
73	Y6705023	lac du mont-cenis	653	Absence température
73	W0435023	lac de roselend	315	Absence température
01/39	V2--3003	retenue du coiselet	302	Absence température
07	K002910	lac d'issarlès	90	Absence température
01	V1015003	lac de sylans	36	Absence température
42	K091410	retenue de villerest	634	Seule superficie
42/43	K05-410	retenue de grangent	409	Seule superficie
69/01	V3005063	lac des eaux bleues	247	Seule superficie
01/39	V2--3023	retenue de cize-bolozon	239	Seule superficie
38	W2715003	lac du chambon	132	Seule superficie
01	V2705003	retenue d'allement	122	Seule superficie
01	U4406643	grand étang de glareins	118	Seule superficie
38	W2225003	retenue de saint-pierre-cognet	107	Seule superficie
01	U4406063	étang turllet	87	Seule superficie
01	U4215463	le grand marais	82	Seule superficie
73	W0435043	retenue de la girotte	74	Seule superficie
01	V2525003	retenue de charmine-moux	72	Seule superficie
01	U4405843	étang forêt	67	Seule superficie
38	W2755363	lac du verney	67	Seule superficie
01	U4406283	petit étang de glareins	63	Seule superficie
69	V3005123	lac du drapeau	61	Seule superficie
01	U4035023	gravière de montrevel-en-bresse	59	Seule superficie
01	V2945063	étang de chassagne	57	Seule superficie
69	U4525003	gravière d'anse	55	Seule superficie
07	V4105003	lac de devesset	48	Seule superficie
07	K001510	retenue de la palisse	41	Seule superficie
38	W2735023	lac du lauvitel	37	Seule superficie
01	U4205163	gravière de saint-denis-les-bourg	33	Seule superficie
01	U4215043	étang moulin	28	Seule superficie
74	V0325023	lac de montriend	26	Seule superficie
01	V1435003	lac de barterand	21	Seule superficie
38	W2325003	lac du vallon	15	Seule superficie
74	V0115023	lac d'anterne	11	Seule superficie

Illustration 105: Liste des lacs et plans d'eau

nom de l'ouvrage	Dep	Portail 1				Portail 2			
		Orientation	Ville	Distance (km)	Habitants	Orientation	Ville	Distance (km)	Habitants
SAINT GERMAIN DE JOUX	1	O	La Voute	0,2	?	E	Tacon	1	?
			St Germain de Joux	1	506		St Germain de Joux	1	506
CHAMOISE	1	O	St Martin du Frene	1,9	1115	NE	Nantua	0,3	3795
			Maillat	2,5	668		Les Neyrolles	1,1	678
COL DU ROUSSET	26	NE	Col de Rousset	0,1	< 100	SO	rien		
SINARD	38	NE	Sinard	0,6	656	SO	St Paul lès Monestier	0,7	289
							Monestier de Clermont	0,6	1165
GRAND CHAMBON	38	NO	Mizoen	0,2 (dénivelé 0,8)	181	SE	<i>rien</i>		
EPINE	73	O	Centre autoroutier	0,5	?	E	La motte Servolex	1,7	11997
			Nances	1,1	437				
CHAT	73	NO	St Jean de Chevelu	0,7	731	SE	Bourdeau	0,3	541
			Servagette + Chevelu	0,9					
SIAIX	73	SO	St Marcel	0,8	711	NE	Centron	1	300 approx
PONSERAND	73	NO	Aigueblanche	0,2	3136	SE	Moutiers	0,4	4306
HURTIERES	73	N	la pouille	0,3	< 100	S	les Bottets	0,8	?
							Argentine	1,5	898
AIGUEBELLE	73	N	Aiguebelle	0,2	1156	S	la pouille	0,5	< 100
FREJUS	73	NO	Modane	0,4	3924	SE	Bardonecchia	?	?
							Bardonèche	0,8	3273
ORELLE	73	O	Les Sordières et le	0,4	< 100	E	La Praz	?	?
			Poucet				2	478	
MONT BLANC	74	NO	Chamonix	1,1	9359	SE	Entrèves Courmayeur (Italie)	0,6	2877

Illustration 106 : Informations sur les villes situées à proximité des portails des tunnels routiers avec des venues d'eau

