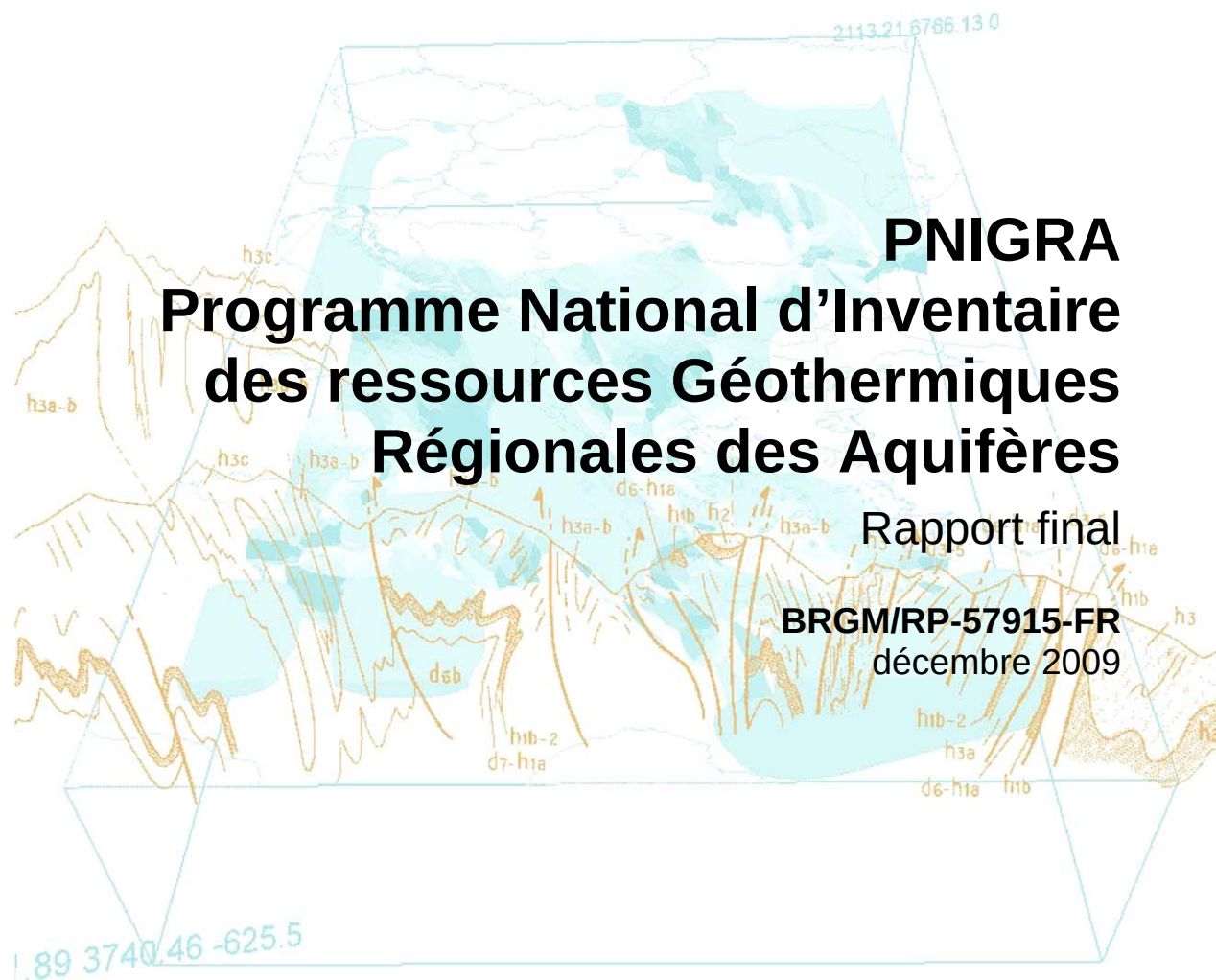


Document public



ADEME



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document public

PNIGRA

Programme National d'Inventaire des ressources Géothermiques Régionales des Aquifères

Rapport final

BRGM/RP-57915-FR
décembre 2009

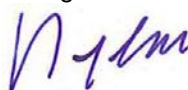
S. Urban, H. Vandenbroucke, D. Jauffret, P. Roblet, A. Colin, M. Chabart,
R. Hoogstoel, D. Nguyen, J.P. Marchal, J. Picot, K. Pira, P.Y. David, Z. Udhin,
L. Arnaud, A. Lereculey, P. Conil, G. Rodriguez, P. Chretien, D. Minard,
M. Thinon-Larminach, T. Cailleaud, A. Brenot, M. Chretien,
S. Bézèlques-Courtade, J.C. Martin

Vérificateur :

Nom : A. DESPLAN

Date : mars 2010

Signature :



Approbateur :

Nom : F. BOISSIER

Date : mars 2010

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 9001:2000.

ADEME



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots clés : PNIGRA, Géothermie, Aquifères.

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

Urban S., Vandenbroucke H., Jauffret D., Roblet P., Colin A., Chabart M., Hoogstoel R., Nguyen D., Marchal J.P., Picot J., Pira K., David P.Y., Udhin Z., Arnaud L., Lereculey A., Conil P., Rodriguez G., Chretien P., Minard D., Thinon-Larminach M., Cailleaud T., Brenot A., Chretien M., Bézèlques-Courtade S., Martin J.C. (2009) – PNIGRA : Programme National des Inventaires Géothermiques Régionaux sur Aquifères. Rapport final. BRGM/RP-57915-FR, 195 p., 85 fig., 32 tab., 2 ann.

Synthèse

Le projet de loi Grenelle II, en cours de discussion au parlement, prévoit la réalisation dans un délai de douze mois à partir de son vote définitif de schémas régionaux climat air énergie (SRCAE) élaborés conjointement par le préfet de région et le président du conseil régional. Ces schémas doivent notamment fixer des orientations qualitatives et quantitatives de la région en matière de valorisation du potentiel énergétique terrestre renouvelable.

Les schémas régionaux devront s'appuyer sur une analyse des atouts de chacune des énergies renouvelables, et, en particulier, pour la géothermie, des différentes formes mobilisables : pompes à chaleur géothermiques utilisant l'énergie des terrains, pompes à chaleur géothermiques sur aquifères superficiels et géothermie profonde.

Comme pour les autres énergies renouvelables, cela suppose, d'avoir au préalable évalué la ressource géothermale disponible. Cette évaluation passe obligatoirement par la réalisation d'inventaire régional spécifique.

Les délais de réalisation de ces inventaires étant de douze mois environ, l'ADEME et le BRGM ont décidé d'anticiper dans la mesure du possible ce travail sans attendre la parution définitive de la loi Grenelle II.

Le BRGM et l'ADEME, en collaboration avec les conseils régionaux concernés, ont déjà réalisé ou engagé ce type d'inventaire dans plusieurs régions (Île-de-France, Lorraine, Centre, Aquitaine, Midi-Pyrénées, Provence Alpes Côte d'Azur, Franche-Comté).

Ainsi, a été mis en place le projet « Programme National d'Inventaire des ressources Géothermiques Régionales des Aquifères (PNIGRA) » afin d'initier dans les onze régions qui n'ont pas encore été couvertes par les inventaires régionaux (Alsace, Bourgogne, Champagne-Ardenne, Languedoc-Roussillon, Nord – Pas-de-Calais, Haute-Normandie, Basse-Normandie, Pays de la Loire, Picardie, Poitou-Charentes, Rhône-Alpes) le recueil des données de base nécessaires à l'élaboration ultérieure de l'atlas du potentiel géothermique des aquifères superficiels de chacune de ces Régions.

Étant donné le délai imparti de trois mois pour la réalisation de ce programme, la variabilité des données disponibles d'une Région à l'autre (quantité et formats de données), l'existence ou non de travaux antérieurs (atlas hydrogéologiques, modèles géologiques et hydrogéologiques) et le niveau de complexité géologique local, l'avancement des travaux est relativement disparate selon les régions :

- pour huit d'entre elles, le recueil a été réalisé sur la totalité de leur territoire (Alsace, Bourgogne, Champagne-Ardenne, Nord - Pas-de-Calais, Basse-Normandie, Haute-Normandie, Pays-de-Loire, Picardie) : il s'agit des régions pour lesquelles des données au format numérique ou des atlas hydrogéologiques existaient. Certains

aquifères ont cependant pu être exclus du recueil de données pour des raisons d'intérêt limité pour une exploitation géothermique (très faible productivité et grande hétérogénéité de la disponibilité de la ressource) ou d'insuffisance de connaissances sur leur découpage (référentiel en cours) ;

- pour trois d'entre elles, le recueil a été réalisé sur une partie seulement de leur territoire : il s'agit soit de régions où la grande complexité géologique implique un nombre très important d'entités hydrogéologiques, donc d'aquifères à traiter (Rhône-Alpes), soit de Régions (Languedoc-Roussillon, Poitou-Charentes) où des atlas départementaux ont déjà été réalisés.

Un bilan des travaux menés dans les régions est présenté dans le tableau 35.

Dans tous les cas, la part la plus importante du travail de recueil de données a été réalisée. Elle a consisté à :

- sélectionner les aquifères régionaux cibles ;
- identifier les sources de données cartographiques (papier et numérique) ;
- extraire les données ponctuelles numériques issues des bases de données de référence (BSS, ADES) ;
- dépouiller les données ponctuelles disponibles au format papier et les bancariser au format numérique (environ 14 000 dossiers BSS papier ont été dépouillés) ;
- rattacher les données ponctuelles aux aquifères cibles.

Les travaux restant à réaliser sont essentiellement des travaux de traitement des données pour intégration au SIG « potentiel géothermique » : analyses statistiques, numérisation, spatialisation (création de grilles de données ou Raster), mise en ligne, afin de constituer, régions par région, les atlas du potentiel géothermique des aquifères superficiels, puis de les mettre en ligne sur le site ADEME/BRGM <http://www.geothermie-perspectives.fr/>.

Comme cela a été annoncé par la loi Grenelle de l'environnement, ces projets seront élaborés dans le cadre d'un partenariat réunissant les acteurs régionaux du Grenelle de l'environnement : représentants régionaux de l'état, le préfet et ses services (DREAL...) avec l'ADEME, le Conseil Régional, afin de pouvoir fournir les éléments nécessaires à la réalisation des Schéma régionaux climat air énergie (SRCAE).

Sommaire

1. Introduction.....	17
2. Principe général de réalisation des atlas	19
3. Région Alsace.....	21
3.1. SECTEUR D'ÉTUDE	22
3.1.1. Domaine 1 : Alsace bossue	23
3.1.2. Domaine 2 : champs de fractures (bordure occidentale de la plaine d'Alsace)	24
3.1.3. Domaine 3 : Sundgau	24
3.1.4. Domaine 4 : Vosges cristallines (Vosges du sud)	25
3.1.5. Domaine 5 : Plaine d'Alsace	25
3.2. AQUIFÈRES CIBLES.....	26
3.2.1. Domaine 1 : Alsace bossue	26
3.2.2. Domaine 2 : Champ de fractures de Saverne	27
3.2.3. Domaine 3 : Sundgau	27
3.2.4. Domaine 4 : Vosges cristallines	30
3.2.5. Domaine 5 : Plaine d'Alsace	30
3.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES	32
3.3.1. Planification du travail et organisation de la collecte d'information	32
3.3.2. Grille SIG.....	33
3.3.3. Critère « Productivité d'aquifère »	35
3.3.4. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »	41
3.3.5. Critère « Température de la ressource »	45
3.3.6. Particularités géochimiques régionales.....	49
3.3.7. Contraintes	51
4. Région Bourgogne	53
4.1. SECTEUR D'ÉTUDE	53
4.2. AQUIFÈRES CIBLES.....	53
4.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES AU 9/12/2009	57
4.3.1. Collecte de l'information	57
4.3.2. Grille SIG.....	62
4.4. RESTE À FAIRE AU 9/12/2009	63

5. Région Champagne-Ardenne.....	65
5.1. SECTEUR D'ÉTUDE	65
5.2. AQUIFÈRES CIBLES	65
5.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES	67
5.3.1. Planification du travail et organisation de la collecte d'information.....	67
5.3.2. Critère « Productivité d'aquifère »	68
5.3.3. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »	70
5.3.4. Critère « Température de la ressource »	71
5.3.5. Problèmes rencontrés.....	74
6. Région Languedoc-Roussillon	75
6.1. SECTEUR D'ÉTUDE	75
6.2. AVANCEMENT DES TÂCHES DU PROJET	75
6.3. AQUIFÈRES CIBLES	76
6.4. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES	81
6.4.1. Aquifères superficiels.....	81
6.4.2. Aquifères à moyenne profondeur	84
7. Région Nord - Pas-de-Calais.....	87
7.1. SECTEUR D'ÉTUDE	87
7.2. AQUIFÈRES CIBLES	88
7.2.1. Utilisation de la BD LISA.....	88
7.2.2. Caractéristiques et localisations	88
7.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES	93
7.3.1. Planification du travail et organisation de la collecte d'information.....	93
7.3.2. Grille SIG	94
7.3.3. Critère « Productivité d'aquifère »	94
7.3.4. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »	97
7.3.5. Critère « Température de la ressource »	99
7.3.6. Particularités géochimiques régionales	102
8. Région Haute-Normandie	107
8.1. SECTEUR D'ÉTUDE	107
8.2. AQUIFÈRES CIBLES	108
8.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES	110
8.3.1. Plannification du travail et organisation de la collecte d'information.	110
8.3.2. Grille SIG	110
8.3.3. Critère « Productivité d'aquifère »	110

8.3.4. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »	112
8.3.5. Critère « Température de la ressource »	113
8.3.6. Particularités géochimiques régionales.....	114
9. Région Basse-Normandie.....	115
9.1. SECTEUR D'ÉTUDE	115
9.2. AQUIFÈRES CIBLES.....	116
9.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES	118
9.3.1. Plannification du travail et organisation de la collecte d'information .	118
9.3.2. Grille SIG.....	118
9.3.3. Critère « Productivité d'aquifère »	119
9.3.4. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »	121
9.3.5. Critère « Température de la ressource »	123
9.3.6. Particularités géochimiques régionales.....	124
10. Pays de Loire	125
10.1. SECTEUR D'ÉTUDE	125
10.2. AQUIFÈRES CIBLES.....	126
10.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES	129
10.3.1. Grille SIG.....	129
10.3.2. Critère « Productivité d'aquifère »	129
10.3.3. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »	132
10.3.4. Critère « Température de la ressource »	135
11. Région Picardie	139
11.1. SECTEUR D'ÉTUDE	139
11.2. AQUIFÈRES CIBLES.....	139
11.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES	143
11.3.1. Planification du travail et organisation de la collecte d'information .	143
11.3.2. Grille SIG.....	143
11.3.3. Critère « Productivité d'aquifère »	144
11.3.4. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »	146
11.3.5. Critère « Température de la ressource »	148
11.3.6. Particularités géochimiques régionales.....	150
12. Région Poitou-Charentes	151
12.1. SECTEUR D'ÉTUDE	151
12.2. AQUIFÈRES CIBLES.....	152

12.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES	155
12.3.1. Grille SIG	155
12.3.2. Critère « Productivité d'aquifère »	155
12.3.3. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »	158
12.3.4. Critère « Température de la ressource »	159
12.3.5. Particularités géochimiques régionales	160
12.4. OBJECTIFS	160
13. Région Rhône-Alpes	161
13.1. SECTEUR D'ÉTUDE	161
13.2. AQUIFÈRES CIBLES	162
13.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES	166
13.3.1. Planification du travail et organisation de la collecte d'information.	166
13.3.2. Spatialisation des données ponctuelles et attribution à une entité hydrogéologique.....	166
13.3.3. Grille SIG	166
13.3.4. Sources de données exploitées.....	168
13.3.5. Critère « Productivité d'aquifère »	169
13.3.6. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »	171
14. Conclusion	175
15. Bibliographie	177

Liste des figures

Figure 1 :	Méthodologie de cartographie du potentiel géothermique régional des aquifères superficiels.....	18
Figure 2 :	Domaines d'études de la région Alsace.	23
Figure 3 :	Affleurement des différentes unités – Domaine 1 : Alsace bossue.....	27
Figure 4 :	Affleurement des différentes unités – Domaine 3 : Sundgau.....	29
Figure 5 :	Affleurement des différentes unités – Domaine 5 : Plaine d'Alsace.....	32
Figure 6 :	Carte des limites administratives (région Alsace et départements) et du cadrage de la grille de découpage.	33
Figure 7 :	Mailles des coins supérieur gauche et inférieur droit de la grille avec leur identifiant.	34
Figure 8 :	Champs du fichier des mailles de la grille.	34
Figure 9 :	Nombre de mailles pour chaque département de la région Alsace.	35

Figure 10 :	Affectation du numéro du département et du numéro INSEE de la commune à chaque maille.	35
Figure 11 :	Débits spécifiques tirés des notices explicatives des cartes géologiques au 1/50 000 - Domaine 1 : Alsace bossue.	39
Figure 12 :	Débits spécifiques - Domaine 3 : Sundgau.	40
Figure 13 :	Carte de répartition des points ayant fourni des données – Domaine 1 : Alsace bossue.	47
Figure 14 :	Aquifère Couches à Cératites et Calcaires à Entroques : répartition de la température de l'eau avec la profondeur.	48
Figure 15 :	Aquifère Grès du Muschelkalk inférieur et du Bundsandstein : répartition de la température de l'eau avec la profondeur.	48
Figure 16 :	Qualité des eaux souterraines.	50
Figure 17 :	Les quatre départements de Bourgogne et le découpage des feuilles au 1/50 000.	53
Figure 18 :	Découpage des unités aquifères de la région Bourgogne suivant la BDRHFV1.	56
Figure 19 :	État des cartes piézométriques numérisées en région Bourgogne.	58
Figure 20 :	Répartition des points BSS comportant une valeur de niveau d'eau en région Bourgogne.	59
Figure 21 :	État d'avancement du dépouillement de la BSS papier en région Bourgogne au 9/12/2009.	60
Figure 22 :	Répartition des points BSS avec débit ou physico-chimie de l'eau dans la partie de la région Bourgogne dépouillée au 9/12/2009.	61
Figure 23 :	Localisation de la région Champagne-Ardenne.	64
Figure 24 :	Carte d'affleurement des aquifères de la région Champagne-Ardenne.	67
Figure 25 :	Carte de répartition de points d'eau ayant fourni des données.	69
Figure 26 :	Carte de répartition des logs validés.	70
Figure 27 :	Localisation des données sur la température de l'eau.	72
Figure 28 :	Répartition de la température de l'eau en fonction de la profondeur de l'ouvrage.	73
Figure 29 :	Répartition de la température de l'eau avec la profondeur (exemple Picardie).	73
Figure 30 :	Les cinq départements de la région Languedoc-Roussillon.	75
Figure 31 :	Avancement prévisionnel des tâches au 31 décembre 2009 du projet PNIGRA pour le Languedoc-Roussillon.	76
Figure 32 :	Liste des aquifères cibles en Languedoc-Roussillon.	81
Figure 33 :	Entités hydrogéologiques de l'Aude.	82
Figure 34 :	Entités hydrogéologiques du Gard.	82
Figure 35 :	Entités hydrogéologiques de la Lozère.	82

Figure 36 :	Entités hydrogéologiques des Pyrénées-Orientales.	83
Figure 37 :	Champs renseignés dans la cadre du PNIGR (exemple du niveau 1).....	83
Figure 38 :	Données consolidées par entité hydrogéologique.	84
Figure 39 :	Ressources dans les aquifères à moyenne profondeur dans l'Hérault.....	85
Figure 40 :	Extension du projet PNIGRA dans la région Nord-Pas-de-Calais.	87
Figure 41 :	Carte des premiers aquifères rencontrés du projet PNIGRA en région Nord - Pas-de-Calais.	90
Figure 42 :	Extension des aquifères du Nord - Pas-de-Calais retenus pour le projet PNIGRA.	92
Figure 43 :	Répartition par coupure des points d'eau ayant fourni des données sur les paramètres hydrodynamiques (découpage en feuilles 1/50 000 et octants).	96
Figure 44 :	Carte de répartition des types de gisements.	98
Figure 45 :	Répartition par coupure des points d'eau ayant fourni des données sur les valeurs de température.....	100
Figure 46 :	Aquifère de la craie (F6U01), température de l'eau en fonction de la profondeur.	101
Figure 47 :	Température moyenne de l'eau de trois aquifères retenus pour le projet PNIGRA.	102
Figure 48 :	Répartition par coupure des points d'eau ayant fourni des valeurs sur les cinq éléments retenus.	103
Figure 49 :	Carte géologique simplifiée de la Haute-Normandie (source : carte 1/1 000 000 de la France).	107
Figure 50 :	Extension et superposition des aquifères de la région Haute-Normandie, hors recouvrement par limons des plateaux et argiles à silex (source BdLisa, 2009).....	109
Figure 51 :	Carte de répartition de points d'eau ayant fourni des données.....	111
Figure 52 :	Aquifères traversés par les logs géologiques validés en Haute-Normandie.....	113
Figure 53 :	Aquifères de Haute-Normandie - Répartition de la température de l'eau avec la profondeur.	114
Figure 54 :	Carte géologique simplifiée de la Basse-Normandie (source : carte au 1/1 000 000 de la France).	115
Figure 55 :	Extension et superposition des aquifères de la région Basse-Normandie, hors recouvrement par limons des plateaux et argiles à silex (source : BdLisa 2009).....	118
Figure 56 :	Carte de répartition de points d'eau ayant fourni des données (source Banque du Sous-Sol).	120
Figure 57 :	Terrains traversés par les logs géologiques validés en domaine sédimentaire (source : BdLISA 2009).	122
Figure 58 :	Cartes piézométriques numériques existantes en Basse-Normandie.	123
Figure 59 :	Aquifères de Basse-Normandie : répartition de la température de l'eau avec la profondeur.....	124

Figure 60 :	Localisation des zones potentielles pour la géothermie « très basse énergie » sur aquifère - Région Pays de la Loire.	126
Figure 61 :	Zones d'affleurement des aquifères sélectionnés - Région Pays de la Loire.....	127
Figure 62 :	Répartition des données disponibles pour la description du critère « productivité » – Région Pays de la Loire	130
Figure 63 :	Répartition des données disponibles pour la description du critère « profondeur d'accès » – Région Pays de la Loire.	134
Figure 64 :	Répartition des données disponibles pour la description du critère « Température » – Région Pays de la Loire.	136
Figure 65 :	Évolution des températures en fonction de la profondeur de l'eau de l'ouvrage – Région Pays de la Loire.	136
Figure 66 :	Carte administrative simplifiée de la Picardie.	139
Figure 67 :	Extension des aquifères de la Picardie.....	143
Figure 68 :	Répartition des points ayant fourni des données.....	145
Figure 69 :	Répartition et classes des débits disponibles.	146
Figure 70 :	Carte de la profondeur d'accès à la ressource en eau.	148
Figure 71 :	Répartition de la température de l'eau selon la profondeur.....	149
Figure 72 :	Répartition des points ayant une mesure de la température de l'eau.	149
Figure 73 :	Répartition des données « qualité de l'eau » en Picardie.....	150
Figure 74 :	Secteur d'étude Poitou-Charentes, Vienne.....	151
Figure 75 :	Zones d'affleurement des aquifères de la Région Poitou-Charentes, Vienne (source BD Lisa, état d'avancement de décembre 2009).....	154
Figure 76 :	Carte de répartition des points d'eau en Vienne sur l'extrait de la carte géologique au 1/250 000 de G. Karnay (2004).....	156
Figure 77 :	État d'avancement de l'analyse des données des points d'eau ayant fourni des données relatives au critère « productivité » (sur le fond géologique 1/250 000 G. Karnay, 2004).....	157
Figure 78 :	État d'avancement de l'analyse des données des points d'eau ayant fourni des données relatives au critère « profondeur eau/sol » (sur le fond géologique 1/250 000 G. Karnay, 2004).....	159
Figure 79 :	Entités hydrogéologiques de la région Rhône-Alpes (Lamotte et al., 2009).	161
Figure 80 :	Extension des entités hydrogéologiques retenues pour la région Rhône-Alpes.	163
Figure 81 :	Principe de codage de l'information et grilles SIG à générer pour la région Rhône-Alpes.	167
Figure 82 :	Établissement d'une grille intermédiaire documentant les données hydrodynamiques pour une entité hydrogéologique donnée de la région Rhône-Alpes.	169

