



Atlas du potentiel très basse énergie sur aquifères pour la région Rhône-Alpes

Rapport final

BRGM/RP- 60856-FR
Mars 2012



Atlas du potentiel très basse énergie des aquifères de la région Rhône-Alpes

Rapport final

BRGM/RP-60856-FR
Mars 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM (11GTHB01)

N. Bernon, R. Chartier, P. Herniot



Vérificateur :

Nom : J.C. MARTIN

Date : 12/03/2012

Signature :

Approbateur :

Nom : Y. SIMEON

Date : 12/03/2012

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 clés : atlas, géothermie, aquifères, eaux souterraines, Rhône-Alpes, système d'information géographique

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
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, 103 p., 41 illustrations, 6 annexes, 1 CD.

© BRGM, 2012, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

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 (SRCAE¹) 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.

Le présent rapport concerne uniquement la partie de l'étude relative au potentiel géothermique à très basse énergie sur aquifères et la réalisation d'un atlas mis en ligne sur le site Internet « Géothermie perspectives »². Les autres aspects de l'étude évoqués par la suite sont traités dans le rapport public BRGM/RP-60684-FR « Inventaire du potentiel géothermique en région Rhône-Alpes, Etat des lieux et étude du potentiel ».

Le 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 :

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

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.

¹ <http://srcae.rhonealpes.fr/>

² <http://www.geothermie-perspectives.fr>

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 la région Rhône Alpes, les résultats obtenus pour le potentiel géothermique du meilleur aquifère sont de façon synthétique les suivants, exprimés en pourcentage de couverture de la région Rhône-Alpes en surface :

- Couverture du territoire étudiée: 20 %, dont
- Zones à potentiel fort : 7 % du territoire ;
- Zone à potentiel moyen : 4 % du territoire ;
- Faible potentiel : 5 % du territoire ;
- Potentiel non connu précisément : 4 % du territoire;

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.

Les résultats de cette étude sont mis à disposition du public sur l' « espace régional » du site internet ADEME-BRGM dédié à la géothermie (www.geothermie-perspectives.fr/). Il permet de renseigner, à une échelle de mailles de 500 mètres de côté, la ou les 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, outre le potentiel géothermique sur aquifère, renseigne également d'autres informations :

- les zones favorables ou non à l'implantation de sondes géothermiques verticales,
- les zones caractérisées par un potentiel sur d'autres types de géothermie (forages profonds, établissements thermaux, eaux lacustres, eaux de tunnels routiers et ferroviaires),
- certaines zones réglementaires (zones de répartition des eaux, schémas d'aménagement et de gestion des eaux, zones minières notamment).

Les modalités d'acquisition et de traitement de ces autres données ainsi que la synthèse des résultats sont présentées dans le rapport BRGM/RP-60684-FR « Inventaire du potentiel géothermique en région Rhône-Alpes, Etat des lieux et étude du potentiel ».

Ce projet a été réalisé dans le cadre des opérations de service public du BRGM (11GTHB01).

Sommaire

1. Introduction et principes.....	9
1.1. INTRODUCTION	9
1.2. PRINCIPES GENERAUX DE LA GEOTHERMIE	10
1.3. LES DIFFERENTS TYPES DE GEOTHERMIE.....	10
1.3.1. Géothermie moyenne et haute énergie	10
1.3.2. Géothermie basse énergie	11
1.3.3. Géothermie très basse énergie	11
2. La géothermie sur aquifères en région en Rhône-Alpes	12
2.1. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	12
1.1.1. Bassin Loire Bretagne	16
1.1.2. Bassin Rhône – Méditerranée	17
1.1.3. Entités non retenues.....	22
3. Méthodologie générale de conception de l’atlas du potentiel géothermique...23	23
3.1. METHODOLOGIE GENERALE	23
3.2. CRITERES DE POTENTIALITE GEOTHERMIQUE.....	23
3.3. LES ETAPES DE REALISATION DE L’ATLAS DU POTENTIEL GEOTHERMIQUE SUR AQUIFERE	25
3.3.1. Etape 1 : Recueil de données	25
3.3.2. Etape 2 : Cartographie unicritère.....	26
3.3.3. Etape 3 : cartographie multicritère.....	34
3.3.4. Etape 4 : cartographie du potentiel géothermique régional.....	34
4. Bilan de l’étude en Rhône-Alpes	37
4.1. COLLECTE DES DONNEES.....	37
4.2. REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES DONNEES DE BASE	37
4.3. PROFONDEUR D’ACCES A LA RESSOURCE	38
4.3.1. Définition.....	38
4.3.2. Sources de données.....	39
4.3.3. Données disponibles	40
4.3.4. Classification	42
4.3.5. Méthode de spatialisation des données	44
4.3.6. Carte des profondeurs d’accès à la ressource du meilleur aquifère	44

4.4. PRODUCTIVITE DES AQUIFERES	44
4.4.1. Définitions	44
4.4.2. Détermination du débit exploitable	45
4.4.3. Données obtenues	46
4.4.4. Classification	48
4.4.5. Méthodes de spatialisation des données	50
4.4.6. Carte de productivités de la ressource du meilleur aquifère	51
4.5. TEMPERATURE DE LA RESSOURCE.....	51
4.5.1. Définition.....	51
4.5.2. Sources de données.....	51
4.5.3. Données disponibles	52
4.5.4. Classification	54
4.5.5. Méthode de spatialisation des données	55
4.5.6. Carte des températures de la ressource du meilleur aquifère.....	55
4.6. EVALUATION DU POTENTIEL GEOTHERMIQUE	56
4.6.1. Rappel des étapes précédentes et pondération des critères	56
4.6.2. Potentiel géothermique des aquifères	57
5. Diffusion de la cartographie sur internet.....	61
5.1. MISE A DISPOSITION DE LA CARTOGRAPHIE REGIONALE SOUS FORME DE GRILLE	61
5.2. MISE EN LIGNE DE L'ATLAS SUR LE SITE « GEOTHERMIE PERSPECTIVES »	64
5.2.1. Rubriques générales sur l'espace régional de Rhône-Alpes.....	66
5.2.2. Outil de consultation de l'Atlas régional.....	68
5.2.3. Avertissement sur zonages	71
5.3. LIMITES D'UTILISATION DES DONNEES	75
6. Conclusions	77

Table des illustrations

Illustration 1 : Entités choisies et population par commune (source BRGM-IGN).....	13
Illustration 2 – Carte des aquifères de la région Rhône-Alpes pris en compte dans l’atlas du potentiel géothermique.....	14
Illustration 3 – Liste des entités aquifères étudiées dans le cadre de la présente étude	15
Illustration 4 – Principe de l’élaboration des cartes du potentiel géothermique régional.....	24
Illustration 5 – Principe de spatialisation des données par géostatistique (source ArcGis Desktop).....	26
Illustration 6 – Exemple d’attribution d’une valeur moyenne – Cas de la température des alluvions quaternaires de la vallée de l’Ain (94B)	27
Illustration 7 – Interpolation mathématique par polygones de Thiessen	28
Illustration 8 – Exemple d’interpolation par polygones de Thiessen – Cas de la productivité des alluvions quaternaires de la vallée du Rhône de Tain-l’Hermitage (RHD14)	29
Illustration 9 – Exemple de sectorisation au sein d’un même aquifère – Cas des profondeurs des alluvions quaternaires de la vallée de l’Ain (94B)	30
Illustration 10 – Exemple de sectorisation au sein d’un même aquifère – Cas des débits exploitables des alluvions quaternaires de la vallée de l’Ain (94B)	31
Illustration 11 – Exemple de critère non renseigné pour faute de données disponibles – Cas de la productivité des alluvions anciennes des terrasses de l’Isère (152M).....	32
Illustration 12 – Démarche de cartographie unicritère (classification et indexation).....	33
Illustration 13 – Principe de la cartographie multicritères	35
Illustration 14 – Distribution géographique des données ponctuelles collectées	38
Illustration 15 – Schéma explicitant les différents régimes de nappe (source BRGM).....	39
Illustration 16 – Données ponctuelles utilisées pour déterminer la profondeur d’accès à la ressource.....	41
Illustration 17 – Carte des données ponctuelles de profondeur d’accès à la ressource et existence des cartes piézométriques.....	42
Illustration 18 – Classes de profondeur d’accès à la ressource prises en compte.....	43
Illustration 19 – Distribution du nombre de données ponctuelles de "profondeur d'accès à la ressource"	43
Illustration 20 – Données ponctuelles de débit exploitable utilisées (en m3/h)	47
Illustration 21 – Carte des données ponctuelles de débit exploitable.....	48
Illustration 22 – Classes de productivité prises en compte.....	49
Illustration 23 – Distribution des données de débit exploitable collectées au sein des classes de productivité.....	50
Illustration 24 – Nombre de données de température par aquifère	53
Illustration 25 – Carte des données ponctuelles de température	54
Illustration 26 – Classes de températures d’aquifère prises en compte	54

Illustration 27 - Nombre de données par classes de température	55
Illustration 28 – Classification et indexation des critères de potentialité géothermique.....	56
Illustration 29 –Répartition des territoires étudiés (20% de Rhône Alpes) en fonction du potentiel géothermique attribué	57
Illustration 30 –Répartition du territoire rhônalpin en fonction du potentiel géothermique attribué	58
Illustration 31 –Proportions du territoire concerné par une superposition des entités aquifères conservées dans cette étude	59
Illustration 32 - Transcription maillée des entités aquifères spatialisées et de leurs attributs associés sur le critère de surface	62
Illustration 33 - Maillage de l'information – gestion de l'ordre de superposition des aquifères....	63
Illustration 34 - Carte de superposition des aquifères	64
Illustration 35 - Page d'accueil du site geothermie-perspectives.....	65
Illustration 36 - Page d'accueil de l'espace régional sur le site geothermie-perspectives.....	66
Illustration 37 - Fenêtre d'interrogation de l'outil via la carte régionale	69
Illustration 38 - Fenêtre de recherche par commune	70
Illustration 39 - Fenêtre cartographique à l'échelle communale	70
Illustration 40 - Fiche de renseignements fournie pour une maille contenant un aquifère	72
Illustration 41 - Fiche de renseignements fournie pour une maille contenant deux aquifères	73

Tables des Annexes

Annexe 1 Contenu du CD	79
Annexe 2 Bibliographie et Sites internet.....	83
Annexe 3 Carte régionale des profondeurs d'accès à la ressource du meilleur aquifère	87
Annexe 4 Carte régionale des productivités de la ressource du meilleur aquifère.....	91
Annexe 5 Carte régionale des températures de la ressource du meilleur aquifère	95
Annexe 6 Carte du potentiel géothermique régional du meilleur aquifère.....	99

1. Introduction et principes

1.1. INTRODUCTION

Ce projet a été réalisé dans le cadre des opérations de service public du BRGM (11GTHB01).

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).

Le présent rapport concerne l'étude relative au potentiel géothermique à très basse énergie sur aquifères et la réalisation d'un atlas mis en ligne sur le site Internet « Géothermie perspectives »³. D'autres aspects sur la géothermie en région Rhône Alpes (sondes géothermiques verticales, réutilisation de forages pétroliers profonds, géothermie sur eaux lacustres, potentiel énergétique des établissements thermaux...) sont traités dans le rapport public BRGM/RP-60684-FR « Inventaire du potentiel géothermique en région Rhône-Alpes, Etat des lieux et étude du potentiel ».

L'objet de la présente étude menée par le BRGM est d'évaluer les potentialités que représentent les ressources en eau souterraine superficielles, c'est-à-dire situées à une profondeur inférieure à 100 m. On parle alors de géothermie très basse énergie.

Les résultats de cette étude sont un Atlas qui comprend un système d'information géographique (SIG) mis en ligne sur l'espace régional du site Internet de l'ADEME et du BRGM dédié à la géothermie <http://www.geothermie-perspectives.fr>.

L'atlas a été conçu comme un outil d'aide à la décision destiné au grand public, maîtres d'œuvres (bureaux d'études, architectes) et maîtres d'ouvrages afin qu'ils puissent envisager une solution géothermique lors d'un choix énergétique. Les informations présentées sont fournies à titre indicatif, la détermination exacte des caractéristiques de la ressource en eau souterraine nécessite une étude de faisabilité qui sera confiée par le maître d'ouvrage à un bureau d'études spécialisé.

Le présent rapport détaille la méthodologie employée pour élaborer cet atlas. Il présente les résultats obtenus pour chacun des 46 aquifères présents et sélectionnés en région Rhône-Alpes par le comité de pilotage du projet.

³ <http://www.geothermie-perspectives.fr>

1.2. PRINCIPES GENERAUX DE LA GEOTHERMIE

La géothermie se définit comme l'exploitation de la chaleur stockée dans l'écorce terrestre et ayant pour origine à la fois le refroidissement du noyau terrestre et surtout la désintégration naturelle des éléments radioactifs contenus dans les roches profondes⁴. L'énergie géothermique est présente partout à la surface du globe ; elle se manifeste par le gradient géothermique (élévation de la température avec la profondeur) qui est en moyenne de 3,3°C par 100 m. Des variations locales du gradient géothermique peuvent néanmoins être observées ; elles sont reliées à l'âge des formations géologiques et à leur nature.

L'énergie géothermique peut être utilisée pour le chauffage, la climatisation, ou la production d'électricité par le biais de différentes technologies. La possibilité de mettre en œuvre chacune de ces technologies dépend du contexte géologique et hydrogéologique. Ainsi, la production de chaleur d'origine géothermique peut provenir de différents types de ressources en fonction de la profondeur et de la température exploitée.

L'énergie contenue dans les couches superficielles du sous-sol, que ce soit dans les terrains eux-mêmes (technique de la géothermie sur sondes dans les formations qui sont peu ou pas aquifères), ou à partir des nappes d'eau souterraines quand les niveaux sont peu profonds (géothermie sur nappe), peut ainsi être exploitée dans des conditions très intéressantes grâce à la mise en œuvre des pompes à chaleur (PAC). Ces systèmes thermodynamiques ont pour objectif la régulation de la température de bâtiments.

La présente étude s'intéresse essentiellement à la **géothermie sur nappe** (le potentiel géothermique par sondes géothermiques présenté dans l'Atlas ayant fait l'objet d'une étude détaillée dans le rapport BRGM/RP-60684-FR).

1.3. LES DIFFERENTS TYPES DE GEOTHERMIE

On distingue généralement quatre types de géothermie en fonction des critères de profondeur et de température : la géothermie haute et moyenne énergie, basse énergie et très basse énergie.

1.3.1. Géothermie moyenne et haute énergie

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

⁴ Varet J., 1982 – Géothermie basse énergie : usage direct de la chaleur. Masson.

Du fait de son contexte géologique, la région Rhône-Alpes n'est pas concernée par ces types de géothermie, le gradient géothermique moyen (hors anomalies mentionnées par la suite) y étant égal au gradient moyen soit 3,3°C pour 100 m. En effet pour ce gradient, il faut descendre au-delà de 3000 m de profondeur pour espérer atteindre une température de 100 °C.

1.3.2. Géothermie basse énergie

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

Ce type d'énergie géothermique est surtout localisé dans les bassins sédimentaires tels le Bassin parisien ou le Bassin aquitain, en présence d'un aquifère offrant une perméabilité satisfaisante et une température acceptable.

Deux secteurs ont été identifiés en région Rhône Alpes avec des anomalies géothermiques laissant entrevoir ce type de ressources : le Bassin bressan (cf. rapport public [12] RP-56452-FR) et la partie terminale du bassin du Sud-Est de la France.

1.3.3. Géothermie très basse énergie

La géothermie très basse énergie correspond à l'utilisation des ressources thermiques dont la **température est inférieure à 30°C**. A cette température, la ressource ne peut généralement pas être exploitée par un simple échangeur de chaleur, et nécessite donc la mise en place d'une pompe à chaleur (PAC) qui prélève l'énergie de la source de chaleur à basse température (roche ou nappe aquifère) pour augmenter la température d'un fluide secondaire jusqu'à une température compatible avec l'usage.

La ressource géothermique de très basse énergie correspond à l'énergie naturellement présente dans le proche sous-sol, ou dans les aquifères peu profonds (0-100 m). C'est l'objet de la présente étude.

2. La géothermie sur aquifères en région en Rhône-Alpes

2.1. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

L'objectif de l'atlas est de réaliser une cartographie des possibilités d'utilisation de pompes à chaleur sur les principaux aquifères accessibles dans la tranche 0-100 m de la Rhône-Alpes. Les données cartographiques de base correspondent aux contours des aquifères issus de la synthèse hydrogéologique de la région Rhône-Alpes et du référentiel BDLISA (Base de Données Limite des Systèmes Aquifères).

- **Le système aquifère** : un système aquifère est une **entité hydrogéologique aquifère** issue d'une subdivision verticale ou horizontale d'un grand système aquifère ou d'un grand domaine hydrogéologique. La subdivision s'effectue sur l'un au moins des critères suivants : lithologique, structural, stratigraphique, piézométrique, géochimique, hydraulique.
- **Le domaine hydrogéologique** : un domaine hydrogéologique est une **entité hydrogéologique peu aquifère** issue d'une subdivision verticale ou horizontale d'un grand domaine hydrogéologique ou d'un grand système. La subdivision s'effectue sur l'un au moins des critères suivants : lithologique, structural, stratigraphique, piézométrique, géochimique, hydraulique.

Dans le cadre de l'étude du potentiel sur aquifère, les aquifères retenus par le comité de pilotage du projet sont ceux présentés aux figures suivantes (Illustration 1 et Illustration 2) et listés dans le tableau qui suit (Illustration 3).

L'illustration 1 permet de constater que les secteurs étudiés représentent une partie seulement du territoire rhônalpin (environ 20%). En revanche, une très large partie des communes le plus peuplées sont concernées.

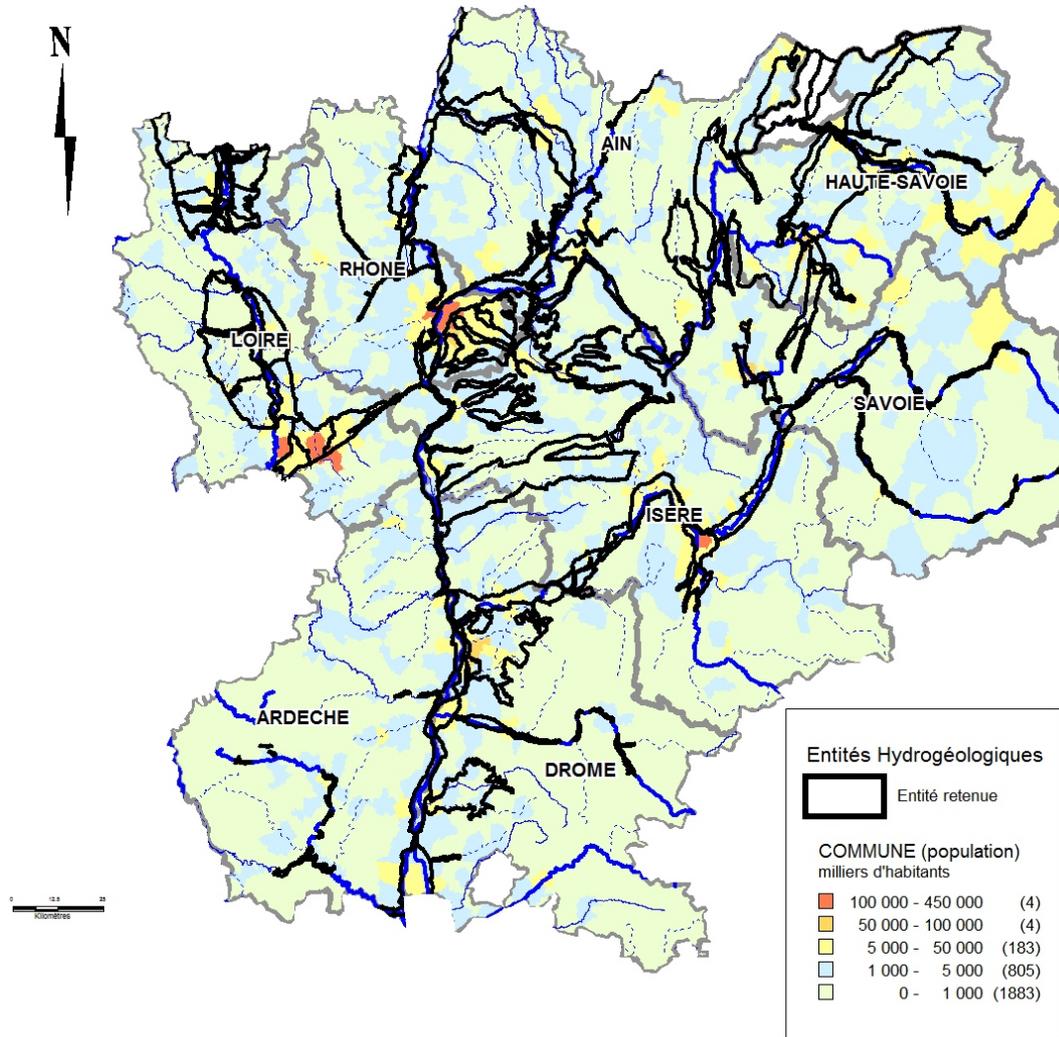


Illustration 1 : Entités choisies et population par commune (source BRGM-IGN)

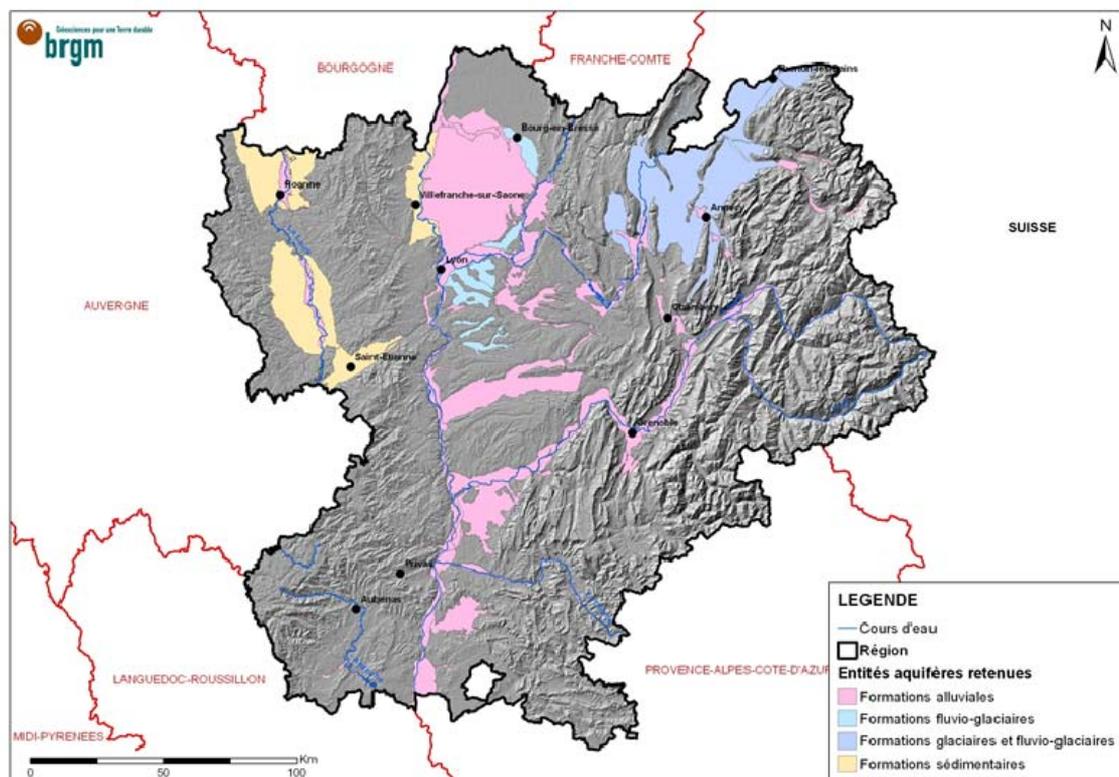


Illustration 2 – Carte des aquifères de la région Rhône-Alpes pris en compte dans l'atlas du potentiel géothermique

Code entité aquifère	Nom de l'entité aquifère	Surface de l'entité (km ²)
151A2	Formations plio-quaternaires de la Dombes	1710,1
151A4	Alluvions quaternaires de la Veyle	54,0
151A5	Formations fluvioglaciales du couloir de Certines	97,7
151F1	Formations fluvioglaciales de Meximieux à Montluel	54,1
151X	Alluvions quaternaires de la Saône du seuil calcaire de Tournus-Ambérieux	145,8
152C	Formations fluvioglaciales du couloir de Meyzieu	62,2
152D	Formations fluvioglaciales du couloir de Décines-Chassieu	61,1
152E	Formations fluvioglaciales du couloir d'Heyrieux	81,8
152H	Formations fluvioglaciales de la Bourbes et du Catelan	221,3
152K	Formations quaternaires de la plaine de Bièvre - Valloire	476,8
152M	Alluvions anciennes des terrasses de l'Isère	235,9
152O	Formations fluvioglaciales du Bas Dauphiné - Véga et Sevenne	40,0
152P	Formations fluvioglaciales du Bas Dauphiné - Gère et Véronne	54,8
154A	Alluvions anciennes de la plaine de Valence	296,0
154B1	Alluvions anciennes des basses terrasses entre la confluence de l'Isère et de la Drôme	30,2
154C	Alluvions quaternaires de la Drôme	98,9
177A1	Sillons fluvioglaciales du pays de Gex	28,4
177C1	Formations glaciaires et fluvioglaciales du bas Chablais-Pays de Gavot	78,3
177C2	Alluvions quaternaires du delta de la Drance	8,0
177C3	Formations glaciaires et fluvioglaciales du bas Chablais-terrasse de Thonon-les-Bains	234,6
324A	Alluvions quaternaires de l'Arve, de la Mênoge et du Giffre	120,3
325A	Alluvions quaternaires de la vallée de l'Isère en amont de Pontcharra	124,8
325B	Alluvions quaternaires de l'Isère entre Pontcharra et Grenoble	111,2
325C	Alluvions quaternaires de la vallée du Drac	88,7
325D	Alluvions quaternaires de l'Isère en aval de Grenoble	106,3
369	Alluvions quaternaires des plaines du Roubion et du Jabron	159,9
384	Alluvions quaternaires de la vallée de l'Arc	54,5
385	Alluvions quaternaires de la dépression de Chambéry et du Sierroz-Tillet	50,4
540X	Alluvions quaternaires de la Saône entre Ambérieux et Caluire-et-Cuire	49,8
540X3	Alluvions quaternaires de l'Azergues et de la Brévenne	45,0
542B	Formations glaciaires et molassiques de l'Albanais et du Bas-Chablais	1857,7
542B1A	Sillons fluvioglaciales des vallées de la Mênoge et de l'Arve	13,2
543A1	Alluvions quaternaires de la Cluse d'Annecy	40,4
548B	Alluvions quaternaires de l'Ardèche et de ses affluents	30,5
621B	Alluvions quaternaires de la Boucle de Vaise	2,7
94B	Alluvions quaternaires de la vallée de l'Ain	201,6
B11A	Domaine hydrogéologique du bassin carbonifère stéphanois	215,6
B11B	Domaine hydrogéologique des formations sédimentaires tertiaires (Pliocène exclus de type limagne)	1296,3
N14B	Système aquifère des alluvions de la Loire - Bassin de Montbrison	77,0
N14D	Système aquifère des alluvions de la Loire - Bassin Roannais	68,1
PLIO1	Formations argilo-sableuses du plio-quaternaire ancien du Val de Saône	250,4
RHD11	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône entre Seyssel et Lagnieu	215,2
RHD12	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône entre Lagnieu et Solaize	160,2
RHD13	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône de Solaize - Tain L'Hermitage	189,3
RHD14	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône de Tain-L'Hermitage-Viviers	163,1
RHD15	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône en aval de Viviers	114,6
TOTAL	46	9876,8

Illustration 3 – Liste des entités aquifères étudiées dans le cadre de la présente étude

Les entités hydrogéologiques étudiées de la région Rhône Alpes sont au nombre de 46, dont 3 sur le bassin Loire Bretagne, 42 sur le bassin Rhône Méditerranée et 1 appartenant aux deux bassins⁵ (8 autres entités envisagées initialement n'ayant finalement pas été retenues).