Nom	dpt	Ville à proximité portail 1			Ville à proximité portail 2		
		Nom	Distance (km)	Habitants	Nom	Distance (km)	Habitants
SAUVAGES	69	Amplepuis	4,5	5 218	Tarare	3,5	10 487
CALUIRE	69	Caluire	0	41 436	Caluire	0	41 436
FRANCE *	42/69	Burel	0,5	< 100	Le moulin glattard La roche trouée & la fléchette	0,2 0,8	< 100
TERRENOIRE	42	St Etienne	0	175 940	St Etienne	0	175940
ECHARMEAUX	69	Belleroche	0,4	264	Poule-les-Echarmeaux	0,3	1033
MORNAY <sup>2</sup>	01	Bolozon	1	101	Nurieux	0	1114
COL DES MONTETS	74	Le Buet Le Couteray	0,8 1,1	?	Montroc	0	?
L'EPINE	73	Aiguebelette-le-lac	0,4	237	La cascade & grand village Vimines	0,3 - 0,4 1,5	? 1743
CRET D'EAU	01	Bellegarde sur Valserine	0	11 753	Longeray Leaz	0,7 1	Σ = 535
ORELLE *	73	Les Sordières Le Poucet centre tunnel routier Orelle	1,7	rattaché à Orelle 408	Francoz	0,3	408 ac Orelle

Illustration 107 : Informations sur les villes situées à proximité des portails des tunnels ferroviaires avec des venues d'eau

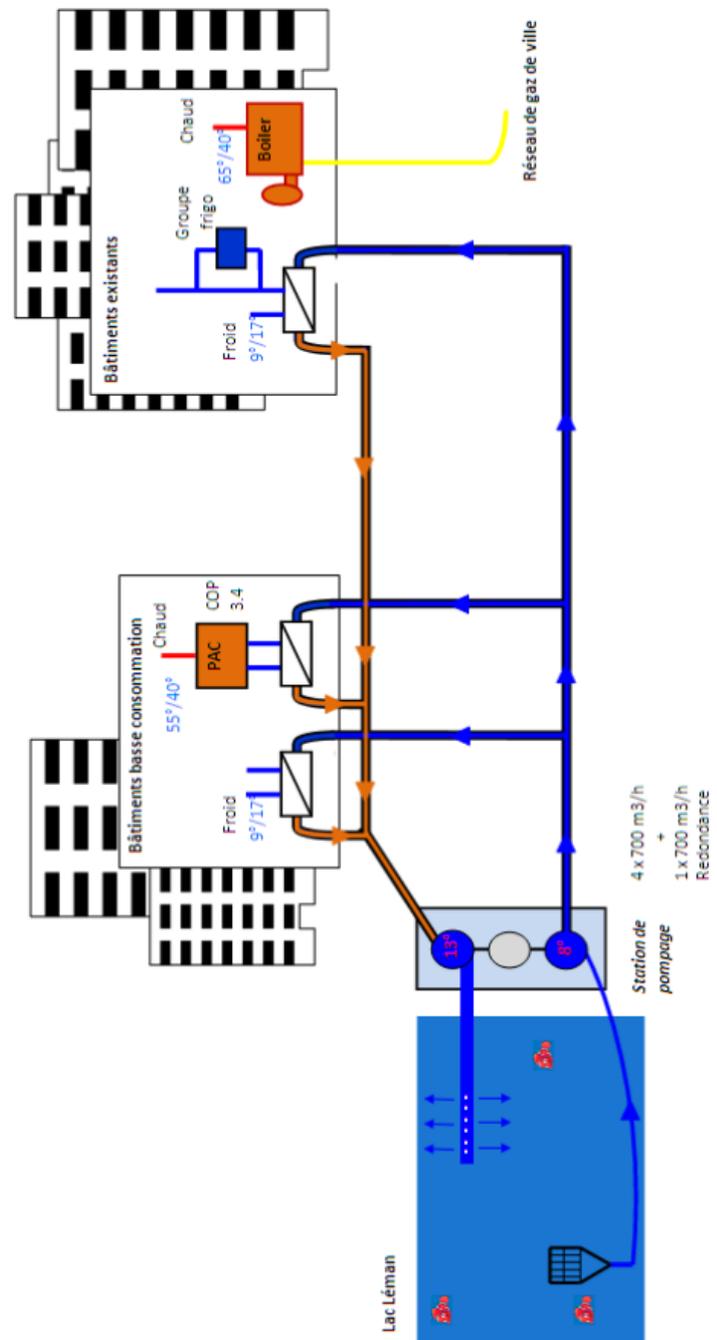


Illustration 108 : Schéma de fonctionnement du projet Genève Lac Nations (source [B])