Figure 83 :	Points documentant au moins un paramètre hydrodynamique (pouvant être rattachés à une entité hydrogéologique unique) et entités hydrogéologiques présentant des données bibliographiques (Lamotte <i>et al.</i> , 2009) en Rhône-Alpes.....	171
Figure 84 :	Établissement d'une grille intermédiaire documentant la piézométrie pour une entité hydrogéologique donnée de la région Rhône-Alpes.	172
Figure 85 :	Entités présentant une piézométrie numérisée et points documentant une profondeur piézométrique (pouvant être rattachés à une entité hydrogéologique unique) en Rhône-Alpes.	173

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Série rencontrée en Alsace bossue.	26
Tableau 2 :	Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Région Alsace.	31
Tableau 3 :	Débits spécifiques de forages d'eau aux Grès du Trias tirés des notices explicatives des cartes géologiques au 1/50 000.....	37
Tableau 4 :	Répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité » - Grès du Trias inférieur.	38
Tableau 5 :	Répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité » - Couches à Cératites et les calcaires à entroques	38
Tableau 6 :	Puissance des différentes formations de la série – Domaine 1 : Alsace bossue.	43
Tableau 7 :	Indices des points BSS ayant permis de renseigner exactement cinq mailles de la grille – Domaine 1 : Alsace bossue.	44
Tableau 8 :	Nature des points d'eau extraits de la BSS.....	46
Tableau 9 :	Nombres de dossiers BSS par département en région Bourgogne.	59
Tableau 10 :	Superficie des départements de la Champagne-Ardenne.	65
Tableau 11 :	Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Région Champagne-Ardenne.	66
Tableau 12 :	Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Région Nord-Pas-de-Calais.	89
Tableau 13 :	Avancement du travail au SGR/NPC pour octobre et novembre 2009.	93
Tableau 14 :	Pourcentage de points et de données par aquifère.	95
Tableau 15 :	Répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité » concernant la nappe de la craie.....	96
Tableau 16 :	Types de gisement répertoriés.	98
Tableau 17 :	Pourcentage de points par aquifère avec profondeur de l'aquifère connue.	99
Tableau 18 :	Répartition des données et des points avec données suivant leur aquifère.....	105

Tableau 19 :	Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Région Haute-Normandie.....	108
Tableau 20 :	Présentation de la répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité ».....	112
Tableau 21 :	Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Région Basse-Normandie.	117
Tableau 22 :	Présentation de la répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité ».....	121
Tableau 23 :	Inventaire des zones potentielles pour la géothermie « très basse énergie » et leurs surfaces respectives en km ² et en % de la surface totale - Région Pays de la Loire.	125
Tableau 24 :	Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Région Pays de la Loire	128
Tableau 25 :	Synthèse des types de données ponctuelles relatives au critère « productivité » - Région Pays de la Loire	131
Tableau 26 :	Synthèse des types de données ponctuelles relatives au critère « profondeur d'accès » - Région Pays de la Loire.....	134
Tableau 27 :	Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Région Picardie.	142
Tableau 28 :	Répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité ».....	145
Tableau 29 :	Synthèse de la profondeur d'accès à la ressource selon l'aquifère.....	147
Tableau 30 :	Liste des entités aquifères ou semi-perméable dans le département de la Vienne d'après la BD Lisa (Niveau 2).	152
Tableau 31 :	Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Département Vienne	153
Tableau 32 :	Répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité ».....	158
Tableau 33 :	Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Région Rhône-Alpes.	165
Tableau 34 :	Répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité ».....	170
Tableau 35 :	Bilan des travaux régionaux d'inventaire et de recueil de données.	176

Liste des annexes

Annexe 1 :	Répartition des données relatives au critère « productivité » par aquifère – Région Pays de Loire.....	181
Annexe 2 :	Répartition des données relatives au critère « profondeur d'accès » par aquifère – Région Pays de Loire.....	189

1. Introduction

La mise en place en régions du dispositif des SRCAE (Schémas Régionaux Climat Air Énergie) est prévue dans un délai de 12 mois à dater de la promulgation de la loi Grenelle 2. Elle implique, à l'échelle des régions, la définition de schémas de développement de la géothermie, et donc la réalisation d'inventaires du potentiel géothermique des aquifères dans chaque région de France (Atlas du potentiel géothermique).

Ce type d'inventaire a été initié à partir de 2004 et a abouti à la réalisation de cinq atlas (Île-de-France, Lorraine, Centre, Midi-Pyrénées et Hérault) dont trois sont consultables sur le site <http://www.geothermie-perspectives.fr/>.

Étant donnés les délais attendus pour la définition des SRCAE (12 mois), et les délais nécessaires à la réalisation des atlas du potentiel géothermique régionaux (12 à 16 mois) ; il a été proposé d'anticiper la promulgation de la loi Grenelle 2 en lançant la première phase de réalisation des atlas dès le 3^e trimestre 2009. Ces travaux sont menés dans le cadre de la convention de partenariat n° 08.05.C0038 entre l'ADEME et le BRGM, et des actions de service public du BRGM (n° fiche 08GTHD01).

Cette première phase préparatoire consiste à procéder au recueil des données de base nécessaires à la réalisation des atlas. Ces données sont issues de différentes bases de données (BSS, ADES, BDRHF-V1, BDRHF-V2...), de rapports et d'archives disponibles dans les Services Géologiques Régionaux du BRGM. Outre le recueil de données proprement dit, cette première phase permettra de définir les choix méthodologiques à retenir localement pour la cartographie ultérieure du potentiel géothermique des aquifères régionaux.

Les régions concernées par ce projet sont celles dont les territoires sont à dominante sédimentaire et où les inventaires n'ont pas encore été réalisés. Elles sont au nombre de 11 : Alsace, Bourgogne, Champagne, Languedoc-Roussillon, Nord - Pas-de-Calais, Haute-Normandie, Basse-Normandie, Pays de Loire, Picardie, Poitou-Charentes, Rhône-Alpes.

Après avoir rappelé le principe général de cartographie du potentiel géothermique des aquifères, le présent rapport s'attache à présenter une synthèse du recueil des données réalisé en régions. Il comporte pour chacune d'elles :

- la liste des aquifères potentiellement favorables à la géothermie ainsi qu'un descriptif succinct de chacun d'eux ;
- le descriptif des données recueillies ;
- un bilan des actions restant à mener.

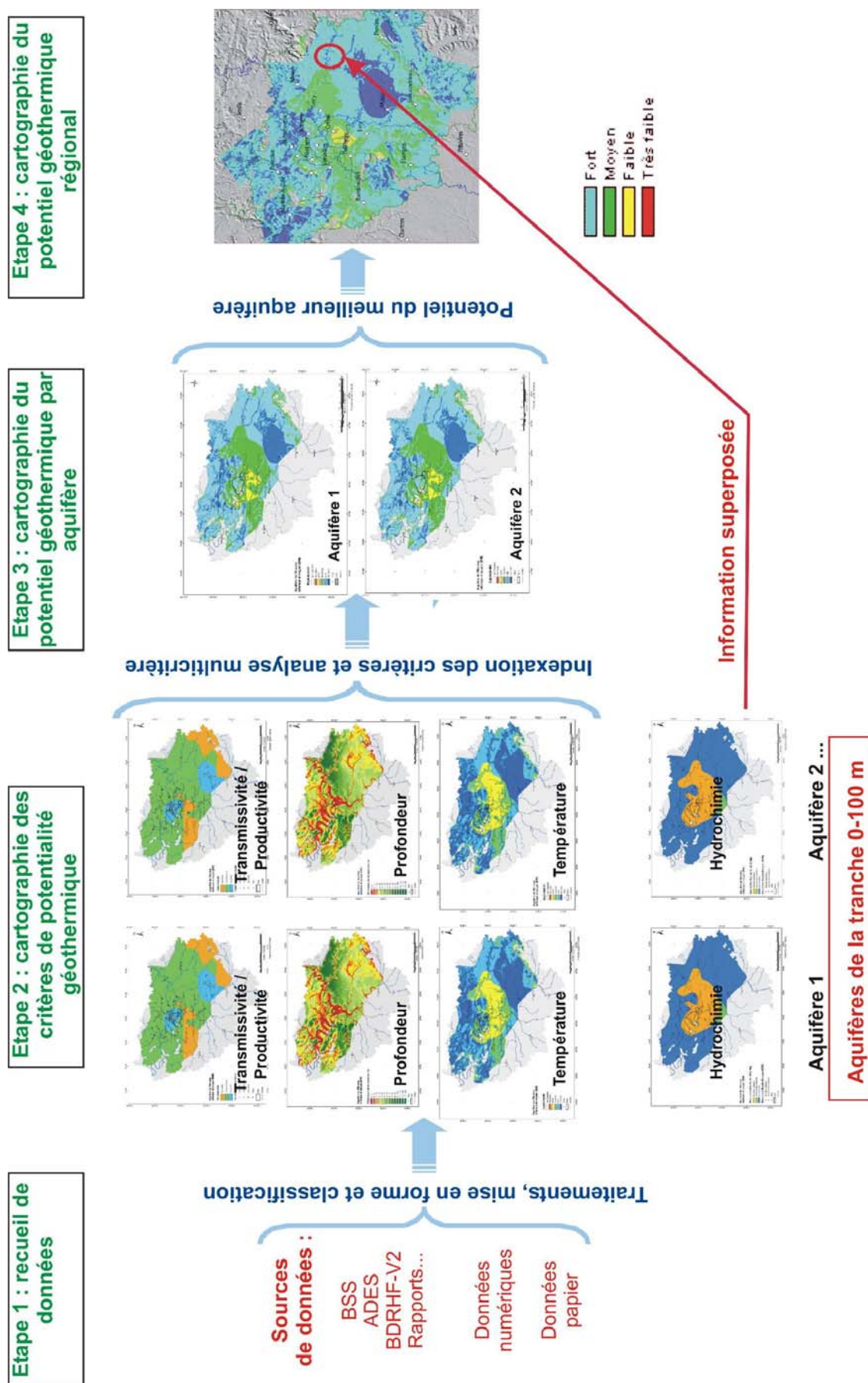


Figure 1 : Méthodologie de cartographie du potentiel géothermique régional des aquifères superficiels.

2. Principe général de réalisation des atlas

Le principe général de conception des atlas repose sur une méthode de cartographie à index avec pondération de critères. Cette méthode est basée sur la combinaison de cartes de divers critères intervenants dans l'évaluation du potentiel géothermique des aquifères. La combinaison des cartes se fait au moyen de logiciels de traitement multicritères (SIG) ; elle permet la prise en compte relative de chaque critère influençant le potentiel général d'un aquifère.

Les critères classiquement retenus pour la réalisation des atlas du potentiel géothermique sont au nombre de trois :

- critère « **Productivité d'aquifère** » : elle correspond à l'évaluation de la ressource en eau extractible du réservoir aquifère. Elle peut-être évaluée à partir de différents paramètres (transmissivité, perméabilité, débits spécifiques, débits d'exploitation...) et est généralement représentée par une carte de répartition de débits potentiellement exploitables. Ce critère rend donc compte de la disponibilité de la ressource ;
- critère « **Profondeur d'accès à la ressource** » : la profondeur d'accès à la ressource dans le cas d'un aquifère libre correspond à la piézométrie de la nappe, tandis qu'elle correspond à la profondeur du toit de l'aquifère considéré dans le cas d'un aquifère captif. Ce critère est dit « économique », car il permet d'appréhender le coût d'une opération géothermique qui est fonction, entre autres, de la profondeur à forer pour atteindre la ressource ;
- critère « **Température de la ressource** » : le rendement d'une opération géothermique avec pompe à chaleur (PAC) dépend de la température de la ressource exploitée ; plus elle est élevée, meilleur est le rendement de l'installation. La température des aquifères est relativement homogène dans leur partie très superficielle, mais augmente avec la profondeur quand l'influence du gradient géothermique devient prépondérante.

Selon les contextes régionaux, des particularités géochimiques ayant un impact sur la faisabilité de projets géothermiques peuvent exister. Dans ce cas, ces particularités sont cartographiées et présentées en superposition à la carte du potentiel géothermique.

L'analyse simultanée de ces différents critères permet de rendre compte de l'intérêt d'une opération de géothermie.

La méthode d'évaluation du potentiel géothermique régional est schématisée en Figure 1.

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 généralement utilisées sont :

- BSS : la Banque de données du Sous-Sol apporte des données sur la géométrie et la nature des formations géologiques, sur la piézométrie et la productivité des aquifères et sur la physico-chimie des eaux souterraines ;
- ADES : la banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines qui apporte des données physico-chimiques et piézométriques complémentaires ;
- BD-Lisa (anciennement BDRHFV2) : la Base de Données du Référentiel Hydrogéologique Français fournit les contours des entités hydrogéologiques françaises, donc l'extension des aquifères présentant des potentialités d'exploitation géothermique ;
- carte géologique au 1/50 000 ;
- atlas hydrogéologiques régionaux ;
- données issues de modèles hydrodynamiques ;
- rapports divers archivés.

3. Région Alsace

L'Alsace est située au nord est de la France en zone frontalière délimitée :

- au nord par la rivière Lauter, au-delà de celle-ci, s'étend la Rhénanie-Palatinat (état fédéral allemand) ;
- à l'est par le Rhin, au delà duquel s'étend le Bade-Wurtemberg (état fédéral allemand) ;
- au sud par la Suisse allemande (cantons de Bâle Campagne, Bâle Ville, Solothurn et du Jura).

En France, l'Alsace est mitoyenne, en majorité, à l'ouest avec la Lorraine par le massif des Vosges et au sud-ouest avec la Franche-Comté.

Cette région, toute en longueur, s'étend du nord au sud sur 190 km pour seulement 50 km de large. Avec une superficie de 8 305 km², l'Alsace est la plus petite région métropolitaine de France (~ 1,5 % de la superficie de la France).

L'Alsace est composée de deux départements : le Bas-Rhin (67) et le Haut-Rhin (68) situés géographiquement au nord et au sud de la région Alsace respectivement.

Du point de vue géologique, l'Alsace comprend la partie ouest du Fossé rhénan supérieur. Ce fossé tectonique s'est formé à l'ère tertiaire, par soulèvement des flancs que constituent les massifs des Vosges et de la Forêt Noire, et effondrement du fossé central, qui correspond aujourd'hui à la plaine du Rhin supérieur.

Le Fossé rhénan, périodiquement envahi par la mer à l'ère tertiaire, a été progressivement comblé à l'Oligocène par une épaisse série de marnes et d'argiles imperméables qui affleurent en particulier dans le Sundgau et le nord de l'Alsace. Sur les bordures du fossé et dans le Sundgau, les intercalations sableuses ou conglomératiques peuvent prendre plus d'importance et être plus ou moins aquifères. Des alluvions d'âge plio-quaternaire ont achevé le comblement du fossé depuis la fin du Tertiaire jusqu'à nos jours. La partie basale des alluvions comprend souvent des sables siliceux et des argiles d'âge pliocène, que l'on peut observer surtout dans la région de Haguenau. Ces alluvions moyennement perméables ont été déposées par les rivières en provenance des Vosges et de la Forêt Noire, car le Rhin s'écoulait alors vers la Méditerranée, le long des vallées actuelles de la Saône et du Rhône.

L'épaisseur des alluvions accumulées par le Rhin et ses affluents, mélange de sables, de graviers, d'argiles et de galets en provenance des Alpes, des Vosges ou de la Forêt Noire, est de 70 m en moyenne, et peut atteindre par endroits une valeur de 200 à 250 m, dans la fosse de Geisswasser, en rive gauche du Rhin à la hauteur du Kaiserstuhl. Les alluvions d'origine alpine déposées par le Rhin sont particulièrement perméables et constituent un vaste réservoir aquifère, siège de la nappe de la vallée du Rhin supérieur, appelée « nappe d'Alsace ». Cette nappe, répartie entre la France,

l'Allemagne et la Suisse, représente l'une des ressources en eau les plus importantes d'Europe, avec un volume estimé de 60 milliards de m³ d'eau, de Bâle à Lauterbourg.

Les Vosges du Sud ou Vosges cristallines sont constituées par le vieux socle hercynien, composé de granites, de gneiss, de schistes, de grauwackes. Ces terrains peu perméables renferment localement des nappes peu puissantes qui ont pu se constituer à la faveur de zones de broyage ou d'arénisation. La couverture gréseuse du socle hercynien a été érodée après le soulèvement du massif vosgien au Tertiaire, laissant en place des lambeaux de grès sur les hauteurs qui constituent des réservoirs poreux d'eau souterraine se manifestant par des sources. Dans les Vosges du Nord ou Vosges gréseuses, la couverture gréseuse et calcaire du socle est largement préservée et donne lieu à des réservoirs aquifères de grande extension.

On y distingue les formations gréseuses du Trias inférieur (Bundsanstein), aquifères à porosité d'interstices, et les formations calcaro-dolomitiques du Trias moyen (Muschelkalk), aquifères à porosité de fractures.

Le massif des Vosges borde le Fossé rhénan à l'ouest et il en est séparé par une zone de failles. Les champs de fractures sont développés dans les collines sous-vosgiennes entre la faille vosgienne qui suit le pied du massif vosgien et la faille rhénane qui borde la plaine d'Alsace. On trouve, alignés du nord au sud le long du massif vosgien, les champs de fracture de Vieux Thann, de Guebwiller, de Ribeauvillé, de Barr et de Saverne.

Le plus développé est le champ de fracture de Saverne qui atteint 20 km de largeur. On y rencontre un damier de compartiments où affleurent des terrains d'âge secondaire et tertiaire qui peuvent être aquifères et recéler des ressources en eau non négligeables.

3.1. SECTEUR D'ÉTUDE

La géothermie très basse énergie concerne l'énergie thermique présente dans les premières centaines de mètres de profondeur. Celle-ci peut être contenue dans les eaux souterraines ou dans le sous-sol.

Le présent document traite uniquement du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères alsaciens. La zone d'étude concerne l'ensemble du territoire de la région Alsace. Ce dernier a été subdivisé en cinq grands domaines afin de faciliter le commentaire des résultats.

Le projet franco-allemand (INTERREG/GeORG) est actuellement en train de réaliser un modèle géologique 3D de la structure géologique de la plaine d'Alsace et d'une partie des collines sous-vosgiennes et du Sundgau. Dans la mesure où ce modèle contiendra les données et les connaissances communes sur la structuration et les propriétés des réservoirs profonds, ces derniers ne sont pas développés dans cette étude.

La figure 2 délimite les domaines d'études pour lesquels le dépouillement des données a été réalisé ou est en cours de traitement.

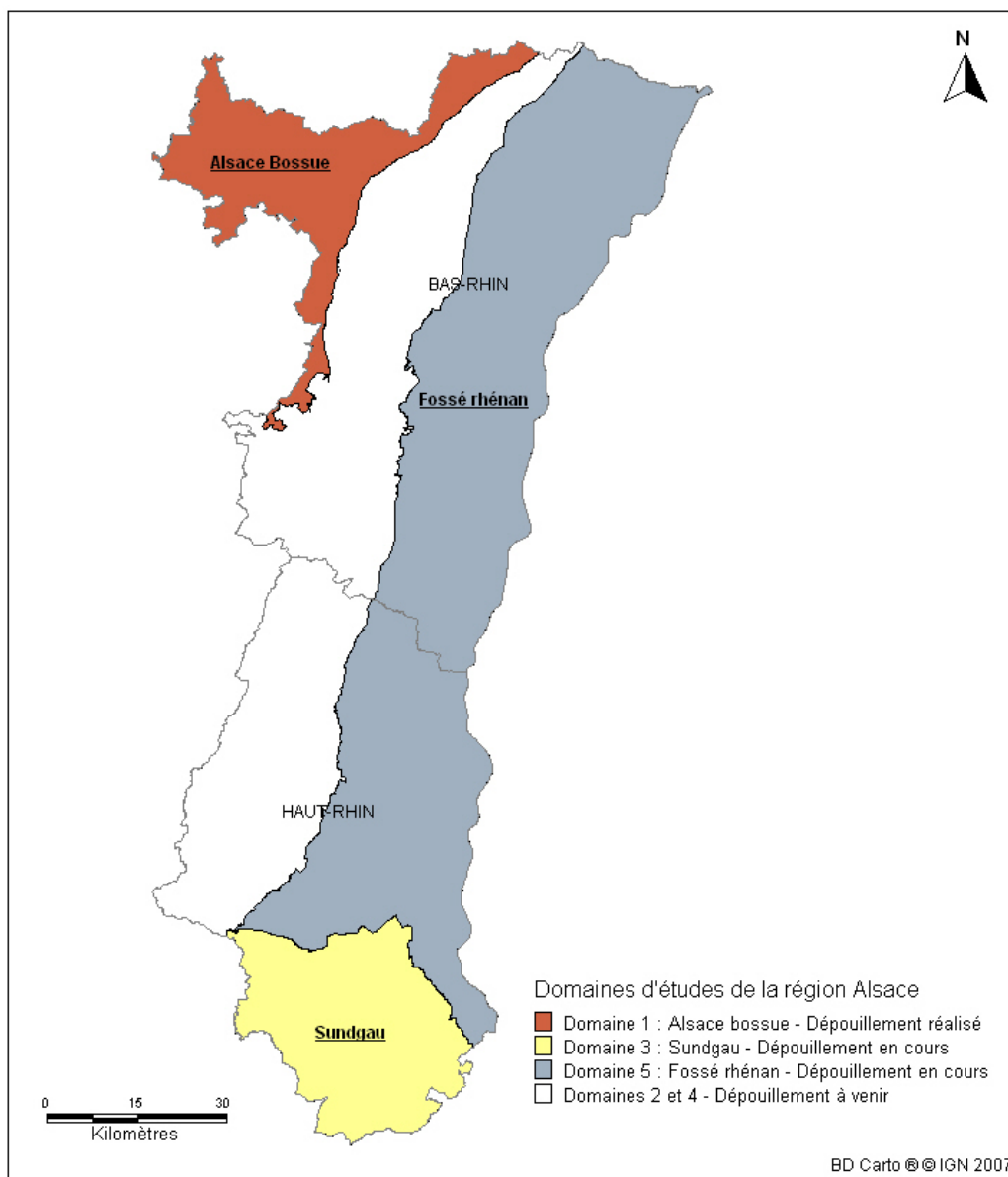


Figure 2 : Domaines d'études de la région Alsace.

3.1.1. Domaine 1 : Alsace bossue

a) Situation et géologie

L'Alsace Bossue est une zone située au nord-ouest de l'Alsace qui s'encastre géographiquement et géologiquement dans la Lorraine. Cette zone se compose de

formations sédimentaires appartenant à la structure du Bassin parisien. La série rencontrée est d'âge triasique et s'étend du Keuper dans sa partie supérieure au Buntsandstein à sa base. L'ensemble plonge vers l'ouest et repose soit sur des séries permienues soit sur le socle. La limite est dessinée par les failles bordant le champ de fractures de Saverne.

b) Superficie

- Superficie du domaine 1 : 883,6 km².
- Superficie des aquifères potentiellement exploitables :
 - Calcaires du Muschelkalk de Haute Sarre : 246,7 km² (28 % de la superficie du domaine 1),
 - Grès du Trias inférieur de la Hardt : 883,6 km² (100 % de la superficie du domaine 1).