1.1.1. Bassin Loire Bretagne

Les formations du Bassin Loire Bretagne retenues sont situées sur le sous bassin « Loire a l'amont de Villerest ». Leur description présentée ci-après est extraite du rapport BRGM RP-56950-FR [4] .

- **Formations sédimentaires tertiaires de type « Limagne » (B11B)**

« La Limagne de Loire ou plaine du Forez est un fossé d'effondrement composée de deux sous-bassins tertiaires séparés par des formations carbonifères : le bassin de Roanne au nord et le bassin de Montbrison au sud. Ces sous-bassins à remplissage d'âge oligo-miocène. Dans le bassin Roannais, les formations rencontrées sont des marnes et argiles sableuses. L'eau circule dans les niveaux sableux ou graveleux, horizons peu productifs ; de petites nappes, proches de la surface du sol, peuvent être exploitées mais elles ne subviennent qu'à des besoins limités (puits domestiques traditionnels essentiellement).

Pour le bassin de Montbrison, les formations regroupent les alluvions anciennes en terrasses et les formations sédimentaires tertiaires. En rive droite, les formations sédimentaires ne sont pas réputées aquifères. Surmontant ces formations, il subsiste des formations fluviatiles (terrasses anciennes) qui peuvent constituer un aquifère productif bien que complexe. Ces nappes sont sollicitées essentiellement pour des besoins agricoles (irrigation).

En rive gauche, les formations tertiaires présentent localement un faciès sableux perméable susceptible de renfermer une nappe caractérisée assez souvent par un léger artésianisme. Les alluvions anciennes présentent une grande hétérogénéité mais peuvent néanmoins constituer localement un réservoir aquifère. »

a) Les alluvions de la Loire dans le bassin de Montbrison (N14B)

« L'aquifère est constitué par les alluvions récentes de la Loire qui s'étalent sur 15 km de longueur et 1 km de largeur environ et reposent sur le substratum tertiaire à prédominance argileuse. L'épaisseur des dépôts n'excède pas 8 m et varie tout au long du fleuve. Quant à l'épaisseur de la nappe, elle est souvent comprise entre 2 et 5 m. avec une perméabilité très variable. La ressource est principalement utilisée pour l'alimentation en eau potable. »

⁵ Bassin carbonifère Stéphanois

b) Formations du bassin carbonifère stéphanois (B11A)

« Les terrains houillers du bassin carbonifère stéphanois se présentent comme une accumulation de terrains sédimentaires (alternance de grès, schistes et charbon pour l'essentiel) sur une épaisseur de 2 500 à 3 000 m et reposent directement sur le socle cristallin. Si les terrains du houiller présentent, hors contexte minier, des perméabilités très faibles, en revanche, du fait de la décompression à proximité de la surface, ils peuvent constituer des aquifères superficiels de faible capacité. Enfin, des fracturations supplémentaires des terrains apparaissent à l'aplomb des zones exploitées ; ces zones constituent les principaux magasins aquifères du secteur d'étude et sont alimentées par les précipitations météoriques et par les apports des versants cristallins. »

1.1.2. Bassin Rhône – Méditerranée

Par la suite, les éléments généraux de description de chaque entité hydrogéologique sont repris (éléments issus de l'étude Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse – BRGM de synthèse hydrogéologique régionale, rapport BRGM/RP-57091-FR [5]).

a) Bassin de la Saône, du Doubs à Lyon

Entités concernées :

- 151X – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA SAONE DU SEUIL CALCAIRE DE TOURNUS A AMBERIEUX. Les alluvions récentes de la Saône sont sablo-graveleuses avec des intercalations de lentilles limoneuses, sur cailloutis quaternaires. La nappe est peu profonde et de productivité moyenne
- 151A2 – ALLUVIONS QUATERNAIRES EN RIVE DROITE DU RHONE ET DU CANAL DE MIRIBEL ENTRE LA CONFLUENCE DE L'AIN ET MIRIBEL. La nappe aquifère de Miribel-Valbonne a un écoulement orienté nord-est/sud-ouest et pour niveau de base, le Rhône qui a une influence de drainage bien marquée sauf en période de hautes eaux où son rôle s'inverse. Elle est néanmoins contrainte par le barrage de Jons. Cette nappe est constituée par des alluvions récentes sablo-graveleuses à gros éléments hétérométriques constituant une formation fortement aquifère et semble être alimentée par les versants et notamment par les Dombes. Cette plaine est sillonnée par 2 lînes, celle du Grand Gravier à l'est et celle de la Chaume à l'ouest. Ce sont des dépôts d'origine fluviatile, formés de graviers, sable et galets en proportion variable suivant les secteurs et les profondeurs, ils sont très peu argileux et un faciès sableux est localement prédominant ce qui confère à la formation des perméabilités plus faibles.
- 151A4 – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA VEYLE. Alluvions fluviatiles constituées par des limons, sables et graviers.
- 151A5 – FORMATIONS FLUVIO-GLACIAIRES DU COULOIR DE CERTINES. L'entité correspond à un système aquifère bien individualisé. L'aquifère renferme une nappe libre présentant un recouvrement argilo-limoneux très réduit sauf à l'est

entre Tossiat et Saint-Martin-du-Mont, sur la bordure du Revermont où l'on peut observer la présence de formations sableuses à argileuses à l'affleurement. Ces terrains possèdent un fort pouvoir filtrant et ne sont protégés par aucun recouvrement de surface.

- PLIO1 – FORMATIONS ARGILO-SABLEUSES DU PLIO-QUATERNAIRE ANCIEN DU VAL DE SAÔNE. L'ensemble pliocène « Marnes de Bresse » du Val de Saône, globalement imperméable, inclut plusieurs lentilles ou niveau pouvant contenir des aquifères. Ceux-ci ont une extension et une épaisseur variable et peuvent être en contact localement avec d'autres systèmes aquifères voisins
- 540X – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA SAONE ENTRE AMBERIEUX ET CALUIRE-ET-CUIRE. La nappe principale accompagnant la Saône est présente dans les alluvions récentes sablo-graveleuses, souvent protégées par une couverture argilo-limoneuse peu perméable d'épaisseur variable. Cette nappe peu profonde est libre, excepté dans les secteurs où la couverture limoneuse la rend semi-captive à captive
- 540X3 – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE L'AZERGUES ET DE LA BREVENNE. Les alluvions de l'Azergues et de la Brévenne renferment une nappe de faible extension dans les vallées étroites et encaissées dans les massifs cristallins et calcaires du Beaujolais et du Lyonnais. Dans la plaine des Chères, les ressources en eau contenues dans alluvions de l'Azergues sont intéressantes et exploitables

b) Bassin du Rhône, du Léman a l'Ain

Entités concernées :

- 177A1 – SILLONS FLUVIO-GLACIAIRES DU PAYS DE GEX. Les magasins aquifères du pays de Gex sont constitués par des alluvions glaciaires, fluvio-glaciaires ou fluviales. Ces formations quaternaires reposent sur la molasse tertiaire du bassin lémanique. Le toit de la molasse, comportant localement des argiles glaciaires, constitue le substratum imperméable continu et épais des nappes aquifères. Les zones aquifères sont localisées au niveau des sillons.
- 324A – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE L'ARVE, DE LA MENOGE ET DU GIFFRE. L'entité correspond aux alluvions récentes de l'Arve, de la Ménoge et du Giffre, réparties en deux bassins de surcreusement : l'un en aval de Chamonix, au niveau des Houches, et l'autre en aval de Chedde : le bassin de Fayet Magland, de cônes de déjection imbriqués issus d'affluents de l'Arve, en particulier le cône de Marignier et le cône du Borne. Globalement, les principales ressources en eau se situent au niveau des matériaux grossiers à l'amont et plutôt dans les cônes de déjection à l'aval du fait de la finesse croissante des dépôts alluvionnaires de la vallée
- 542B – FORMATIONS GLACIAIRES ET MOLASSIQUES DE L'ALBANAIS ET DU BAS-CHABLAIS. Cette vaste entité est caractérisée par une ressource en eau

diffuse issue de la molasse, des moraines, des alluvions fluvio-glaciaires, des alluvions fluviatiles récentes et des karsts drainés par les éboulis au pied des massifs calcaires.

- 542B1A – SILLONS FLUVIO-GLACIAIRES DES VALLEES DE LA MENOGE ET DE L'ARVE. Cette entité correspond à la nappe comprise dans les alluvions anciennes de la vallée de l'Arve et de la Ménoge. Ces alluvions se trouvent au niveau de sillons correspondant à d'anciennes vallées des deux cours d'eau.
- 543A1 – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA CLUSE D'ANNECY. Cette entité correspond d'une part aux différents surcreusements de la cluse du lac d'Annecy, comblés par des matériaux glacio-lacustres, des alluvions fluvio-glaciaires et des alluvions fluviatiles récentes, et d'autre part aux cônes de déjection. Les différentes alluvions constituent le réservoir.
- 385 – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA DEPRESSION DE CHAMBERY ET DU SIERROZ-TILLET. Cette entité correspond aux alluvions récentes présentes dans la cluse de Chambéry.
- RHD11 – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA VALLEE DU RHONE ENTRE SEYSSEL ET LAGNIEU. Cette entité regroupe plusieurs entités au niveau local qui sont identifiées à partir de leur lithologie et la séparation par le Rhône. Ce sont les dépôts deltaïques et fluviatiles alluviaux qui sont à l'origine d'une nappe d'accompagnement du Rhône.
- 152H – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA BOURBRE ET DU CATELAN. Les alluvions de la Bourbre ne possèdent pas les caractéristiques hydrauliques des alluvions modernes. L'écoulement souterrain participe au soutien des débits d'étiage des cours d'eau. Les principaux aquifères appartiennent aux formations fluvio-glaciaires de fond de vallée. Cette entité est comprise dans le SAGE de la Bourbre.

c) Bassin de l'Ain

Entités concernées :

- 94B – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA VALLEE DE L'AIN. Le magasin aquifère est constitué par des dépôts alluvionnaires quaternaires d'origine fluviatile et fluvio-glaciaire. Les alluvions modernes qui forment une bande étroite de part et d'autre des rivières de l'Ain et l'Albarine sont en quantité plus importante à la confluence de l'Ain et du Rhône. La majeure partie de la plaine est occupée par les alluvions fluvio-glaciaires. L'ensemble forme un réservoir hydrogéologique homogène. Les formations glaciaires renferment parfois de petits niveaux phréatiques locaux ou de petites sources, sans intérêt ni commune mesure avec les possibilités des alluvions de la plaine. Ces deux entités font partie du SAGE de la basse vallée de l'Ain.

d) Bassin du Rhône, de l'Ain à l'Isère

Entités concernées :

- RHD12 – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA VALLEE DU RHONE ENTRE LAGNIEU ET SOLAIZE. L'épaisseur de ces alluvions est de l'ordre de 15 à 20 mètres en moyenne dans le secteur de Lyon. Au droit de Lyon elles sont présentes essentiellement en rive gauche sur une largeur de 2 à 3 kms. En amont de Lyon, la vallée s'élargit au niveau de l'île de Miribel-Jonage (3 à 4 km de largeur) alors qu'en aval, la vallée s'encaisse dans les formations cristallophylliennes et miocènes. Les alluvions du Rhône abritent la nappe libre d'accompagnement du fleuve qui est drainée par ce dernier. La direction globale d'écoulement est sud-est/nord-ouest puis s'infléchit vers l'ouest. La température de la nappe est influencée par des rejets chauds provenant des forages de pompes à chaleur. La nappe possède un battement d'environ 2 mètres.
- 152C – FORMATIONS FLUVIO-GLACIAIRES DU COULOIR DE MEYZIEU. Formations fluvio-glaciaires au faciès sablo-graveleux à caillouteux renfermant un aquifère offrant des possibilités d'exploitation multiples.
- 152D – FORMATIONS FLUVIO-GLACIAIRES DU COULOIR DE DECINES-CHASSIEU. Formations fluvio-glaciaires au faciès sablo-graveleux à caillouteux renfermant un aquifère offrant des possibilités d'exploitation multiples.
- 152E – FORMATIONS FLUVIO-GLACIAIRES DU COULOIR D'HEYRIEUX. Formations fluvio-glaciaires au faciès sablo-graveleux à caillouteux renfermant un aquifère offrant des possibilités d'exploitation multiples.
- RHD13 – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA VALLEE DU RHONE DE SOLAIZE A TAIN L'HERMITAGE. L'entité concerne les alluvions récentes du Rhône peu homogènes et les nappes des formations würmiennes et post-würmiennes (apports de versants).
- 152P – FORMATIONS FLUVIO-GLACIAIRES DU BAS DAUPHINE – GERE ET VESONNE. Les couloirs fluvio-glaciaires de la Gère et de la Vésonne renferment une nappe aquifère.
- 152K – FORMATIONS QUATERNAIRES DE LA PLAINE DE BIEVRE-VALLOIRE. Nappe fluvio-glaciaire avec surface libre, écoulement est-ouest mais varie en fonction de la morphologie du substratum. Cette entité est comprise dans le SAGE de la Bièvre-Valloire.

e) Bassin de l'Isère

Entités concernées :

- 325A – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA VALLEE DE L'ISERE EN AMONT DE PONTCHARRA. Cette entité concerne la vallée de l'Isère en amont de

Pontcharra. La ressource en eau est contenue dans les alluvions grossières au niveau des ombilics et déposées par d'anciens deltas et les cônes de déjections qui leur ont fait suite (exemple de la fosse à graviers en aval d'Albertville).

- 384 – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA VALLEE DE L'ARC. Cette entité correspond aux alluvions récentes de la vallée de l'Arc remplissant les divers bassins de surcreusement façonnés par les glaciers ou issus du barrage de la vallée par des écroulements.
- 325B – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE L'ISERE ENTRE PONTCHARRA ET GRENOBLE. Aquifère constitué des alluvions fluviales de l'Isère récentes sablo-graveleuses, et des cônes de déjection des torrents affluents de l'Isère.
- 325C – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA VALLEE DU DRAC. Nappe contenue majoritairement dans les alluvions sableuses et caillouteuses du Drac.
- 325D – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE L'ISERE EN AVAL DE GRENOBLE. Dans la Cluse de l'Isère, le remplissage alluvial est relativement homogène. Sous 2 à 5 mètres de limons de surface, se rencontrent des graviers perméables d'origine fluviale ; ils passent en profondeur aux « sablons » (silts d'origine lacustres) et argiles lacustres qui constituent le substratum hydrogéologique. Dans la plaine de l'Isère de Moirans – Poliéna : reposant sur une moraine de fond argileuse, on retrouve ici les sablons lacustres aux mauvaises caractéristiques hydrodynamiques. Le toit de cette formation présente des surcreusements dont le remplissage atteint 10 mètres de puissance. Ils témoignent des divagations de l'Isère.
- 152M – ALLUVIONS ANCIENNES DES TERRASSES DE L'ISERE. Ressources réparties dans les différentes terrasses alluviales de la vallée de l'Isère

f) Bassin du Rhône, a l'aval de l'Isère

Entités concernées :

- 154A – ALLUVIONS ANCIENNES DE LA PLAINE DE VALENCE. A l'ouest, les alluvions fluvio-glaciaires de l'ancien cours de l'Isère contiennent des éléments sablo-graveleux (galets polygéniques, graviers, sables et blocs) de nature cristalline et calcaire ; à l'est, les alluvions de la terrasse des cailloutis calcaires d'Alixan sont formées d'éléments calcaires et sableux apportés dans les creux topographiques de la molasse par les torrents du Vercors.
- 154B1 – ALLUVIONS ANCIENNES DES BASSES TERRASSES ENTRE LA CONFLUENCE DE L'ISERE ET DE LA DROME. Cette entité renferme une nappe relativement importante contenue dans des alluvions grossières.
- 154C – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA DROME. Les ressources principales sont localisées en aval de Crest. Cette entité fait partie d'un contrat de rivière.

- RHD14 – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA VALLEE DU RHONE DE TAIN L'HERMITAGE A VIVIERS. L'aquifère est contenu dans des alluvions anciennes et récentes. L'entité regroupe plusieurs unités aquifères peu connectées les unes avec les autres. Au niveau des terrasses, la nappe circule dans des alluvions fluviales grossières. A proximité du Rhône, une importante nappe, alimentée par la nappe des terrasses, circule dans les alluvions modernes formées de galets polygéniques calcaires et cristallins emballés dans une matrice sableuse abondante
- 369 – ALLUVIONS QUATERNAIRES DES PLAINES DU ROUBION ET DU JABRON. L'essentiel des formations aquifères est constitué par des alluvions anciennes fluvioglaciales, et par des alluvions récentes sablo-graveleuses du Roubion et du Jabron.
- RHD15 – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE LA VALLEE DU RHONE EN AVAL DE VIVIERS. La nappe contenue dans les alluvions représente une ressource non négligeable.
- 548B – ALLUVIONS QUATERNAIRES DE L'ARDECHE ET DE SES AFFLUENTS. L'entité est très discontinue et a peu de potentiel dans l'ensemble (sauf les micro-nappes à Burzet).

1.1.3. Entités non retenues

On notera que parmi les entités initialement identifiées comme potentiellement intéressantes, certaines n'ont pas été retenues. Les raisons tiennent essentiellement au manque de données vis-à-vis des paramètres requis. Il s'agit :

- dans le Bassin Rhône Méditerranée :
 - Calcaires urgoniens en rive gauche de l'Ardèche – 148A,
 - Formations glaciaires du pays de Gex – 177A
- dans le Bassin Loire Bretagne :
 - système aquifère des alluvions du Rhône de Vernaison à Tain-l'Hermitage - E8R
 - système aquifère des alluvions de la Curaize - N14E
 - système aquifère des alluvions du Lignon - N14H
 - système aquifère des alluvions du Renaison - N14F
 - domaine hydrogéologique des formations sédimentaires du jurassique inférieur à moyen - B11F
 - système aquifère des alluvions du Sornin - N14G.

3. Méthodologie générale de conception de l'atlas du potentiel géothermique

3.1. METHODOLOGIE GENERALE

Le principe général de conception de l'atlas repose sur une méthode de cartographie à index avec pondération de critères. Cette méthode est basée sur la combinaison pondérée de cartes de paramètres (dites cartes unicritère) intervenant dans l'évaluation d'une propriété régionale (ici, le potentiel géothermique des aquifères).

Cette méthode permet la prise en compte relative de chaque critère influençant le potentiel général d'un aquifère. La difficulté lors de sa mise en œuvre réside essentiellement dans le choix des critères, leur notation et le poids qu'on leur attribue.

L'atlas du potentiel géothermique est constitué de cartes unicritère pour chacun des 3 paramètres étudiés représentant tous les aquifères, et d'une carte de synthèse générale, dite carte du potentiel géothermique régional, qui correspond à la compilation des meilleures potentialités par aquifère.

La cartographie et la combinaison des cartes se fait au moyen de logiciels de traitement cartographique (SIG) ; les données sont traitées sous forme de polygones correspondant au contour des aquifères issus de la synthèse hydrogéologique de la région Rhône-Alpes, puis intégrées dans une grille avec des mailles de 500 mètres de côté. Toutes les cartes produites sont géo-référencées. Les données sont rassemblées dans une géodatabase, fournie dans le CD d'accompagnement du présent rapport (hors-texte).

Sa réalisation repose sur quatre étapes principales : le recueil de données, la cartographie par critère, l'analyse multicritère et l'élaboration de la carte finale de potentiel. La figure suivante (Illustration 4) synthétise la méthodologie de cartographie du potentiel géothermique régional proposée.

3.2. CRITERES DE POTENTIALITE GEOTHERMIQUE

Pour rendre compte du potentiel géothermique à très basse énergie des aquifères superficiels sur la tranche 0-100 mètres, trois critères sont pris en compte :

- « Profondeur d'accès à la ressource » : il s'agit soit de la profondeur d'accès à l'eau pour les nappes phréatiques libres soit la profondeur d'accès à la formation géologique aquifère pour les nappes captives sous couverture. ;
- « Productivité de l'aquifère » ou débit exploitable ;
- « Température de la ressource » ;

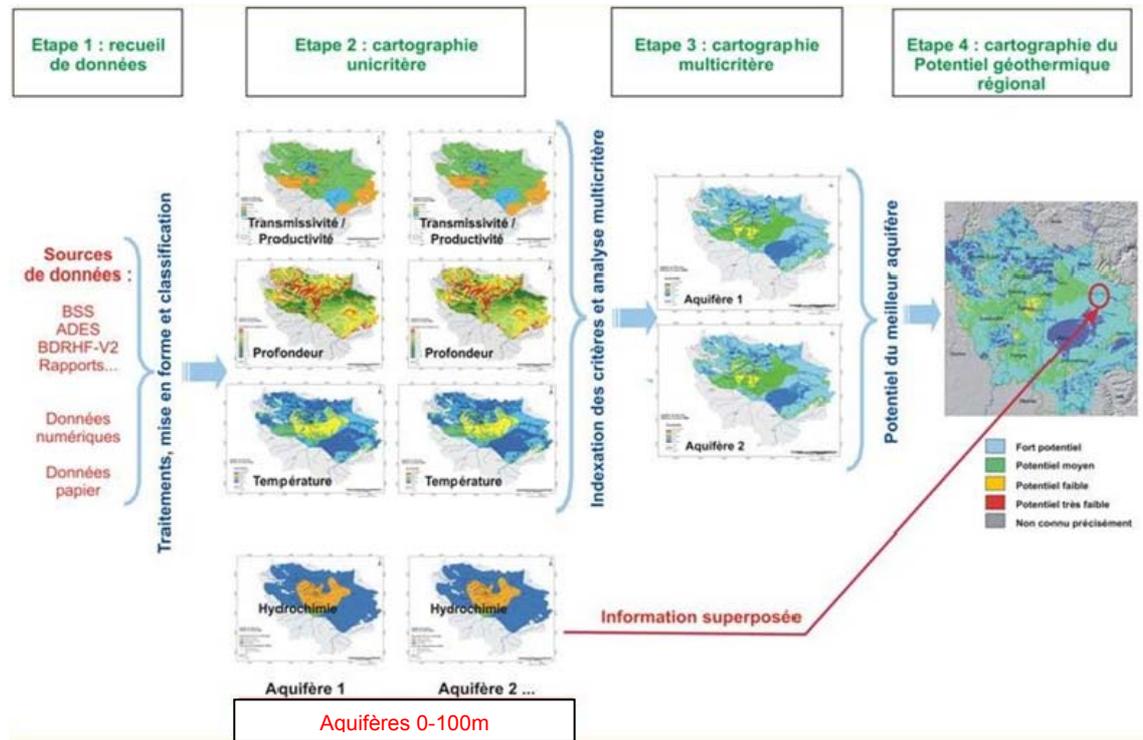


Illustration 4 – Principe de l’élaboration des cartes du potentiel géothermique régional

Les deux premiers derniers sont représentatifs de la puissance thermique potentielle de l’aquifère pour un usage géothermique ; le premier est dit « économique » car il impacte directement le coût d’investissement et le coût d’exploitation d’un projet. Leur analyse simultanée permet de rendre compte de l’intérêt d’une opération de géothermie.

Dans le cadre de l’évaluation du potentiel géothermique, le paramètre « **qualité chimique de la ressource** » peut également rendre compte du caractère corrosif, encroûtant ou colmatant d’une eau souterraine. Il joue un rôle sur l’évaluation économique d’un projet car la typologie des matériels utilisés doit être adaptée à la chimie des eaux. Les phénomènes mis en jeu sont complexes (réactions chimiques de précipitation, dissolution) et font intervenir une gamme importante de paramètres du milieu qui ne sont pas toujours disponibles pour tous les aquifères (une forte hétérogénéité existe d’un aquifère à l’autre). Le nombre de données qualitatives de la ressource étant insuffisant, ce paramètre n’a pas été pris en compte dans le calcul du potentiel géothermique des aquifères.

A titre informatif, une gamme de paramètres d’évaluation des contraintes d’exploitation liées à la qualité des eaux ainsi que leur classification est définie dans le SEQ Eaux

souterraines⁶ (les seuils proposés proviennent d'avis d'experts basés sur la thermodynamique des équilibres électrochimiques et/ou la bibliographie jugée comme faisant référence en ce domaine).

3.3. LES ETAPES DE REALISATION DE L'ATLAS DU POTENTIEL GEOTHERMIQUE SUR AQUIFERE

3.3.1. Etape 1 : Recueil de données

Cette étape comprend le recueil de données relatives à chaque critère disponible au format numérique dans différentes bases de données et le recueil, la numérisation et la bancarisation (mise en base de données) de données bibliographiques non numériques.

Il est important de noter que la réalisation de l'atlas repose avant tout sur le recueil de données et que la qualité des cartes produites est directement liée à la qualité et à la densité des données disponibles. La première étape de recueil des données est donc très importante ; elle permet de décider des options de cartographie à mettre en œuvre lors des étapes suivantes.

Les sources de données utilisées sont :

- BSS⁷ : la Banque de données du Sous-Sol apporte des données sur la géométrie et la nature des formations géologiques, sur la piézométrie, la température et la productivité des aquifères ;
- ADES⁸ : la banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines apporte des informations sur la température et la qualité physico-chimiques des eaux souterraines ainsi que sur les profondeurs de niveaux d'eau complémentaires à BSS ;
- BDLISA : le référentiel hydrogéologique français contient les contours des entités hydrogéologiques à 3 échelles de précision (N1 : nationale, N2 : régionale et N3 : locale) ;
- La synthèse hydrogéologique du bassin Rhône-Méditerranée (Lamotte C., Nicolas J., Legrand C. *et al.*, 2009) fournit les descriptions, les contours des entités hydrogéologiques et des cartes piézométriques pour certaines entités ;
- Cartes géologiques BRGM au 1/50 000^{ème},

⁶ SEQ-Eaux souterraines : grille d'évaluation de l'aptitude des eaux souterraines à différents usages et fonctions établie dans le cadre d'une étude inter-agences de l'eau et en collaboration entre Agences de l'Eau, MATE et BRGM en 2001.

⁷ Banque du sous sol, accessible via <http://infoterre.brgm.fr>

⁸ Accès aux Données sur les Eaux Souterraines – <http://www.ades.eaufrance.fr>

- Base bibliographique du BRGM.

3.3.2. Etape 2 : Cartographie unicritère

a) *Spatialisation des données*

L'objectif de la spatialisation est de passer de données ponctuelles échantillonnées de manière aléatoire (données disponibles relatives à des ouvrages ponctuels) à une couverture régulière de valeurs estimées du critère considéré, et ce pour l'ensemble de la surface de chaque aquifère. On distingue les méthodes de spatialisation mathématiques des sectorisations s'appuyant sur des informations cartographiques.

Les méthodes mathématiques (statistiques, géostatistiques) permettent d'estimer des valeurs de surface en des points non échantillonnés, sur la base d'une formule mathématique utilisant des valeurs de surface connues des points environnants. Plusieurs approches existent, chaque approche faisant appel à une formule mathématique différente.

La figure suivante (Illustration 5) présente un principe de spatialisation mathématique des données.