**Extraits des documents d'enquête suisses pour l'examen des besoins thermiques**

**D) Dans le cas où serait établi un réseau de distribution d'eau technique permettant d'alimenter une pompe à chaleur en hiver, seriez-vous intéressés à vous y raccorder pour chauffer votre bâtiment?**

Oui  Non

**Si oui:** Quel combustible utilisez-vous?

\* Gaz  Frigorifère

\* Mazout  Lignite/Jan

\* Autre ..... Frigorifère

**Vos coordonnées**

⇒ Entreprise, organisation \_\_\_\_\_

⇒ Personne responsable \_\_\_\_\_

⇒ Adresse de l'immeuble concerné \_\_\_\_\_

⇒ Adresse de contact (si différente) \_\_\_\_\_

⇒ Contact téléphonique \_\_\_\_\_

Document à retourner jusqu'au 30 avril 2006 (par courrier, Fax ou E-mail) à:

Pierre-Olivier Angino  
Délégué à l'environnement  
Département de l'énergie et de l'environnement  
Case postale n° 28  
2000 Neuchâtel  
Fax.: 032 717 85 89 environnement.neuchatel@ne.ch

**Important!**  
Les expéditeurs des cent premiers questionnaires recevront une petite attention en guise de récompense pour leur diligence!

[www.finecooling-neuchatel.ch](http://www.finecooling-neuchatel.ch)

3




### ETUDE D'UN RESEAU DE DISTRIBUTION DE FROID EN VILLE DE NEUCHÂTEL (Projet FREECOOLING)

**Questionnaire à l'intention des entreprises et organisations utilisant, du froid technique et/ou de la climatisation. Il s'adresse également à celles qui ont des besoins présents ou futurs de froid.** <sup>1)</sup>

*Les données que vous nous avez fournies seront utilisées pour connaître les besoins en froid et chaleur à basse température en ville de Neuchâtel.*

*Aucun document permettant de connaître l'identité des personnes consultées ne sera diffusé ou publié en dehors de l'usage interne de ce dernier s'engage à ce qu'il ne soit fait aucun usage administratif ou commercial des données fournies.*

**A) Votre bâtiment ou votre entreprise sont-ils équipés d'une installation de production de froid à des fins de climatisation ou de préparation de froid technique?**

	Oui	Non
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Si oui:**

	Climatisation	Usage technique
Utilisation du froid pour	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mode de fabrication du froid:	Oui	Non
- A partir d'une source naturelle (rivière, nappe d'eau souterraine, lac, sous-sol)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- A partir d'un ou plusieurs climatiseurs individuels dans les locaux	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- A partir d'une machine frigorifique centrale avec un réseau de distribution de froid	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Surface estimée des locaux concernés ..... m<sup>2</sup>

Puissance frigorifique totale estimée de la (des) machine(s) frigorifique(s) ..... kW

<sup>1)</sup> Nous prouvons avoir rempli le présent questionnaire sous forme informative en encadrant au sein de nos locaux les données collectées et le recueillir pour courriel: adresse.environment@neuchatel.ch




**B) Votre bâtiment ou votre entreprise sont-ils équipés d'une pompe à chaleur?**

	Oui	Non
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Si oui:**

Quelle est sa source de chaleur?

air	<input type="checkbox"/>
forage géothermique	<input type="checkbox"/>
puits dans la nappe souterraine	<input type="checkbox"/>
lac	<input type="checkbox"/>
rivière	<input type="checkbox"/>

Puissance de la pompe à chaleur ..... kW

**C) Les Services industriels et la ville de Neuchâtel étudient la possibilité de créer un ou plusieurs réseaux de distribution de froid technique à partir d'eaux souterraines, d'eau de lac ou de rivière.**

**En cas de réalisation de ce type de réseau, et pour autant que le prix en soit compétitif, seriez-vous intéressés à vous y raccorder?**

	Oui	Non
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Si oui:**

Pour couvrir des besoins en climatisation?

	Oui	Non
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Surface estimée des locaux ..... m<sup>2</sup>

Pour couvrir des besoins en froid technique?

	Oui	Non
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Estimation de la puissance frigorifique nécessaire ..... kW

www.freecooling.neuchatel.ch







**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 6009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34

**Service géologique régional “Rhône-Alpes”**  
151, Boulevard Stalingrad  
69626 VILLEURBANNE CEDEX  
Tél. : 04 72 82 11 50