3.1.2. Domaine 2 : champs de fractures (bordure occidentale de la plaine d'Alsace)

Le découpage des entités hydrogéologiques des champs de fractures est actuellement en cours de réalisation. De ce fait, le dépouillement des données de ce domaine ne peut pour le moment être réalisé.

3.1.3. Domaine 3 : Sundgau

a) Situation

Le Sundgau se situe dans la partie sud du Haut-Rhin.

b) Superficie

- Superficie du domaine 3 : 969,8 km².
- Superficie des aquifères potentiellement exploitables :
 - Cailloutis pliocènes du Sundgau du Belfortain à l'ouest de la Largue : 69,77 km² (< 1 % de la superficie du domaine 3),
 - Cailloutis pliocènes du Sundgau à l'est de la Largue : 114,6 km² (1,2 % de la superficie du domaine 3),
 - Cailloutis pliocènes du Sundgau du secteur du Thalbach : 85,85 km² (< 1 % de la superficie du domaine 3),
 - Marnes sableuses de l'Oligocène du Sundgau – Molasse alsacienne - Zones de Leymen et du fossé de Dannemarie : 33,59 km² (< 1 % de la superficie du domaine 3),

- Marnes sableuses de l'Oligocène du Sundgau – Molasse alsacienne - Domaine des terrasses anciennes du Rhin : 23,39 km² (< 1 % de la superficie du domaine 3),
- Calcaires Jurassiques du Jura : dépouillement en cours.

3.1.4. Domaine 4 : Vosges cristallines (Vosges du sud)

Le découpage des entités hydrogéologiques des Vosges cristallines est actuellement en cours de réalisation. De ce fait, le dépouillement des données de ce domaine ne peut pour le moment être réalisé.

3.1.5. Domaine 5 : Plaine d'Alsace

a) Situation

La plaine d'Alsace se situe dans le Fossé rhénan. Elle est bordée à l'est par le Rhin et à l'ouest par les collines sous-vosgiennes et les champs de fractures.

b) Géologie

L'aquifère principal de la plaine d'Alsace est constitué d'alluvions rhénanes d'origine alpine. Sur les bordures, le long des collines sous-vosgiennes et dans les cônes de déjection des rivières des vallées vosgiennes, les alluvions d'origine vosgienne sont plus grossières, plus argileuses et entrecoupées de niveau de loess et d'argiles. Ces alluvions recouvrent la quasi-totalité de la surface du domaine. Les formations pliocènes (nord de l'Alsace uniquement) et oligocènes constituent le substratum de l'ensemble alluvionnaire et le bordent sur sa limite ouest.

c) Superficie

- Superficie du domaine 5 : 3 706 km².
- Superficie des aquifères potentiellement exploitables :
 - Alluvions récentes vosgiennes de la Lauter : 25,82 km² (< 1 % de la superficie du domaine 5),
 - Alluvions récentes vosgiennes de la Moder et de la Sauer : 242,2 km² (< 1 % de la superficie du domaine 5),
 - Alluvions récentes vosgiennes récentes de la Zorn : 68,92 km² (< 1 % de la superficie du domaine 5),
 - Alluvions vosgiennes de la Bruche : 125,49 km² (< 1 % de la superficie du domaine 5),
 - Alluvions rhénanes : 2 164,8 km² (58,4 % de la superficie du domaine 5),
 - Alluvions anciennes vosgiennes de bordure de la Plaine d'Alsace du Pliocène : 508,5 km² (13,7 % de la superficie du domaine 5),

- Alluvions pliocènes de Haguenau-Riedseltz : 745,2 km² (20,1 % de la superficie du domaine 5).

3.2. AQUIFÈRES CIBLES

3.2.1. Domaine 1 : Alsace bossue

Cinq unités aquifères sont présentes dans ce domaine. La série rencontrée qui, rappelons-le, plonge vers l'ouest, s'étend depuis sa partie supérieure jusqu'à sa base comme suit :

Keuper (versant lorrain)	UI des marnes irisées inférieures		
Dolomies de la Lettenkohle	USP Lettenkohle supérieure et moyenne : Dolomie et argiles bariolées		
Muschelkalk supérieur & moyen	UA Lettenkohle inférieure : Dolomie inférieure	}	Niveau aquifère 1
Muschelkalk moyen	UA Couches à Cératite et Entroques		
Muschelkalk inférieur	USP Couches blanches & couches grises		
Muschelkalk inférieur & Buntsandstein supérieur	UI Marnes bariolées (couches rouges.) - Bunte Mergeln		
Grès du Buntsandstein inférieur	USP Dolomie à Myophoria		
	UA Grès coquillier et Grès à Voltzia	}	Niveau aquifère 2
	UA Couches intermédiaires et Conglomérat principal		
	UA Grès Vosgien indifférencié		

avec : UA : Unité Aquifère
 USP : Unité Semi Perméable
 UI : Unité Imperméable

Tableau 1 : Série rencontrée en Alsace bossue.

À noter que :

- le niveau Dolomie inférieure de la Lettenkohle inférieure n'a pas été retenu en raison de son faible potentiel hydrodynamique ;
- les trois unités aquifères du Muschelkalk inférieur et du Buntsandstein inférieur ont été regroupées en un seul niveau aquifère en raison des similitudes des propriétés hydrogéologiques de chacune des unités.

La figure 3 représente les formations affleurantes de l'Alsace bossue.

Un descriptif des principales caractéristiques des aquifères rencontrés au sein du domaine 1 est présenté au sein du tableau 2.

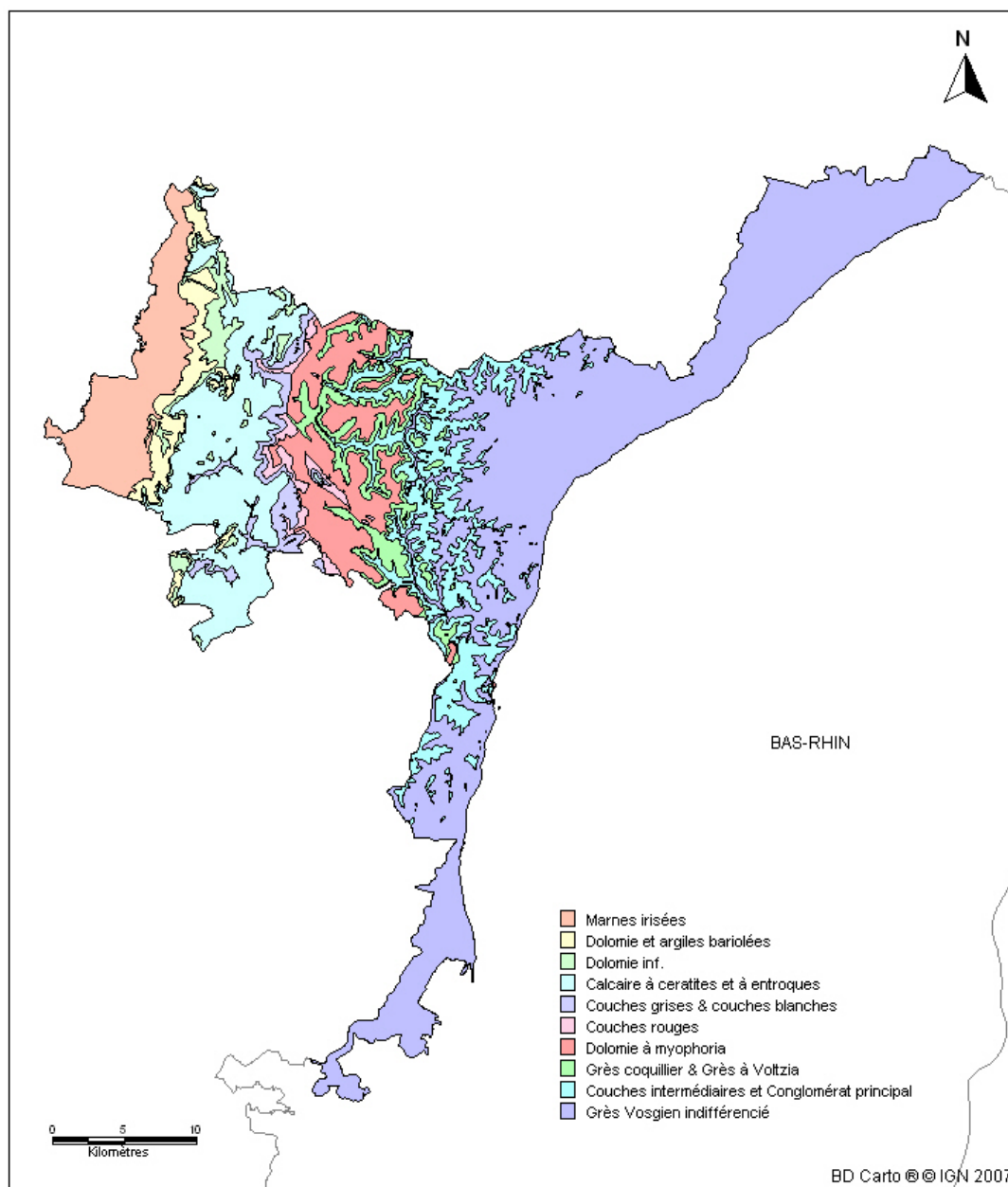


Figure 3 : Affleurement des différentes unités – Domaine 1 : Alsace bossue.

3.2.2. Domaine 2 : Champ de fractures de Saverne

Dépouillement non réalisé.

3.2.3. Domaine 3 : Sundgau

Ce domaine a été subdivisé en trois entités :

- les Marnes sableuses de l'Oligocène du Sundgau – Molasse alsacienne et les Cailloutis du Sundgau ;
- le Horst de Mulhouse ;
- le Jura alsacien.

a) Les Marnes sableuses de l'Oligocène du Sundgau – Molasse alsacienne et les Cailloutis du Sundgau

Les Marnes sableuses de l'Oligocène du Sundgau – Molasse alsacienne sont localement aquifères. Au sein de ce domaine, on y distingue :

- la Molasse alsacienne *sensu stricto* de l'Oligocène inférieur ;
- le domaine des terrasses anciennes du Rhin au niveau de la bordure orientale du Sundgau. Ces alluvions anciennes du Rhin donnent lieu à plusieurs petites nappes perchées.

Ce niveau de Marnes sableuses de l'Oligocène du Sundgau est surmonté partiellement par les Cailloutis pliocènes du Sundgau :

- les Cailloutis pliocènes du Sundgau du Belfortain : secteurs nord Montreux (unité semi-perméable) et Ouest Largue (unité aquifère) ;
- les Cailloutis pliocènes du Sundgau à l'est de la Largue (unité aquifère) ;
- les Cailloutis pliocènes du Sundgau du secteur de Thalbach (unité aquifère) ;
- les Cailloutis pliocènes du Sundgau entre Largue et Doller (unité semi-perméable).

b) Le Horst de Mulhouse

Dans les zones de vallées, les calcaires à Mélanies ont une morphologie karstique tandis que dès lors qu'ils sont recouverts, ces calcaires sont compacts et donc imperméables. Pour cette raison, les calcaires à Mélanies aquifères sont localisés au niveau des :

- limons de débordement récents de l'III ;
- cônes de déjection indivisés.

La Grande Oolithe du Jurassique moyen constitue l'unité aquifère sous-jacente. Trente cinq ouvrages, répertoriés dans le secteur du Horst de Mulhouse, disposent de logs géologiques validés. Parmi ces ouvrages, trois uniquement donnent une indication sur la profondeur du toit géologique (colonne intitulé PROF DEBUT dans le tableau ci-dessous) de cette unité aquifère :

INDICE	NATURE	X_L2E	Y_L2E	Z	PROF_DEBUT	PROF_FIN	STRATI_DEBUT	LITHOLOGIE
04135X0050	INDICE	970950	2312050	254	358	383	Bajocien supérieur	calcaire oolithique.
04137X0067	SONDAGE	978880	2313632	258,37	600,5	645,5	Bajocien supérieur	calcaire oolithique.
04451X0102	SONDAGE	970600	2309930	253,6	358	383	Bajocien supérieur	calcaire oolithique.

Cette formation ne rentre pas dans le cadre de cette étude puisque l'atlas porte uniquement sur les nappes superficielles et de profondeurs de prélèvement inférieures à 100 m.

Un descriptif des principales caractéristiques des aquifères rencontrés au sein du domaine 3 est présenté au sein du tableau 2.

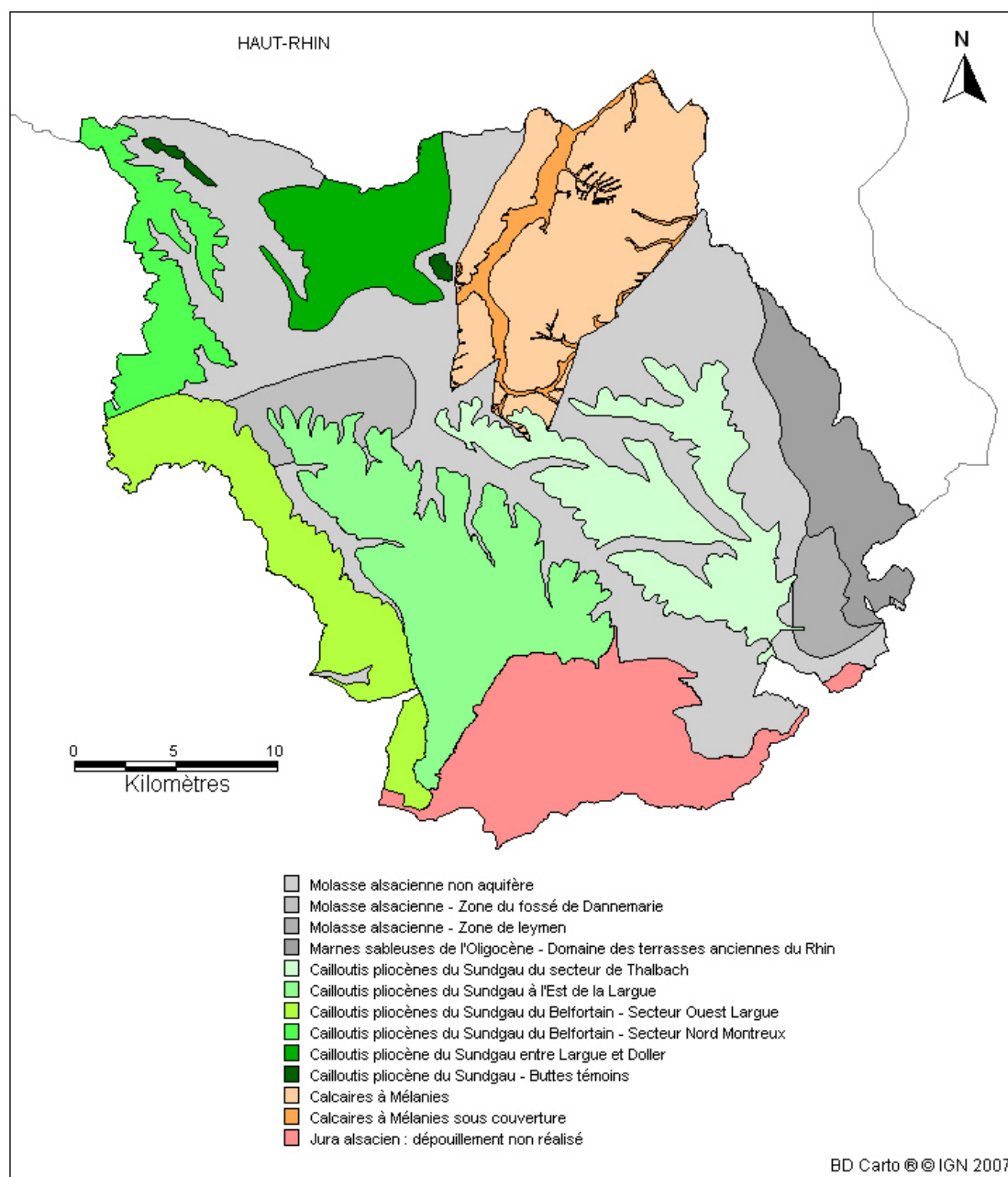


Figure 4 : Affleurement des différentes unités – Domaine 3 : Sundgau.

c) Le Jura Alsacien

Dépouillement en cours.

3.2.4. Domaine 4 : Vosges cristallines

Dépouillement non réalisé.

3.2.5. Domaine 5 : Plaine d'Alsace

Les alluvions plio-quaternaires de la plaine d'Alsace ont été subdivisées en plusieurs systèmes :

- alluvions quaternaires de la plaine d'Alsace, occupant la partie orientale de la plaine et constituées de dépôts apportés par le Rhin et ses affluents vosgiens. Au sud, elles sont bordées par les Collines du Sundgau, à l'ouest par les Collines sous-vosgiennes, au nord-ouest par la terrasse de sables-pliocènes de Haguenau-Riedseltz ;
- alluvions quaternaires de la bordure de la plaine d'Alsace, d'origine vosgienne, situées au pied des collines sous-vosgiennes, pouvant contenir des nappes perchées en raison de fréquentes intercalations argileuses ;
- alluvions quaternaires de la vallée de la Lauter, d'origine vosgienne ;
- alluvions quaternaires de la vallée de la Moder et de la Sauer, d'origine vosgienne ;
- alluvions quaternaires de la vallée de la Zorn, d'origine vosgienne ;
- alluvions quaternaires de la vallée de la Bruche, d'origine vosgienne ;
- alluvions pliocènes de Haguenau-Riedseltz, affleurant sur de larges superficies dans la région de Riedseltz et plus au sud, entre Haguenau et Soufflenheim, où leur extension se termine par une terrasse surplombant d'une dizaine de mètres la partie de la plaine qui borde le Rhin.

Un dépouillement plus fin sera effectué ultérieurement au niveau des alluvions quaternaires de la plaine d'Alsace. En effet, il existe au sein de cette formation des niveaux argileux. Il s'agit plus exactement d'un ensemble de plusieurs niveaux de silts argileux d'un mètre d'épaisseur situés vers 20 à 30 m de profondeur, appelés intercalaire de Strasbourg ou « Kehler Horizont ». Ce niveau argileux, situé à l'intérieur des alluvions récentes, est exploité en géothermie : captage dans la partie supérieure et réinjection dans la partie inférieure. Cet affinage portera notamment sur les alluvions vosgiennes du bassin potassique puisque des lentilles d'argile ont été cartographiées à la base des alluvions vosgiennes récentes.

Un descriptif des principales caractéristiques des aquifères rencontrés au sein du domaine 5 est présenté au sein du tableau 2.

	Désignation		Limites d'extension		Caractéristiques					Pourcentage de la superficie régionale
	Nom	Code BDLisa	Source de donnée	Format numérique	Sous recouvrement	Affleurement	Formation	Descriptif succinct	Superficie (km²)	
Domaine 1 : Alsace bossue	Calcaires du Muschelkalk de Haute Sarre	082c	BDLisa	oui	partiellement	partiellement	Couches à Cératites Calcaire à Entroques	Dalles calcaires alternant avec des marnes Nappe aquifère libre à captive	246,7	3 %
	Grès du Trias inférieur de la Hardt	210f	BDLisa	oui	partiellement	partiellement	Grès coquillier	Formation gréseuse parfois conglomératique Nappe aquifère libre à captive	883,4	10,6 %
							Grès à Voltzia			
							Couches intermédiaires			
							Conglomérat principal			
							Grès Vosgien indifférencié			
Domaine 3 : Sundgau	Cailloutis pliocènes du Sundgau du Belfortain : secteur Ouest Largue	173a	BDLisa	oui	essentiellement	limité	Cailloutis pliocènes du Sundgau	Dépôts détritiques alluvionnaires très hétérogènes, jaune brun à brun rouille, sablo limoneux à sablo graveleux, contenant des galets plus ou moins altérés (kaolinisés et/ou complètement décalcifiés), d'origine alpine. Les galets de granulométrie variable sont constitués de quartz, de radiolarite, quartzite, grès, grauwackes et gneiss. Nappe aquifère libre perchée, localement semi-captive à captive.	69,77	< 1 %
	Cailloutis pliocènes du Sundgau à l'est de la Largue	173b	BDLisa	oui	essentiellement	limité			114,6	1,4 %
	Cailloutis pliocènes du Sundgau du secteur du Thalbach	173c	BDLisa	oui	essentiellement	limité			85,85	1 %
	Marnes sableuses de l'Oligocène du Sundgau – Molasse alsacienne Zones de Leymen et du fossé de Dannemarie	597c	BDLisa	oui	partiellement	partiellement	Molasse alsacienne encore appelée « Marnes à Cyrènes »	Série où alternent des marnes, des sables et des grès fins. Nappe aquifère principalement captive.	33,59	< 1 %
	Marnes sableuses de l'Oligocène du Sundgau – Molasse alsacienne Domaine des terrasses anciennes du Rhin	597c	BDLisa	oui	partiellement	partiellement			23,39	< 1 %
	Calcaires à Mélanies	-	Géologie harmonisée Formations géologiques Fzl (Limon de débordement récents de l'III (Holocène)) et FJ (Cônes de déjection indivisés (Pléistocène à Holocène)) compris dans Horst_Mulhouse_NV2	oui	non	oui	Calcaires à Mélanies	Calcaire gris clair en bancs avec intercalations de calcaire noirâtre, de lignites et de marnes.	17,87	< 1 %
	Calcaires Jurassiques du Jura	92	BDLisa				Kimméridgien	Calcaires argileux et marnes.		
							Séquanien	Calcaires (lithographiques, oolithiques, coralligènes) très développés prédominant sur les marnes.		
						Rauracien	Série essentiellement calcaire à faciès variés			
Domaine 5 : Plaine d'Alsace	Alluvions récentes vosgiennes de la Lauter		BDLisa	oui	non	oui	Alluvions plioquaternaires de la nappe d'Alsace	L'aquifère principal de la plaine d'Alsace est constitué d'alluvions rhénanes d'origine alpine. Sur les bordures, le long des collines sous-vosgiennes et dans les cônes de déjection des rivières des vallées vosgiennes, les alluvions d'origine vosgienne sont plus grossières, plus argileuses et entrecoupées de niveau de loess et d'argiles. Nappe aquifère libre à captive	25,82	< 1 %
	Alluvions récentes vosgiennes de la Moder et de la Sauer		BDLisa	oui	non	oui			242,2	< 1 %
	Alluvions récentes vosgiennes de la Zorn		BDLisa	oui	non	oui			68,92	< 1 %
	Alluvions vosgiennes de la Bruche		BDLisa	oui	partiellement	partiellement			125,49	< 1 %
	Alluvions rhénanes	91 a	BDLisa	oui	non	oui			2 164,8	26 %
	Alluvions anciennes vosgiennes de bordure de la Plaine d'Alsace	91 b	BDLisa	oui	non	oui			508,5	< 1 %
	Pliocène	91 g	BDLisa	oui	oui	non			745,2	< 1 %

Tableau 2 : Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Région Alsace.