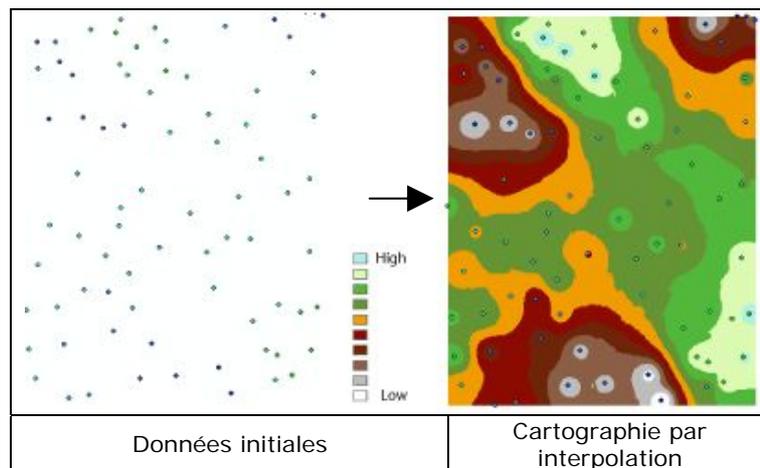


Illustration 5 – Principe de spatialisation des données par géostatistique (source ArcGis Desktop)

La méthode "naturaliste" consiste à confronter les données ponctuelles aux informations cartographiques (cartes géologiques, modèle numérique de terrain, cartes piézométriques...). Cette technique a été privilégiée sur les méthodes géostatistiques qui ne tiennent pas compte de la réalité de terrain.

Pour chaque critère et chaque aquifère, toutes ces approches sont mises en œuvre. Leur pertinence vis-à-vis des données ponctuelles est ensuite évaluée, et permettent de décider des méthodes de spatialisation les plus adaptées.

Ainsi, le traitement réalisé pour aboutir aux cartes spatialisées a été différent selon l'aquifère et le critère considérés, en fonction de la quantité de données disponibles, de leur homogénéité et de leur distribution géographique.

Plusieurs types de traitement ont été réalisés, faisant appel à une interpolation mathématique et/ou à une approche cartographique. Les principaux cas de figure rencontrés sont présentés ci-après.

- **Approche statistique**

Dans les cas où une interpolation mathématique n'est pas envisageable par manque de données, une analyse statistique peut être réalisée. Lorsque les données disponibles ne présentent pas une variabilité trop grande, la valeur moyenne est attribuée au critère, pour l'ensemble de l'aquifère considéré (Illustration 6).

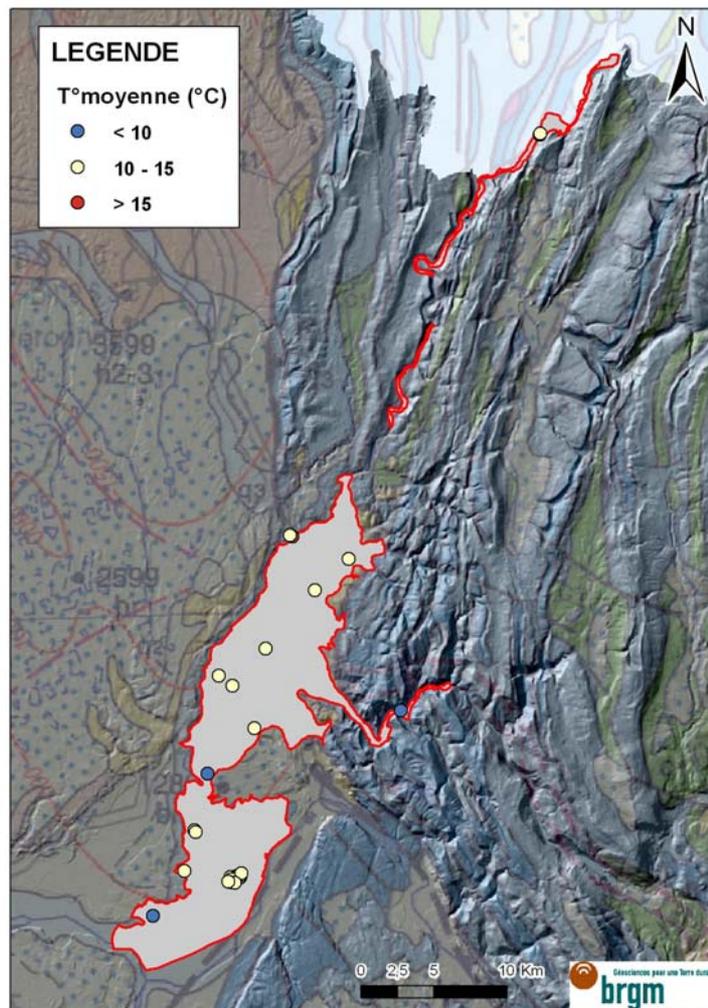


Illustration 6 – Exemple d'attribution d'une valeur moyenne – Cas de la température des alluvions quaternaires de la vallée de l'Ain (94B)

- **Interpolation mathématique par polygones de Thiessen**

Une fonction d'interpolation locale est la **méthode des plus proches voisins**, c'est-à-dire les polygones de Thiessen. Créer des polygones de Thiessen (ou polygones proximaux) revient à découper l'entité autour des points, de telle manière que chacun des polygones créés comprend toutes les positions possibles pour lesquelles il est le plus proche d'un point d'échantillonnage (Illustration 7). Ensuite, on considère les polygones de Thiessen comme relativement homogènes et on leur attribue la valeur du point autour duquel ils sont construits.

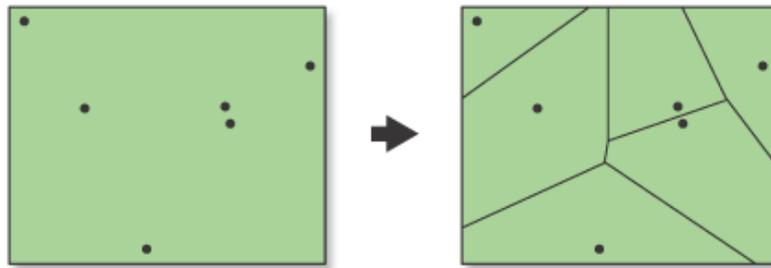


Illustration 7 — Interpolation mathématique par polygones de Thiessen

Cette méthode d'interpolation a l'inconvénient d'entretenir l'illusion de phénomènes inchangés entre les limites des polygones et qui changent de manière brusque à la frontière. Pour adoucir l'effet des changements soudains aux limites des polygones, les classes de valeurs sont attribuées aux polygones, et non la (les) valeur(s) qu'ils contiennent (Illustration 8).

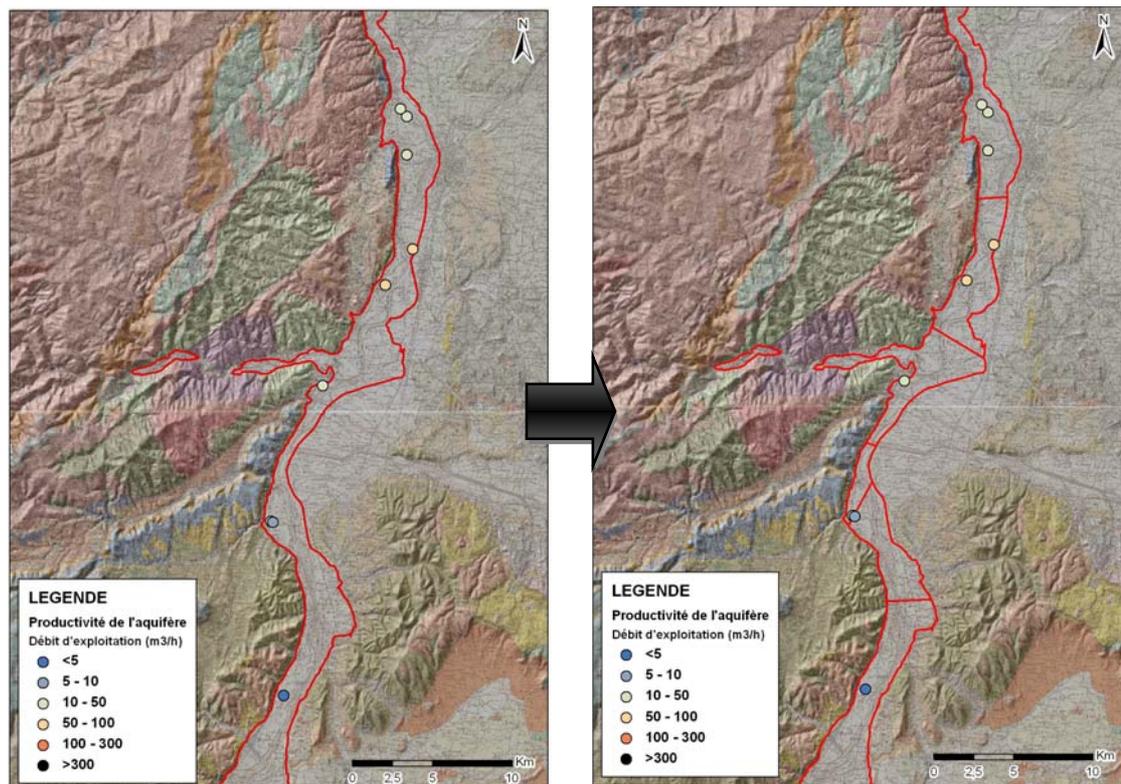


Illustration 8 – Exemple d'interpolation par polygones de Thiessen – Cas de la productivité des alluvions quaternaires de la vallée du Rhône de Tain-l'Hermitage (RHD14)

- **Sectorisation du critère au sein d'un même aquifère**

Lorsque les données ponctuelles pour un critère et un aquifère donné présentent une forte variabilité selon la position géographique, une sectorisation de l'aquifère est - dans la mesure du possible - réalisée à l'aide des contours (hydro)géologiques, des isopièzes existantes... L'interpolation mathématique ou l'approche statistique est ensuite effectuée pour chacun des secteurs définis au sein de l'aquifère.

Pour une grande partie des aquifères traités, l'existence de cartes piézométriques a permis le calcul de l'épaisseur de la zone non saturée. Elle équivaut pour les nappes libres à la profondeur de l'eau sous la surface du sol (Illustration 9).

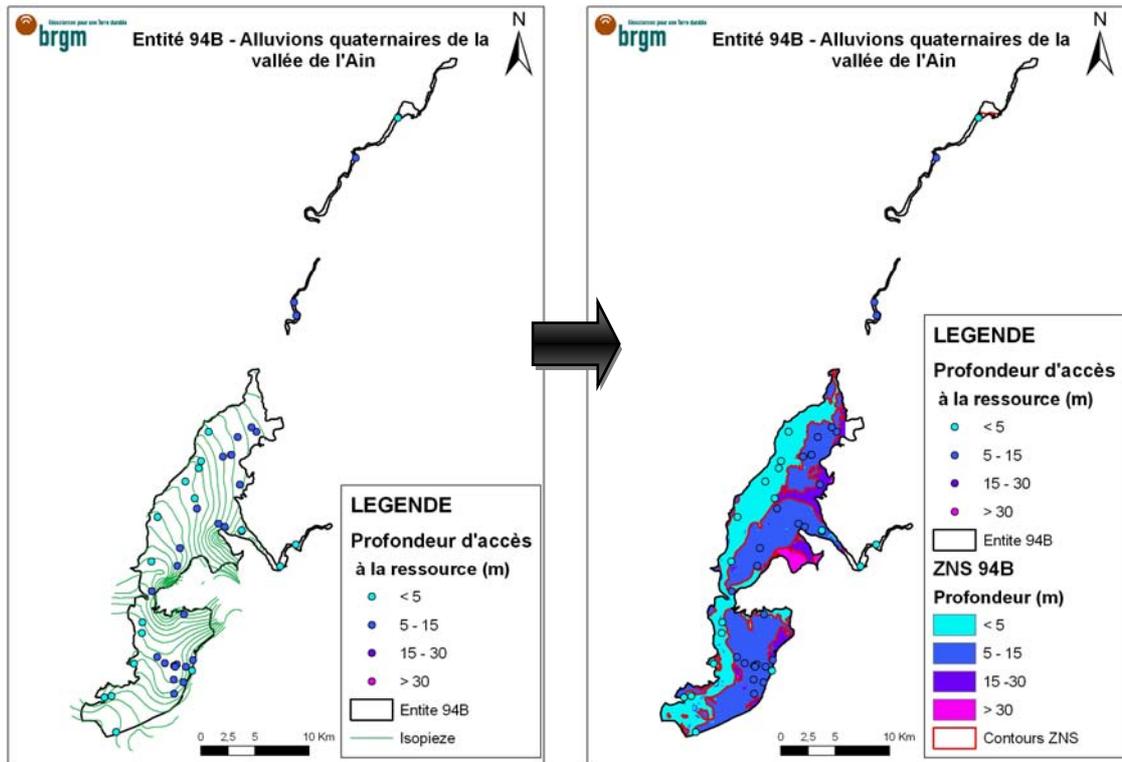


Illustration 9 – Exemple de sectorisation au sein d'un même aquifère – Cas des profondeurs des alluvions quaternaires de la vallée de l'Ain (94B)

Les entités hydrogéologiques étudiées se composent parfois de plusieurs formations géologiques. A l'aide des cartes géologiques, leur distinction a parfois permis d'expliquer la distribution des données recueillies, et ce au niveau géographique et/ou de la variabilité des valeurs.

Les formations géologiques possèdent en effet des caractéristiques différentes (hydrodynamique, puissance...) qui influencent les valeurs des paramètres étudiés (notamment les débits exploitables et les profondeurs d'accès à la ressource) (Illustration 10).

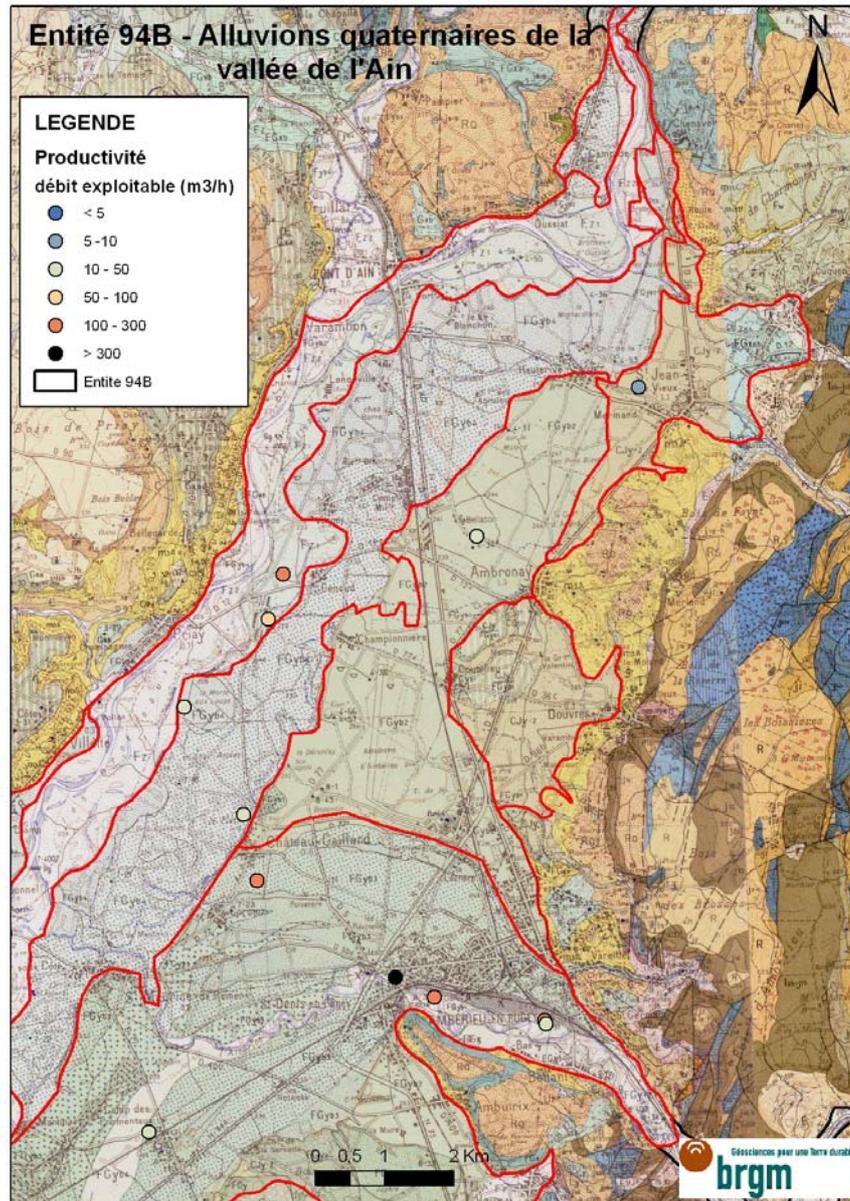


Illustration 10 – Exemple de sectorisation au sein d'un même aquifère – Cas des débits exploitables des alluvions quaternaires de la vallée de l'Ain (94B)

- **Autres cas : insuffisance des données disponibles**

A l'échelle d'un aquifère (ou d'un secteur d'aquifère) et pour un critère considéré, lorsque trop peu de données ponctuelles sont disponibles pour réaliser une spatialisation satisfaisante, la mention « **non connu précisément** » est affectée à tout ou partie de la surface de l'aquifère.

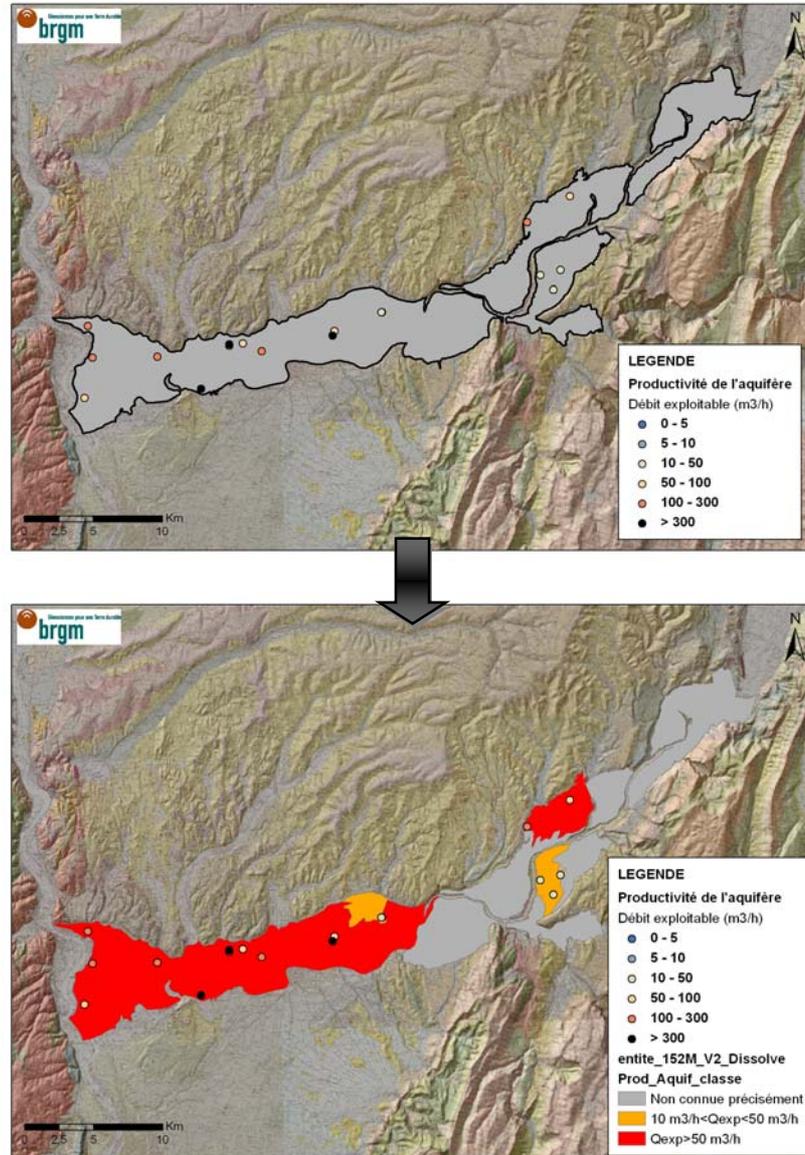


Illustration 11 – Exemple de critère non renseigné pour faute de données disponibles – Cas de la productivité des alluvions anciennes des terrasses de l'Isère (152M)

b) Classification des données et indexation des classes

Pour rendre lisibles les cartes de chaque critère, les données utilisées pour leur élaboration sont triées par classes. On affecte à chaque classe un index ou une note représentative du potentiel géothermique associé : note faible pour le potentiel le moins bon et note élevée pour le meilleur potentiel. Les notes varient de 1 à 4, de la situation la moins favorable à la géothermie très basse énergie sur nappe, à la situation la plus favorable (Illustration 12).

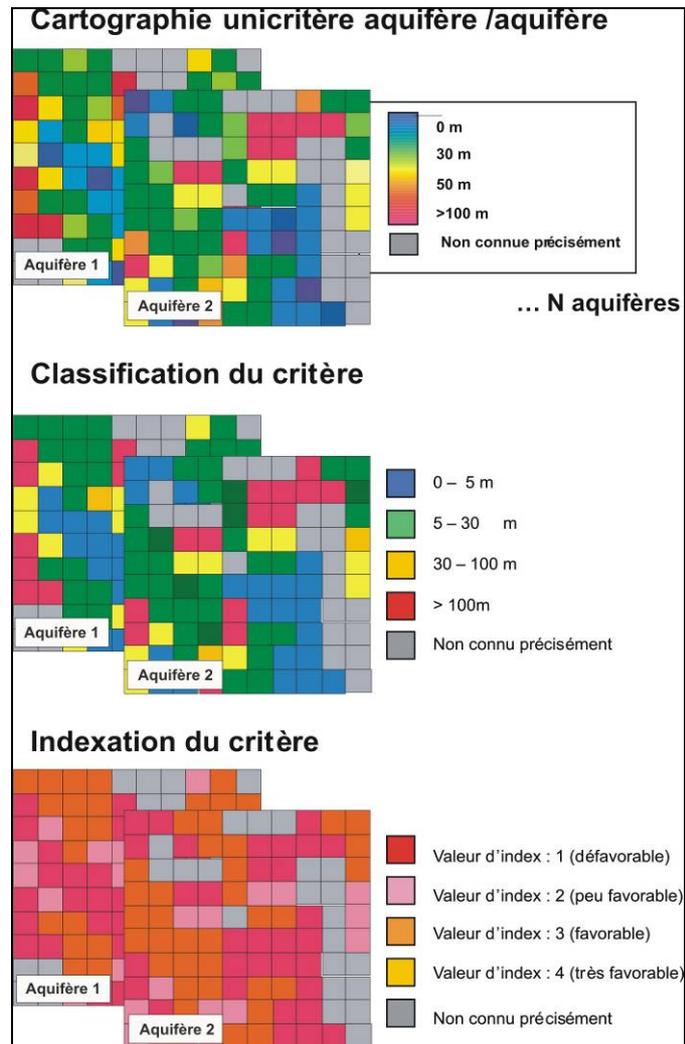


Illustration 12 – Démarche de cartographie unicritère (classification et indexation)

c) Cartographie de chaque critère

Afin d'apprécier le potentiel de l'aquifère vis-à-vis de chaque critère, des cartes thématiques sont réalisées en tenant compte de la classification et de l'indexation des critères :

- Carte de « profondeur d'accès à la ressource ;
- Carte de productivité de l'aquifère (carte des débits exploitables) ;
- Carte de température des eaux souterraines.

3.3.3. Etape 3 : cartographie multicritère

a) *Pondération des critères*

Certains critères ont une influence plus forte que d'autres sur le potentiel géothermique de l'aquifère. Pour rendre compte de cet état de fait, un poids est attribué à chaque critère en fonction de son importance vis-à-vis du potentiel géothermique. Un poids fort est attribué aux critères les plus sensibles, un poids faible pour les critères moins importants.

b) *Cartographie du potentiel géothermique par aquifère*

La carte du potentiel géothermique de chaque aquifère est obtenue par combinaison pondérée des cartes unicritère (Illustration 13). Un indice de potentialité géothermique est calculé par addition pondérée des index de potentialité unicritère, attribués dans chaque maille de la grille cartographique. Une carte de répartition des indices de potentialité est alors établie ; elle correspond à la carte du potentiel géothermique de l'aquifère.

3.3.4. Etape 4 : cartographie du potentiel géothermique régional

L'analyse multicritères conduit à l'élaboration d'une carte du potentiel géothermique par aquifère.

L'obtention d'une carte unique du potentiel géothermique régional, présentant les secteurs favorables à l'implantation de pompes à chaleur sur nappe, passe par la sélection pour chaque maille de la grille cartographique, des meilleurs indices de potentialité géothermique parmi ceux calculés pour chaque aquifère.

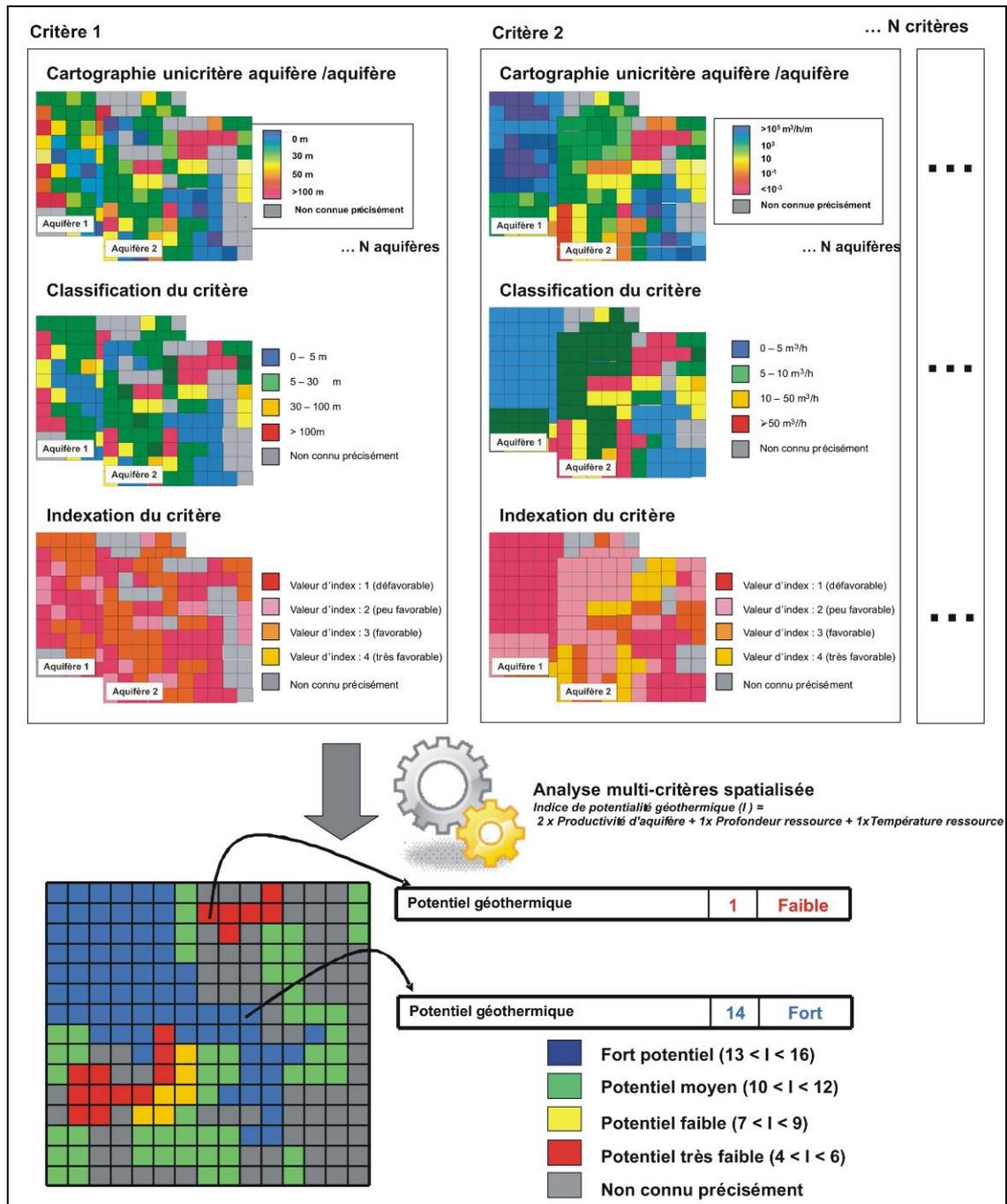


Illustration 13 – Principe de la cartographie multicritères

4. Bilan de l'étude en Rhône-Alpes

4.1. COLLECTE DES DONNEES

Les données de base utilisées pour la cartographie ont essentiellement été extraites de la Banque de Données du Sous-Sol, de la banque de données ADES⁹ et des archives documentaires du BRGM (qui intègre des données telles que les avis des hydrogéologues agréés, les données de forages issues de travail de bancarisation des « ICSP »). Ainsi, c'est sur les points issus de la BSS et contenant des données concernant les propriétés des aquifères que s'est focalisée l'étude.

La base de données initiale contient 3 351 points avec une valeur pour un des paramètres suivants : débit exploitable, profondeur d'accès à la ressource et température de la ressource. Après un premier travail de caractérisation, certains secteurs ont nécessité une amélioration. 73 données, essentiellement de débits exploitables (issues de la BSS), ont ainsi été ajoutées sur des zones ciblées, portant le nombre total de données ponctuelles exploitées dans la présente étude à **3 424 valeurs**.

4.2. REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES DONNEES DE BASE

Pour chaque point disposant d'une donnée exploitable, il a fallu déterminer l'entité hydrogéologique captée. Etant donnée la quantité importante de données à traiter, le processus a été automatisé en établissant dans un système d'information géographique (SIG) sous ARCGIS une relation d'intersection entre les points BSS disposant de données exploitables et la cartographie des entités hydrogéologiques.

La vérification des liens a ensuite été réalisée en comparant les profondeurs captées, la description litho-stratigraphique des points (informations collectées dans la base de données initiale) et les entités hydrogéologiques interceptées. En cas de non-correspondance, l'attribution des codes entités hydrogéologiques ont été corrigés au cas par cas.

Dans certains cas, cette correspondance s'est avérée difficile, voire impossible, soit par manque d'informations suffisante en BSS, soit dans le cas de descriptions lithographiques ambiguës.

L'ensemble des données collectées sont réparties de manière globalement satisfaisante au sein des entités aquifères retenues (Illustration 14). La densité de données dépend essentiellement de la pression exercée sur la ressource.

⁹ Accès aux Données sur les eaux Souterraines <http://ades.eaufrance.fr>

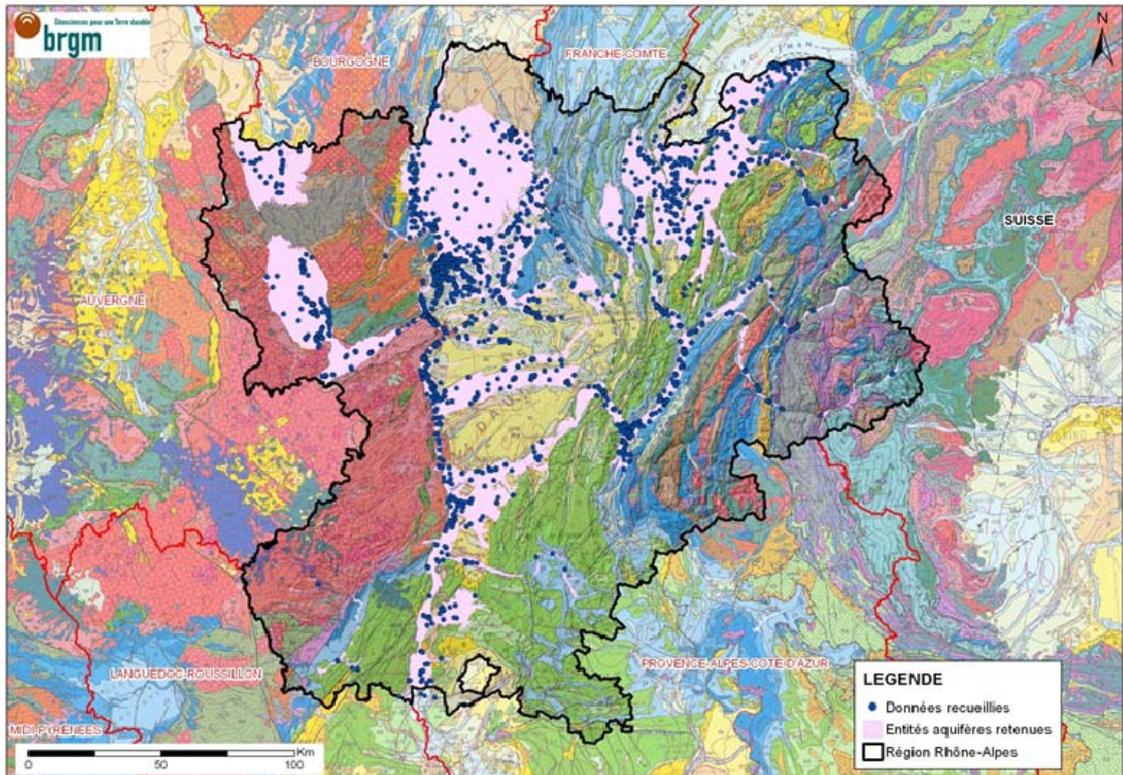


Illustration 14 – Distribution géographique des données ponctuelles collectées

Ainsi, les zones très urbanisées ou industrialisées sont les mieux renseignées, du fait d'une utilisation importante de la ressource. A l'inverse, les zones où les besoins sont plus restreints, ou dans les secteurs isolés, l'information disponible est souvent plus limitée.

4.3. PROFONDEUR D'ACCES A LA RESSOURCE

4.3.1. Définition

La profondeur d'accès à la ressource dans le cas d'un aquifère libre correspond à la profondeur de la surface libre de la nappe. Dans le cas d'un aquifère captif, elle correspond à la profondeur du toit de l'aquifère considéré (Illustration 15).

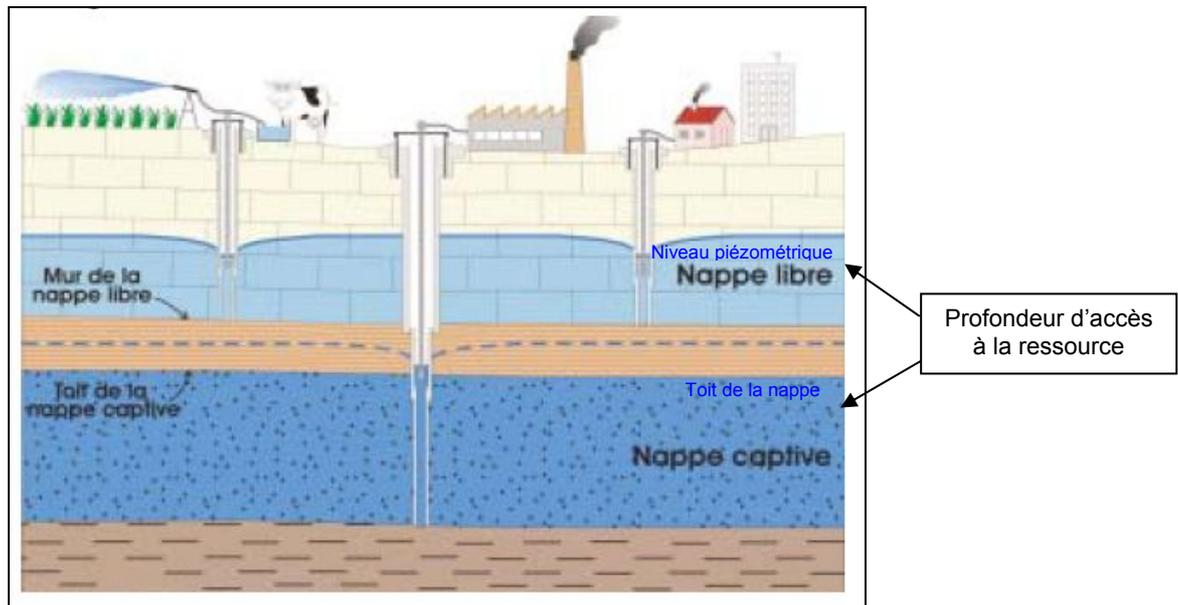


Illustration 15 – Schéma explicatif des différents régimes de nappe (source BRGM)

Ce critère prend en compte deux aspects de la potentialité géothermique d'un aquifère :

- Le coût de l'opération : coûts de foration (directement lié à la profondeur des forages), coûts d'équipement (type et puissance de pompe liée à la hauteur de refoulement et au débit souhaité) et coûts de fonctionnement (consommation électrique de la pompe liée au débit souhaité et à la hauteur de refoulement) ;
- Le risque d'une surcote piézométrique provoquée par l'injection, dans le même aquifère, de l'eau prélevée (situation défavorable au projet=).

4.3.2. Sources de données

Les données prises en compte pour la cartographie de ce critère sont les suivantes :

- Les valeurs ponctuelles de piézométrie disponibles en BSS, dans ADES, et dans divers rapports,
- Les cartes piézométriques issues de la synthèse hydrogéologique du bassin Rhône-Méditerranée (rapport BRGM/RP-57091-FR [5]),
- L'élévation du toit de la formation géologique aquifère considérée (dont l'écart avec le terrain naturel définit la profondeur d'accès à la ressource pour les aquifères captifs).

4.3.3. Données disponibles

Au total, 1 263 valeurs ponctuelles de piézométrie et 32 cartes piézométriques ont été utilisées. Le nombre de données disponibles par aquifère est variable. Pour mener une analyse comparative de la quantité d'informations disponible par aquifère, il faut s'intéresser à la densité de points présents par entité (Illustration 16). Cette densité est calculée en ramenant le nombre de valeurs existantes par entité pour 100 km².

Une approche relative de la représentativité de la donnée disponible vis-à-vis d'un aquifère peut être obtenue en comparant la densité de données disponibles pour un aquifère avec la densité moyenne (rapport de l'ensemble des données disponibles sur la surface totale des aquifères) :

- représentativité médiocre si la densité de données est inférieure à la densité moyenne (remplissage jaune) ;
- représentativité satisfaisante si la densité de données est comprise entre la densité moyenne et le double de la densité moyenne (remplissage orange) ;
- représentativité très satisfaisante si la densité de données est supérieure au double de la densité moyenne (remplissage rouge).

Toutefois, il faut également tenir compte de l'existence des cartes piézométriques. Elles ont permis pour de nombreux aquifères une très bonne caractérisation du paramètre "profondeur d'accès à la ressource" en raison de la couverture spatiale quasi-intégrale des aquifères concernés. Elles permettent le calcul de l'épaisseur de la zone non saturée, qui correspond à la différence de l'altitude du terrain naturel avec l'altitude du niveau statique de la nappe (cf. exemple de carte piézométrique à Illustration 9). L'épaisseur de la zone non saturée équivaut, pour les nappes libres, à la profondeur de l'eau sous la surface du sol, soit la profondeur d'accès à la ressource.

Les cartes piézométriques existent notamment pour 10 des 15 aquifères dont la densité de données disponibles est "médiocre". Ainsi, il peut être considéré que pour une large majorité des entités traitées, les données disponibles ont permis une caractérisation satisfaisante à très satisfaisante vis-à-vis de la profondeur d'accès à la ressource.

Les données issues de cartes piézométriques sont privilégiées par rapport aux données BSS.

Code entité aquifère	Nom de l'entité aquifère	Données "profondeur d'accès à la ressource"							Densité de données pour 100 km ² d'aquifère
		Carte piézométrique disponible	Nombre de valeurs	Moy.	Min.	Max.	Ecart-type	Surface de l'entité (km ²)	
151A2	Formations plio-quaternaires de la Dombes	OUI	29	15,6	0,0	40,8	13,0	1710,1	1,7
151A4	Alluvions quaternaires de la Veyre	NON	4	1,9	0,9	2,9	0,7	54,0	7,4
151A5	Formations fluvo-glaciaires du couloir de Certines	OUI	10	11,0	0,2	28,3	9,2	97,7	10,2
151F1	Formations fluvo-glaciaires de Meximieux à Montluel	OUI	21	11,1	6,9	16,3	2,7	54,1	38,8
151X	Alluvions quaternaires de la Saône du seuil calcaire de Tournus-Ambérieux	OUI	24	4,6	1,0	13,0	3,4	145,8	13,6
152C	Formations fluvo-glaciaires du couloir de Meyzieu	OUI	12	25,5	9,0	36,6	7,7	62,2	19,3
152D	Formations fluvo-glaciaires du couloir de Décines-Chassieu	OUI	18	16,1	7,8	26,5	4,4	61,1	29,5
152E	Formations fluvo-glaciaires du couloir d'Heyrieux	OUI	17	11,5	5,0	22,1	5,5	81,8	20,8
152H	Formations fluvo-glaciaires de la Bourbes et du Catelan	OUI	51	6,8	0,5	30,0	6,7	221,3	20,0
152K	Formations quaternaires de la plaine de Bièvre - Valloire	OUI	44	20,9	0,8	60,0	13,6	476,8	9,2
152M	Alluvions anciennes des terrasses de l'Isère	OUI	20	21,4	4,8	70,0	13,8	235,9	8,5
152O	Formations fluvo-glaciaires du Bas Dauphiné - Vêga et Sevenne	NON	10	13,5	0,6	34,7	10,6	40,0	25,0
152P	Formations fluvo-glaciaires du Bas Dauphiné - Gère et Vésonne	OUI	18	13,9	2,2	24,6	6,6	54,8	32,9
154A	Alluvions anciennes de la plaine de Valence	OUI	11	13,7	2,7	31,0	9,1	296,0	3,7
154B1	Alluvions anciennes des basses terrasses entre la confluence de l'Isère et de la Drôme	OUI	8	10,2	5,8	19,5	3,9	30,2	26,5
154C	Alluvions quaternaires de la Drôme	OUI	10	4,3	0,3	10,7	3,1	98,9	10,1
177A1	Sillons fluvo-glaciaires du pays de Gex	NON	12	26,0	0,0	48,0	13,6	28,4	22,7
177C1	Formations glaciaires et fluvo-glaciaires du bas Chablais-Pays de Gavot	NON	14	13,2	5,1	40,2	9,0	78,3	17,9
177C2	Alluvions quaternaires du delta de la Drance	OUI	16	13,0	0,4	19,8	4,3	8,0	198,9
177C3	Formations glaciaires et fluvo-glaciaires du bas Chablais-Terrasse de Thonon-les-Bains	NON	10	9,7	0,4	32,0	12,0	234,6	4,3
324A	Alluvions quaternaires de l'Arve, de la Ménoge et du Giffre	NON	36	8,2	0,5	36,1	10,1	120,3	29,9
325A	Alluvions quaternaires de la vallée de l'Isère en amont de Pontcharra	OUI	26	4,8	0,2	20,3	4,0	124,8	20,8
325B	Alluvions quaternaires de l'Isère entre Pontcharra et Grenoble	OUI	49	6,0	1,0	20,8	4,7	111,2	44,1
325C	Alluvions quaternaires de la vallée du Drac	OUI	31	4,9	1,1	17,6	3,3	88,7	35,0
325D	Alluvions quaternaires de l'Isère en aval de Grenoble	OUI	16	3,3	0,0	15,0	3,3	106,3	15,1
369	Alluvions quaternaires des plaines du Roubion et du Jabron	NON	16	4,5	0,7	10,0	2,6	159,9	10,0
384	Alluvions quaternaires de la vallée de l'Arc	OUI	16	7,2	0,6	27,6	6,7	54,5	29,4
385	Alluvions quaternaires de la dépression de Chambéry et du Sierroz-Tillet	OUI	40	5,2	0,0	92,0	14,2	50,4	79,4
540X	Alluvions quaternaires de la Saône entre Ambérieux et Caluire-et-Cuire	OUI	23	5,9	1,2	17,0	3,5	49,8	53,9
540X3	Alluvions quaternaires de l'Azergues et de la Brévenne	OUI	8	3,4	2,0	4,9	1,0	45,0	29,4
542B	Formations glaciaires et molassiques de l'Albanais et du Bas-Chablais	OUI	63	9,5	0,0	54,5	11,4	1857,7	2,9
542B1A	Sillons fluvo-glaciaires des vallées de la Ménoge et de l'Arve	NON	7	14,3	3,8	37,0	10,2	13,2	53,1
543A1	Alluvions quaternaires de la Cluse d'Annecy	NON	11	6,5	0,4	17,0	4,5	40,4	27,2
548B	Alluvions quaternaires de l'Ardèche et de ses affluents	NON	7	7,8	1,4	19,5	6,6	30,5	20,0
621B	Alluvions quaternaires de la Boucle de Vaise	OUI	4	4,6	3,8	5,8	0,8	2,7	150,9
94B	Alluvions quaternaires de la vallée de l'Ain	OUI	48	6,7	0,0	13,6	3,6	201,6	23,5
B11A	Domaine hydrogéologique du bassin carbonifère stéphanois	NON	16	4,1	1,1	8,7	2,5	215,6	7,4
B11B	Domaine hydrogéologique des formations sédimentaires tertiaires (Pliocène exclus de type limagne)	NON	35	10,1	0,3	57,0	13,3	1296,3	2,7
N14B	Système aquifère des alluvions de la Loire - Bassin de Montbrison	NON	66	2,2	0,5	4,4	0,9	77,0	85,8
N14D	Système aquifère des alluvions de la Loire - Bassin Roannais	NON	11	3,6	0,1	4,9	1,4	68,1	16,2
PLIO1	Formations argilo-sableuses du plio-quaternaire ancien du Val de Saône	OUI	33	14,7	0,0	30,0	6,1	250,4	12,3
RHD1	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône entre Seyssel et Lagnieu	OUI	32	3,8	0,0	15,1	3,7	215,2	14,9
RHD2	Alluvions quaternaires de la Vallée du Rhône entre Lagnieu et Solaize	OUI	168	5,1	0,0	14,4	2,8	160,2	104,9
RHD3	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône de Solaize - Tain L'Hermitage	OUI	113	8,0	0,3	28,9	6,3	189,3	59,7
RHD4	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône de Tain-L'Hermitage-Viviers	OUI	11	7,6	3,0	15,9	4,2	163,1	6,7
RHD5	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône en aval de Viviers	OUI	18	3,2	1,2	6,3	1,4	114,6	11,5
Total général	46	32	1263					9876,8	12,8
								Moyenne x 2	25,6

Illustration 16 – Données ponctuelles utilisées pour déterminer la profondeur d'accès à la ressource (m)

D'une manière générale, les aquifères les plus étendus sont les moins densément renseignés (Illustration 17). Par ailleurs, et comme mentionné dans le paragraphe 4.2, les aquifères qui possèdent un intérêt hydrogéologique plus limité (contrainte d'exploitation, ressource limitée, faible urbanisation...) constituent logiquement les aquifères les moins connus.

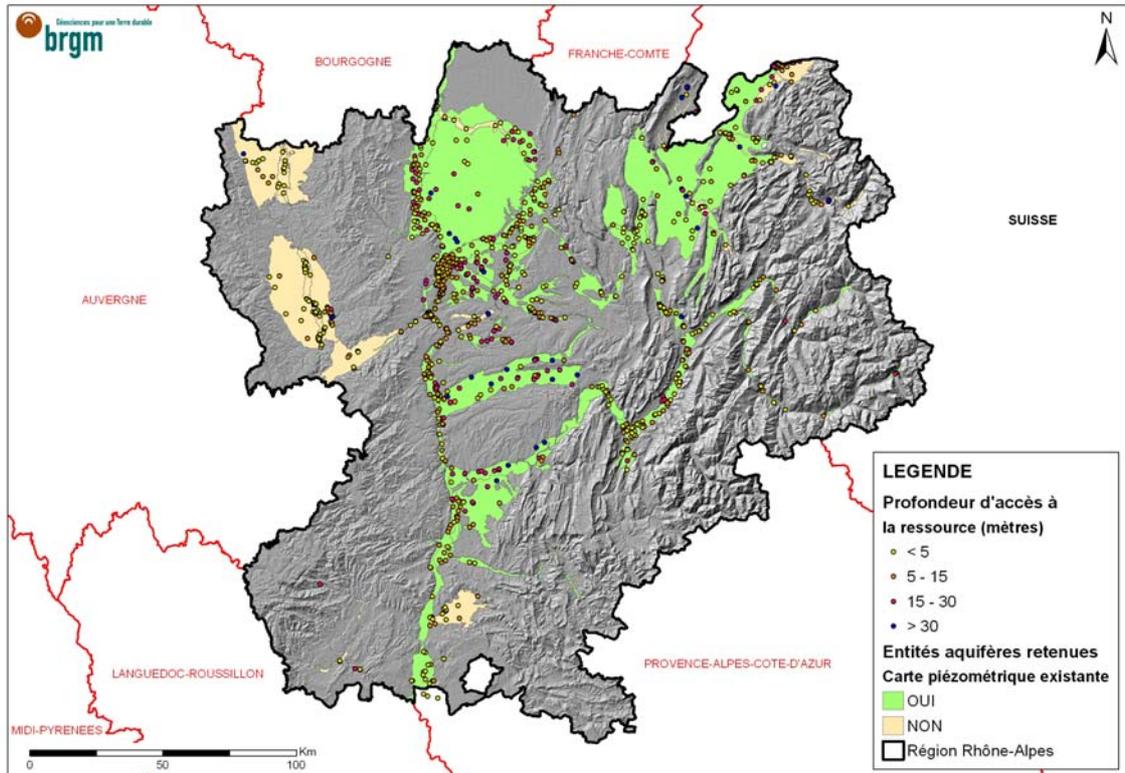


Illustration 17 – Carte des données ponctuelles de profondeur d'accès à la ressource et existence des cartes piézométriques

4.3.4. Classification

Conformément à la méthodologie nationale, la classification appliquée pour le critère d'accès à la ressource est celle du tableau suivant (Illustration 18).

La distribution des valeurs ponctuelles des données de profondeur d'accès à la ressource selon les classes définies ci-dessus est présentée page suivante (Illustration 19).

83,0 % des données se répartissent au sein des deux premières classes, soit une profondeur d'accès à la ressource inférieure à 15 mètres. Il faut noter que plus de la moitié de ces valeurs est inférieure à 5 mètres (48,7 %), renvoyant à une classe défavorable pour l'installation d'une PAC pour ce critère (risque de surcote piézométrique lors de la réinjection des eaux prélevées). Ce constat s'explique par le caractère alluvial de la majeure partie des aquifères considérés, pour lesquels les eaux sont particulièrement peu profondes. En effet, plus de la moitié des ouvrages où la profondeur est inférieure à 5 mètres se trouvent à moins de 500 m d'un cours d'eau.

Les autres données se situent dans les classes 15 à 30 m et 30 à 100 m respectivement à hauteur de 13,1 % et 3,9 %.

Classe de la profondeur d'accès à la ressource	Commentaire
Profondeur < 5 m	Forage de moindre coût mais le risque de surcote piézométrique provoquée par l'injection dans le même aquifère de l'eau prélevée, est défavorable au projet.
5 m ≤ Profondeur < 15 m	Forage de moindre coût permettant la réalisation économique d'un projet de PAC sur nappe pour un pavillon.
15 m ≤ Profondeur < 30 m	le coût du forage pèse fortement sur l'économie d'un projet de PAC sur nappe pour un pavillon
30 m ≤ Profondeur < 100 m	le coût du forage ne peut être amorti que par une forte consommation en surface (petit collectif ou ensemble de plusieurs pavillons)

Illustration 18 – Classes de profondeur d'accès à la ressource prises en compte

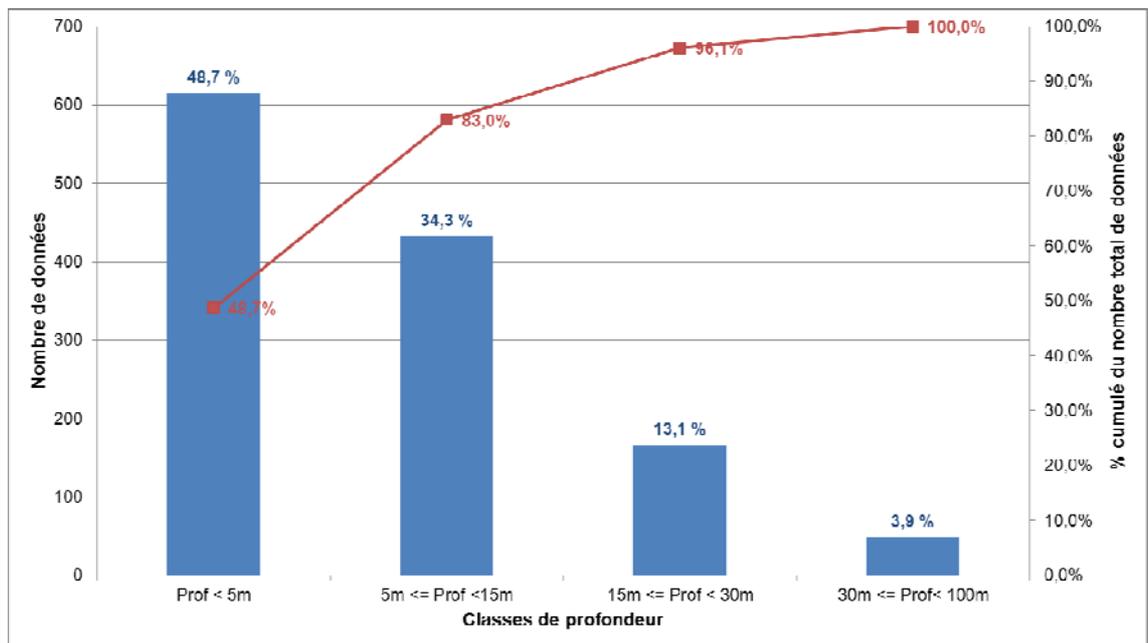


Illustration 19 – Distribution du nombre de données ponctuelles de "profondeur d'accès à la ressource"

4.3.5. Méthode de spatialisation des données

Les cartes piézométriques ont été utilisées pour calculer la profondeur d'accès à la ressource. Cette information permet une bonne couverture spatiale des aquifères pour ce paramètre (identique à la surface couverte par les isopièzes). Pour beaucoup d'entre eux, les données ponctuelles valident l'information ainsi produite.

Dans le cas contraire et pour les autres aquifères, les différentes profondeurs observées via les données ponctuelles ont été comparées avec la géologie et le modèle numérique de terrain pour distinguer les différents secteurs homogènes. La moyenne des valeurs de profondeur a été parfois attribuée à l'aquifère lorsque celles-ci présentaient une bonne distribution spatiale et une homogénéité des valeurs.

4.3.6. Carte des profondeurs d'accès à la ressource du meilleur aquifère

La carte régionale des profondeurs d'accès à la ressource pour le meilleur aquifère figure en Annexe 3. Elle a été réalisée à partir de la carte régionale "maillée" (cf. § 5.1).

Cette carte a été établie, dans la limite des données disponibles, en tenant compte :

- dans le cas de la présence d'un seul aquifère : de la profondeur d'accès à la ressource pour cet aquifère ;
- dans le cas de la présence de plusieurs aquifères superposés :
 - de la profondeur d'accès à la ressource associée à l'aquifère pour lequel le potentiel géothermique est le plus favorable ;
 - de la profondeur d'accès à la ressource la plus favorable lorsque les aquifères possèdent un potentiel géothermique identique ;
 - de la profondeur d'accès à la ressource la plus favorable lorsqu'aucun potentiel géothermique n'a pu être déterminé.

4.4. PRODUCTIVITE DES AQUIFERES

4.4.1. Définitions

La productivité d'un aquifère correspond à l'évaluation de la ressource en eau extractible du réservoir aquifère. Les notions associés à ces paramètres sont classiquement les suivantes :

- Transmissivité (notée T , $[L^2/T]$) et Perméabilité (notée K $[L/T]$) : paramètres intrinsèques à l'aquifère (représentant sa capacité de production), très représentatifs de la ressource. Les données de perméabilité peuvent être couplées

aux données d'épaisseur mouillée d'aquifère (notée e [L]) pour reconstituer les données de transmissivité ($T = K.e$).

- L'épaisseur mouillée de l'aquifère (e), correspond à la différence entre la profondeur de la base de l'aquifère et la profondeur du niveau piézométrique observé au droit de l'ouvrage.