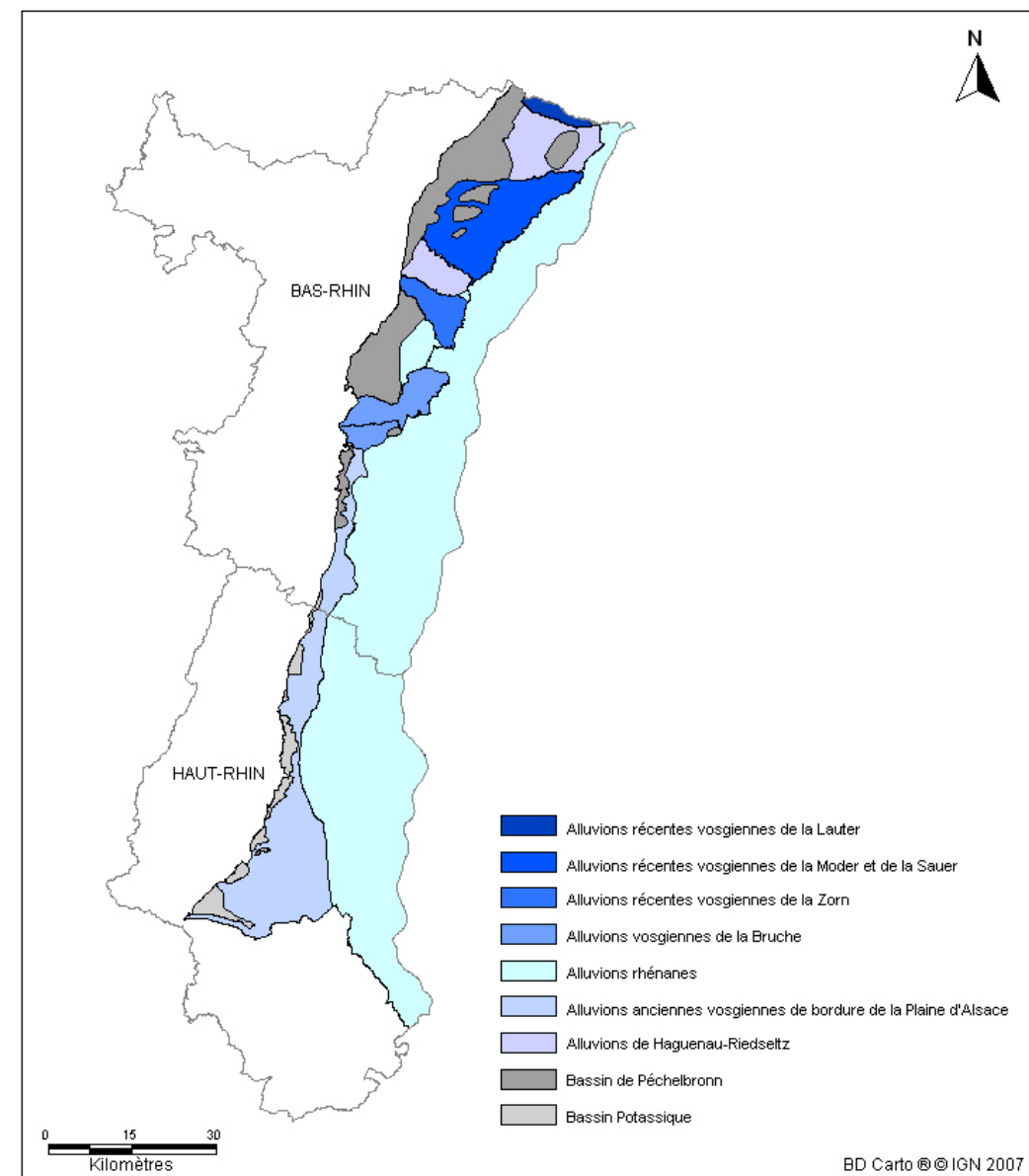


Figure 5 : Affleurement des différentes unités – Domaine 5 : Plaine d'Alsace.

3.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES

3.3.1. Planification du travail et organisation de la collecte d'information

Le travail a été réalisé par Hélène Vandenbroucke sous la direction de Stephan Urban, hydrogéologue au sein du SGR Alsace.

Le référentiel hydrogéologique version 2 (BD Lisa) est actuellement en cours de réalisation sur la région Alsace. De ce fait, les domaines traités ou en cours de dépouillement sont ceux pour lesquels le découpage a d'ores et déjà été réalisé.

3.3.2. Grille SIG

a) Création du maillage

Le territoire de la région Alsace a été découpé en mailles carrées de 500 m de côté. Ces mailles sont inscrites dans un rectangle dont les coordonnées extrêmes, exprimées en mètre dans la projection Lambert 2 étendu, sont les suivantes (Figure 6). Les dimensions de ce rectangle sont : 95 km sur l'axe des X et 185,5 km sur l'axe des Y.

$X_{\min}$ =	937 000 m
$Y_{\min}$ =	2 280 500 m
$X_{\max}$ =	1 032 000 m
$Y_{\max}$ =	2 466 000 m

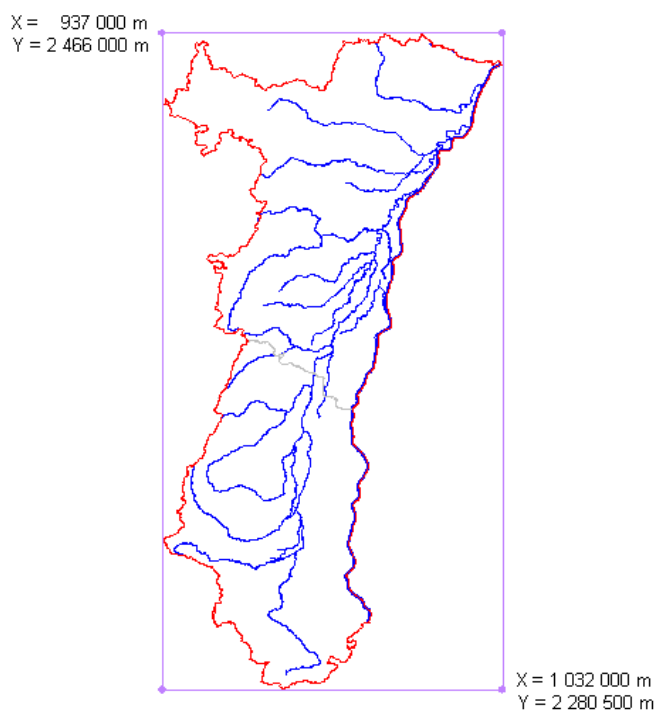


Figure 6 : Carte des limites administratives (région Alsace et départements) et du cadrage de la grille de découpage.

Ce maillage comprend au total 190 colonnes, identifiées par une ou plusieurs lettres (A, B, C, ..., GH), et 371 lignes numérotées de 1 à 371. Chaque maille possède un identifiant constitué de la lettre associée à sa colonne, suivie du numéro de la ligne (A1, B1, ..., A2, B2, ..., GH371) (Figure 7).



Figure 7 : Mailles des coins supérieur gauche et inférieur droit de la grille avec leur identifiant.

L'ensemble de la grille comprend au total 70 490 mailles. La zone géographique de la région Alsace comprend 34 251 mailles parmi lesquelles uniquement 33 334 mailles sont renseignées en raison de la méthode retenue. En effet, cette dernière impose de remplir uniquement les champs des mailles dont les coordonnées du centre sont à l'intérieur de la région Alsace.

b) Champs supplémentaires

Identifiant maille	Num colonne	Num ligne	X_centre maille	Y_centre maille	Département	Num_INSEE commune
BM181	BM	181	969250	2375750	67	67505
BM182	BM	182	969250	2375250	67	67505
BM183	BM	183	969250	2374750	68	68185
BN181	BN	181	969750	2375750	67	67505
BN182	BN	182	969750	2375250	68	68185
BN183	BN	183	969750	2374750	68	68185
BO181	BO	181	970250	2375750	67	67505
BO182	BO	182	970250	2375250	68	68185
BO183	BO	183	970250	2374750	68	68185
BP181	BP	181	970750	2375750	67	67505

Figure 8 : Champs du fichier des mailles de la grille.

Liste des champs du fichier des mailles de la grille (Figure 8) :

- Identifiant_maille : identifiant de la maille constitué de la (des) lettre(s) associée(s) à la colonne et du chiffre (nombre) associé à la ligne de la maille ;
- Num_colonne : identifiant de la colonne, constitué d'une ou plusieurs lettres (de A à GH) ;
- Num_ligne : numéro de la ligne (de 1 à 371) ;
- X_centre_maille : coordonnée X du centre de la maille (exprimée en mètre) ;
- Y_centre_maille : coordonnée Y du centre de la maille (exprimée en mètre) ;

- Département : numéro du département auquel appartient la maille ;
- Num_INSEE_commune : numéro INSEE de la commune à laquelle appartient la maille.

La figure 9 présente le nombre de mailles par département.

Département	Numéro	Nombre de communes	Nombre de mailles de 500 m	Superficie (km ²)
Bas-Rhin	67	527	19 772	4 783
Haut-Rhin	68	377	14 479	3 522

Figure 9 : Nombre de mailles pour chaque département de la région Alsace.

La figure 10 présente l'affectation du numéro du département et de la commune de chaque maille. La règle retenue consiste à attribuer le numéro de département et le numéro INSEE de la commune à une maille lorsque le centre de celle-ci est situé à l'intérieur du département ou de la commune. Il en résulte sur ces limites administratives un décalage qui provient de la discrétisation du domaine en mailles de 500 m.

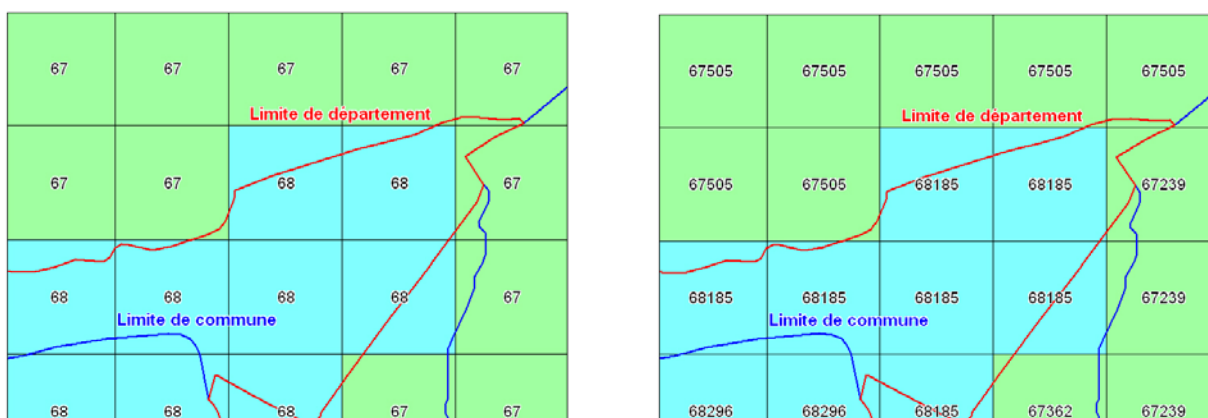


Figure 10 : Affectation du numéro du département et du numéro INSEE de la commune à chaque maille.

Les mailles dont le centroïde est en dehors de la région Alsace ont été renseignées.

3.3.3. Critère « Productivité d'aquifère »

a) Sources de données potentielles

Deux extractions de la BSS sur l'ensemble de l'Alsace ont été réalisées afin d'obtenir :

- la liste des ouvrages dont les paramètres hydrodynamiques (débit spécifique et/ou transmissivité et/ou débit maxi essai et rabattement maxi essai) ont été renseignés sous la BSS ;
- la liste des ouvrages BSS possédant des documents scannés disponibles sur le site InfoTerre.

La première extraction a sélectionné 821 ouvrages BSS. Une appréciation de la qualité de l'essai de pompage (bon, moyen et douteux) a systématiquement été faite. Il a été arbitrairement décidé de ne pas prendre en compte les 243 essais jugés douteux, ce qui ramène à 578 le nombre d'ouvrages exploitables. À noter que plusieurs essais ont quelquefois été réalisés sur le même ouvrage BSS, ce qui porte à 544 le nombre d'ouvrages réellement exploitables.

La seconde extraction a sélectionné 1 397 ouvrages BSS. Parmi l'ensemble de ces ouvrages, figurent :

- 162 sources non captées ;
- 31 sources karstiques ;
- 693 sources captées ;
- 34 sources ;
- 90 fontaines ;

ce qui rapporte à 387 le nombre d'ouvrages exploitables.

Au total, 931 ouvrages avec des données hydrodynamiques couvrent l'ensemble de la région Alsace.

b) Domaine 1 : Alsace bossue

Dans ce secteur on répertorie :

- quatre points BSS avec des documents scannés portant sur des essais de débit. Les données de débit de deux de ces points sont inexploitable :

INDICE	DESIGNATION	NATURE	X_L2E	Y_L2E	NB_ESSAI_DEBIT	DEBIT_EXPLOITABLE
01685X0050	D	STATION-JAUGEAGE	987687	2456601	1	non
01686X0075	F	PUITS-VERTICAL	990972	2457683	1	non
01964X0072	F	FORAGE	956081	2447733	1	oui
01975X0002	F	FORAGE	961863	2435901	20	oui

- aucun point BSS avec des caractéristiques hydrodynamiques renseignées.

Il a donc été décidé de définir le débit spécifique en se basant sur les données figurant dans les notices explicatives des cartes géologiques au 1/50 000 du secteur de l'Alsace bossue.

• Unité aquifère 2 : Grès du Trias inférieur de la Hardt

La formation gréseuse du Trias inférieur s'étend sur l'ensemble de l'Alsace bossue. Par ailleurs, elle ne se limite pas à l'Alsace bossue, mais s'étend sur l'ensemble de la Lorraine exceptée dans sa partie occidentale.

Les neuf notices explicatives des cartes géologiques englobant la formation dans sa partie alsacienne ont permis de mettre en évidence 35 forages réalisés dans la nappe du Grès du Trias inférieur pour lesquels il existe une valeur de débit spécifique. Parmi

ces 35 forages, cinq sont localisés en Alsace bossue, tandis que les 30 autres se situent en région Lorraine limitrophe. Au vu de l'extension géographique de la formation, il a été arbitrairement décidé de se baser sur l'ensemble des résultats de débits spécifiques pour définir le débit spécifique de la nappe du Grès du Trias inférieur dans sa partie alsacienne.

Le Tableau 3 répertorie les forages et la Figure 11 localise géographiquement ces derniers.

CARTE GEOLOGIQUE	INDICE	X_L1E	Y_L1E	Débit spécifique (m ³ /h/m)
167 - BITCHE	BITCHE 1	972370	1162140	33,8
167 - BITCHE	BITCHE 2	970180	1165330	1,7
167 - BITCHE	BITCHE 3	974100	1173360	9,7
167 - BITCHE	BITCHE 4	966160	1164980	32,0
167 - BITCHE	BITCHE 5	970030	1169300	3,6
167 - BITCHE	BITCHE 6	966100	1169940	6,8
167 - BITCHE	BITCHE 7	971700	1175740	5,0
167 - BITCHE	BITCHE 8	957100	1154460	1,1
167 - BITCHE	BITCHE 9	976420	1169740	11,0
167 - BITCHE	BITCHE 10	966480	1153240	1,1
167 - BITCHE	BITCHE 11	975660	1167100	4,5
167 - BITCHE	BITCHE 12	965470	1162820	13,0
167 - BITCHE	BITCHE 13	970850	1170960	3,1
167 - BITCHE	BITCHE 14	965140	1152190	1,0
167 - BITCHE	BITCHE 15	959530	1160130	1,6
167 - BITCHE	BITCHE 16	979460	1155800	3,6
167 - BITCHE	BITCHE 17	966680	1161020	0,9
167 - BITCHE	BITCHE 18	965850	1158610	2,1
168 - LEMBACH	01688X0023	1001872	1156326	0,2
168 - LEMBACH	01688X0019	1002406	1156923	0,5
168 - LEMBACH	01687X0021	1001225	1155980	0,2
168 - LEMBACH	01687X0001	999150	1158270	0,5
198 - HAGUENAU	01983X0001	998310	1154120	4,8
198 - HAGUENAU	01983X0007	998300	1154120	5,0
197 - BOUXWILLER	01975X0002	961640	1136150	15,0
197 - BOUXWILLER	01964X0072	955830	1147960	2,0
197 - BOUXWILLER	01975X0026	962390	1138960	0,8
197 - BOUXWILLER	01975X0027	962690	1138160	4,0
197 - BOUXWILLER	01976X0020	964730	1140750	2,6
197 - BOUXWILLER	01967X0018	946200	1134200	1,0
196 - SARRE-UNION	01966X0001	942970	1134500	1,7
196 - SARRE-UNION	01965X0001	935000	1133000	0,7
233 - SAVERNE				entre 0,5 et 4
271 - MOLSHEIM	02713X0008	977320	1106010	0,7
271 - MOLSHEIM	02713X0007	977310	1106160	6,0

Avec : 0.0 : Débit spécifique supérieur à 10 m³/h par mètre de rabattement

Tableau 3 : Débits spécifiques de forages d'eau aux Grès du Trias tirés des notices explicatives des cartes géologiques au 1/50 000.

Le Tableau 4 montre que la majorité (85 %) des débits spécifiques sont compris entre 0 et 10 m³/h/m. Parmi les cinq forages présentant des débits spécifiques supérieurs à 10 m³/h/m, un se situe dans le secteur d'étude et sa mesure est de 15 m³/h/m. Au vu de ce qui précède, le débit spécifique de la nappe du Grès du Trias inférieur a été défini comme étant compris entre 0 et 10 m³/h/m.

Paramètres	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données
Rabatement	0	0
Débit	0	0
Débit spécifique	35	100
Transmissivité	0	0
Perméabilité	0	0
Total	35	100

Tableau 4 : Répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité » - Grès du Trias inférieur.

- **Unité aquifère 1 : Calcaires du Muschelkalk de Haute Sarre**

Les couches à Cératites et les calcaires à entroques sont présents uniquement sur les feuilles de Sarreguemines (carte géologique au 1/50 000 - n° 166) et Sarre-Union (carte géologique au 1/50 000 - n° 196).

Les notices explicatives ne font état que d'un seul forage avec une donnée de débit spécifique. Le Tableau 5 répertorie l'unique forage et la Figure 10 localise géographiquement ce dernier.

CARTE GEOLOGIQUE	INDICE	X_L1E	Y_L1E	Débit_caractéristique (m ³ /h/m)
196 - SARRE-UNION	01963X0024	948304	1148056	4

Paramètres	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données
Rabatement	0	0
Débit	0	0
Débit spécifique	1	100
Transmissivité	0	0
Perméabilité	0	0
Total	1	100

Tableau 5 : Répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité » - Couches à Cératites et les calcaires à entroques

Ce débit caractéristique ne peut être considéré comme représentatif de l'ensemble des couches à Cératites et des calcaires à entroques en raison de son caractère unique. Une recherche bibliographique portant sur les AEI et les AEP des communes de Sarrewerden et de Sarre-Union reste à réaliser.

À dire d'expert, lorsque les Couches à Cératites et les Calcaires à Entroques sont recouverts par les formations du Keuper, les débits spécifiques sont moindres et les eaux sont très minéralisées (sulfatées).

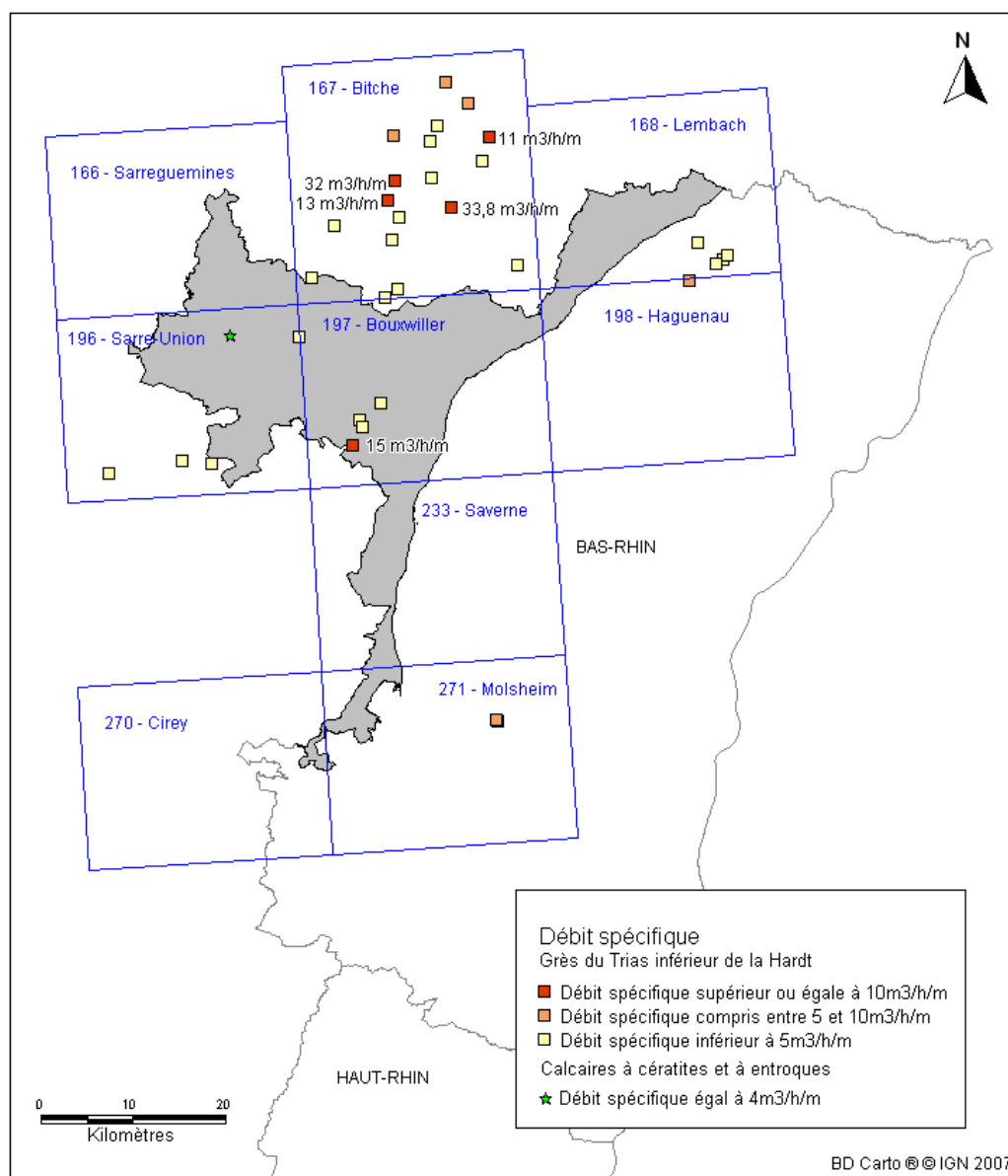


Figure 11 : Débits spécifiques tirés des notices explicatives des cartes géologiques au 1/50 000 - Domaine 1 : Alsace bossue.

c) Domaine 2 : Champ de fractures de Saverne

Dépouillement non réalisé.

d) Domaine 3 : Sundgau

Dépouillement en cours.

La Figure 12 localise géographiquement les ouvrages du Sundgau avec des données hydrodynamiques.