Les données de base pour T et k sont issues des rapports de pompages d'essai (souvent archivés en BSS). La densité de ces données intrinsèques est faible, ce qui rend difficile leur exploitation pour une cartographie régionale. Pour l'épaisseur mouillée, les données proviennent des coupes lithologiques des ouvrages, archivées en BSS.

- Débit spécifique (noté Q_s) : correspond au rapport du débit pompé dans un ouvrage rapporté à la hauteur de rabattement dans l'ouvrage.

Ce paramètre est représentatif des propriétés de l'aquifère, mais également des propriétés techniques des ouvrages de captage. Il est donc moins représentatif de la ressource que la transmissivité, mais les données qui permettent de le cartographier sont plus nombreuses et plus fiables des capacités « en grand » de l'aquifère ».

Les données de base sont l'ensemble des mesures ponctuelles de débits/rabattement disponibles en BSS, lesquelles ne sont pas nécessairement associées à des pompages d'essais complets.

- Débits de production de forage : ce paramètre correspond à des débits exploitables, mais est surtout représentatif des propriétés techniques des ouvrages de captage et des besoins associés aux usages de la ressource. Il n'est donc pas toujours représentatif de la capacité réelle de production de la ressource.

4.4.2. Détermination du débit exploitable

La productivité de l'aquifère est exprimée à l'aide du **débit exploitable (en m^3/h)**. L'objectif est donc de déterminer, pour différents points (ou ouvrages) des débits exploitables.

Le débit exploitable est un débit qu'il est ou serait possible d'extraire de l'aquifère concerné, moyennant évidemment la réalisation d'un ouvrage dont les caractéristiques le permettent.

Le calcul du débit exploitable peut s'établir de plusieurs manières.

a) **Débit exploitable fondé sur Q_s et un rabattement acceptable S_a**

L'obtention de ce paramètre peut se baser sur un débit spécifique ($m^3/h/m$) et sur un rabattement « acceptable ». On peut en principe calculer :

$$Q_{\text{exploitable}} = Q_s \times S_{\text{acceptable pour l'aquifère}}$$

Pour fixer un rabattement acceptable S_a , plusieurs options ont été testées. Conformément aux approches retenues dans d'autres régions, S_a peut être calculé comme le tiers de l'épaisseur mouillée de l'aquifère, limitée à une valeur de 5m. L'application de cette technique est apparue inadaptée aux contextes hydrogéologiques rencontrés en région Rhône Alpes. En effet, les débits spécifiques sont souvent importants dans les alluvions quaternaires par exemples. Les données disponibles montrent en pratique des débits importants avec de faibles rabattements (moins de 1 m). L'application de la règle de calcul précédente a amené initialement à des débits trop importants pour être jugés réalistes. Cette technique n'a donc pas été retenue. En conséquence, La méthode retenue a consisté à retenir un rabattement « réaliste » de l'aquifère, et « représentatif » sur la base de l'ensemble des données de rabattement documentées.

b) Débit exploitable fondé sur les débits réels

Les débits connus et réellement appliqués ne sont pas tous représentatifs des capacités réelles de l'aquifère. Certains ouvrages peuvent notamment être soumis à des pompages peu importants et à ce titre ne pas refléter les capacités hydrauliques de l'aquifère. Cependant, avec une sélection « choisie » de données issues de forages importants (ouvrages agricoles ou industriels ou d'eau potable), il est possible d'approcher des valeurs à la fois réalistes et représentatives d'ouvrages fortement productifs.

Cette approche a donc été retenue. Les données de pompages d'essais de différents ouvrages ont donc été analysées afin de connaître les débits maximums testés et représentatifs des capacités maximales des ouvrages.

Les valeurs de débits exploitables retenues pour ces situations ont néanmoins été prises comme les tiers des valeurs collectées. Il a en effet été considéré que le passage d'un débit horaire maximal à un débit journalier exploitable nécessitait de considérer une plage de fonctionnement limitée sur 24h.

On notera enfin que les données de perméabilité et de transmissivité n'ont pas été directement utilisées pour le calcul des débits exploitables. Elles ont cependant été prises en compte dans le travail réalisé, à titre informatif, dans l'analyse faites des données issues des pompages d'essai.

4.4.3. Données obtenues

L'illustration suivante (Illustration 20) présente les données de **débits exploitables** disponibles pour chaque aquifère. Un total de **899** données ponctuelles a été recueilli.

L'analyse de la densité de données disponibles a été réalisée de la même manière que pour les profondeurs d'accès à la ressource. Comme pour ce dernier, la densité de

données de débit exploitable est élevée pour les entités aux surfaces réduites et relativement faible pour les aquifères très étendus.

Code entité aquifère	Nom de l'entité aquifère	Données de "débit exploitable" de la ressource						
		Nombre de valeurs	Moyenne	Min	Max	Ecart-type	Surface de l'entité (km ²)	Densité de données pour 100 km ² d'aquifère
151A2	Formations plio-quaternaires de la Dombes	20	18,3	0,7	80,0	21,5	1710,1	1,2
151A4	Alluvions quaternaires de la Veyle	3	33,0	3,0	91,0	41,0	54,0	5,6
151A5	Formations fluvo-glaciaires du couloir de Certines	7	55,7	2,0	150,0	55,3	97,7	7,2
151F1	Formations fluvo-glaciaires de Meximieux à Montluel	18	205,5	12,0	613,0	144,7	54,1	33,3
151X	Alluvions quaternaires de la Saône du seuil calcaire de Tournus-Ambérieux	13	102,5	25,5	200,0	49,1	145,8	8,9
152C	Formations fluvo-glaciaires du couloir de Meyzieu	9	272,8	72,0	456,0	128,3	62,2	14,5
152D	Formations fluvo-glaciaires du couloir de Décines-Chassieu	19	38,5	5,0	114,0	31,5	61,1	31,1
152E	Formations fluvo-glaciaires du couloir d'Heyrieux	10	124,6	5,0	740,0	216,4	81,8	12,2
152H	Formations fluvo-glaciaires de la Bourbes et du Catelan	42	101,0	0,2	490,0	111,0	221,3	19,0
152K	Formations quaternaires de la plaine de Bièvre - Valloire	28	135,7	2,0	666,0	130,9	476,8	5,9
152M	Alluvions anciennes des terrasses de l'Isère	18	163,7	12,0	666,0	156,8	235,9	7,6
152O	Formations fluvo-glaciaires du Bas Dauphiné - Véga et Sevenne	8	89,9	7,9	253,0	76,2	40,0	20,0
152P	Formations fluvo-glaciaires du Bas Dauphiné - Gère et Vésonne	7	170,9	120,0	233,0	33,3	54,8	12,8
154A	Alluvions anciennes de la plaine de Valence	12	92,1	5,0	270,0	86,8	296,0	4,1
154B1	Alluvions anciennes des basses terrasses entre la confluence de l'Isère et de la Drôme	8	53,4	9,0	153,0	47,4	30,2	26,5
154C	Alluvions quaternaires de la Drôme	8	86,8	30,0	170,0	42,8	98,9	8,1
177A1	Sillons fluvo-glaciaires du pays de Gex	11	46,7	2,0	138,0	37,8	28,4	38,7
177C1	Formations glaciaires et fluvo-glaciaires du bas Chablais-Pays de Gavot	4	10,6	2,6	27,0	9,8	78,3	5,1
177C2	Alluvions quaternaires du delata de la Drance	10	55,1	11,0	140,0	39,8	8,0	124,3
177C3	Formations glaciaires et fluvo-glaciaires du bas Chablais-terrasse de Thonon-les-Bains	5	37,9	0,5	60,0	23,5	234,6	2,1
324A	Alluvions quaternaires de l'Arve, de la Ménoge et du Giffre	30	67,7	2,0	282,0	75,1	120,3	24,9
325A	Alluvions quaternaires de la vallée de l'Isère en amont de Pontcharra	21	50,8	3,0	280,0	63,6	124,8	16,8
325B	Alluvions quaternaires de l'Isère entre Pontcharra et Grenoble	21	43,9	4,0	96,0	25,2	111,2	18,9
325C	Alluvions quaternaires de la vallée du Drac	21	110,5	7,0	600,0	129,3	88,7	23,7
325D	Alluvions quaternaires de l'Isère en aval de Grenoble	13	30,7	10,0	69,0	18,4	106,3	12,2
369	Alluvions quaternaires des plaines du Roubion et du Jabron	15	74,9	0,0	299,5	98,5	159,9	9,4
384	Alluvions quaternaires de la vallée de l'Arc	14	126,3	0,7	800,0	200,9	54,5	25,7
385	Alluvions quaternaires de la dépression de Chambéry et du Sierroz-Tillet	16	28,4	3,0	100,0	25,5	50,4	31,7
540X	Alluvions quaternaires de la Saône entre Ambérieux et Caluire-et-Cuire	20	54,3	5,0	170,0	50,4	49,8	40,1
540X3	Alluvions quaternaires de l'Azergues et de la Brévenne	5	28,2	3,0	82,0	27,6	45,0	11,1
542B	Formations glaciaires et molassiques de l'Albanais et du Bas-Chablais	41	31,7	0,1	140,0	39,4	1857,7	2,2
542B1A	Sillons fluvo-glaciaires des vallées de la Ménoge et de l'Arve	3	150,7	16,0	270,0	104,3	13,2	22,7
543A1	Alluvions quaternaires de la Cluse d'Annecy	7	56,0	18,0	81,0	22,2	40,4	17,3
548B	Alluvions quaternaires de l'Ardèche et de ses affluents	7	53,7	1,3	194,9	64,0	30,5	22,9
621B	Alluvions quaternaires de la Boucle de Vaise	3	80,0	45,0	120,0	30,8	2,7	113,2
94B	Alluvions quaternaires de la vallée de l'Ain	27	97,4	0,6	312,0	89,9	201,6	13,4
B11A	Domaine hydrogéologique du bassin carbonifère stéphanois	9	6,7	2,0	8,0	2,3	215,6	4,2
B11B	Domaine hydrogéologique des formations sédimentaires tertiaires (Pliocène exclus de type limagne)	16	10,5	0,4	44,5	11,8	1296,3	1,2
N14B	Système aquifère des alluvions de la Loire - Bassin de Montbrison	66	28,2	0,2	215,3	45,4	77,0	85,8
N14D	Système aquifère des alluvions de la Loire - Bassin Roannais	9	13,3	5,3	24,0	6,3	68,1	13,2
PLIO1	Formations argilo-sableuses du plio-quaternaire ancien du Val de Saône	27	13,9	0,8	53,0	15,4	250,4	10,8
RHDI1	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône entre Seyssel et Lagnieu	19	63,9	1,0	260,0	70,7	215,2	8,8
RHDI2	Alluvions quaternaires de la Vallée du Rhône entre Lagnieu et Solaize	123	74,0	1,0	265,0	59,0	160,2	76,8
RHDI3	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône de Solaize - Tain L'Hermitage	84	115,4	1,0	420,0	97,5	189,3	44,4
RHDI4	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône de Tain-L'Hermitage-Viviers	10	48,0	3,0	100,0	35,1	163,1	6,1
RHDI5	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône en aval de Viviers	12	29,9	0,3	120,0	38,4	114,6	10,5
TOTAL	46	899					9876,8	9,1
							Moyenne x 2	18,2

Illustration 20 – Données ponctuelles de débit exploitable utilisées (en m³/h)

L'illustration 21 représente la distribution géographique des données de débit exploitable utilisées en Rhône-Alpes.

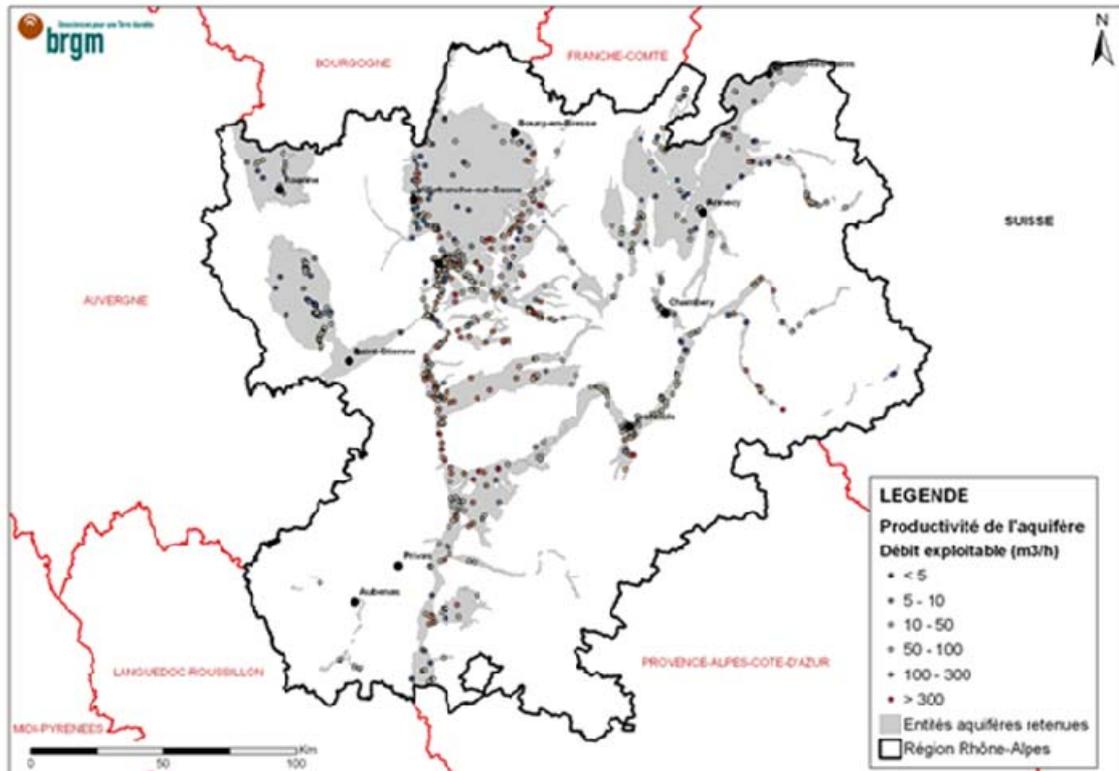


Illustration 21 – Carte des données ponctuelles de débit exploitable

Les valeurs de densité de données disponibles peuvent s'expliquer par le potentiel aquifère de l'entité et la pression anthropique exercée sur la ressource (urbaine, agricole, industrielle). Ainsi, les domaines hydrogéologiques (i.e. peu aquifères) sont peu renseignés comme par exemple le bassin carbonifère stéphanois (B11A), tout comme les formations sédimentaires tertiaires (B11B). A l'inverse, les entités où sont situées les grandes agglomérations comportent une densité de données très satisfaisante : alluvions quaternaires de la vallée du Rhône entre Lagnieu et Solaize (RHD12), alluvions quaternaires de la vallée du Drac (325C), alluvions quaternaires de la dépression de Chambéry et du Sierroz-Tillet (385)...

4.4.4. Classification

La classification retenue pour le critère « productivité de l'aquifère » est la suivante (Illustration 22) :

Classe de productivité	Commentaire
$Q_{\text{exploitable}} < 5 \text{ m}^3/\text{h}$	Le risque d'échec de production est élevé. La ressource est considérée comme faible.
$5 \text{ m}^3/\text{h} < Q_{\text{exploitable}} < 10 \text{ m}^3/\text{h}$	Cette gamme de débit permet d'envisager le chauffage de logements individuels.
$10 \text{ m}^3/\text{h} < Q_{\text{exploitable}} < 50 \text{ m}^3/\text{h}$	Cette gamme de débits permet d'envisager le chauffage de bâtiments de 1 000 à 5 000 m ² .
$Q_{\text{exploitable}} > 50 \text{ m}^3/\text{h}$	Cette gamme de débits permet d'envisager le chauffage de bâtiments supérieurs à 5 000 m ² .

Illustration 22 – Classes de productivité prises en compte

La distribution des valeurs au sein des classes de productivités prises en compte est hétérogène (Illustration 23) :

- 12,3 % des valeurs de débits exploitables recueillis sont inférieures à 5 m³/h et 9,5 % se trouvent dans la gamme 5 à 10 m³/h ;
- Plus des trois-quarts (78,2 %) des données de débit exploitables sont supérieures à 10 m³/h, dont 44,7 % appartiennent à la classe de productivité maximale.

Ce constat est directement lié à la nature même des entités étudiées : les nappes alluviales fournissent en général des débits intéressants.

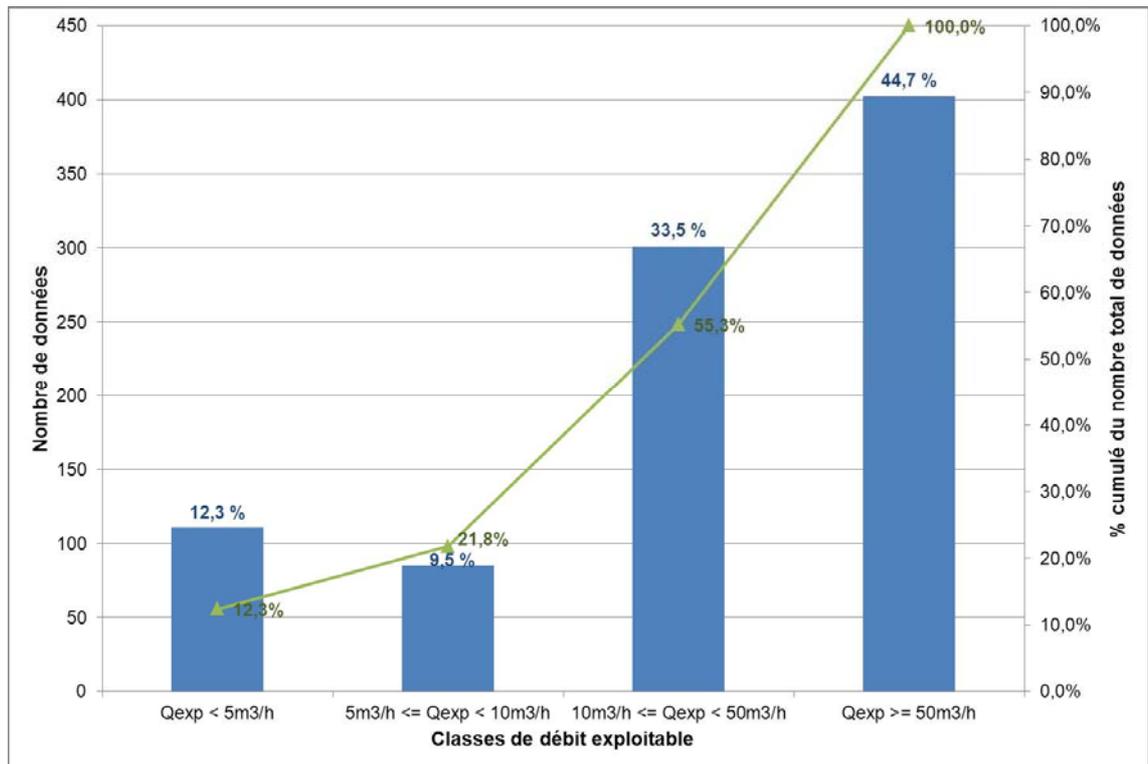


Illustration 23 – Distribution des données de débit exploitable collectées au sein des classes de productivité

4.4.5. Méthodes de spatialisation des données

Pour la productivité des aquifères également, le choix de la méthode de spatialisation des données dépend essentiellement de la nature, de la disponibilité et de la distribution géographique des données de base, qui conditionnent elles-mêmes la précision du zonage et sa représentativité des hétérogénéités régionales.

L'approche géologique a été privilégiée lorsqu'une influence se vérifiait sur les données ponctuelles. Cette méthode s'est révélée particulièrement pertinente pour les entités constituées de plusieurs formations géologiques.

Lorsque les valeurs se révélaient homogènes, l'approche statistique a été appliquée, avec attribution d'une valeur de productivité unique.

Enfin, dans le cas où les méthodes précédentes n'ont pas abouti à un zonage satisfaisant permettant d'expliquer la distribution des valeurs, les méthodes d'interpolation géostatistique ou de sectorisation par les polygones de Thiessen ont été mises en œuvre.

4.4.6. Carte de productivités de la ressource du meilleur aquifère

La carte régionale de productivités de la ressource pour le meilleur aquifère figure en annexe (Annexe 4). Elle a été réalisée à partir de la carte régionale "maillée" (cf. § 5.1).

Cette carte a été établie, dans la limite des données disponibles, en tenant compte :

- dans le cas de la présence d'un seul aquifère : de la productivité de la ressource pour cet aquifère ;
- dans le cas de la présence de plusieurs aquifères superposés :
 - de la productivité de la ressource associée à l'aquifère pour lequel le potentiel géothermique est le plus favorable ;
 - de la productivité de la ressource la plus favorable lorsque les aquifères possèdent un potentiel géothermique identique ;
 - de la productivité de la ressource la plus favorable lorsqu'aucun potentiel géothermique n'a pu être déterminé.

4.5. TEMPERATURE DE LA RESSOURCE

4.5.1. Définition

Le critère « température de la ressource » est, comme le critère « productivité de la ressource », représentatif du potentiel thermique de l'exploitation de l'aquifère pour un usage géothermique. En effet l'eau de la nappe est utilisée comme fluide caloporteur. L'énergie qu'elle contient sous forme de « chaleur sensible » (c'est-à-dire sans changement de phase, l'eau restant à l'état liquide) est exploitée pour un usage géothermique notamment pour les propriétés suivantes : forte capacité calorifique de l'eau (transfert rapide de la chaleur entre le réservoir et la surface) et température quasi constante au cours de l'année. Compte-tenu des basses températures des nappes superficielles (généralement 12 à 15°C), les calories destinées au chauffage sont extraites par pompe à chaleur (PAC) qui prélève l'énergie de la nappe aquifère pour augmenter la température d'un fluide secondaire jusqu'à une température compatible avec l'usage. Ce delta de température est directement proportionnel au rendement de l'installation.

4.5.2. Sources de données

Les données prises en compte pour la cartographie de ce critère sont les mesures ponctuelles en forage issues de la Banque de données ADES. Lors du dépouillement des données BSS, les valeurs de températures présentes ont également été recensées, et ont permis de compléter par la suite la banque de données existante. Pour l'essentiel, il s'agit de captages AEP ou de qualitomètres de suivi des Installations Classées dont la qualité de l'eau (notamment paramètre température) est renseignée

(relevé lors de toute prise d'échantillon, lors de la purge de l'ouvrage). Les données de températures ne sont exploitables que si elles sont rattachées à une entité hydrogéologique.

En région Rhône-Alpes, la température de l'eau contenue dans les nappes superficielles varie d'un aquifère à l'autre, suivant les secteurs géographiques. Les faibles valeurs se situent dans les régions les plus élevées en altitude au nord-est de la région ; les fortes valeurs se rencontrent dans les zones urbaines.

Il faut noter également que la proximité de gravières et de rivières constitue un front froid ou chaud susceptible d'être sollicité en cas de pompages intensifs dans la nappe alluviale, provoquant ainsi une hausse ou une baisse locale de la température de l'eau.

4.5.3. Données disponibles

Au total, **1 262** valeurs de température ont permis la caractérisation de la ressource en Rhône-Alpes pour ce critère (Illustration 24). Il faut noter que pour chaque point d'eau, la valeur attribuée résulte de la moyenne effectuée sur l'ensemble des analyses de température disponible. Ainsi, ce sont plus de 14 000 valeurs de températures qui ont été prises en compte.

L'analyse des densités de données disponibles a été réalisée comme pour les critères précédents. Les densités de points se révèlent très variable d'une entité aquifère à l'autre.

La densité de données de température par aquifère, contrairement aux paramètres "profondeur" et "productivité", est à relativiser vis-à-vis du caractère relativement constant et homogène de la température des eaux souterraines. Les écarts-types sur les échantillons statistiques rendent compte de cette propriété.

L'illustration 25 expose la distribution géographique des données de « température de la ressource » utilisées en Rhône-Alpes.

Code entité aquifère	Nom de l'entité aquifère	Données de température de la ressource							Densité de données pour 100 km ² d'aquifère
		Nombre d'analyses	Nombre de valeurs moyennes	Moyenne	Min	Max	Ecart-type	Surface de l'entité (km ²)	
151A2	Formations plio-quaternaires de la Dombes	291	39	13,4	10,4	17,4	1,4	1710,1	2,3
151A4	Alluvions quaternaires de la Veylle	25	4	12,3	11,4	13,2	0,7	54,0	7,4
151A5	Formations fluvo-glaciaires du couloir de Certines	139	24	14,4	9,8	17,7	2,2	97,7	24,6
151F1	Formations fluvo-glaciaires de Meximieux à Montliuel	117	12	14,3	11,9	16,7	1,2	54,1	22,2
151X	Alluvions quaternaires de la Saône du seuil calcaire de Tournus-Ambérieux	55	7	13,7	13,2	14,8	0,5	145,8	4,0
152C	Formations fluvo-glaciaires du couloir de Meyzieu	386	36	15,6	12,6	19,7	2,2	62,2	57,9
152D	Formations fluvo-glaciaires du couloir de Décines-Chassieu	241	35	14,1	9,0	21,2	2,3	61,1	57,3
152E	Formations fluvo-glaciaires du couloir d'Heyrieux	503	55	15,2	11,7	23,0	1,8	81,8	67,2
152H	Formations fluvo-glaciaires de la Bourbes et du Catelan	592	41	14,1	7,0	20,1	2,2	221,3	18,5
152K	Formations quaternaires de la plaine de Bièvre - Valloire	489	31	13,1	10,5	20,5	1,8	476,8	6,5
152M	Alluvions anciennes des terrasses de l'Isère	565	18	14,7	12,3	18,6	1,8	235,9	7,6
152O	Formations fluvo-glaciaires du Bas Dauphiné - Véga et Sevenne	144	4	13,4	13,0	13,7	0,3	40,0	10,0
152P	Formations fluvo-glaciaires du Bas Dauphiné - Gère et Véronne	230	6	12,9	12,3	13,8	0,5	54,8	11,0
154A	Alluvions anciennes de la plaine de Valence	388	16	14,4	11,9	20,2	2,3	296,0	5,4
154B1	Alluvions anciennes des basses terrasses entre la confluence de l'Isère et de la Drôme	119	19	17,6	13,2	24,5	3,2	30,2	62,9
154C	Alluvions quaternaires de la Drôme	116	8	13,1	11,0	15,5	1,4	98,9	8,1
177A1	Sillons fluvo-glaciaires du pays de Gex	79	10	10,9	9,4	12,5	0,8	28,4	18,9
177C1	Formations glaciaires et fluvo-glaciaires du bas Chablais-Pays de Gavot	148	15	9,5	8,4	11,6	0,7	78,3	19,2
177C2	Alluvions quaternaires du delta de la Drance	51	2	12,1	11,9	12,3	0,2	8,0	24,9
177C3	Formations glaciaires et fluvo-glaciaires du bas Chablais-terrasse de Thonon-les-Bains	490	16	10,5	9,3	12,6	0,9	234,6	6,8
324A	Alluvions quaternaires de l'Arve, de la Ménoge et du Giffre	367	20	10,3	8,0	12,3	1,2	120,3	16,6
325A	Alluvions quaternaires de la vallée de l'Isère en amont de Pontcharra	360	31	11,5	5,9	15,5	1,9	124,8	24,8
325B	Alluvions quaternaires de l'Isère entre Pontcharra et Grenoble	216	36	13,8	11,0	19,5	2,0	111,2	32,4
325C	Alluvions quaternaires de la vallée du Drac	1123	90	14,0	9,7	22,3	2,0	88,7	101,5
325D	Alluvions quaternaires de l'Isère en aval de Grenoble	268	18	15,8	12,3	20,4	3,1	106,3	16,9
369	Alluvions quaternaires des plaines du Roubion et du Jabron	276	3	13,3	12,9	13,7	0,3	159,9	1,9
384	Alluvions quaternaires de la vallée de l'Arc	127	31	12,4	8,8	20,3	2,8	54,5	56,9
385	Alluvions quaternaires de la dépression de Chambéry et du Stieroz-Tillet	443	34	15,0	11,1	18,0	2,2	50,4	67,5
540X	Alluvions quaternaires de la Saône entre Ambérieux et Caluire-et-Cuire	92	20	16,4	13,3	20,5	2,1	49,8	46,8
540X3	Alluvions quaternaires de l'Azergues et de la Brévenne	40	1	13,4	13,4	13,4	0,0	45,0	3,7
542B	Formations glaciaires et molassiques de l'Albanais et du Bas-Chablais	1759	193	10,0	5,7	16,9	1,6	1857,7	8,8
542B1A	Sillons fluvo-glaciaires des vallées de la Ménoge et de l'Arve	117	4	12,0	10,5	13,4	1,1	13,2	30,3
543A1	Alluvions quaternaires de la Cluse d'Annecy	84	7	12,8	10,6	14,2	1,3	40,4	17,3
548B	Alluvions quaternaires de l'Ardèche et de ses affluents	1	1	18,0	18,0	18,0	0,0	30,5	3,3
621B	Alluvions quaternaires de la Boucle de Vaise	3	3	14,8	14,1	15,2	0,5	2,7	113,2
94B	Alluvions quaternaires de la vallée de l'Ain	264	27	12,8	10,0	16,0	1,6	201,6	13,2
B11A	Domaine hydrogéologique du bassin carbonifère stéphanois	114	25	19,0	11,1	23,0	2,8	215,6	11,6
B11B	Domaine hydrogéologique des formations sédimentaires tertiaires (Pliocène exclus de type limagne)	332	29	16,8	12,0	22,3	3,5	1296,3	2,2
N14B	Système aquifère des alluvions de la Loire - Bassin de Montbrison	134	11	12,9	11,5	14,1	0,7	77,0	14,3
N14D	Système aquifère des alluvions de la Loire - Bassin Roannais	90	9	13,6	9,0	17,7	2,8	68,1	13,2
PLIO1	Formations argilo-sableuses du plio-quaternaire ancien du Val de Saône	46	1	13,0	13,0	13,0	0,0	250,4	0,4
RHD11	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône entre Seyssel et Lagnieu	278	20	12,6	7,2	19,1	2,1	215,2	9,3
RHD12	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône entre Lagnieu et Solaize	518	89	16,1	10,8	22,1	2,4	160,2	55,6
RHD13	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône de Solaize - Tain L'Hermitage	1328	145	16,0	9,0	23,7	2,8	189,3	76,6
RHD14	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône de Tain-L'Hermitage-Viviers	264	11	16,4	10,2	22,5	4,3	163,1	6,7
RHD15	Alluvions quaternaires de la vallée du Rhône en aval de Viviers	192	5	14,6	13,2	16,0	1,0	114,6	3,2
Total général	46	14004	1262					9876,8	12,8
								Moyenne x 2	25,6

Illustration 24 – Nombre de données de température par aquifère (temp. en °C)

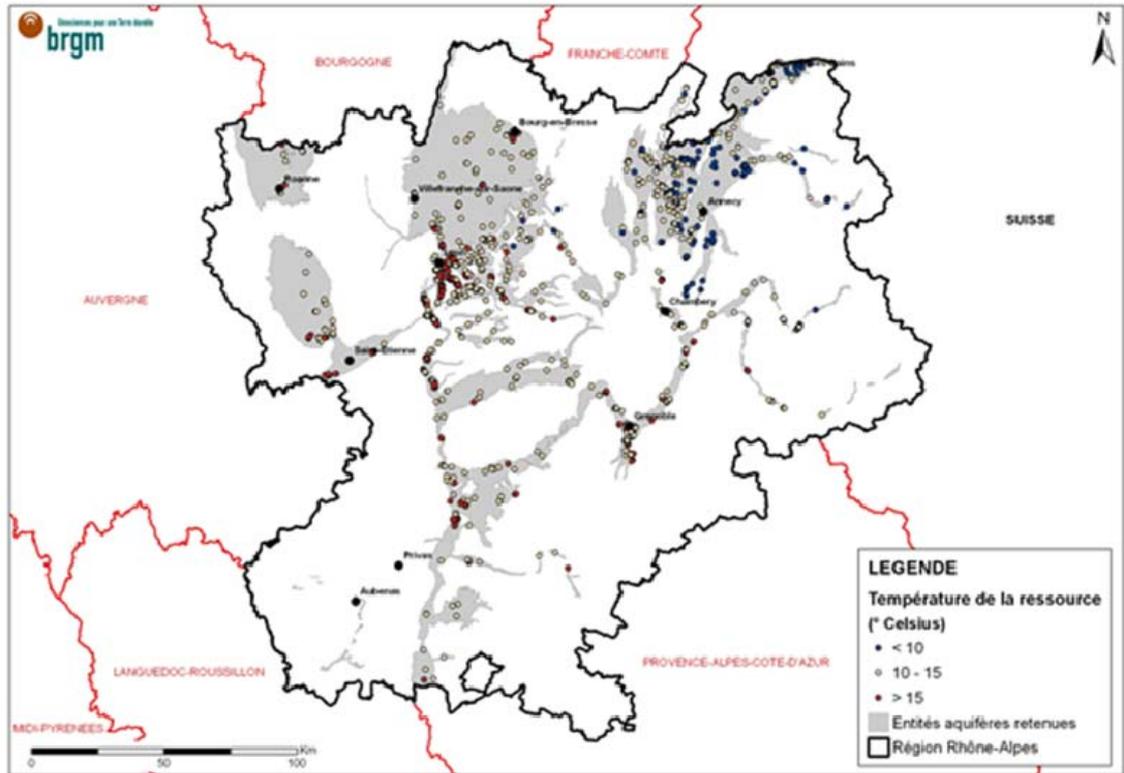


Illustration 25 – Carte des données ponctuelles de température

4.5.4. Classification

La classification retenue pour le critère « température de la ressource » est basée sur l'évolution du degré d'efficacité d'une PAC utilisée en mode chauffage en fonction de la température de la ressource (Illustration 26).

Classe de température	Commentaire
Température < 10°C	Difficultés pour le fonctionnement d'une PAC en mode chauffage.
10°C ≤ Température < 15°C	Très favorable au fonctionnement d'une PAC en mode chauffage et climatisation et au free-cooling.
T > 15°C	Difficulté pour le fonctionnement d'une PAC en mode climatisation.

Illustration 26 – Classes de températures d'aquifère prises en compte

Sur les 1 262 valeurs disponibles, la classe moyenne regroupe 74,3 % des valeurs : près de ¼ du total des températures sont comprises entre 10°C et 15°C.

20,7 % des données de l'échantillon sont inférieures à 10°C et 5,0 % sont supérieures à 15°C (Illustration 27).

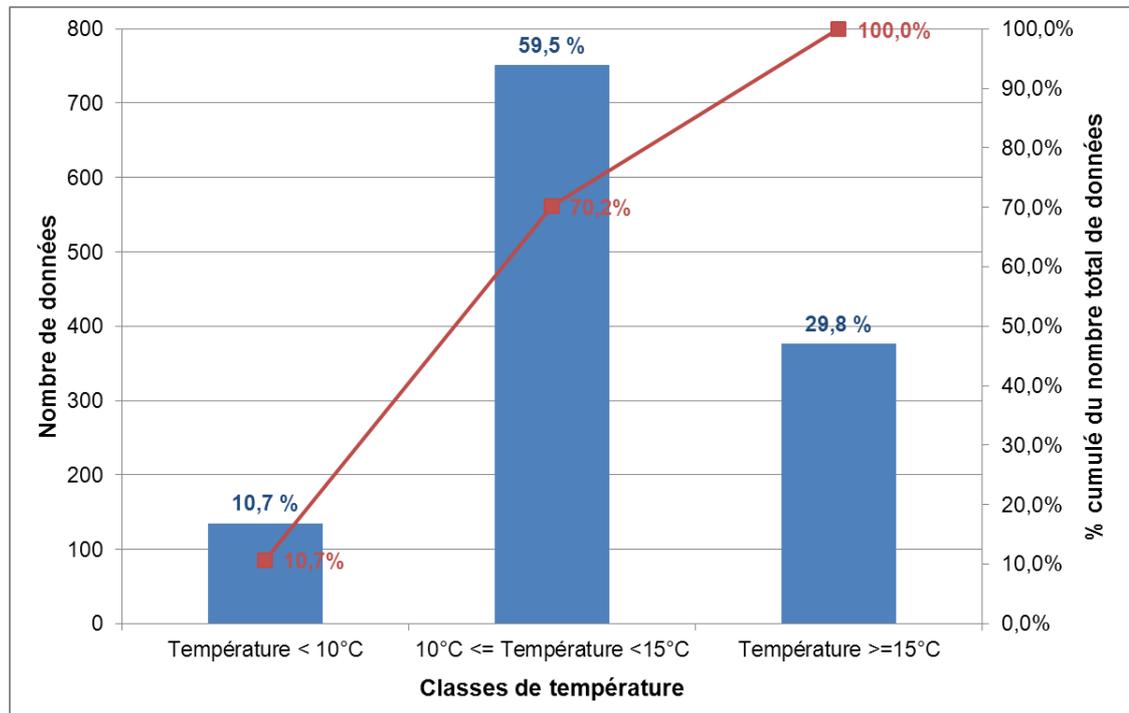


Illustration 27 - Nombre de données par classes de température

4.5.5. Méthode de spatialisation des données

Les valeurs de températures disponibles par aquifère présentent une faible variabilité au regard des classes définies pour ce critère (Illustration 27). L'approche statistique a été privilégiée, avec attribution d'une classe de température unique à l'ensemble de la surface de chaque aquifère. Dans certains cas, les méthodes d'interpolation géostatistique ou de sectorisation par les polygones de Thiessen ont été appliquées.

4.5.6. Carte des températures de la ressource du meilleur aquifère

La carte régionale des températures de la ressource du meilleur aquifère figure en annexe (Annexe 5). Elle a été réalisée à partir de la carte régionale "maillée" (cf. § 5.1). Cette carte a été établie, dans la limite des données disponibles, en tenant compte :

- dans le cas de la présence d'un seul aquifère : de la température de la ressource pour cet aquifère ;
- dans le cas de la présence de plusieurs aquifères superposés :
 - de la température de la ressource associée à l'aquifère pour lequel le potentiel géothermique est le plus favorable ;
 - de la température de la ressource la plus favorable lorsque les aquifères possèdent un potentiel géothermique identique ;
 - de la température de la ressource la plus favorable lorsqu'aucun potentiel géothermique n'a pu être déterminé.

4.6. EVALUATION DU POTENTIEL GEOTHERMIQUE

4.6.1. Rappel des étapes précédentes et pondération des critères

Après avoir procédé au recueil des données de base, défini la classification et l'indexation des critères (Illustration 28), réalisé des cartes intermédiaires par critère et par aquifère à partir des données de base, il a été procédé à une analyse simultanée de ces cartes par le biais d'un calcul automatisé multicritères, mené sous SIG. Ce calcul aboutit à une carte régionale du potentiel géothermique pour chaque aquifère (Annexe 6).

Critère de potentialité géothermique	Classification de critères	Indexation des classes	Potentialité
Profondeur d'accès à la ressource	Prof < 5m	1	Défavorable
	5 m < Prof < 15 m	4	Très favorable
	15 m < Prof < 30 m	3	Favorable
	30 m < Prof < 100 m	2	Peu favorable
	Non connue précisément	x	
Productivité de l'aquifère	$Q < 5 \text{ m}^3/\text{h}$	1	Défavorable
	$5 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 10 \text{ m}^3/\text{h}$	2	Peu favorable
	$10 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 50 \text{ m}^3/\text{h}$	3	Favorable
	$Q > 50 \text{ m}^3/\text{h}$	4	Très favorable
	Non connu précisément	- 9999	
Température de la ressource	$T < 10^\circ\text{C}$	2	Peu favorable
	$10^\circ\text{C} \leq T < 15^\circ\text{C}$	4	Très favorable
	$T > 15^\circ\text{C}$	3	Favorable
	Non connu précisément	x	

Illustration 28 – Classification et indexation des critères de potentialité géothermique

La méthode de calcul employée a été fixée nationalement, afin d'homogénéiser les rendus des atlas des différentes régions. Cette méthode revient à évaluer la potentialité géothermique uniquement sur la base des critères productivité, température et profondeur d'accès.

Le code de calcul multicritères pris en compte est le suivant :

$$\text{Potentiel géothermique} = 2x (\text{Productivité de l'aquifère}) + 1x (\text{Température}) + 1x (\text{Profondeur d'accès})$$

Nota Bene : on remarquera, toutes choses égales par ailleurs, que la note est abaissée pour des températures de nappe supérieures à 15°C. Ceci est lié à la prise en compte également de l'utilisation fréquente de systèmes dédiés à la climatisation (comportant un doublet de forages et une pompe à chaleurs géothermique), et pour lesquels une température inférieure à 15°C est préférable.

4.6.2. Potentiel géothermique des aquifères

Les proportions du territoire concernées par un potentiel géothermique fort, moyen, faible et très faible sont données par la suite. La carte régionale du potentiel géothermique du meilleur aquifère est présentée en Annexe 6.

Le tableau suivant (Illustration 29) expose la répartition en surface des différentes classes de potentiel géothermique pour les territoires étudiés (surface occupée par les aquifères à l'affleurement représentant 20% de Rhône Alpes).

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

Illustration 29 – Répartition des territoires étudiés (20% de Rhône Alpes) en fonction du potentiel géothermique attribué

Les surfaces calculées proviennent de la carte régionale "maillée" du potentiel géothermique. Elles diffèrent donc légèrement de la réalité, en raison du changement d'échelle induit par le traitement. Dans le cas d'une superposition d'aquifères, c'est le meilleur potentiel qui a été retenu.

Le tableau suivant (Illustration 30) expose la répartition en surface des différentes classes de potentiel géothermique pour toute la région Rhône Alpes.

Potentiel géothermique du meilleur aquifère	Surface (km ²)	% du total général
Fort	3098.3	6.8%
Moyen	1909.3	4.2%
Faible	2270.5	5.0%
Très Faible	0.7	<0.1%
Non connu précisément	1732.5	3.8%
Non étudié (a priori faible ou ponctuel)	36314.2	80.1%
Total général	45325.5	100.0%

Illustration 30 – Répartition du territoire rhônalpin en fonction du potentiel géothermique attribué

La surface de territoire où le potentiel géothermique sur aquifère n'a pas été étudié (considéré a priori comme peu intéressant ou nécessitant des études locales) s'élève à 80,1 %. Elle correspond aux zones non retenues dans cette étude, considérées comme non favorable à l'implantation de PAC sur aquifère.

A l'échelle de la région Rhône-Alpes, 19,9 % du territoire possède donc dans son proche sous-sol des ressources en eau susceptibles d'être exploitées pour leurs potentiels géothermiques. Plus d'un tiers de cette surface est caractérisée par un fort potentiel (6,8 %). Les potentiels géothermiques moyen et faible occupent respectivement 4,2 % et 5,0 %. Une très faible portion du territoire, inférieure à 1 km², présente un très faible potentiel géothermique.

Lorsque la combinaison des 3 paramètres "profondeur d'accès à la ressource", "débit exploitable" et "température de la ressource" est incomplète - pour tout ou partie des aquifères traités - le potentiel géothermique est "non connu précisément". Cette classe concerne 19% des territoires étudiés (3,8 % de la surface de la région Rhône-Alpes).

Il arrive que les aquifères retenus se superposent verticalement : une entité peut en effet en couvrir une autre plus ou moins localement. Trois niveaux de superposition ont été observés, dont la distribution en termes de surface est fournie dans le tableau suivant (Illustration 31).

Nombre d'aquifères	Surface (km ²)	% de la surface totale régionale / aquifère
1 aquifère	8186.8	18,1% / 90,9%
2 aquifères	816.5	1,8% / 9,1%
3 aquifères	8.0	0,02% / 0,09%
Zones non étudiées	36314.2	80,1% / ---
Surface totale régionale / aquifère	45325,5 / 9011,3	100,0% / 100,0%

Illustration 31 – Proportions du territoire concerné par une superposition des entités aquifères conservées dans cette étude

Plus de 90 % de la surface aquifère traitée, soit 18,1 % de la surface régionale, est caractérisée par la présence d'une seule entité aquifère dans son proche sous-sol favorable à un usage géothermique de PAC sur nappe. La superposition de plusieurs aquifères parmi ceux retenus concerne 1,8 % du territoire Rhône-alpin, pour lesquels différents potentiels géothermiques ont été définis.

5. Diffusion de la cartographie sur internet

5.1. MISE A DISPOSITION DE LA CARTOGRAPHIE REGIONALE SOUS FORME DE GRILLE

La cartographie des critères de potentialité géothermique s'est faite dans un premier temps **par aquifère ou entité hydrogéologique**. Ce sont les unités d'observation dont on connaît les propriétés. Après regroupement des entités selon leur âge stratigraphique, les résultats ont été attribués à des portions de territoire correspondant à des **mailles carrées de 500 m de côté**.

Ensuite, pour intégrer la superposition des aquifères et faciliter la diffusion des données via le site <http://www.geothermie-perspectives.fr/>, toutes les informations ont été agrégées dans une seule couche d'information. Ainsi, un maillage régulier couvrant l'ensemble de la région Rhône-Alpes a été créé afin d'attribuer à chacune des mailles un certain nombre d'informations (débits exploitable, profondeur d'accès à la nappe, température, potentiel géothermique...).

Cette méthodologie produit des cartes du potentiel géothermique à une échelle équivalente au 1/50 000^{ème}. Malgré cela et du fait des différentes approximations réalisées (approximations liées au zonage des critères et aux calculs de productivité), l'échelle de restitution des informations aux utilisateurs ne doit pas excéder le 1/100 000^{ème} et doit éventuellement se limiter à l'échelle de la commune.

La taille de la maille permet de refléter l'échelle d'information. Le passage d'une donnée par secteur à une donnée par maille permet aussi de gommer les contours, les lignes frontières, qui ne sont pas des représentations tout à fait conformes à la réalité.

Pour passer de l'information vectorisée (entité hydrogéologique) à une information rasterisée (maillage régulier), les règles suivantes ont été définies :

- L'attribut de la maille correspond à celui du polygone dont la surface est majoritaire (Illustration 32);
- Si au droit d'une maille sont superposés deux ou trois aquifères (occupant la même superficie), la maille regroupera les informations des deux aquifères. On déterminera ensuite le potentiel du meilleur aquifère (Illustration 33).

Les exemples décrits ci-après illustrent l'application de ces règles.

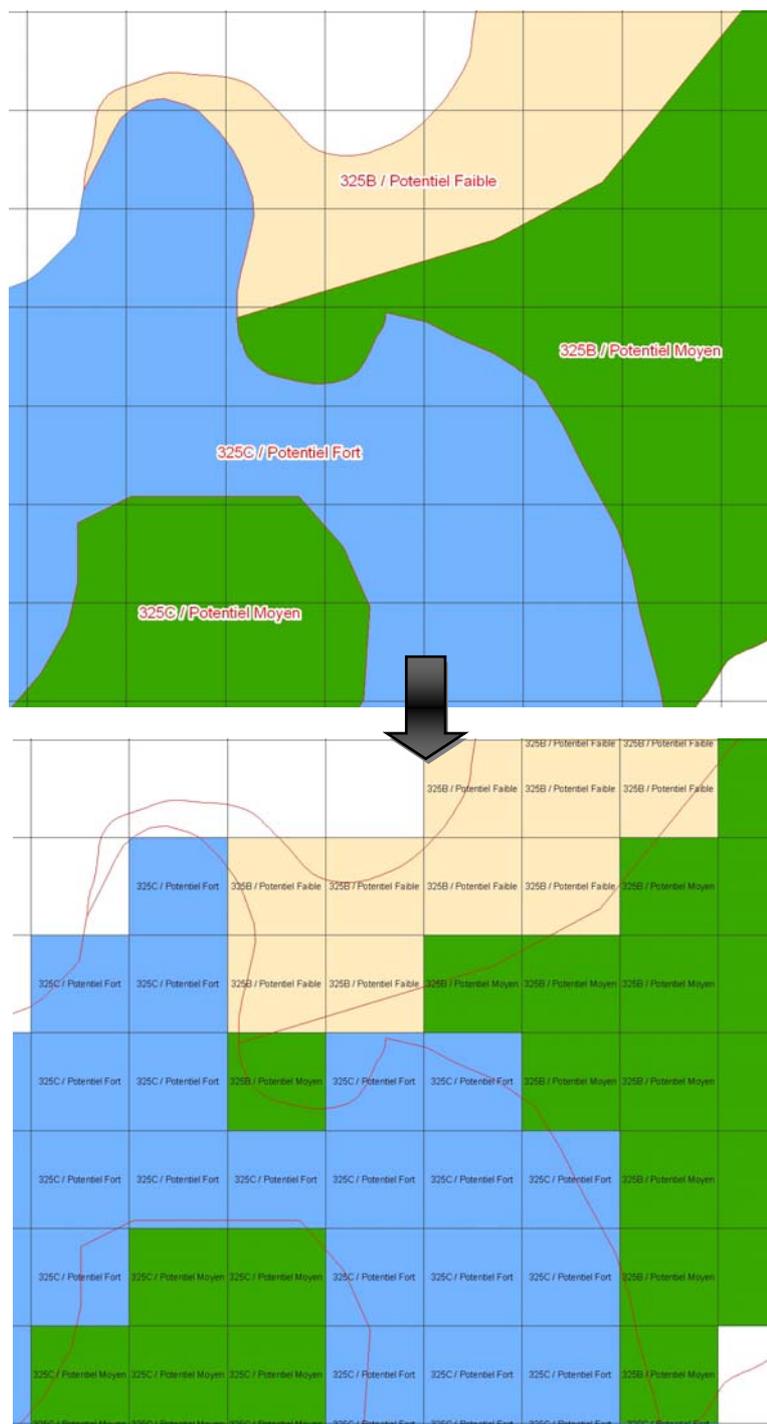


Illustration 32 - Transcription maillée des entités aquifères spatialisées et de leurs attributs associés sur le critère de surface

Lors du passage de l'information spatialisée à une information maillée, seules les informations du polygone occupant la superficie majoritaire sont conservées.

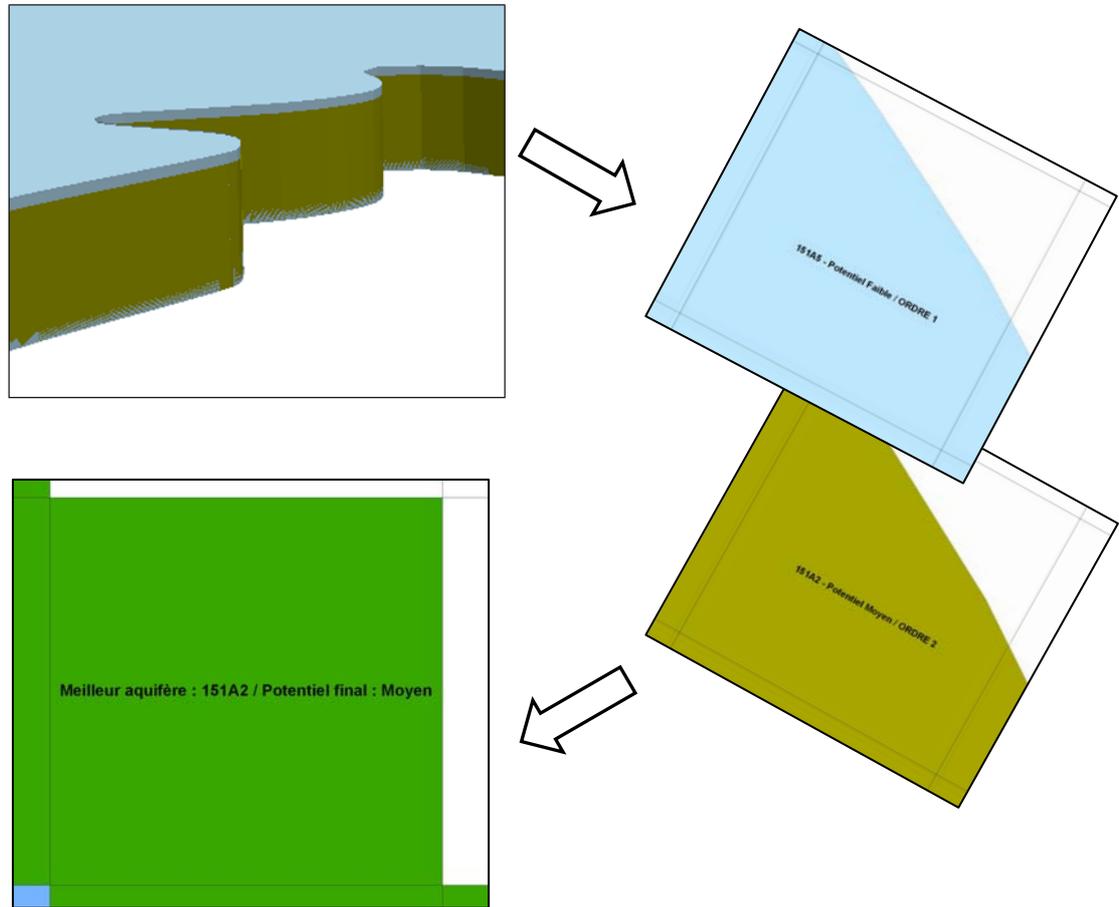


Illustration 33 - Maillage de l'information – gestion de l'ordre de superposition des aquifères

Deux aquifères sont superposés avec au-dessus, les formations fluvi-glaciaires du couloir de Certines (151A5 – Potentiel faible) et plus profonds les formations plio-quadernaires de la Dombes (151A2 – Potentiel moyen). Dans les attributs d'une maille de ce secteur sont indiquées la présence des deux aquifères, et toutes les informations relatives à chacun d'entre eux. Parmi ces informations, le potentiel du meilleur aquifère est alloué à cette maille.

Les superpositions peuvent atteindre 3 niveaux maximum.

La carte de l'illustration 34 représente à l'échelle régionale les mailles pour lesquelles des aquifères et des superpositions d'aquifères existent. Les superpositions se situent essentiellement au niveau des systèmes alluviaux, et au nord-est de la région de la plaine de l'Albanais à Thonon-les-Bains.