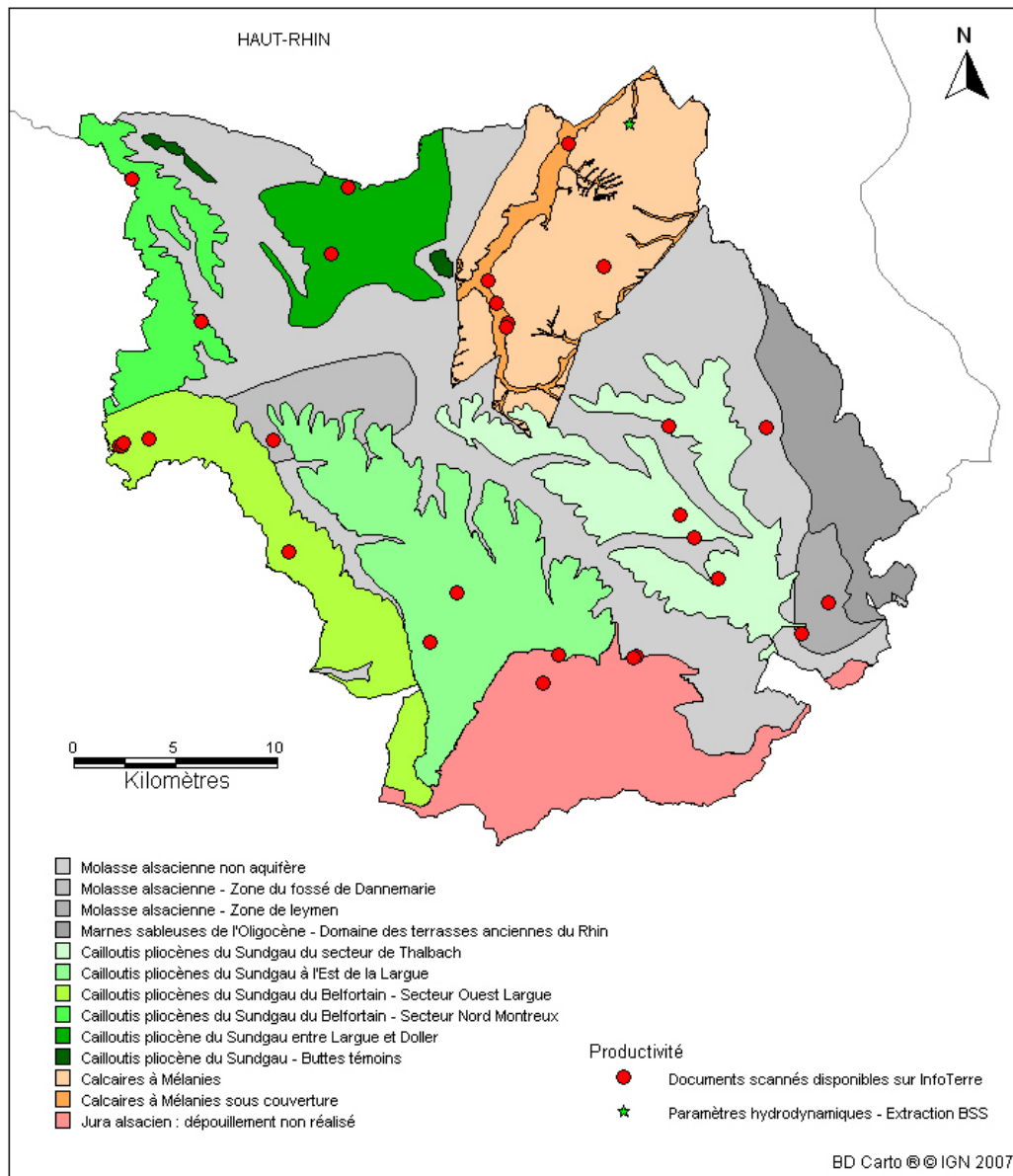


Figure 12 : Débits spécifiques - Domaine 3 : Sundgau.

e) Domaine 4 : Vosges cristallines

Dépouillement non réalisé.

f) Domaine 5 : Plaine d'Alsace

Dépouillement en cours.

Sources de données consultées :

- données de la Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan (BRAR) de 2008 : 864 points ;
- liste des ouvrages créés en 2009 et ayant des documents scannés correspondant à des essais de débit : 64 points dans la plaine d'Alsace ;
- liste des ouvrages créés avant 2009 et ayant des documents scannés correspondant à des essais de débit ne figurant pas dans les données de la BRAR 2008 : 99 points dans la plaine d'Alsace.

En tout, 1 027 ouvrages disposent de données exploitables. Le dépouillement à venir permettra de définir les débits spécifiques des différentes formations alluvionnaires présentes sur le secteur.

3.3.4. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »

Les données de base nécessaires à la description du critère « profondeur d'accès à la ressource » sont les données de topographie, de géométrie des formations géologiques (toit des formations géologiques) et de piézométrie. Elles permettent l'évaluation de la profondeur des nappes (piézométrie pour les aquifères libres et profondeur du toit de l'aquifère dans le cas d'un aquifère captif).

a) Topographie

Une extraction du MNT au pas de 50 m sur l'ensemble de l'Alsace a été réalisée afin de pouvoir attribuer à chaque maille une altitude moyenne. Ce nouveau champ a été nommé altitude_topo.

Attention, seules les valeurs de MNT comprises dans la région Alsace ont été prises en compte. En d'autre terme, la moyenne des altitudes d'une maille à cheval sur deux régions ne tient pas compte des valeurs situées en dehors de la région Alsace.

Les mailles dont le centroïde est en dehors de la région Alsace ont été renseignées.

b) Piézométrie

Sources de données : cartes piézométriques.

- **Alsace bossue**

Dépouillement à réaliser.

- **Champ de fractures de Saverne**

Dépouillement à réaliser.

- **Sundgau**

Plusieurs cartes piézométriques de la nappe des cailloutis ont été élaborées et actualisées en fonction de l'avancement des connaissances de l'aquifère et de la densification des points d'observation (puits, piézomètres). La carte piézométrique de référence (1979), qui s'appuie sur l'étude BRGM, a été actualisée en prenant en compte l'évolution des prélèvements.

- **Vosges cristallines**

Dépouillement à réaliser.

- **Plaine d'Alsace**

En 2000, 266 piézomètres donnent accès à des chroniques piézométriques dans la plaine alluviale d'Alsace mais uniquement 263 sont utilisables. En effet, trois piézomètres n'étant pas nivelés, ils ne peuvent donner accès à la profondeur de l'eau par rapport à la surface du sol.

Les données les plus anciennes datent de 1964 et les chroniques étudiées ici s'arrêtent à la fin de l'année 2000. Les piézomètres utilisés captent la nappe libre de la plaine d'Alsace.

Pour chaque piézomètre, les chroniques les plus longues à disposition ont été utilisées, quels que soient les pas de temps des mesures.

Dépouillement à réaliser.

c) Géométrie : profondeur du toit des aquifères

Sources de données : modèles géologiques ; BSS (logs validés/logs non validés) ; cartes géologiques.

La méthode initialement retenue, qui consiste à évaluer la profondeur du toit géologique des unités aquifères à partir des logs validés, n'a pas pu être appliquée, dans les secteurs où le dépouillement a d'ores et déjà été réalisé, en raison du faible nombre de point BSS avec un log géologique validé.

Il a alors été décidé de s'appuyer sur les puissances, des formations sus-jacentes aux unités aquifères, proposées dans les notices explicatives. Cependant, dès lors qu'une maille comprenait un log géologique validé ou non, le toit du/des niveau(x) aquifère(s) renseigné pour la maille en question indique la(les) profondeur(s) reportée(s) sur ce dernier.

	Sarre-Union Carte n° 196	Sarreguemines Carte n° 166	Bitche Carte n° 167	Bouxwiller Carte n° 197	Saverne Carte n° 233
Niveau aquifère 1	Keuper inf. - Marnes irisées inférieures ^a	100,0 – 200,0 m (t7a)			
	Lettenkohle sup. et moyenne – Dolomie ¹ et argiles bariolées ²	¹ : 3,0 m (t6c) ² : 20,0 m (t6b)	¹ : 3,0 m (t6c) ² : 20,0 m (t6b)		
	Lettenkohle inf. - Dolomie inf.	10,0 m (t6a)	10,0 m (t6a)		
	Muschelkalk sup. - Calcaire à cératites ¹ et à entroques ²	¹ : 50,0 m (t5b) ² : 6,0 - 8,0 m (t5a)	¹ : 50,0 m (t5b) ² : 6,0 - 8,0 m (t5a)		
	Muschelkalk moyen - Couches blanches ¹ & couches grises ²	¹ : 5,0 - 6,0 m (t4b) ² : 35,0 - 85,0 m (t4b)	¹ : 5,0 - 6,0 m (t4b) ² : 35,0 - 80,0 m (t4b)	6,0 m Couches blanches Sondage Obermodern (197-8-100) 13,0 m Couches rouges & couches grises Sondage Obermodern (197-8-100)	
	Muschelkalk moyen - Couches rouges	25,0 m (t4a)	25,0 m (t4a)		
Niveau aquifère 2	Muschelkalk inf. - Dolomie à myophoria	15,0 m (t3c) 22,0 m (t3b)	5,0 - 15,0 m (t3c) 22,0 m (t3b)	18,5 m (t3c) 30,0 m (t3b)	9,0 - 14,0 m (t3c) 10,0 m (t3b)
	Muschelkalk inf. & Buntsandstein sup. - Grès coquillé & Grès à voltzia				
	Muschelkalk inf. & Buntsandstein sup. - Couches intermédiaires et Cong				
	Buntsandstein inf. - Grès Vosgien indifférencié				

^a : La puissance de ce niveau a été ramenée à 75 m en raison de la puissance décelée au point BSS 01667X0013 (log validé), point situé en bordure ouest de l'Alsace bossue.

Tableau 6 : Puissance des différentes formations de la série – Domaine 1 : Alsace bossue.

D'autre part, les logs géologiques validés n'ont pas été pris en compte pour les unités aquifères considérées comme affleurantes (profondeur du toit égale à 0 m).

Les mailles dont le centre est en dehors de la région Alsace ne sont pas renseignées.

- **Domaine 1 : Alsace bossue**

Le tableau 6 compile les puissances des formations sus-jacentes aux niveaux aquifères. À noter que seules les puissances utiles ont été reportées.

Six points BSS, correspondant à cinq mailles, disposent de log géologique (Tableau 7). Ils ont été utilisés pour renseigner les profondeurs des niveaux aquifères.

	Niveau aquifère 01	Niveau aquifère 02	
Maille P22	01667X0013 ^{LGV}		
Maille Y36		01963X0072 ^{LGV}	
Maille AD24		01668X0120 ^{LGV} 01668X0121 ^{LGV}	
Maille AS28	01675X1003 ^{LGV}		Avec :
Maille BE71	02332X1009 ^{LGNV}		LGV : Log validé
			LGNV : Log non validé

Tableau 7 : Indices des points BSS ayant permis de renseigner exactement cinq mailles de la grille – Domaine 1 : Alsace bossue.

- **Domaine 2 : Champ de fractures de Saverne**

Dépouillement non réalisé.

- **Domaine 3 : Sundgau**

Le Horst de Mulhouse

Les calcaires à Mélanies aquifères localisés au niveau des :

- limons de débordement récents de l'III ;
- cônes de déjection indivisés ;

sont considérés comme affleurants.

Le Jura Alsacien

Dépouillement en cours.

La molasse et les cailloutis sundgauviens

Les marnes à Cyrènes (molasse alsacienne) aquifère sont considérées comme affleurantes.

Des lœss et lehms anciens recouvrent toute la surface des cailloutis du Sundgau. Les cailloutis du Sundgau considérés comme unité aquifère sont localisés dans les cartes géologiques d'Altkirch (n° 445), de Belfort (n° 444), de Delle (n° 475) et de Ferrette (n° 476). Les notices explicatives des différentes cartes géologiques évaluent l'épaisseur des lœss et lehms anciens comme suit :

- Altkirch : puissance variant de 7 à 15 m ;
- Delle : puissance variable (localement plus de 80 cm) ;
- Ferrette : puissance variant de 7 à 15 m ;
- Belfort : puissance pouvant atteindre 15 m.

L'épaisseur de ces lœss et lehms anciens a été arbitrairement fixée à 15 m.

Des lœss et lehms récents et anciens recouvrent toute la surface des terrasses anciennes. Les lœss et lehms récents peuvent atteindre 7 à 8 m, tandis que l'épaisseur de lœss et lehms anciens varie de 7 à 15 m (notice explicative – carte géologique n° 445 / Altkirch). L'épaisseur de ces lœss et lehms récents et anciens a été arbitrairement fixée à 23 m.

- **Domaine 4 : Vosges cristallines**

Dépouillement non réalisé.

- **Domaine 5 : Plaine d'Alsace**

Dépouillement en cours.

3.3.5. Critère « Température de la ressource »

a) Source de données ADES

Une extraction depuis le portail national d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines (ADES) a permis de d'exporter les données qualimètres et plus particulièrement les températures de l'ensemble des points d'eau de la région Alsace.

Dans le Bas-Rhin, pour la période du 6 janvier 1950 au 1 octobre 2009, 9 314 mesures ont été effectuées sur un total de 1 620 points de mesure. 7 495 mesures, équivalent à 856 points de mesure, ont été mesurées *in situ* et sont qualifiées de correctes.

Dans le Haut-Rhin, pour la période du 26 janvier 1932 au 01 octobre 2009, 2 766 mesures ont été effectuées sur un total de 920 points de mesure. 1 593 mesures,

équivalent à 504 points de mesure, ont été mesurées *in situ* et sont qualifiées de correctes.

Seules les 9 088 températures mesurées *in situ* et qualifiées sont exploitées.

b) Source de données BSS

Une extraction depuis la BSS a notamment été réalisée afin de compléter les données issues du portail national d'ADES. Cette dernière a permis l'export de 42 338 mesures (4 223 indices BSS).

En raison de la nature des points de mesure (Tableau 8), 1 233 des 42 338 mesures ne sont pas prises en compte. Cela correspond à 152 points BSS.

De plus l'intervalle réaliste de température des alluvions de la plaine d'Alsace est compris entre 9 et 13 °C et celui des unités aquifères restantes est compris entre 5 et 15 °C. Bien entendu, dans les zones thermales, la borne supérieure de l'intervalle est revue à la hausse.

Nature	Nombre de mesures	Nombre de points BSS concernés
AFFLEUREMENT	27	2
AFFLEUREMENT-EAU	985	89
DIVERS ¹	35	6
DRAIN	6	2
ECHELLE	4	4
FONTAINE	49	35
FORAGE	16910	866
GRAVIERE	773	123
PIEZOMETRE	1240	217
PRISE-EAU	11	1
PUITS	3	2
PUITS-COMPLEXE	683	11
PUITS-VERTICAL	2493	763
SONDAGE	79	30
SOURCE	5	3
SOURCE-CAPTEE	11211	954
SOURCE-KARSTIQUE	114	24
SOURCE-NON-CAPTEE	334	141
STATION-JAUGEAGE	400	15
STATION-METEO	4	1
STATION-PIEZO	6953	932
TRAVAUX-SOUTERRAIN	19	2

¹ : fosse, rivière, étang, bassin



Nature de l'ouvrage pris en compte



Nature de l'ouvrage ne pouvant être pris en compte

TOTAL 42 338 4 223

Tableau 8 : Nature des points d'eau extraits de la BSS.

L'ensemble des points captant une même unité aquifère permet de réaliser des diagrammes température-profondeur. De ces diagrammes découlent la profondeur et la température moyenne de l'ensemble des points dont le milieu de la crépine est compris entre 0 et 100 m de profondeur ainsi que le gradient de température de l'ensemble des points dont le milieu de la crépine est situé au-delà de 100 m de profondeur.

c) Résultats pour l'Alsace bossue

La figure 12 permet la visualisation spatiale des points ayant fourni les données de température.

Les figures 13 et 14 nous renseignent sur la répartition de la température de l'eau avec la profondeur. La profondeur prise en compte est la profondeur du milieu de la crêpine.

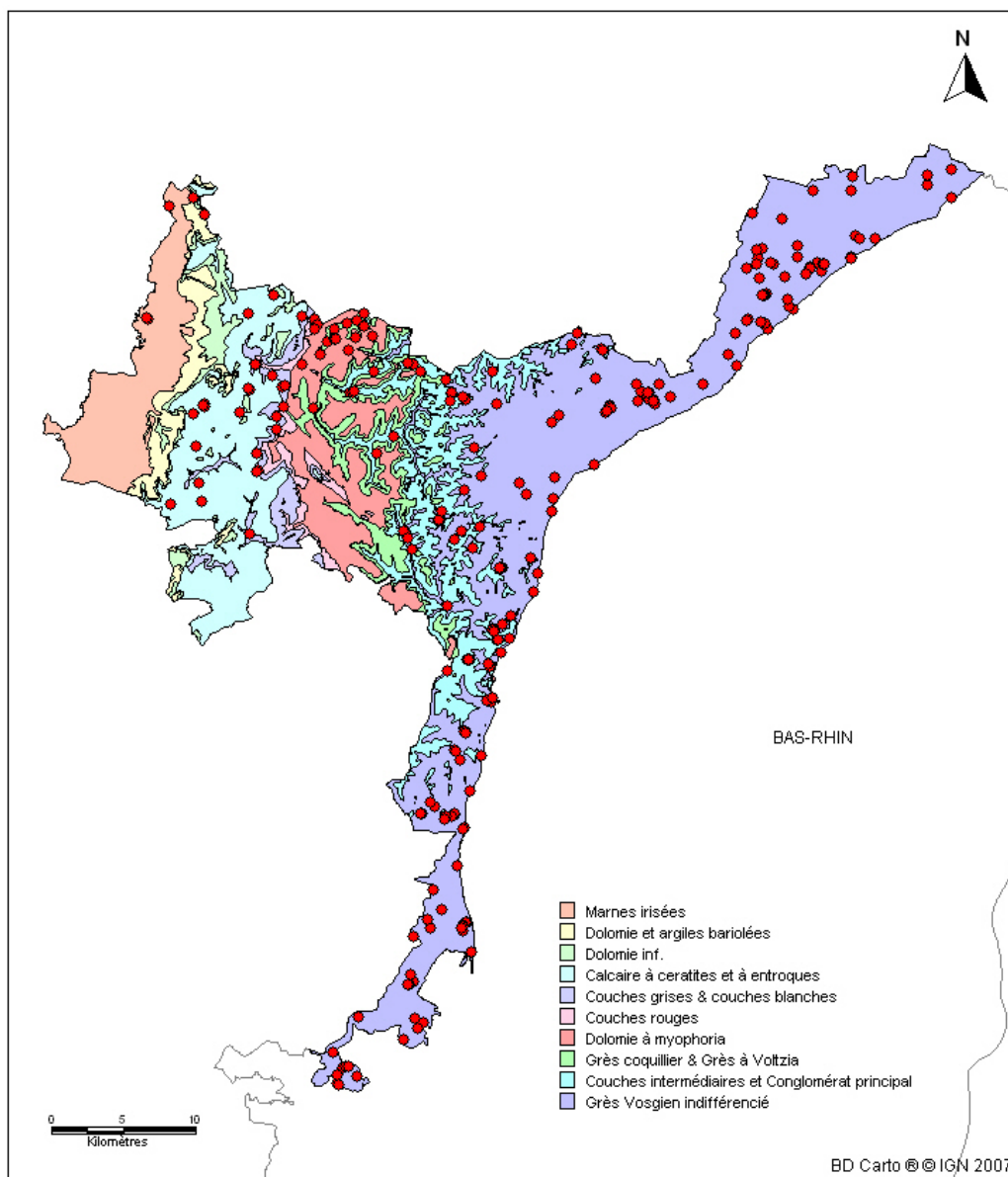


Figure 13 : Carte de répartition des points ayant fourni des données –
Domaine 1 : Alsace bossue.

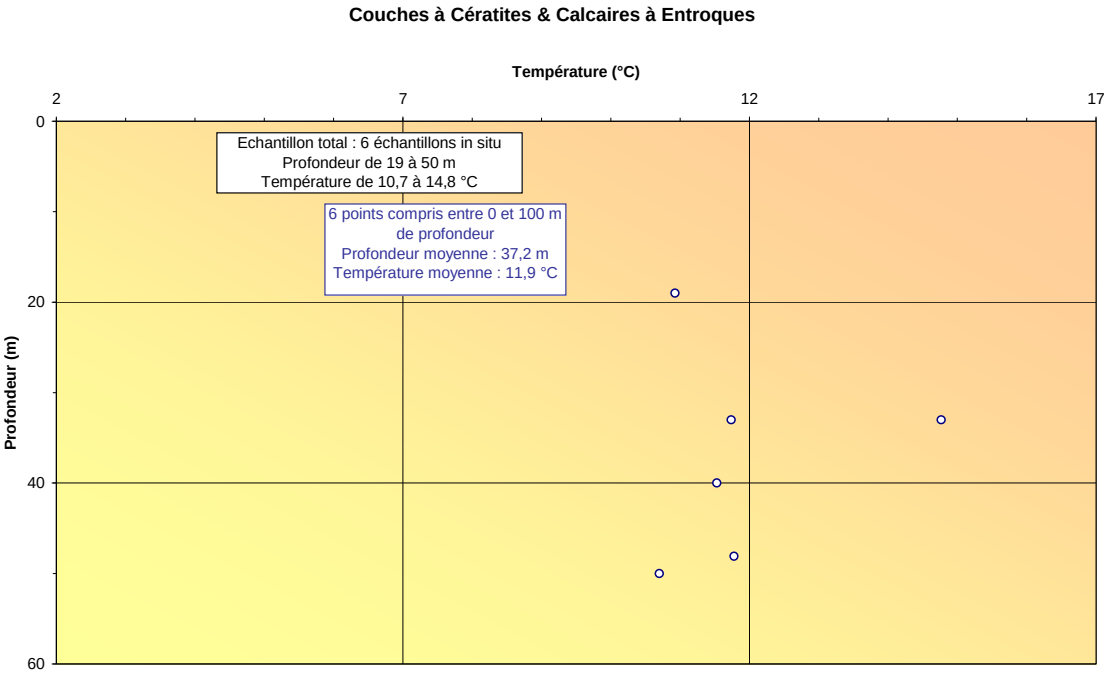


Figure 14 : Aquifère Couches à Cératites et Calcaires à Entroques : répartition de la température de l'eau avec la profondeur.

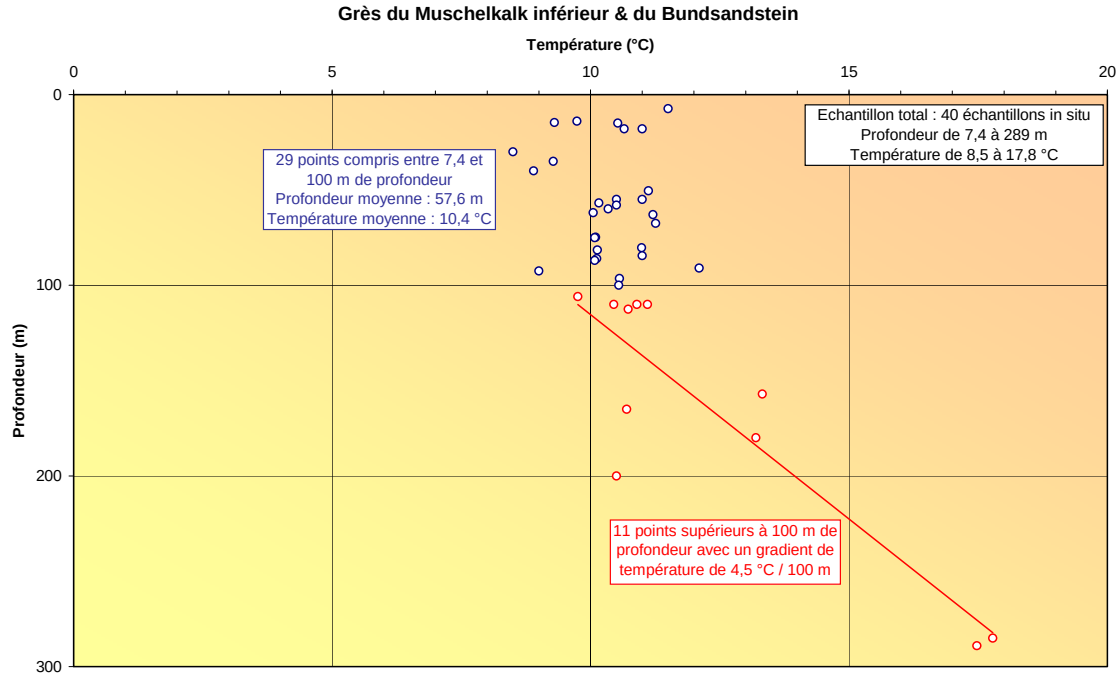


Figure 15 : Aquifère Grès du Muschelkalk inférieur et du Bundsandstein : répartition de la température de l'eau avec la profondeur.

d) Domaine 2 : Champ de fractures de Saverne

Dépouillement non réalisé.

e) Domaine 3 : Sundgau

Dépouillement non réalisé.

f) Domaine 4 : Vosges cristallines

Dépouillement non réalisé.

g) Domaine 5 : Plaine d'Alsace

Dépouillement non réalisé.

3.3.6. Particularités géochimiques régionales

Durant les années 1980, en raison du développement industriel de la technologie des machines thermodynamiques et donc des pompes à chaleur, l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie, le Bureau de Recherches Géologiques et Minières, l'Électricité de Strasbourg, l'Électricité de France et la Région Alsace ont décidé conjointement d'éditer des cartes intitulées « Qualité des eaux souterraines ». Ces cartes différencient trois grands types de renseignements, à savoir :

- le caractère agressif ou incrustant de l'eau lié aux carbonates. Le territoire de la région Alsace a été découpé en secteurs :
 - secteur 1 : Eau pouvant être agressive vis-à-vis des carbonates,
 - secteur 2 : Eau à tendance agressive vis-à-vis des carbonates,
 - secteur 3 : Eau équilibrée vis-à-vis des carbonates,
 - secteur 4 : Eau à tendance entartrante vis-à-vis des carbonates,
 - secteur 5 : Secteur où le caractère de l'eau vis-à-vis des carbonates n'a pas pu être déterminé.

À noter que :

- les eaux à tendance entartrante peuvent provoquer un colmatage de l'installation par dépôt de calcaire,
- les eaux à tendance agressive ; provoquées par une forte concentration en CO₂ libre, entraînent des problèmes de corrosion,
- ces secteurs découlent des teneurs en CO₂ libre. Ce paramètre est analysé au niveau des captages AEP.

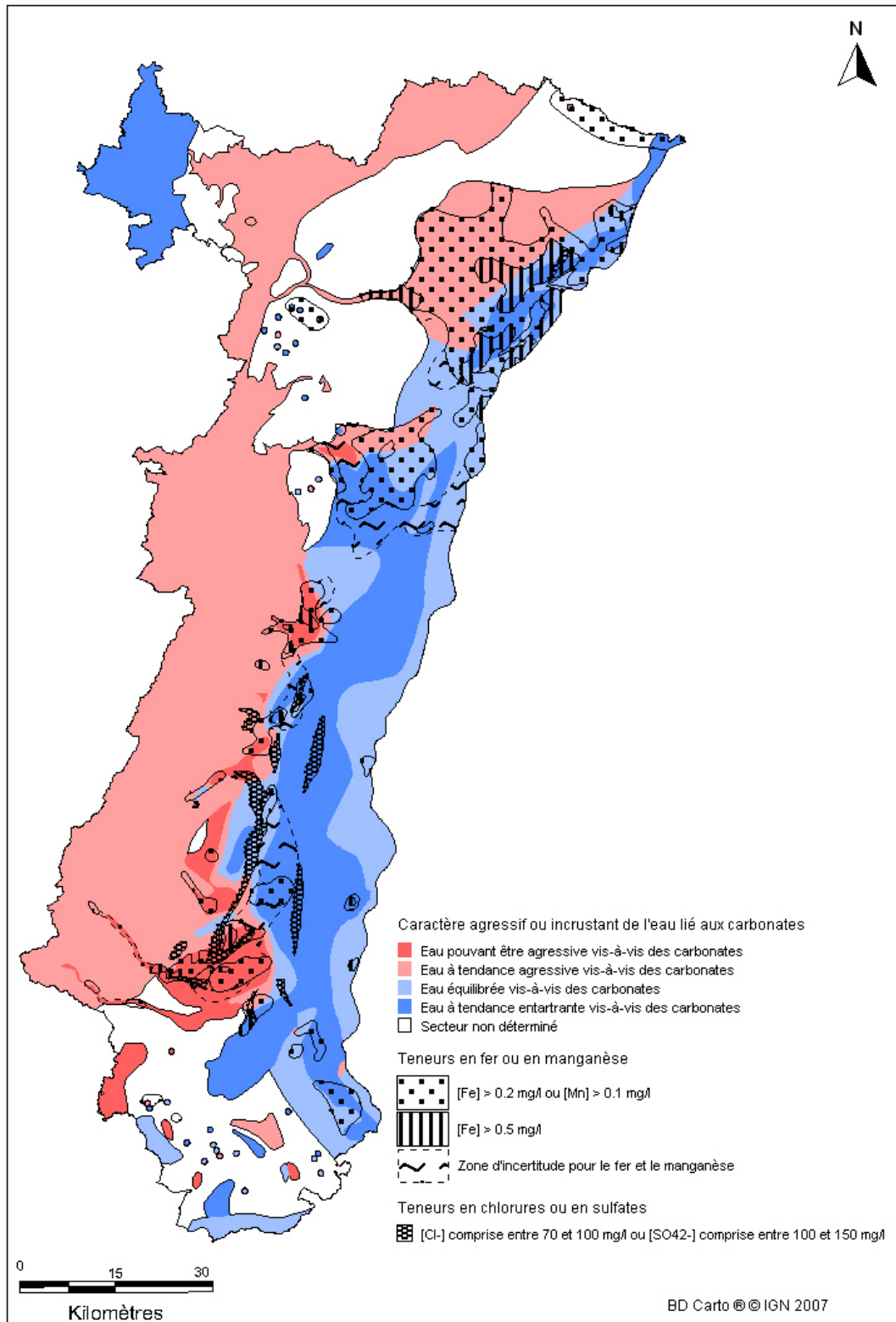


Figure 16 : Qualité des eaux souterraines.

- les teneurs en chlorures, sulfates, fer et manganèse. Les secteurs présentent les caractéristiques suivantes :
 - secteur 6 : secteur où la teneur en chlorures est comprise entre 70 et 100 mg/l ou celle en sulfates comprise entre 100 et 150 mg/l,
 - secteur 7 : secteur où la teneur en fer est supérieure à 0,2 mg/l ou celle en manganèse supérieure à 0,1 mg/l,
 - secteur 8 : secteur où la teneur en fer est supérieure à 0,5 mg/l,
 - secteur 9 : zone d'incertitude pour le fer et le manganèse.

À noter que :

- les eaux à forte teneur en chlorures et en sulfates entraînent des problèmes de corrosion,
- les eaux à forte teneur en fer et manganèse provoquent la précipitation de ces métaux et donc un colmatage des installations sous l'effet du pompage et du rejet.
- le respect des D.T.U. :
 - secteur où au moins une des conditions du D.T.U. n'est pas respectée pour l'utilisation en eau froide – eau hyperminéralisée,
 - secteur où au moins une des conditions du D.T.U. n'est pas respectée pour l'utilisation en eau froide – eau hypominéralisée,

Cette dernière sectorisation n'a pas été retenue du fait que les conditions D.T.U. ont probablement changé depuis la date de création des cartes Qualité des eaux souterraines.

Les contours des différents secteurs des deux cartes numérisées (Bas-Rhin et Haut-Rhin) ont été dessinés sous MapInfo (Figure 16). Cette opération a nécessité la création de trois tables. Les données de l'inventaire 1997 (G:\alsace\qualité\inventaires\Inventaires-qualite_APRONA.xls) ont été reportées sur les cartes afin de valider ou pas les contours des secteurs 6, 7 et 8 des cartes AQUAPAC. Ces données ne vérifient plus les contours des secteurs susmentionnés. Ces derniers vont être redessinés d'après les résultats des données de l'inventaire 2003.

3.3.7. Contraintes

Certaines zones du territoire sont soumises à des réglementations particulières concernant le prélèvement l'injection d'eau :

- périmètres de protection de captage d'eau potable :
 - périmètres de protection rapprochée,
 - périmètres de protection éloignée,
 - périmètres de protection des eaux minérales ;
- cimetière ;
- PLU.

Dépouillement à réaliser.

4. Région Bourgogne

4.1. SECTEUR D'ÉTUDE

Le secteur d'étude correspond à la totalité de la région Bourgogne, c'est-à-dire les quatre départements suivants (entre parenthèses, la surface du département en km²) :

- Côte-d'Or (8 763 km²), à l'est ;
- Nièvre (6 817 km²), à l'ouest ;
- Saône-et-Loire (8 575 km²), au sud-est ;
- Yonne (7 453 km²), au nord-ouest.

La surface totale de la région Bourgogne est de 31 608 km².

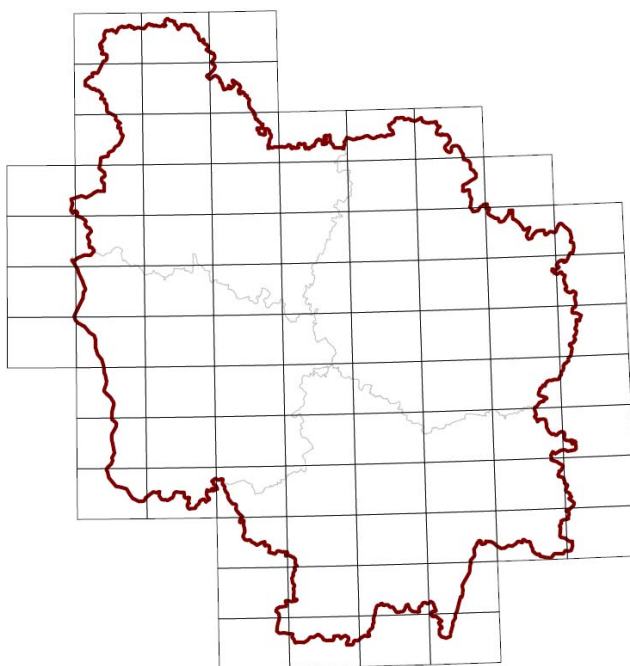


Figure 17 : Les quatre départements de Bourgogne et le découpage des feuilles au 1/50 000.

4.2. AQUIFÈRES CIBLES

Tous les aquifères de Bourgogne sont susceptibles d'être exploités pour un usage « géothermie très basse énergie », sauf :

- les aquifères de socle (granite et roches métamorphiques auxquelles on peut joindre les formations stéphano-permiennes des bassins de Blanzey-Le Creusot et

d'Autun) ; leurs ressources aquifères existent, mais les débits qu'elles peuvent fournir sont en général très faibles, de l'ordre du m³/h ; des débits plus importants peuvent être obtenus mais ils nécessitent une étude d'implantation du forage ;

- les zones argileuses, c'est-à-dire essentiellement les zones d'affleurement des marnes du Lias et de quelques autres : elles ne contiennent pas d'eau souterraine exploitable sauf dans les quelques niveaux calcaires ou gréseux qu'elles contiennent mais pour exploiter ces niveaux il faut aussi réaliser une étude d'implantation du forage.

Enfin, un autre aquifère n'est pas exploitable pour l'usage « géothermie basse-énergie », c'est l'aquifère captif des sables albiens. En effet, cet aquifère du bassin de Paris a été classé en zone de répartition des eaux par le décret n° 2003-869 du 11 septembre 2003, publié au JO n° 211 du 12 septembre 2003, page 15634, décret modifiant le décret n° 94-354 du 29 avril 1994.

Les unités aquifères affleurantes présentes en région Bourgogne sont les suivantes suivant le référentiel hydrogéologique français V1 (les unités notées en italiques sont celles qui ne renferment pas de ressources en eau souterraines suffisantes pour permettre un développement facile de la « géothermie très basse énergie » pour les raisons exposées au paragraphe précédent) :

- **29** : Sénonais ; aquifère de la craie entre Yonne, Seine et Vanne ;
- **30** : Pays d'Othe ; aquifère de la craie au sud de la Vanne ;
- **31** : Gatinais Nord-Est ; aquifère de la craie entre l'Yonne et le Loing, souvent karstifié ;
- **32** : Gatinais-Sud : système multicouche de la craie et des formations Paléo-Néogène entre l'Ouanne et la Loire ;
- **33** : Puisaye – Champagne humide : aquifère libre des sables albiens entre Loire et Marne ;
- **62** : Val de Loire – La Charité : aquifère du Jurassique moyen et supérieur en rive gauche de la Loire et de l'Allier généralement sous couverture semi-perméable des « Sables et argiles du Bourbonnais » (MioPliocène) ;
- **64** : Nivernais : aquifère du Jurassique moyen et supérieur entre Loire et Yonne ;
- **65** : Auxerrois ; Albien inférieur et Crétacé inférieur de l'Yonne à l'Armançon (alternance de marnes et de calcaires) ;
- **66** : Auxerrois : Albien inférieur et Crétacé inférieur de l'Armançon à la Seine (alternance de marnes et de calcaires) ;
- **71** : Tonnerrois Ouest entre Yonne et Armançon ; aquifères calcaires (Jurassique supérieur) souvent karstifiés et entrecoupés de quelques niveaux marneux ;
- **72** : Tonnerrois Est entre l'Armançon et la Seine ; aquifères calcaires (Jurassique supérieur) souvent karstifiés et entrecoupés de quelques niveaux marneux ;
- **77** : Chatillonnais - Plateau de Langres ; aquifère karstique du Dogger ;

- **98** : Seuil de Bourgogne Sud ; calcaires karstiques du Jurassique moyen avec intercalations marneuse (Bajocien supérieur) créant un bicouche ;
- **99** : Dijonnais ; calcaires souvent karstifiés du Jurassique supérieur, localement recouverts de formations tertiaires peu perméables (l'aquifère du Jurassique y est alors captif) ;
- **100** : Côte-d'Or ; calcaires karstifiés du Jurassique moyen et supérieur ;
- **101** : Auxonnais ; alluvions quaternaires de la plaine de Saône et de l'Ognon ;
- **102** : Plaine Saône-Doubs ; alluvions, sables, sables argileux et couches argileuses pouvant localement mettre les aquifères en charge ;
- **105** : *Bassin de Blanzay ; grés du Permien et arkoses du Stéphanien ;*
- **106** : *Autunois : aquifère du bassin permien d'Autun sous couverture partielle semi perméable de « Sables et argiles du Bourbonnais » ;*
- **174** : Bresse chalonnaise ; alluvions quaternaires des vallées et sables argileux, graviers, argiles des formations plio-quaternaires ;
- **175** : Bassin de Roanne – Charollais : système multicouche du Tertiaire et du Quaternaire de la vallée de la Loire entre Roanne et Dompierre-sur-Besbre ;
- **176** : Limagne : système multicouche du Tertiaire et du Quaternaire de la vallée de l'Allier entre Brioude et Saint-Pierre-le-Moutier ;
- **197** : Puisaye Sud-Ouest : aquifère des calcaires du Portlandien, sous couverture partielle de formations de l'Éocène, entre Cosne-sur-Loire et Tracy-sur-Loire ;
- **308** : alluvions de la Loire et de l'Allier ;
- **512** : marnes oxfordiennes du Châtillonnais ;
- **513** : Til ; bande de formations marneuses et calcaréo-marneuses de l'Oxfordien moyen à supérieur ;
- **516** : Kimméridgien supérieur marneux de la base de la Côte des Bars ;
- **519** : Brienne – Saint-Florentin : bordure Ouest de la Puisaye et de la Champagne humide entre Marne et Loire (base du Cénomaniens : prédominance marneuse) ;
- **521** : Auxerre et Chaource, entre Yonne et Seine ; sables albiens affleurant entre l'Yonne et la Seine ;
- **522** : Puisaye (Auxerre – Cosne) ; bordure nord-ouest du Nivernais (Kimméridgien supérieur au Barrémien inférieur : prédominance argileuse) entre la Loire et l'Yonne ;
- **536** : *Auxois ; domaine essentiellement argileux (argile du Lias) avec quelques niveaux calcaires et buttes témoins couronnées de calcaires du Dogger ;*
- **537** : *Bazois : bordure ouest du Morvan (formations argilo-marneuses du Keuper à l'Aalénien et grés rouges du Trias) ;*
- **538** : confluence Loire-Allier : formations à prédominance marneuses du Trias au Dogger avec quelques fossés d'effondrement à remplissage tertiaire (marnes et

calcaires lacustres) ; l'ensemble est presque partout recouvert de « Sables et argiles du Bourbonnais » ;

- **540** : Beaujolais – Mâconnais ; côtes calcaires avec alternances de couches calcaires et de couches argileuses ;
- **541** : Bresse louhannaise ; multicouche comprenant, d'une part des alluvions (Saône, Seille, Reyssouze, plaine de la Vallière) et, d'autre part les sables et graviers intercalés dans la série marneuse du Pliocène (« Marnes de Bresse ») ;
- **602** : Morvan ; socle de roches cristallines (granite et gneiss) avec quelques zones de formations volcano-sédimentaires ;
- **621** : série cristallophyllienne du Charollais ;
- **673** : batholite de granite de Luzy-Ouest ;
- **674** : batholite de granite de Luzy-Est ;
- **679** : massif granitique de Château-Chinon.

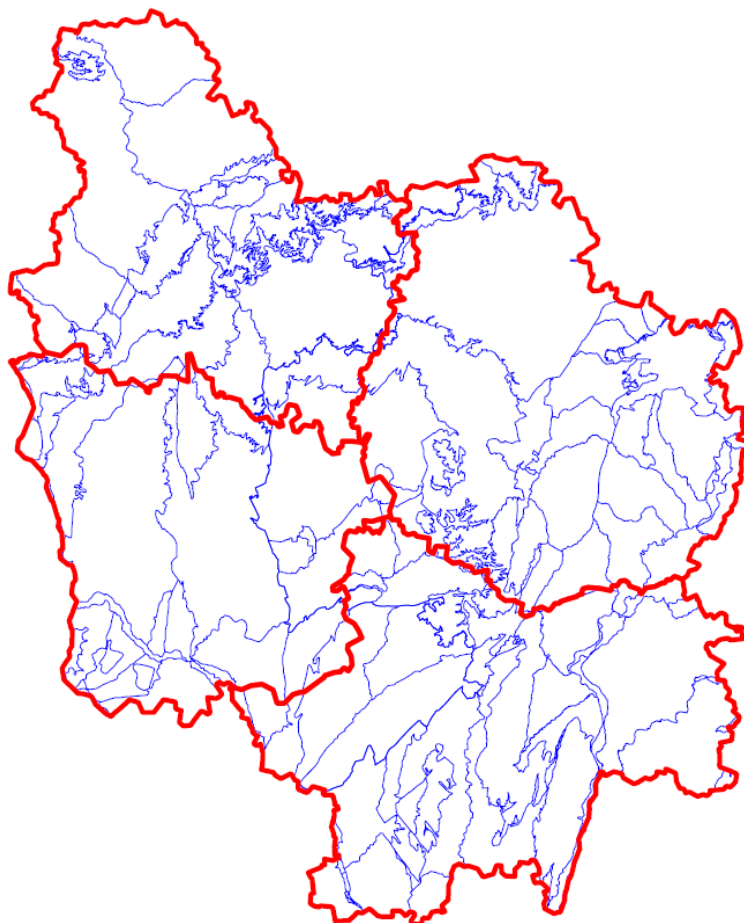


Figure 18 : Découpage des unités aquifères de la région Bourgogne suivant la BDRHFV1.

4.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES AU 9/12/2009

4.3.1. Collecte de l'information

Dans le cadre de ce projet, deux intérimaires ont été recrutés en même temps durant un mois et demi, plus précisément, le premier du 5/10/2009 au 20/11/2009 et le second du 5/10/2009 au 1/12/2009. Ils ont réalisé le travail de base, indispensable et incontournable pour la réalisation de l'atlas régional du potentiel géothermique, à savoir le dépouillement des données existantes et leur mise sous forme numérique. Ces deux intérimaires ont ainsi réalisé les travaux suivants.

a) Numérisation sous MAPINFO de toutes les cartes piézométriques anciennes sur support papier et de quelques autres cartes associées

Les cartes qui ont été ainsi numérisées sont les suivantes :

- carte piézométrique au 1/100 000 de la première nappe libre rencontrée depuis la surface du département de l'Yonne (rapport BRGM 83 SGN 011 BOU, 1983) → une couche MAPINFO ;
- carte piézométrique représentée sur la carte hydrogéologique au 1/50 000, feuille 402 (Auxerre) et concernant les aquifères libres de la craie, des sables albiens, des calcaires portlandiens et des alluvions (levés piézométriques de septembre 1966) → quatre couches MAPINFO ;
- carte piézométrique de l'aquifère de la craie du Pays d'Othe (Yonne) (Mémoire du BRGM n° 25, 1964), (levé piézométrique de hautes eaux : mars 1959, levé piézométrique de basses eaux : octobre 1959) → deux couches MAPINFO et une couche MAPINFO pour les points d'eau qui ont été utilisés pour ces levés piézométriques ;
- carte piézométrique de l'aquifère des calcaires jurassiques du bassin du Mardelon (Nièvre) (thèse de 3^{ème} cycle de Bernard Petitfils, soutenue à l'université d'Orléans en 1981), (levé piézométrique de février 1979) → une couche MAPINFO.

À ces cartes, on a ajouté les cartes piézométriques :

- des alluvions de la Saône (rapport BRGM 74 SGN 028 JAL, 1974 ; levé piézométrique d'octobre 1969) ;
- de la plaine Saône-Doubs (rapport BRGM 69 SGN 055 JAL, 1969, levé piézométrique de septembre 1967) ;
- et de la nappe superficielle de la Tille (rapport BRGM 74 SGN 352 JAL, 1974 ; levé piézométrique de novembre 1973) ;

qui avaient déjà été numérisées dans le cadre de l'opération « Synthèse hydrogéologique du bassin Rhône-Méditerranée » en une seule couche MAPINFO.

Les zones couvertes par ces différentes cartes piézométriques maintenant numérisées est données par la figure 19 ci-après.

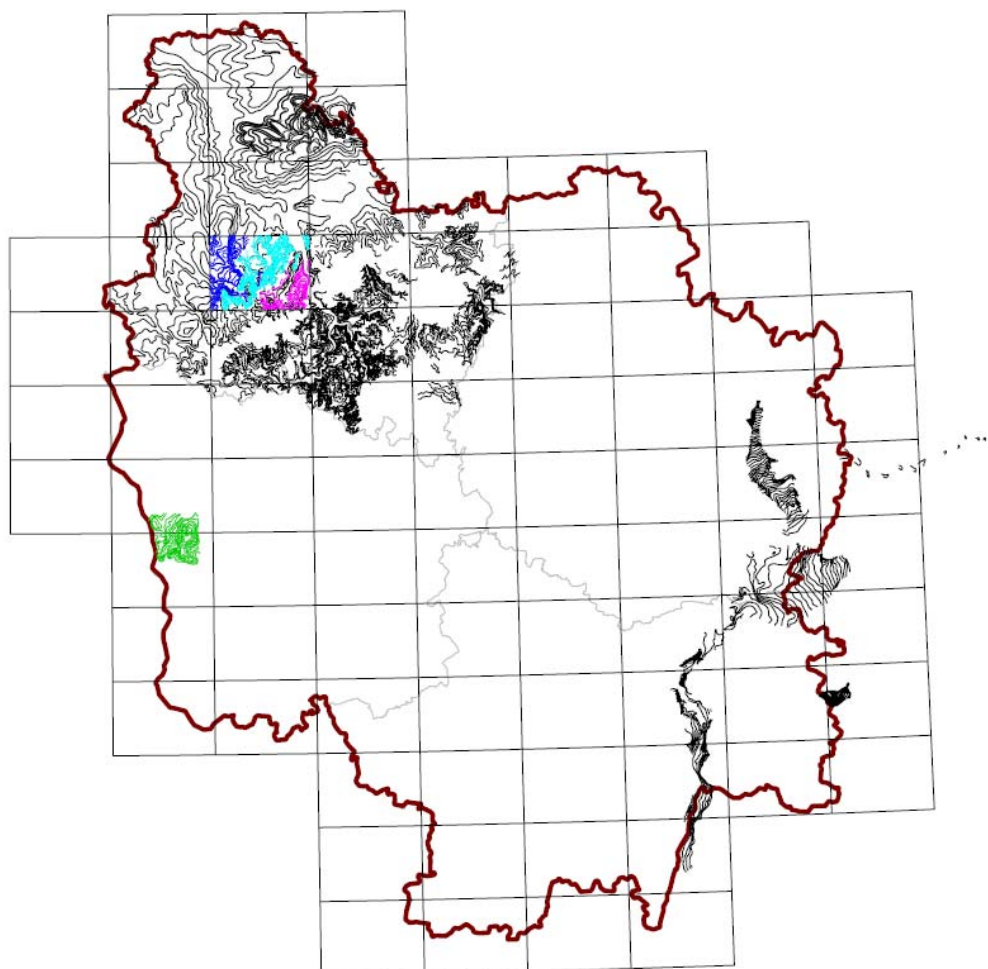


Figure 19 : État des cartes piézométriques numérisées en région Bourgogne.