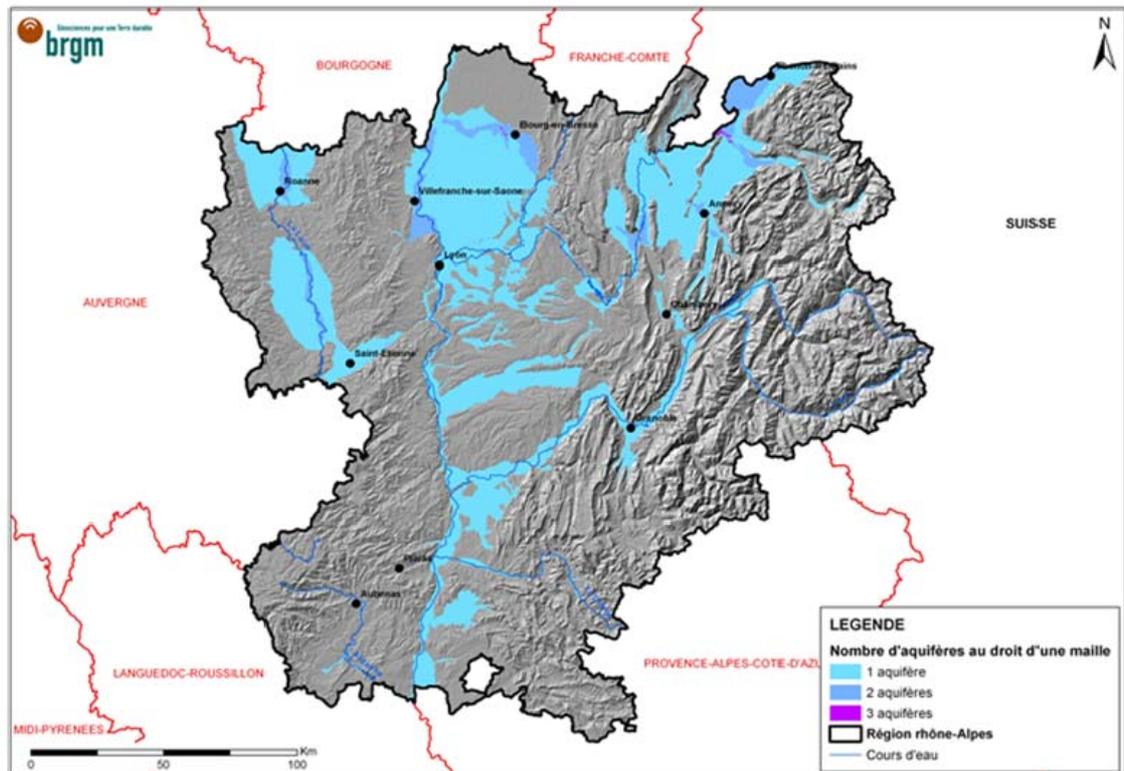


Illustration 34 - Carte de superposition des aquifères

5.2. MISE EN LIGNE DE L'ATLAS SUR LE SITE « GEOTHERMIE PERSPECTIVES »

L'atlas réalisé est mis en ligne sur le site Géothermie Perspectives <http://www.geothermie-perspectives.fr/> (Illustration 35) qui regroupe **différentes rubriques d'ordre général** qui présentent la géothermie (notamment les différents types de géothermie profonde, haute énergie, basse et très basse énergie), les atouts, les techniques d'exploitation de la ressources et de production de chaleur (notamment les pompes à chaleurs ou PAC), les contraintes et les enjeux de la géothermie en France. Un « **espace régional** » (Illustration 36) permet l'accès direct à l'Atlas régional pour les régions de France qui en dispose et à des informations complémentaires en termes de réglementation, d'acteurs locaux, de normes applicables aux opérations techniques, de démarches qualité garantissant les prestations, d'exemples d'opérations déjà réalisées.

Géothermie perspectives Toute l'information sur l'énergie de la Terre

ADEME Agence de l'Environnement et de la Région de l'Énergie | brgm Géosciences pour une Terre durable

Je chauffe ma maison | Chauffer des bâtiments | Les réseaux de chaleur | Autres Utilisations

La géothermie
 Comment ça marche ?
 La géothermie en France
 Les enjeux
 Recherche Développement

Actualités/Presse
 Médiathèque
 FAQ/Glossaire
 Les acteurs
 Liens

Espace professionnel
 S'inscrire en espace professionnel

- Accueil
- Plan du site
- Rechercher
- Contact

Une information proche de chez vous >> En savoir plus...
 >> Le potentiel géothermique de votre projet
 >> Trouver un foreur de sondes **Qualiforage**

Formations 2011 >> En savoir plus...
 >> Journée de sensibilisation en région Bourgogne - Présentations
 >> Introduction à la géothermie - nov. 11
 >> Géothermie sur les principes de l'habitat collectif et en zone, mise en œuvre des projets - 10/11

Ouvrages >> En savoir plus...
 Guide du maître d'Ouvrage
 Manuel co-édité par l'ADEME et le BRGM
 Prix de vente : 45 € >> En savoir plus

Partenariat >> En savoir plus...
 >> Les Journées de la Géothermie 13-15 déc. 2011, Parc Floral, Paris
 La première manifestation officielle de l'Association Française des Professionnels de la Géothermie (AFPG) se déroulera les 14 et 15 décembre 2011. Celle-ci s'organisera autour d'un salon d'affaires et de conférences au Parc Floral de Paris.

Accès aux données régionales

A la Une
 >> **Projet THERMOMAP**
 20 septembre 2011
 Vous pouvez contribuer à estimer le potentiel géothermique 0-10 m en Europe
 >> **Newsletter Géothermie 11-6**
 2 septembre 2011
 Retrouvez les dernières informations sur géothermie en France et à l'étranger : politique, opérations en cours, projets, normes et actualité scientifique

La Géothermie en France n°9
 15 juillet 2011

>> toutes les actualités...

Agenda
 5-6 octobre 2011 : Soultz Geothermal Conference, Soultz-sous-Forêts
 >> Programme & inscription
 14-15 décembre 2011 : Les Journées de la Géothermie 2011, Paris
 >> En savoir plus
 >> tous les événements...

Géothermie Perspectives met à votre disposition tout ce que vous devez savoir sur la Géothermie, en particulier sur le chauffage à énergie géothermique, que ce soit l'exploitation des nappes d'eau chaudes grâce à des forages profonds pour alimenter les réseaux de chaleur, ou l'aide d'une pompe à chaleur géothermique, qui permet d'extraire l'énergie emmagasinée dans les nappes phréatiques ou même celle contenue directement dans les terrains pour le chauffage géothermique d'une habitation.

© ADEME-BRGM Qui sommes-nous ? Informations légales

Illustration 35 - Page d'accueil du site geothermie-perspectives

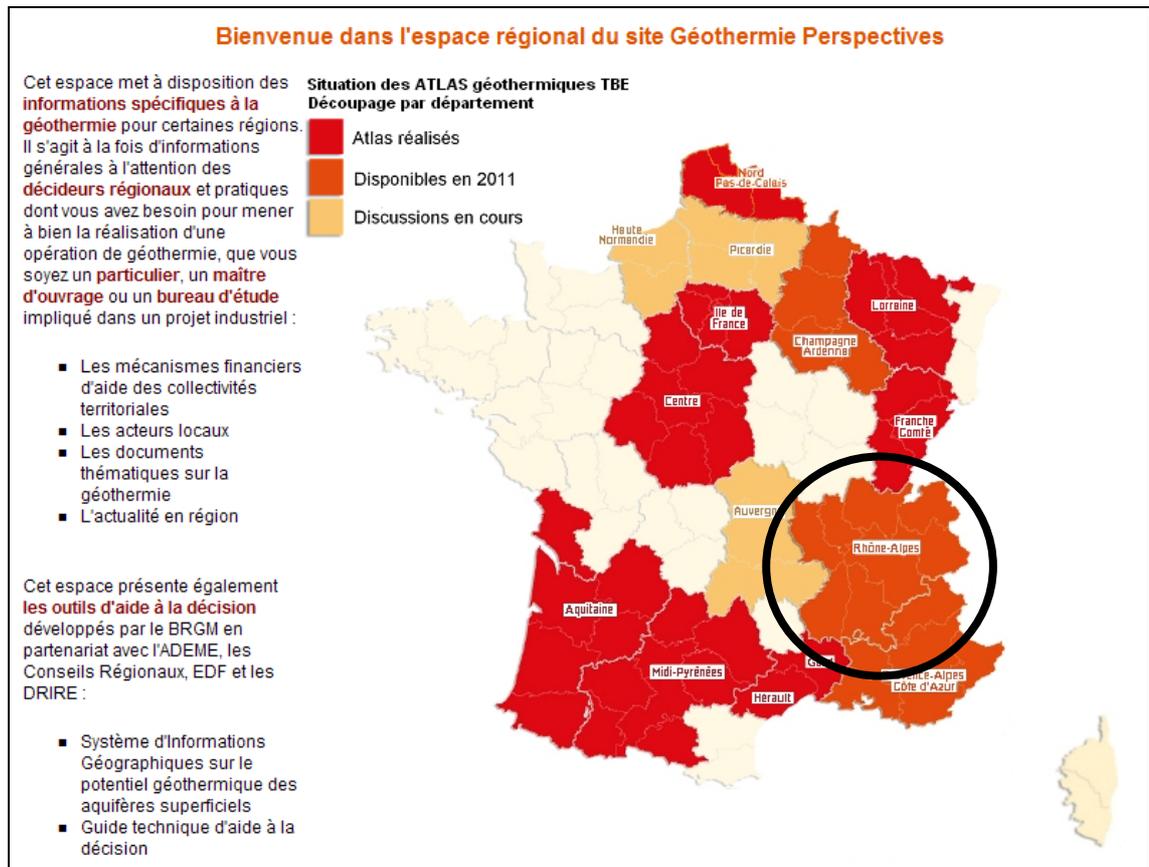


Illustration 36 - Page d'accueil de l'espace régional sur le site geothermie-perspectives

5.2.1. Rubriques générales sur l'espace régional de Rhône-Alpes

Dans le cadre de l'Atlas du potentiel géothermique très basse énergie en Rhône-Alpes, les pages régionales ont été développées en collaboration entre le BRGM, le conseil Régional, la DREAL et l'ADEME sur le site <http://www.geothermie-perspectives.fr/>.

Ces pages ont été conçues sur le modèle des pages préexistantes sur les autres sites régionaux mais ont été adaptées au contexte local dans un souci de présenter les informations minimales et nécessaires au public intéressé par la géothermie très basse énergie sur nappe pour comprendre les enjeux régionaux, savoir à qui s'adresser dans chacun des 8 départements rhônalpins, connaître la réglementation et les normes particulières à cette technique. Les pages sont toutes proposées en version imprimables et plusieurs documents sont proposés en téléchargement.

Les pages présentes sont :

- Espace régional Rhône Alpes : contexte général rhônalpin,

- Le développement de la géothermie en région : présentation du contexte local, des partenaires mobilisés en Rhône-Alpes et de l'outil développé par le BRGM (ses objectifs et ses limites).
- Les acteurs de la géothermie : liste et coordonnées des principaux acteurs locaux susceptibles d'être contactés pour des informations techniques ou des informations sur la réglementation et les démarches administratives. Cette liste pourra être mise à jour régulièrement (Conseil régional, Ademe, DREAL, Directions Départementales des Territoires (DDT), Agence Régionale de Santé (ARS), BRGM) ;
- La réglementation : présentation des principaux textes réglementaires qui s'appliquent à l'exploitation des eaux souterraines par forage et à l'exploitation des calories souterraines, donc aux opérations de géothermie ;
- Les caractéristiques de la région : description simplifiée du contexte géologique et hydrogéologique de la région Rhône-Alpes pris en compte dans l'atlas du potentiel géothermique,
- Les aides financières¹⁰ : présentation des différents outils d'accompagnement financier selon la cible (« entreprises, les collectivités et les bailleurs sociaux » ou « particuliers ») et de la garantie AQUAPAC. AQUAPAC est une assurance qui couvre les risques géologiques liés à la possibilité d'exploitation énergétique d'une ressource aquifère située en général à moins de 100 m de profondeur, puis au maintien de ses capacités dans le temps. Cette assurance s'applique aux installations utilisant des pompes à chaleur d'une puissance thermique supérieure à 30 KW. *Ces dispositifs d'aides évoluant régulièrement, l'internaute est invité à vérifier auprès des professionnels que les informations soient à jour. Dans la mesure du possible, les partenaires veilleront à mettre à jour le plus régulièrement possible le site régional.*
- Foreurs engagés dans la démarche qualité ADEME-BRGM-EDF : plusieurs entreprises de forage sont implantées en Rhône-Alpes et dans les régions limitrophes. Elles sont spécialisées dans la réalisation de sondes géothermiques verticales ou de forage d'eau. Les partenaires ont choisi de vous présenter dans ces pages les démarches d'engagement qualité qui existe à ce jour. En effet un foreur engagé dans une démarche qualité est la garantie pour le maître d'ouvrage de bénéficier de prestations professionnelles de qualité. On distingue les foreurs adhérant à QualiFORAGE et les foreurs adhérant à la Charte Qualité des Puits et Forage d'Eau créée à l'initiative du Syndicat des Foreurs d'Eau (SFE).
- Les normes : présentation des normes applicables pour le secteur de la géothermie très basse énergie. Une norme permet d'avoir une référence qui garantit que le travail exécuté respecte les règles de l'art en vigueur. Son application n'est pas obligatoire, contrairement à la réglementation. Lors de la

¹⁰ Pour toute information complémentaire, consulter : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-credit-d-impot-developpement>

mise en œuvre d'un projet, un prestataire qui respectent les normes en vigueur est donc un plus

5.2.2. Outil de consultation de l'Atlas régional

L'outil de consultation constitué à l'échelle de la région Rhône-Alpes permet d'obtenir des informations utiles à l'analyse de la faisabilité d'un projet de géothermie très basse énergie, notamment :

- Potentiel géothermique pour l'implantation de pompes à chaleur sur nappe des aquifères ;
- Données d'exploitabilité des aquifères étudiés (profondeur d'accès à la ressource en eau souterraine, débit exploitable, température);
- Favorabilité du contexte géologique pour la mise en place de sondes géothermiques verticales en circuit fermé ;
- Secteurs concernés par d'autres formes de géothermie (réutilisation de forages pétroliers, géothermie sur lacs, récupération d'eaux de tunnels, présence d'établissements thermaux).

Des informations supplémentaires ou à prendre en compte lors d'un projet de géothermie sont également indiquées :

- Données relatives aux dispositifs de protection de la ressource : localisation des périmètres de Zones de Répartition des Eaux (ZRE), de Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) ;
- Risques liés aux structures minières : localisation des titres miniers,
- Autres zonages : existence d'autres secteurs pour lesquels des restrictions existent ou sont envisagées vis à vis de la réalisation de forages destinés à la géothermie (zonage du CERN¹¹ notamment).

Les informations fournies revêtent un caractère indicatif, qui doit permettre d'orienter un projet de pompe à chaleur, mais la détermination exacte des caractéristiques de la ressource nécessite une étude spécifique. En effet, les cartes, fournies à l'échelle du 1/50 000^{ème}, sont construites à partir de la régionalisation de paramètres caractéristiques. Leur degré de précision est acceptable à l'échelle régionale, mais pas à l'échelle d'un projet qui nécessite une analyse fine des potentialités locales des aquifères.

Les informations sont accessibles via une recherche cartographique ou à partir du nom de la commune.

¹¹ Organisation européenne pour la recherche nucléaire (www.cern.ch)

a) Accès aux données par une recherche cartographique

La recherche cartographique est accessible depuis la fenêtre d'accueil de l'espace régional Rhône-Alpes (Illustration 37).

Espace régional Rhône-Alpes







Rhône-Alpes

Région

Le développement de la géothermie en région

● Le contexte local

La région Rhône Alpes dispose d'un potentiel géothermique pour différents types de géothermie. Pour les principaux aquifères superficiels connus et documentés, les conditions sont en général assez favorables à la géothermie très basse énergie avec utilisation de pompe à chaleur sur aquifères. Les secteurs concernés sont ceux où se concentre la majorité de la population et des activités rhônalpines. En dehors de ces zones, le potentiel géothermique par Sondes Géothermiques Verticales peut s'avérer également intéressant. Sur certains secteurs cependant, la présence de mouvements de terrain, de zones présentant des formations calcaires ou gypseuses impliquent cependant que l'implantation de sondes géothermiques verticales y est a priori défavorable et nécessite des études approfondies. Les ressources géothermiques sont donc présentes. Les techniques permettant la production de chaleur géothermale sont éprouvées. La rentabilité économique des opérations géothermiques est chaque jour vérifiée.

● Les partenaires locaux mobilisés

Afin de favoriser le développement de la géothermie en Rhône-Alpes, les partenaires locaux se mobilisent. La Région Rhône-Alpes, l'ADEME, la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement et le BRGM ont ainsi réalisé un **atlas des potentialités géothermiques**. Cet atlas est un véritable outil d'aide à la décision. Il présente l'inventaire du potentiel géothermique pour une exploitation des nappes superficielles, pour la mise en place de sondes géothermiques verticales et pour d'autres formes de géothermie (lacs, établissements thermaux, eaux de tunnels, réutilisation de forages profonds). Les partenaires régionaux accompagnent également le développement de la géothermie en soutenant techniquement voire financièrement les porteurs de projets ayant recours à cette solution renouvelable de production de chaleur.

● L'atlas des potentialités géothermiques

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, hors géothermie profonde. 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 votre situation géographique, vous pouvez donc évaluer l'intérêt de vous lancer dans un projet de production de chaleur par géothermie.

Attention, ce document est 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.
 Réalisation : BRGM En partenariat avec : ADEME, Région Rhône-Alpes, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

Accès au SIG du potentiel géothermique des aquifères :

- 📍 Accès par la carte de la région Rhône-Alpes
- 📍 Accès par département ou par commune
- 📄 Documents d'accompagnement du SIG

La géothermie en Rhône-Alpes

- **Le développement de la géothermie en région**
- Les acteurs de la géothermie
- La réglementation
- Les caractéristiques des aquifères
- Les aides financières
- Foreurs engagés dans la démarche qualité ADEME-BRGM-EDF
- Les normes

Illustration 37 - Fenêtre d'interrogation de l'outil via la carte régionale

b) Accès aux données via une recherche par département ou commune

Depuis la page d'accueil du site régional Rhône-Alpes, il est possible d'accéder aux données à l'aide d'une recherche par département ou par commune (Illustration 38).

[Page précédente](#)

Centrer la carte sur un département, une commune

Vous pouvez accéder aux données d'un département en sélectionnant le **département dans la liste déroulante** correspondante.

La sélection d'une commune dans la liste déroulante des communes, ne peut se faire qu'**après avoir choisi un département** (la liste des communes est restreinte au département sélectionné).

Départements :

Communes :

Validez votre sélection en cliquant ci dessous.

Illustration 38 - Fenêtre de recherche par commune

Après sélection par exemple de la commune, une fenêtre cartographique affiche à l'échelle communale le potentiel du meilleur aquifère (Illustration 39).

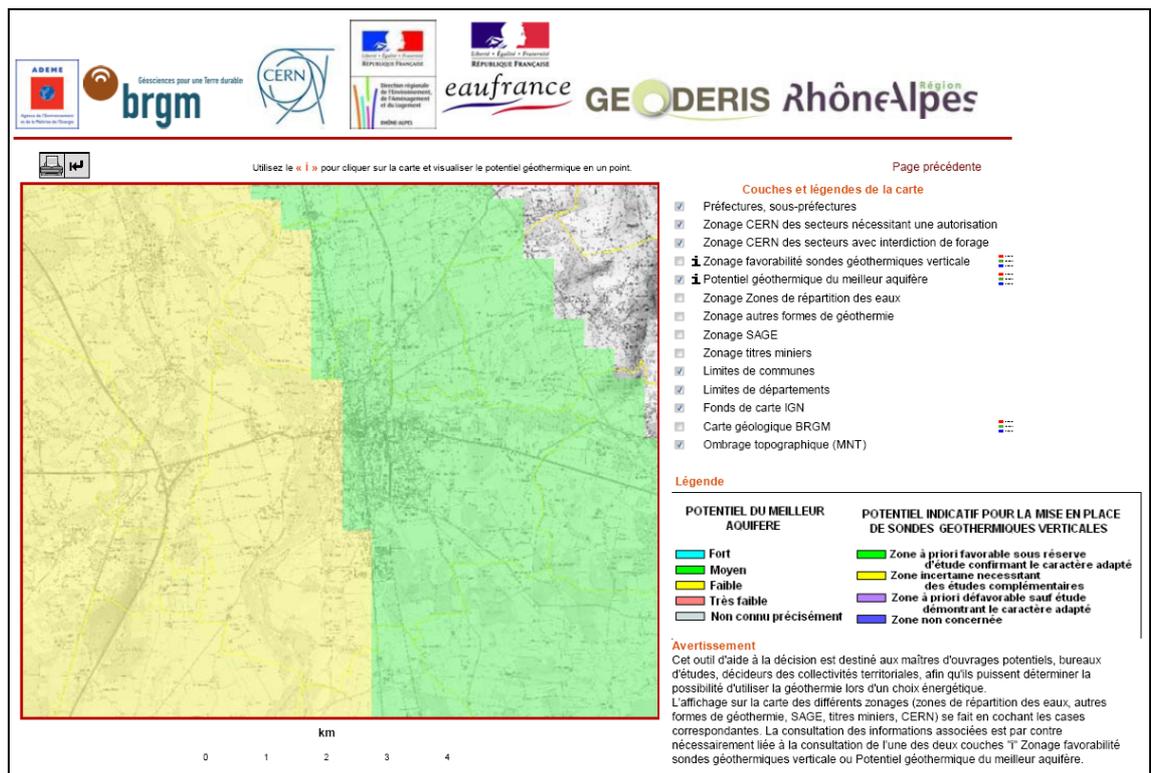


Illustration 39 - Fenêtre cartographique à l'échelle communale

Une fois la fenêtre cartographique affichée, l'utilisateur peut cliquer sur une maille de son choix sur la carte, à l'aide du « i » de la barre d'outils située au-dessus de la carte. Chaque maille contient les informations d'un aquifère (Illustration 40), ou de plusieurs aquifères (Illustration 41).

5.2.3. Avertissement sur zonages

a) Principes

L'atlas géothermique de la région Rhône Alpes vise à renseigner le potentiel géothermique sur aquifère et la favorabilité des terrains en vue de l'implantation de sondes géothermiques verticales. La mise en place de telles installations requiert la mise en place de forage. Dans certains secteurs, des restrictions, réglementaires ou non, peuvent avoir lieu. Concernant les aquifères, certains Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux peuvent limiter la mise en place de puits ; certains secteurs sont également concernés par des Zones de Répartition des Eaux visant à protéger la ressource. Au plan géologique, certains ouvrages souterrains peuvent exister, notamment des travaux miniers souterrains ou des aménagements publics.

Pour ces raisons, l'atlas renseigne également sur l'existence de tels zonages afin que l'utilisateur soit averti de leur existence et d'éventuelles restrictions associées. Les différents avertissements apparaissant lors de la consultation des données sont présentés par la suite.

b) Avertissement « zone de répartition des eaux »

L'avertissement est le suivant :

PROTECTION DE LA RESSOURCE : Le secteur sélectionné se trouve dans le périmètre d'une ZONE DE REPARTITION DES EAUX. Les règlements ZRE sont opposables à tous les usagers et définissent les modalités d'application du relèvement des seuils de prélèvement en précisant le cas échéant, les profondeurs d'application. Toutes les dispositions doivent être prises pour s'assurer du respect de ces règlements. Concernant les forages d'eau en général, différentes réglementations (code de l'environnement, code de santé publique, code des collectivités) et des normes de réalisation s'appliquent. On veillera également aux périmètres de protection des captages d'alimentation en eau potable et aux zonages des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux. Une vérification de l'absence d'infrastructures souterraines (mines, tunnels ...) est enfin nécessaire avant d'envisager de réaliser un ouvrage.

La référence de l'arrêté préfectoral et le milieu concerné (eau de surface ou eau souterraine) est également indiqué. Les données utilisées ont été fournies par la DREAL (Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement) de la région Rhône-Alpes (www.rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr) .

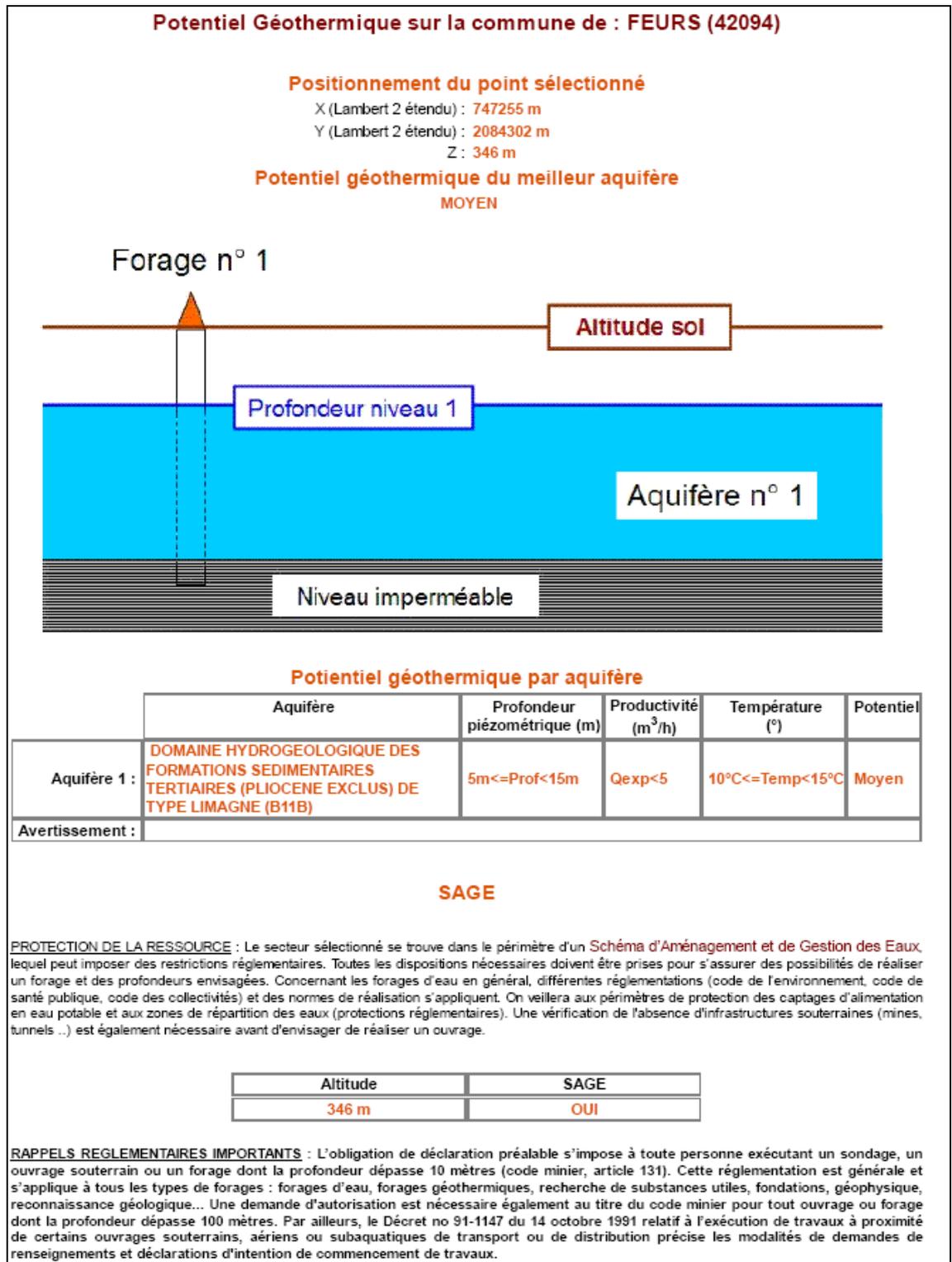


Illustration 40 - Fiche de renseignements fournie pour une maille contenant un aquifère

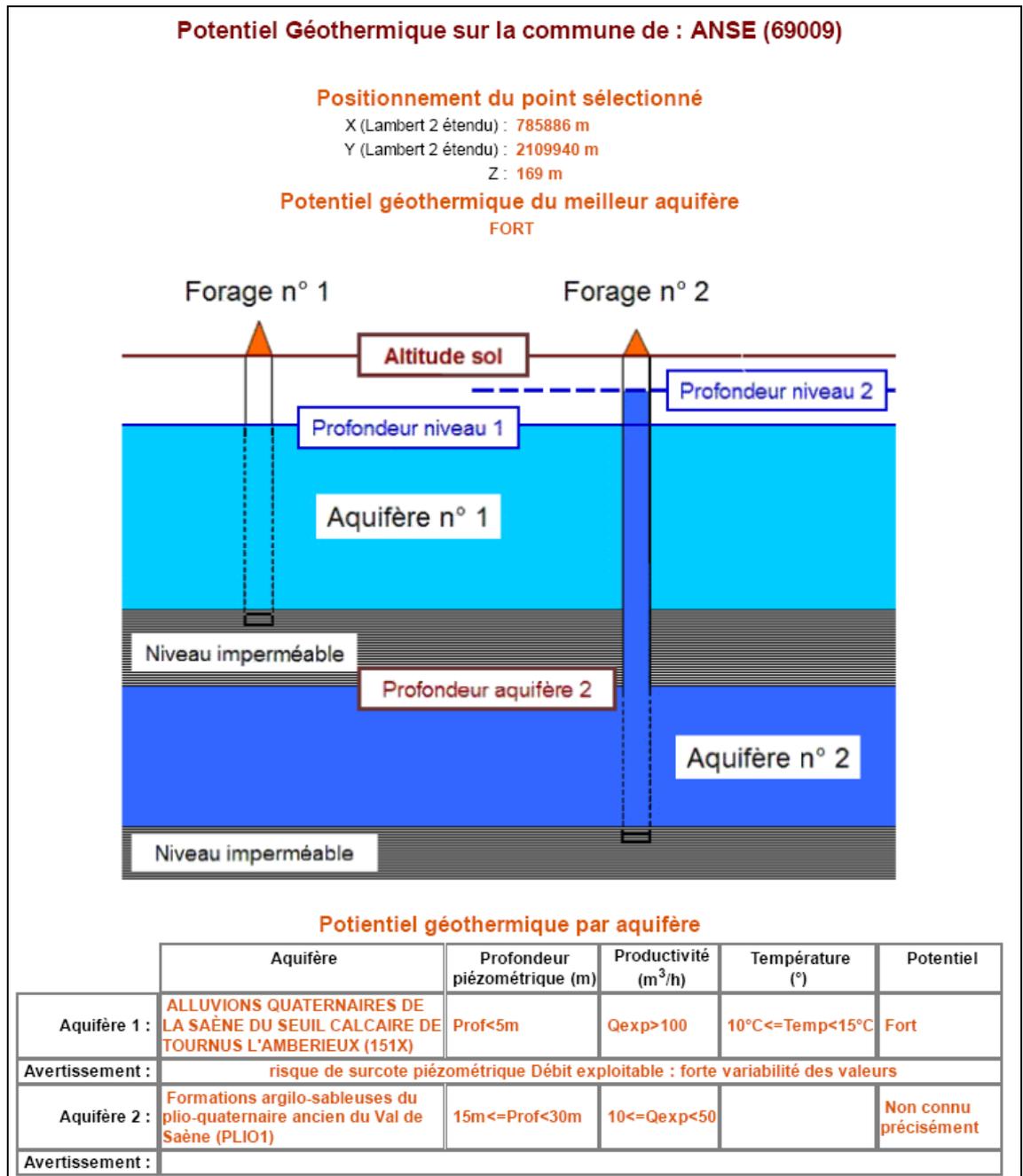


Illustration 41 - Fiche de renseignements fournie pour une maille contenant deux aquifères

c) Avertissement « titres miniers »

L'avertissement est le suivant :

RISQUES LIES AUX STRUCTURES MINIERES : 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.