Pour le pays d'Othe, une carte de la température de l'eau de l'aquifère de la craie a aussi été numérisée. Elle est issue du même document que les cartes piézométriques du pays d'Othe (Mémoire du BRGM n° 25, 1964) ; les mesures de températures ont été faites début mars 1959 ; → deux couches MAPINFO, une pour les courbes d'égale température et une pour les points de mesures.

b) Extractions informatiques de tous les points d'eau BSS de la région Bourgogne possédant une valeur de niveau d'eau

Ces extractions ont été faites par département et sous MAPINFO ; elles ont donc données lieux à quatre couches MAPINFO ; les données extraites sont celles présentes dans le dossier enveloppe de chaque point, c'est-à-dire, entre autres :

- profondeur de l'eau/sol ;
- date de la mesure du niveau d'eau ;
- altitude au sol de l'ouvrage ;

- nature de l'ouvrage ;
- date de réalisation de l'ouvrage ;
- profondeur de l'ouvrage ;
- etc.

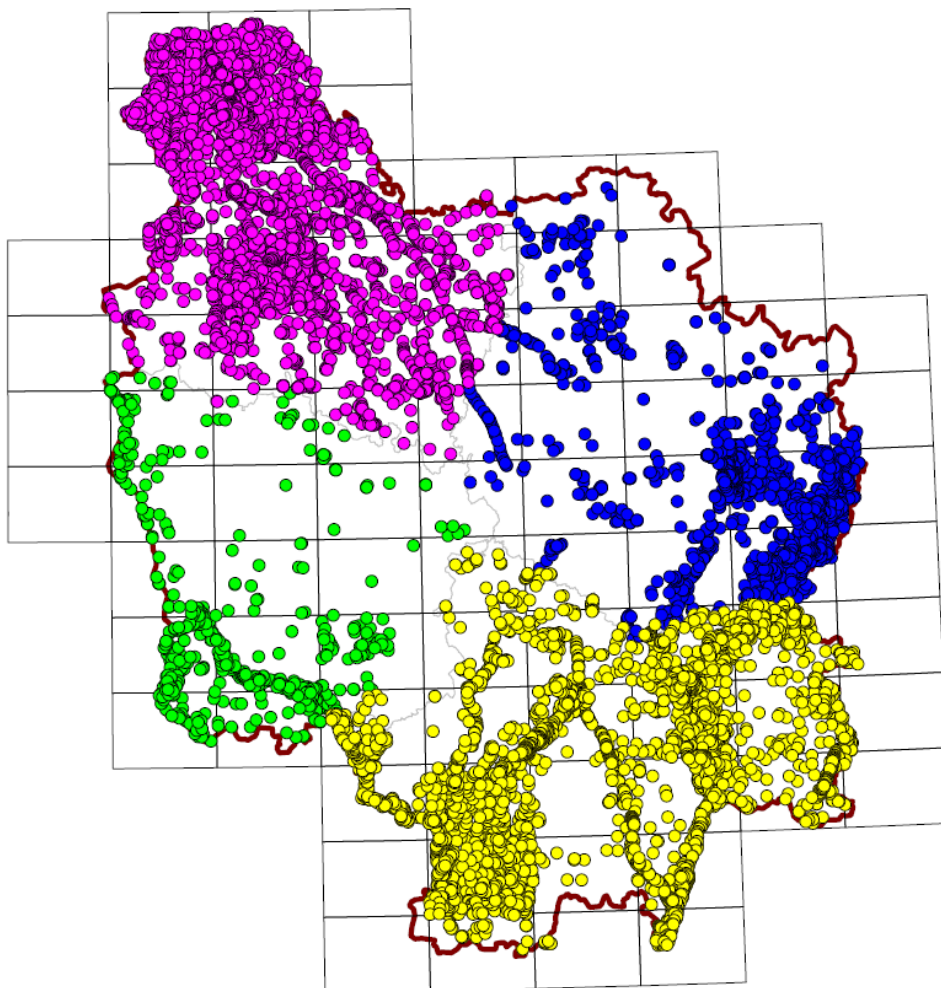


Figure 20 : Répartition des points BSS comportant une valeur de niveau d'eau en région Bourgogne.

Les nombres de dossiers concernés, par départements, sont donnés au tableau ci-dessous.

Département	Nombre total de dossiers BSS	Nombre de dossiers BSS avec un niveau d'eau
Côte-d'Or	6 020	2 128
Nièvre	2 942	601
Saône-et-Loire	7 701	1 879
Yonne	5 574	3 907

Tableau 9 : Nombres de dossiers BSS par département en région Bourgogne.

La figure 20 donne pour les quatre départements de la région Bourgogne la répartition des points BSS ainsi retenus (point BSS avec un niveau d'eau).

c) Dépouillement de la BSS papier

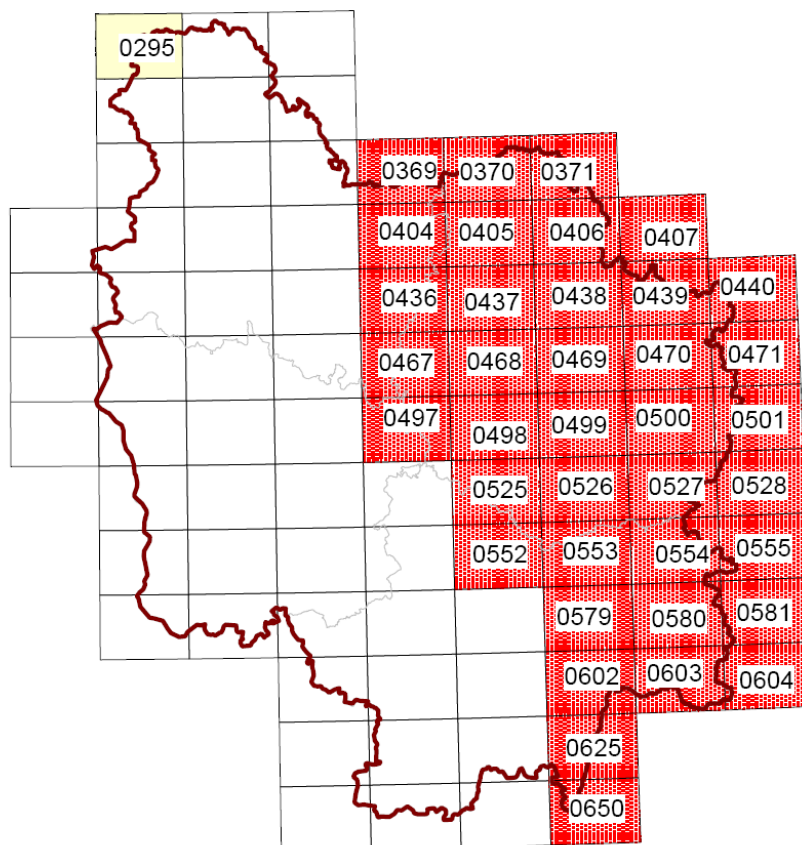


Figure 21 : État d'avancement du dépouillement de la BSS papier en région Bourgogne au 9/12/2009.

(en rouge les feuilles totalement dépouillées et en jaune les feuilles en cours de dépouillement).

Le dépouillement de la BSS papier a pour but de récupérer les données de la BSS concernant l'eau souterraine mais qui ne sont pas informatisées, c'est-à-dire essentiellement les données relatives aux pompages d'essai et à la physico-chimie de l'eau. Le dépouillement a consisté à noter et à saisir en un fichier EXCEL les données suivantes pour tous les dossiers BSS (certaines des données ci-dessous figurent sur le dossier enveloppe de l'ouvrage et sont donc déjà informatisées mais elles ont quand même été notées par précaution) :

- caractéristiques de l'ouvrage (nature, profondeur, date de réalisation, usage, cote au sol, nature du repère et cote du repère par rapport au sol, etc.) ;
- débit en pompage d'essai avec le niveau statique avant l'essai et sa date et le niveau en fin de pompage ou la valeur du rabattement et sa date ainsi que la durée de l'essai (si le dossier comporte plusieurs pompages d'essai, ce sont les valeurs de

d'essai le plus long qui sont prises en compte), éventuellement les paramètres hydrodynamiques (transmissivité et coefficient d'emménagement) ;

- caractéristiques de l'eau ; conductivité, résidu sec et température avec les dates des mesures.

1 290 ouvrages ont ainsi été consultés, ce qui représente, en nombre de dossiers BSS, un peu plus de 1 000 (en effet, il peut y avoir, en un petit nombre de cas, plusieurs ouvrages dans un même dossier BSS : cas de certains champs captant). Ce travail de dépouillement n'est pas totalement achevé. Environ la moitié de la région Bourgogne a été dépouillée. La figure ci-dessus donne l'état d'avancement du dépouillement par feuilles au 1/50 000.

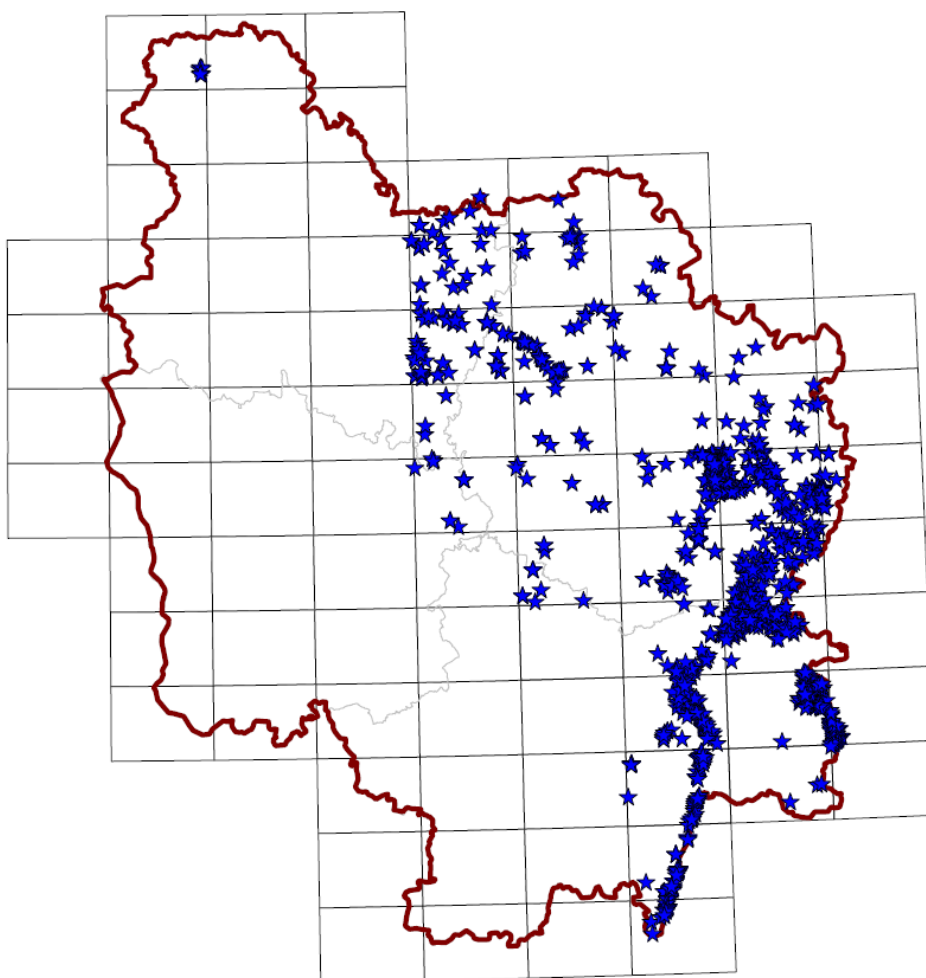


Figure 22 : Répartition des points BSS avec débit ou physico-chimie de l'eau dans la partie de la région Bourgogne dépouillée au 9/12/2009.

Par ailleurs, dans certains dossiers figuraient des chroniques piézométriques sur papier (en général une mesure de niveau piézométrique par mois durant un ou deux

ans et ce, dans les années 1960). Ces chroniques ont été saisies sous EXCEL (un fichier par chronique) ; 81 chroniques piézométriques ont ainsi été saisies.

d) Dépouillements anciens de la BSS papier

Dans les années 1990, des dépouillements de la BSS papier ont été réalisés dans le cadre d'opérations de synthèses hydrogéologiques. Ils consistaient à récupérer, par ouvrage, les données de pompages d'essai, les caractéristiques de l'ouvrage et les caractéristiques hydrogéologiques (profondeur du niveau aquifère productif, caractéristiques physico-chimiques de l'eau, notamment température et conductivité, etc.). Ces dépouillements avaient déjà été saisis sous EXCEL (seuls les plus anciens n'existaient que sous forme de tableaux papier : ils ont été ressaisis sous EXCEL). Ces dépouillements BSS papier anciens complètent utilement le dépouillement actuel. On en donne la liste ci-dessous :

- aquifère des sables albiens libre et captif du département de l'Yonne (rapport BRGM R-38523, octobre 1995) : 57 ouvrages dont 37 avec un débit ;
- captages d'AEP du département de l'Yonne (rapport BRGM R-40030, mai 1998) : 372 ouvrages dont 149 avec un débit ;
- aquifères des calcaires jurassiques du département de l'Yonne (bassin de l'Armançon et Vézélien), (rapports BRGM 87 SGN 555 BOU d'octobre 1987 et R-38524 de mars 1998) : en tout environ une trentaine d'ouvrages dont la moitié environ avec soit un débit, soit une température ;
- aquifères des calcaires jurassiques du Nivernais (rapport BRGM R-39291, mars 1997) : 417 ouvrages dont 92 avec un débit ;
- aquifères alluviaux du sud-ouest de la Saône-et-Loire (alluvions de la Loire, de l'Arroux, de la Bourbince et de l'Arconce) (rapport BRGM R-39562, juin 1997) : 266 ouvrages dont 44 avec un débit ;
- l'irrigation dans le département de l'Yonne (rapport BRGM R-32490 BOU 4S 91, juin 1991) : 35 ouvrages dont 17 avec un débit.

On a aussi saisi sous EXCEL le tableau des mesures physico-chimiques des eaux souterraines de la feuille au 1/50 000 d'Auxerre, données issues de la notice de la carte hydrogéologique au 1/50 000 d'Auxerre, 24 points (mesures réalisées en septembre 1966).

4.3.2. Grille SIG

La grille SIG pour l'ensemble de la région Bourgogne a été générée sous MAPINFO. Chaque maille a 500 m de côté et l'ensemble de la région Bourgogne en compte environ 130 000.

4.4. RESTE À FAIRE AU 9/12/2009

Ce qui reste à faire au 9/12/2009 et qui sera à faire en 2010, puisqu'en Bourgogne les intérimaires ont fini leur mission, est listé ci-dessous :

- achever le dépouillement de la BSS papier, soit la moitié de la région Bourgogne ;
- homogénéiser les formats des différents fichiers EXCEL de dépouillement (notamment les fichiers des dépouillements anciens) puis faire des tables MAPINFO à partir de ces fichiers de dépouillement ;
- pour la table MAPINFO du dépouillement total, déterminer l'aquifère capté par l'ouvrage (pour les fichiers des dépouillements anciens, cette détermination est déjà faite) par superposition à la couche MAPINFO de BDRHFV1 et contrôles avec la profondeur des ouvrages ;
- éclater les tables MAPINFO en tables pour les débits et tables pour la physico-chimie de l'eau (température et conductivité) et contrôles divers dans ces fichiers.

Une fois ces différentes étapes réalisées, la construction proprement dite de l'atlas Bourgogne pourra être réalisée.

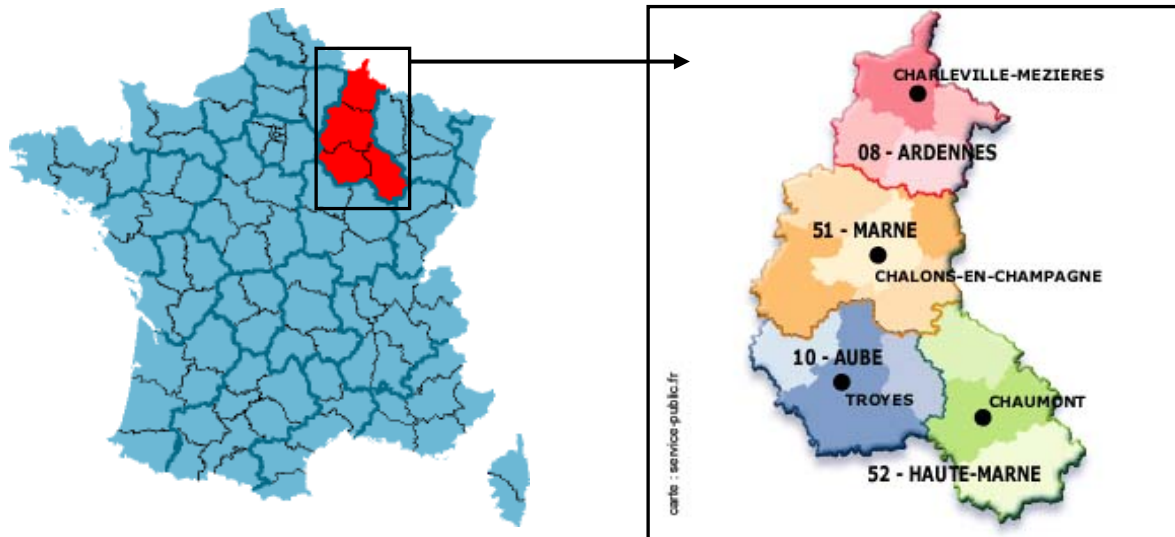


Figure 23 : Localisation de la région Champagne-Ardenne.

5. Région Champagne-Ardenne

5.1. SECTEUR D'ÉTUDE

La région Champagne-Ardenne se situe au nord-est de la France. Elle possède une frontière commune avec la région wallonne (Belgique). Elle est composée de quatre départements : les Ardennes, la Marne, l'Aube et la Haute-Marne (Figure 23).

Cette région s'étend sur une superficie de 25 638 km² (Tableau 10).

	Superficie (km ²)	% de la surface totale
Ardenne	5 227	20,4
Marne	8 164	31,8
Aube	6 009	23,4
Haute Marne	6 238	24,3
Total	25 638	100

Tableau 10 : Superficie des départements de la Champagne-Ardenne.

5.2. AQUIFÈRES CIBLES

La géothermie très basse énergie concerne l'exploitation de deux types de ressources : l'énergie naturellement présente dans le sous-sol à quelques dizaines, voire des centaines de mètres et dans les aquifères qui s'y trouvent. Elle est définie par l'exploitation d'une ressource présentant une température inférieure à 30 °C et à faible profondeur, donc d'accès facile, mais qui nécessite l'utilisation de pompes à chaleur. L'objectif de cette étude est donc d'identifier les aquifères de la Champagne-Ardenne susceptibles d'être exploités pour un usage « géothermie très basse énergie ».

Le tableau 11 fournit la liste des aquifères identifiés par la synthèse hydrogéologique régionale en Champagne-Ardenne effectuée pour le projet BDLisa anciennement BDRHF V2 (Rapport BRGM/RP-57517-FR de décembre 2009 – en cours).

Ces 22 aquifères présentent un critère important pour l'utilisation géothermique, à savoir la facilité d'accès à cette ressource de part leur affleurement qui s'étend à travers toute la région de la Champagne-Ardenne (Figure 24).

Désignations		Caractéristiques					
Nom	Code	Format numérique	Sous recouvrement	Affleurement	Descriptif succinct	Superficie (km ²)	Pourcentage de la superficie régionale
Sables de Fontainebleau	F10C	oui	non	oui	Sables, nappe libre	29,34	0,11
Calcaires de Brie	F10F	oui	oui	oui	Craie, nappe libre/captive, faibles débits d'exploitation	695,2	2,71
Calcaire de Champigny	F30X	oui	oui	oui	Craie, nappe libre/captive, débits d'exploitation importants	1 104	4,31
Sables et calcaires du Bartonien	F30G	oui	oui	oui	Sables/craie, nappe libre/captive, faibles débits d'exploitation	1 188	4,63
Calcaires grossiers du Lutétien et Sables de l'Yprésien	F30N	oui	oui	oui	Sables/craie, nappe libre/captive, débits variant de faibles à 50 m ³ /h	1 584	6,18
Sables du Thanétien (Paléocène)	F40A	oui	oui	oui	Sables, nappe libre/captive, faibles débits d'exploitation	1 927	7,52
Craie du seno-turonien	F40G	oui	oui	oui	Craie, nappe libre/captive, débits variant de quelques m ³ /h à 300 m ³ /h	6 453	25,17
Craie marneuse du Turonien au Cénomanien	F40I	oui	oui	oui	Craie, marnes, nappe libre/captive, faibles débits d'exploitation	11 460	44,70
Gaize du Cénomanien	F50D	oui	oui	oui	Marnes, argiles, sables, gaizes, nappe libre/captive, débits d'exploitation principalement très faibles	12 050	47,00
Sables et gaizes de l'Albien	F60A	oui	oui	oui	Sables, gaizes, nappe libre/captive, débits d'exploitation moyen	14 630	57,06
Sables du Néocomien	F60E	oui	oui	oui	Sables, grès, calcaires, argilites, nappe libre/captive, débits d'exploitation variables	15 870	61,90
Calcaires du Tithonien	F9ABC DK	oui	oui	oui	Calcaires, nappe libre/captive, débits d'exploitation instables	16 950	66,11
Calcaires supérieurs du Kimméridgien au Callovien	F75A	oui	oui	oui	Calcaires, nappe libre/captive, débits d'exploitation moyens et très variables	18 470	72,04
Calcaires inférieurs du Kimméridgien au Callovien	F75F	oui	oui	oui	Calcaires récifaux, oolithiques et marneux, nappe libre/captive, débits variant de faibles à moyens	19 180	74,81
Calcaires du Dogger (Bathonien-Callovien)	F85A	oui	oui	oui	Calcaires, marnes, nappe libre/captive, débits d'exploitation importants	21 260	82,92
Calcaires de l'Aalénien-Bajocien	F85G	oui	oui	oui	Calcaires, nappe libre/captive, débits d'exploitation importants	22 510	87,80
Calcaires et grès du Domérien	F90C	oui	oui	oui	Calcaires, grès, argiles, nappe libre/captive, débits d'exploitation faibles	23 260	90,72
Grès Rhétien	F95U	oui	oui	oui	Grès, argiles, nappe libre/captive, débits d'exploitation importants	17 970	70,09
Dolomies et argiles du Lettenkohle	F95C	oui	oui	oui	Calcaires dolomitiques, schistes, nappe libre/captive, débits d'exploitation moyens à faibles	5 226	20,38
Calcaires du Muschelkalk supérieur	F95E	oui	oui	oui	Calcaires, dolomies, marnes, nappe libre/captive, débits d'exploitation importants	7 628	29,75
Grès de Buntsandstein	F95I	oui	oui	oui	Grès, nappe libre/captive, débits d'exploitation importants	10 170	39,67
Socle des Ardennes	S01A	oui	oui	oui	Calcaires, grès, schistes, nappe libre/captive	25 640	100,00

Tableau 11 : Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles –
Région Champagne-Ardenne.