Les données utilisées ont été fournies par GEODERIS (www.geoderis.fr).

d) Avertissement « Schéma d'aménagement et de gestion des eaux »

L'avertissement indiqué est le suivant :

PROTECTION DE LA RESSOURCE : Le secteur sélectionné se trouve dans le périmètre d'un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux, lequel peut imposer des restrictions réglementaires. Toutes les dispositions nécessaires doivent être prises pour s'assurer des possibilités de réaliser un forage et des profondeurs envisagées. Concernant les forages d'eau en général, différentes réglementations (code de l'environnement, code de santé publique, code des collectivités) et des normes de réalisation s'appliquent. On veillera aux périmètres de protection des captages d'alimentation en eau potable et aux zones de répartition des eaux (protections réglementaires). Une vérification de l'absence d'infrastructures souterraines (mines, tunnels ...) est également nécessaire avant d'envisager de réaliser un ouvrage.

Les données sont issues du site <http://gesteau.eaufrance.fr/> .

e) Avertissement « Structures CERN »

Compte tenu de la sensibilité particulière des infrastructures souterraines du CERN, un avertissement est également mis en place. Une seule zone a été mise en place, pour laquelle il y a :

- soit Interdiction : zone interdite par le CERN à tout forage de profondeur supérieur à 10m.
- soit Autorisation après accord : zone interdite à tout forage de profondeur supérieur à 10m sans l'accord préalable, écrit et explicite du CERN

N.B. : On notera que les périmètres de protection des captages d'alimentation en eau potable existants n'ont pas été intégrés. Par ailleurs, l'existence de telles zones devra néanmoins être prise en compte au stade de l'étude de faisabilité du projet.

5.3. LIMITES D'UTILISATION DES DONNEES

Cet atlas ayant été constitué à l'échelle régionale, la précision et la qualité des données sont liées aux informations disponibles dans la Banque de données du Sous-Sol (informations non exhaustives).

Le travail d'étude du potentiel géothermique a été réalisé en partie sur la base des cartes géologiques au 1/50 000^{ème}, dont la précision est de l'ordre de 50m. L'Atlas numérique réalisé a pour sa part été réalisé avec un maillage plus large du fait de la nécessité de spatialiser les données, la précision étant alors de 500m.

Toutefois, plusieurs facteurs liés au traitement et à la nature des données engendrent des approximations, en particulier :

- la disponibilité des données : variable d'un aquifère à l'autre et au sein d'un même aquifère ;
- la spatialisation des différents critères : différentes méthodes de spatialisation selon la disponibilité et la variabilité des données ;
- le passage d'une donnée par secteur à une donnée par maille (pour constituer la grille) ;
- la non-prise en compte de la cyclicité saisonnière dans l'analyse des données (la date de mesure / prélèvement est très souvent inconnue) ;
- les valeurs de débits exploitables dont le calcul repose sur des hypothèses simplificatrices ;
- l'intégration des données du potentiel des aquifères et du potentiel des formations traversées au sein d'une grille unique.

Du fait de ces différentes approximations réalisées, l'échelle de restitution des informations aux utilisateurs ne doit pas excéder le 1/100 000^{ème} et doit éventuellement se limiter à l'échelle de la commune.

L'atlas constitue ainsi une première approche à destination des maîtres d'ouvrages potentiels, bureaux d'études, décideurs des collectivités territoriales, afin qu'ils puissent

déterminer la possibilité d'utiliser la géothermie lors d'un choix énergétique. Les informations transmises ne peuvent ni ne doivent donc en aucun cas remplacer l'étude de faisabilité réalisée par des bureaux d'étude compétents à l'échelle parcellaire.

La profondeur d'accès à la ressource des nappes alluviales de Rhône-Alpes est très souvent inférieure à 5 m (selon les données disponibles analysées). Dans le cas d'une PAC sur nappe, la faible profondeur du niveau de la nappe peut provoquer un risque de remontée d'eau jusqu'en surface (surcote piézométrique), lors de l'injection de l'eau de la nappe dans le forage. Il conviendra aux maîtres d'ouvrage de s'assurer de l'absence de tel risque lors d'un projet de réalisation de PAC sur nappe, par le biais d'une étude de faisabilité adaptée.

6. Conclusions

L'évaluation du potentiel géothermique très basse énergie en Rhône-Alpes a été réalisée sur la base des données existantes, notamment celles issues de la Banque du Sous-Sol. Il repose sur un important travail d'identification, de collecte et de traitement des données disponibles. Ces données ont été rassemblées dans une base de données unique puis intégrées à un SIG pour permettre leur visualisation et leur traitement.

L'atlas permet d'afficher en tout point du territoire de la région Rhône-Alpes le potentiel géothermique des aquifères pour l'implantation de pompes à chaleur sur nappe.

Pour les secteurs caractérisés et lorsque les données disponibles le permettent, l'aquifère concerné, les gammes de débit exploitable, de profondeur d'accès et de température de la ressource sont fournies pour chaque maille d'interrogation (de taille 500 m x 500 m).

Toutes ces informations sont accessibles et consultables sur le site géothermie perspectives <http://www.geothermie-perspectives.fr/>. La recherche peut se faire par le choix de la commune désirée, ou via un accès cartographique.

L'atlas constitue ainsi une aide à la décision pour déterminer la possibilité d'utiliser la géothermie lors d'un choix énergétique. Cependant, l'échelle de réalisation étant régionale, il ne peut et ne doit se substituer à une étude de faisabilité réalisée à l'échelle de la parcelle par des bureaux d'études compétents.

Les résultats obtenus pour le potentiel géothermique du meilleur aquifère - exprimés en pourcentage de couverture de la région Rhône-Alpes - sont fort pour 6,8 % de la surface totale, moyen pour 4,2 %, faible pour 5,0 %, très faible pour 0,002 %, non connu précisément pour 3,8 % (faute de données disponibles en nombre suffisant) et *a priori* inexistant pour 80,1 % du territoire régional.

L'atlas présente également la caractérisation des zones favorables à l'implantation de sondes géothermiques verticales, ainsi que les secteurs concernés par l'existence d'autres formes de géothermie exploitables (cf. rapport BRGM/RP-60684-FR). À titre informatif, des données complémentaires d'ordre hydrogéologique (localisation des périmètres de ZRE et SAGES), ou géologique (présence de structures souterraines) ont été regroupées et introduites dans l'atlas.

Le retour d'expérience des opérations de géothermie permettront progressivement l'amélioration des connaissances du sous-sol et de la précision apportée sur les données.

Annexe 1

Contenu du CD

Le CD livré avec le présent rapport contient :

- la Géodatabase des données (ArcGIS),
- Les cartes départementales du potentiel géothermique sur aquifère,
- Les cartes par entités hydrogéologiques étudiées du potentiel géothermique sur aquifère.

Annexe 2

Bibliographie et Sites internet

Bibliographie

- [1] BEZELGUES-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.
- [2] M.F. PARASCANDOLA (1982) Synthèse hydrogéologique de la région Rhône Alpes, Rapport BRGM/82-SGN-380-RHA, 145p.
- [3] M. TERRIER, COLLAB. G. BETRAND, A. ROULLE (2006) Document d'information sur le risque sismique à destination des media. rapport BRGM/RP-55012-FR, 219p., 128fig.
- [4] 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.
- [5] LAMOTTE C., NICOLAS J., LEGRAND C. ET AL. (2009). Actualisation de la synthèse hydrogéologique du bassin Rhône-Méditerranée – Régions Bourgogne, Franche-Comté et Rhône –Alpes. BRGM/RP-57091-FR, 71p, 5 annexes dont 1 hors texte.
- [6] BRGM et DATAR (1970) - Atlas des eaux souterraines de la France. Edition BRGM.
- [7] MARTIN J.C., BACQUET I., TOURLIER B., GOMEZ E., GATEAU C. (2007) – Atlas sur la géothermie très basse énergie en région Centre. Rapport final. BRGM/RP-55088-FR, 60 p., 25 fig., 9 tabl., 1 ann.
- [8] MARTIN J.C., BACQUET I., TOURLIERE B. (2006) - Atlas sur la géothermie très basse énergie en Région Centre - Géométrie et niveaux piézométrique des principales formations aquifères – Rapport intermédiaire. BRGM/RP-54715-FR, 73p., 36 ill., 4 ann.
- [9] MARTIN J.C., PRINTEMPS J., REMAUD S. (2006) - Atlas sur la géothermie très basse énergie en Région Centre – Etude cartographique et statistique des débits spécifiques des forages d'eau.– Rapport intermédiaire. BRGM/RP-54542-FR, 76p., 35 ill., 2 ann.
- [10] SCHOMBURGK S., GOYENECHÉ O. ET AL. (2004) - Guide d'aide à la décision pour l'installation de pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Ile-de-France - Atlas hydrogéologique - BRGM/RP-53306-FR, 94 p., 10 fig., 28 cartes, 31 pl. h.t.
- [11] VARET J. (1982) – Géothermie basse énergie : usage direct de la chaleur. Masson.
- [12] JORAND C, BOUCHOT V. (2008) Evaluation du potentiel géothermique du réservoir clastique « Buntsandstein » du Bassin Bressan, France. Rapport BRGM/RP-56462-FR, 34p.

Sites internet

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

Association Française Pour les Pompes à Chaleur (AFPAC) : <http://www.afpac.org>

Association Française des Professionnels de la Géothermie (AFPG) :
www.afpg.asso.fr/

BRGM : <http://www.brgm.fr>

CERN Organisation européenne pour la recherche nucléaire www.cern.ch

Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Rhône Alpes www.rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/

Geodoris – Groupement d'Intérêt Public (GIP) constitué entre le BRGM et l'INERIS en matière d'après-mine. www.geoderis.fr/

Géothermie Perspectives (site dédié à la géothermie mis en ligne par l'ADEME et le BRGM) : <http://www.geothermie-perspectives.fr>

Gest'Eau – Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux –
www.gesteau.eaufrance.fr

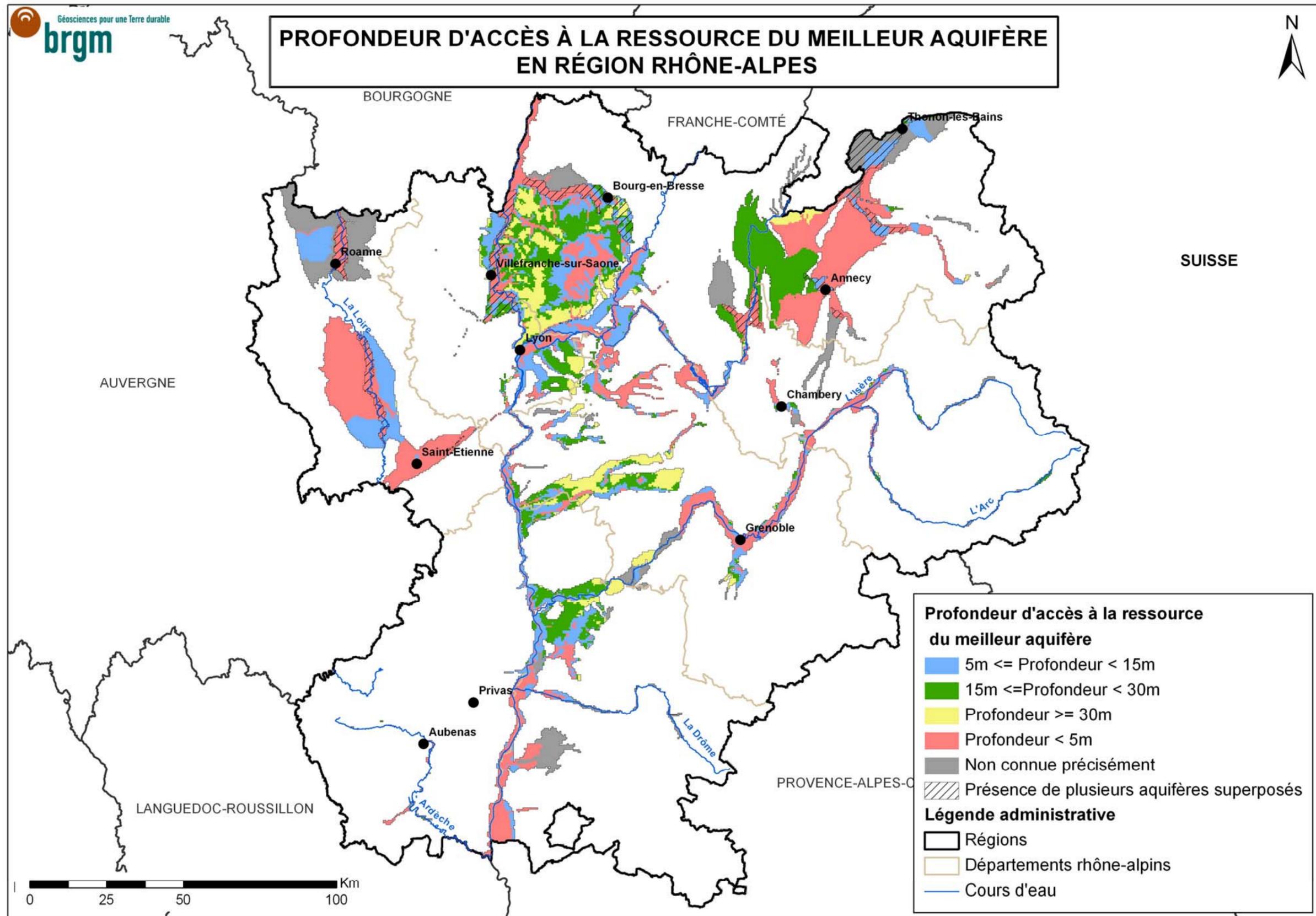
Région Rhône Alpes www.rhonealpes.fr/

Syndicat national des entrepreneurs de puits et forages d'eau (SFE) : <http://www.sfe-foragedeau.com>

Site du ministère du logement : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-credit-d-impot-developpement>

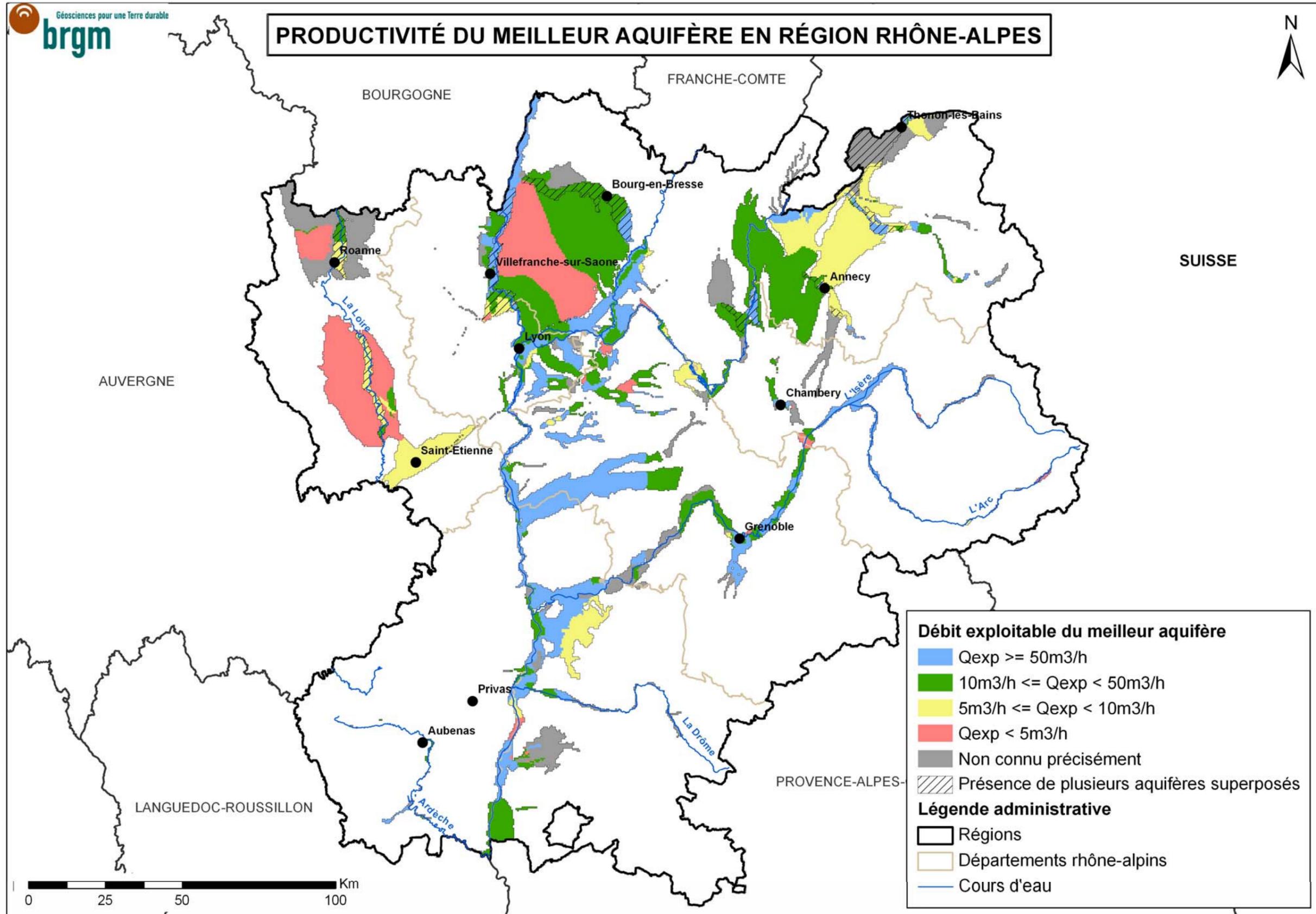
Annexe 3

Carte régionale des profondeurs d'accès à la ressource du meilleur aquifère



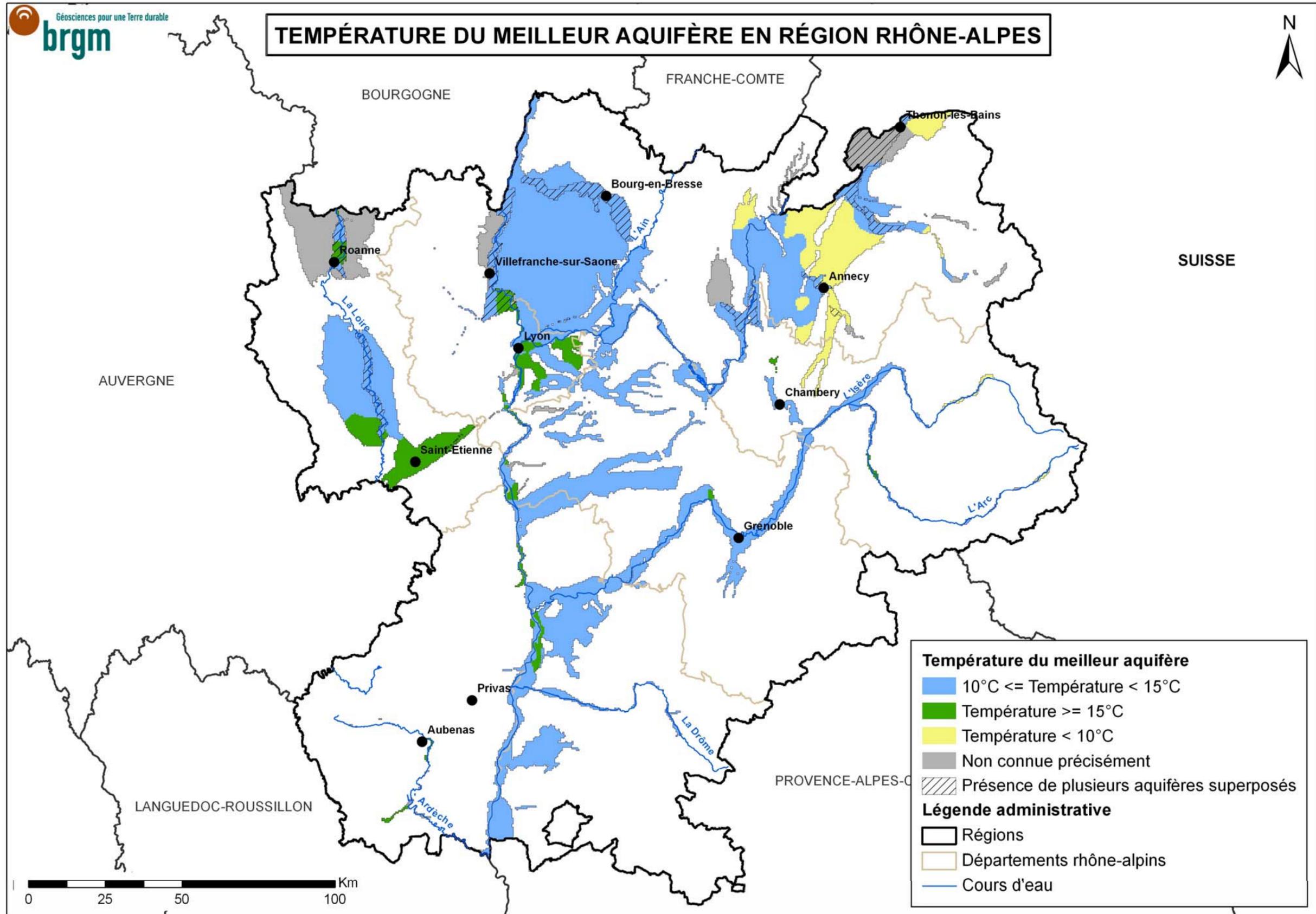
Annexe 4

Carte régionale des productivités de la ressource du meilleur aquifère



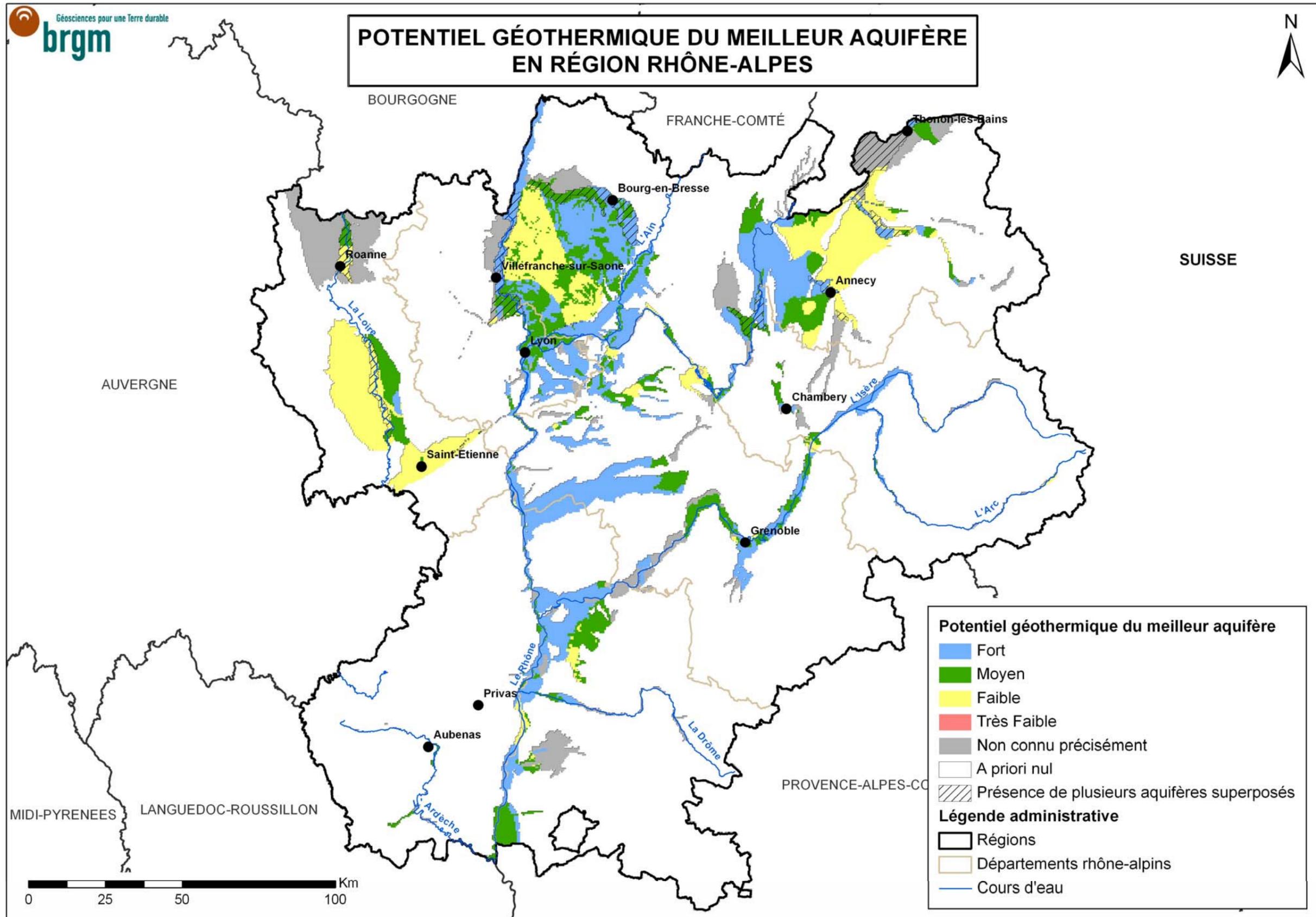
Annexe 5

Carte régionale des températures de la ressource du meilleur aquifère



Annexe 6

Carte du potentiel géothermique régional du meilleur aquifère





Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Rhône-Alpes
151 Boulevard Stalingrad
69626 Villeurbanne Cedex
Tél. : 07 72 82 11 50