(source : BDLisa anciennement BDRHF-V2)

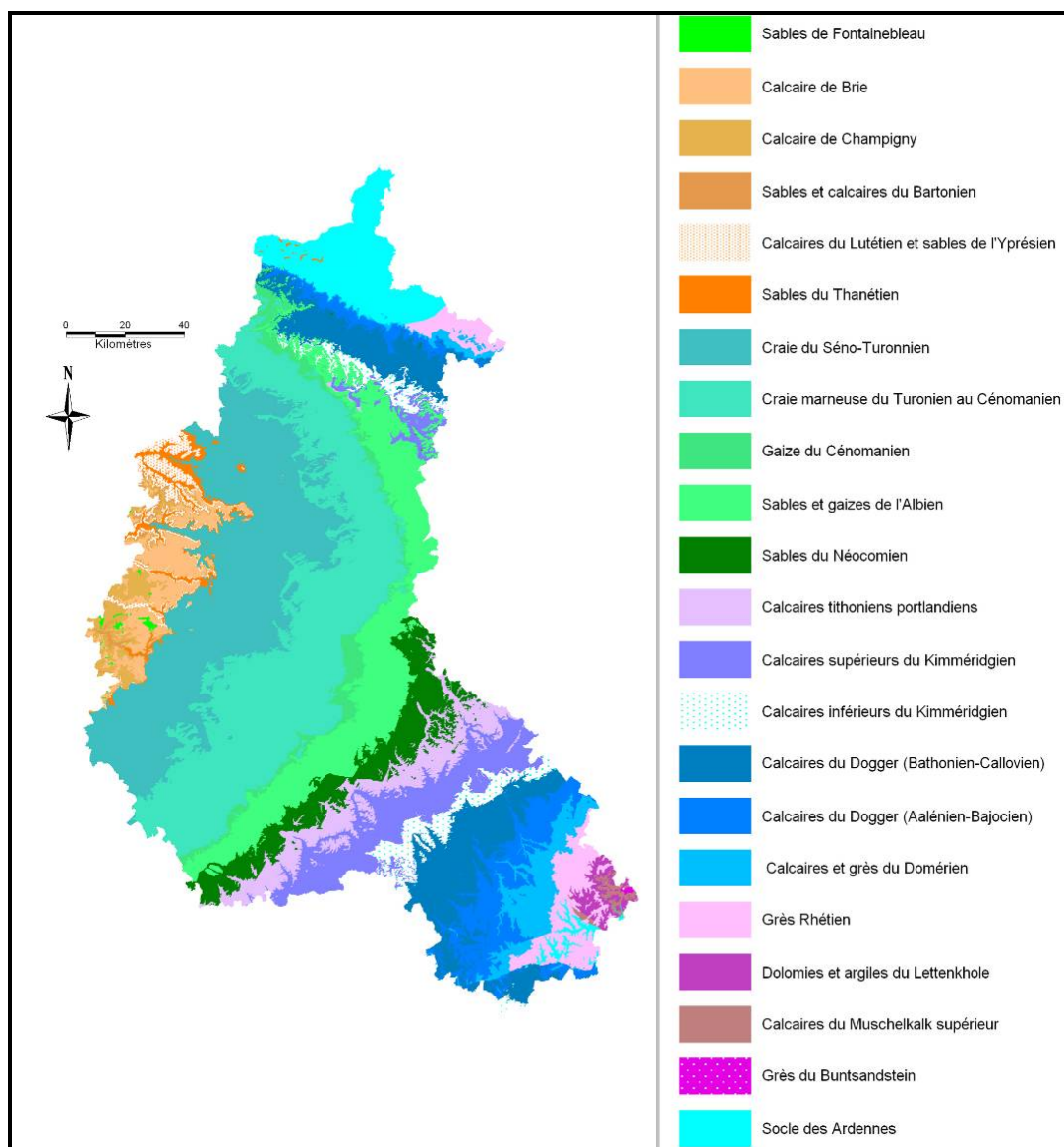


Figure 24 : Carte d'affleurement des aquifères de la région Champagne-Ardenne.

5.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES

5.3.1. Planification du travail et organisation de la collecte d'information

Le travail de collecte et d'organisation des données disponibles en Champagne-Ardenne a été réalisé au sein du BRGM SGR/CHA entre le 5 octobre et le 24 décembre 2009. Les résultats sont toujours en cours de traitement et resteront partiels étant donné le temps très court imparti pour la réalisation de cette opération (tableau synthétique en annexe 1).

La grille de travail a été créée au format MapInfo. Elle est composée de 102 978 mailles de 500 x 500 m.

Les champs définis sont :

- identifiant maille ;
- identifiant colonne ;
- identifiant ligne ;
- X_ centre maille (en Lambert II étendu) ;
- Y_ centre maille (en Lambert II étendu) ;
- région ;
- département ;
- commune ;
- numéro INSEE de la commune ;
- altitude (actuellement en cours de réalisation).

5.3.2. Critère « Productivité d'aquifère »

La majorité des données de débits proviennent de la consultation des dossiers BSS. Sur les 24 443 dossiers BSS disponibles au BRGM SGR/CHA, seulement 1 847 dossiers (7,5 %) renseignent sur un **essai de pompage**. À ce jour, 480 dossiers ont été consultés, 335 seulement présentent des données exploitables sur des essais de pompage, ce qui représente 70 %.

Cependant il faudra tenir compte lors de l'interprétation globale (étude statistique) du niveau de qualité de certaines mesures ou de certaines interprétations des essais de pompage. Par exemple, certains rapports ne précisent pas si les mesures de débits effectuées ont été réalisées avant ou après acidification de l'ouvrage, ce qui pourrait conduire à une surestimation des valeurs relevées.

En revanche, les données sur les **paramètres hydrodynamiques** (perméabilité, transmissivité, coefficient d'emmagasinement), figurent très rarement dans les dossiers BSS (seulement une cinquantaine sur les 480 dossiers dépouillés jusqu'à présent), ce qui montre la nécessité d'analyser chaque dossier BSS dans le détail. Pour ce qui concerne les **paramètres hydrochimiques**, la collecte des données permet d'obtenir, dans plus de la moitié des cas, le pH de l'eau, sa conductivité, sa dureté totale (TH), son titre alcalimétrique complet (TAC) et sa concentration en fer, autant de spécificités de l'eau importantes pour son utilisation géothermique.

Il apparaît au terme de l'opération effectuée entre octobre et décembre 2009 que la « simple » consultation des dossiers BSS ne pourra pas suffire à collecter l'information nécessaire à la réalisation de cartes détaillées. Il sera nécessaire de consulter toute la documentation disponible au BRGM et auprès d'autres organismes (administrations, collectivités, hydrogéologues agréés, bureaux d'étude...).

La Figure 25 regroupe l'ensemble des points BSS disposant d'informations intéressantes dans le cadre du projet.

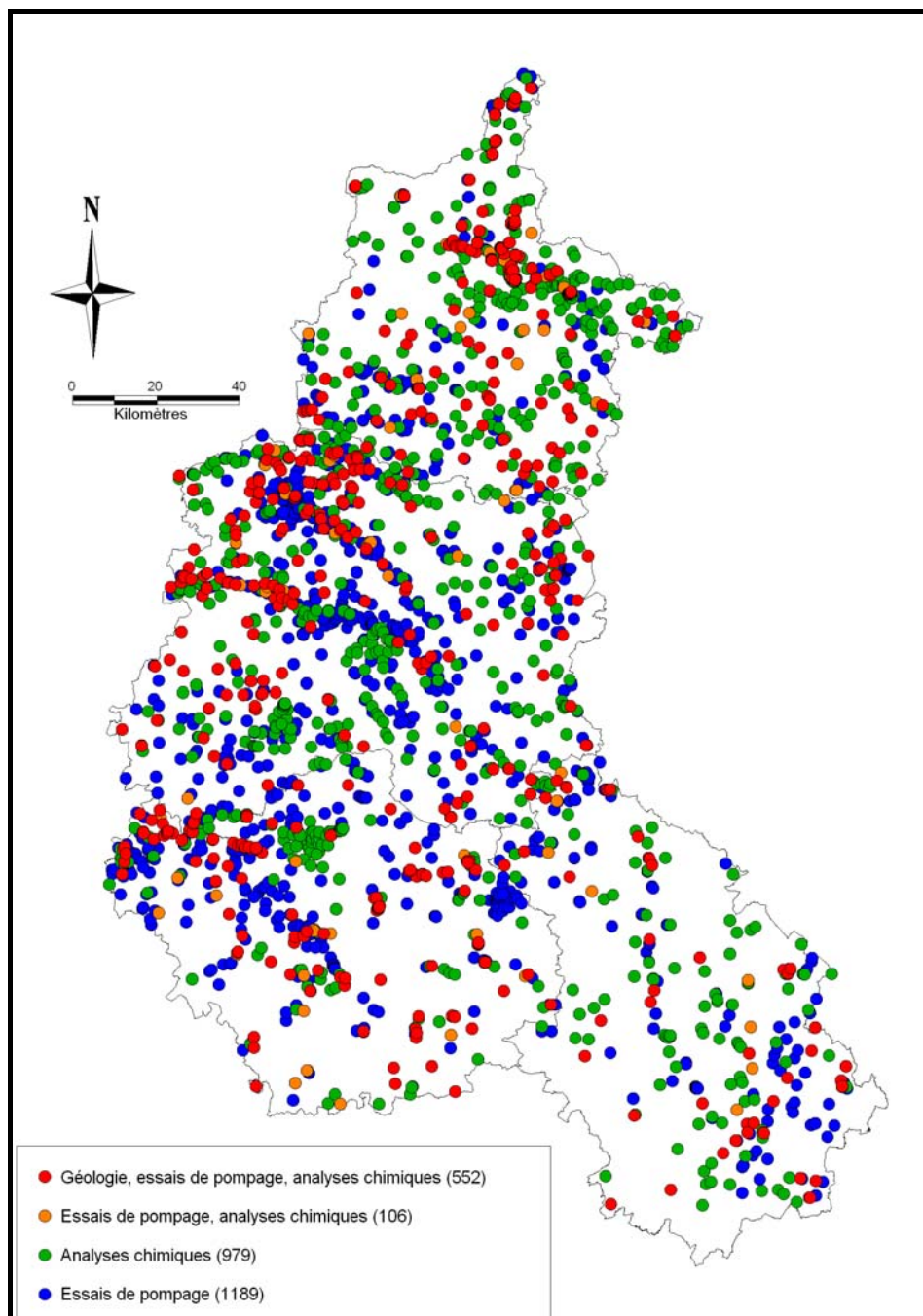


Figure 25 : Carte de répartition de points d'eau ayant fourni des données.

Ces points BSS ont été sélectionnés en fonction du type d'information disponible, en effectuant des requêtes sur la base de données. Le problème reste le rattachement de chaque donnée à un aquifère car la base de données ne permet pas à ce jour cette

opération. Il faudra la réaliser sur la base de la cartographie (fond cartographique BDLisa) et de l'interprétation des coupes techniques de forage ou des logs géologiques.

5.3.3. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »

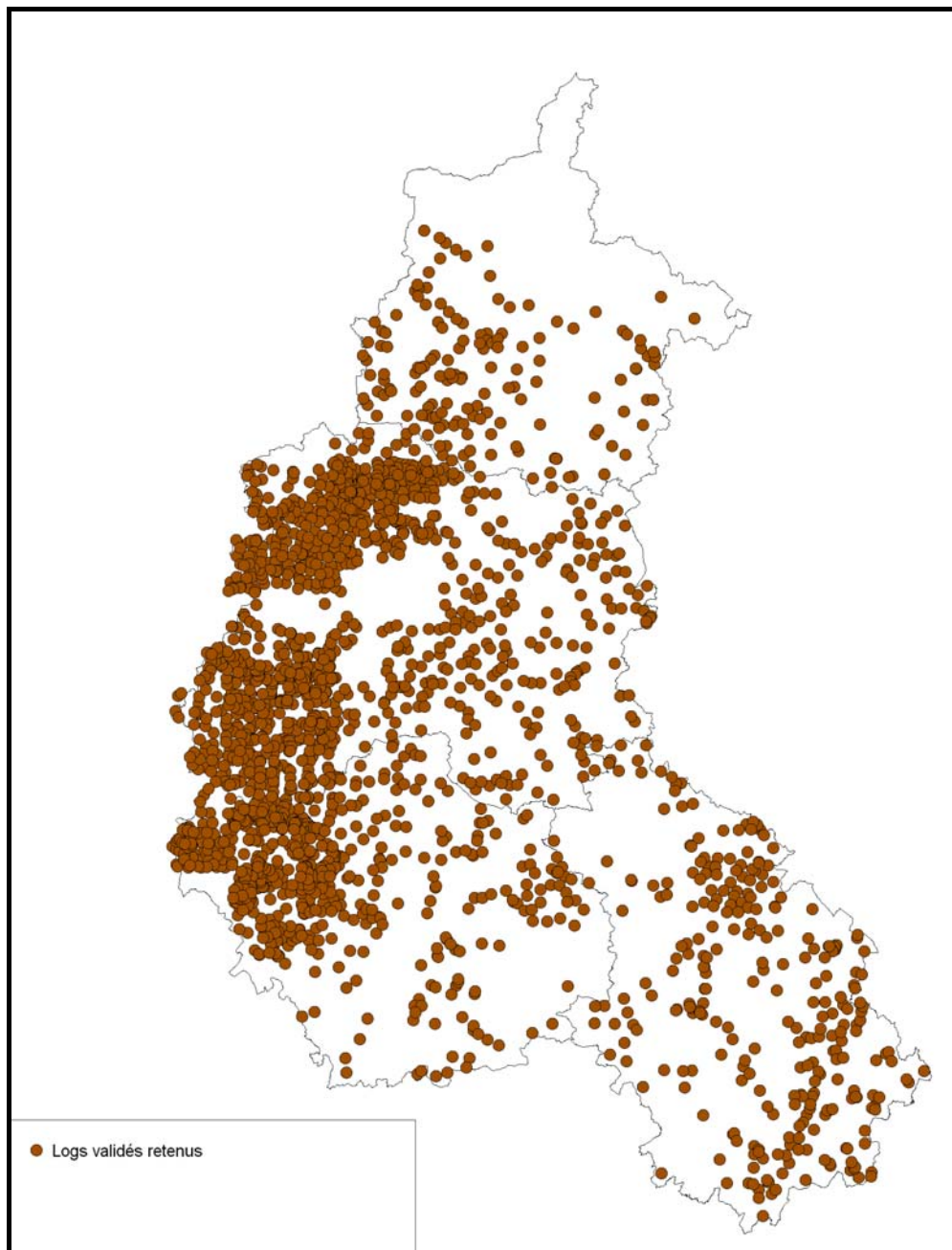


Figure 26 : Carte de répartition des logs validés.

Les données de base nécessaires à la description du critère « profondeur d'accès à la ressource » sont les données de topographie, de géométrie des formations géologiques (toit et mur des formations géologiques) et de piézométrie. Elles permettront l'évaluation de la profondeur des nappes (piézométrie pour les aquifères libres et profondeur du toit de l'aquifère dans le cas d'un aquifère captif).

La Figure 26 ci-contre présente les logs validés retenus pour la détermination des profondeurs des différents aquifères.

Ces points ont été retenus, car ils présentent un log géologique validé par un géologue du BRGM dans le cadre d'un programme de validation nationale. De plus, les différents horizons différenciés ont permis une interpolation de l'extension des différentes formations aquifères.

Néanmoins, on remarque l'absence de logs sur les aquifères composés par les grès de Buntsandstein et le socle des Ardennes.

De même, nous ne disposons actuellement que de la carte piézométrique de l'aquifère de la craie du Turonien (format numérique). Il faudra donc tenter d'en produire de nouvelles en fonction des données obtenues par la bibliographie afin de connaître au mieux les profondeurs d'accès aux ressources de ces différents aquifères.

5.3.4. Critère « Température de la ressource »

Les données de température extraites à ce jour proviennent de la banque nationale sur les eaux souterraines ADES (<http://www.ades.eaufrance.fr/>), mais lors du dépouillement des données BSS, les valeurs de températures présentes ont également été recensées, et viendront compléter par la suite la banque de données existante.

Pour l'instant, 911 données de température ont été recensées à travers toute la région (Figure 27).

Cependant, sur ces 911 valeurs, seules 507 ont une charge hydraulique renseignée ou une profondeur d'ouvrage qui permettra par extrapolation, de connaître l'aquifère capté. Il faut tout de même garder à l'esprit que pour réellement identifier l'aquifère capté, il est nécessaire de connaître la profondeur des crépines, critère aussi relevé lors du dépouillement des dossiers BSS.

Les 507 valeurs de température sont représentées dans les deux graphiques suivants : le premier représente la température de l'eau en fonction de la profondeur de l'ouvrage (Figure 28) et le second représente la température de l'eau en fonction de la charge hydraulique (Figure 29).

Il s'agit pour la majorité de captages AEP dont la qualité de l'eau est très surveillée.

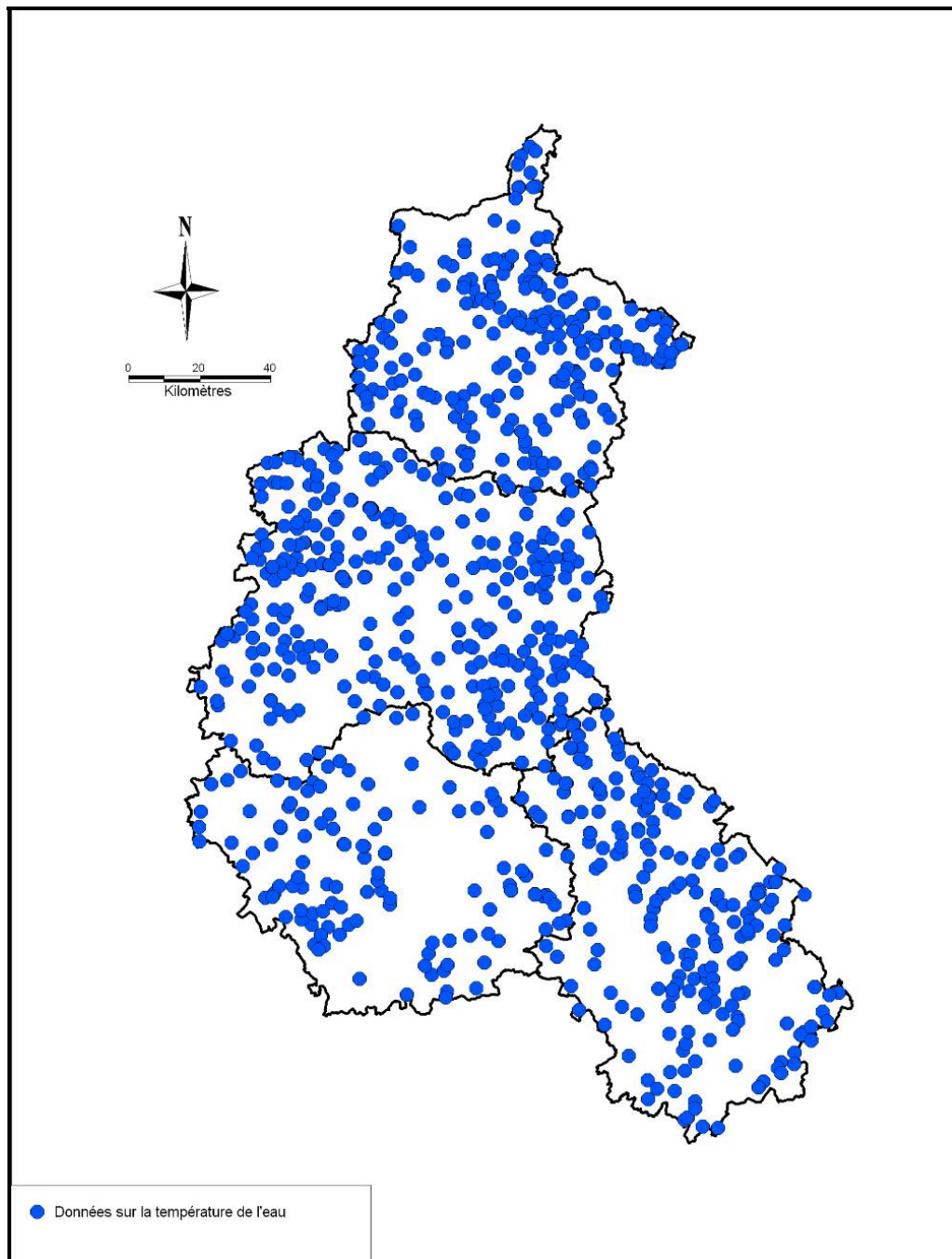


Figure 27 : Localisation des données sur la température de l'eau.

Des valeurs extrêmes devront être écartées en raison de doutes sur leur qualité. Il s'agit de températures inférieures à 8 °C ou supérieures à 15 °C, ces mesures étant probablement influencées par les températures extérieures saisonnières.

Néanmoins, on peut remarquer à travers ces deux graphiques, que les températures moyennes de l'eau sont majoritairement comprises entre 10 et 12 °C.

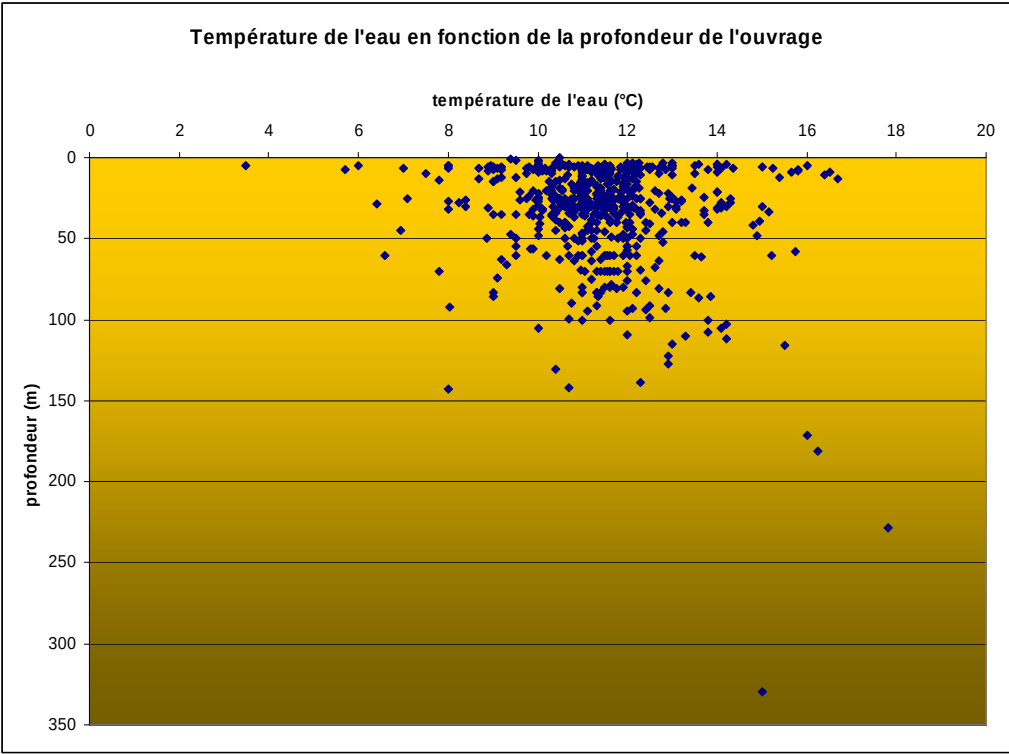


Figure 28 : Répartition de la température de l'eau en fonction de la profondeur de l'ouvrage.

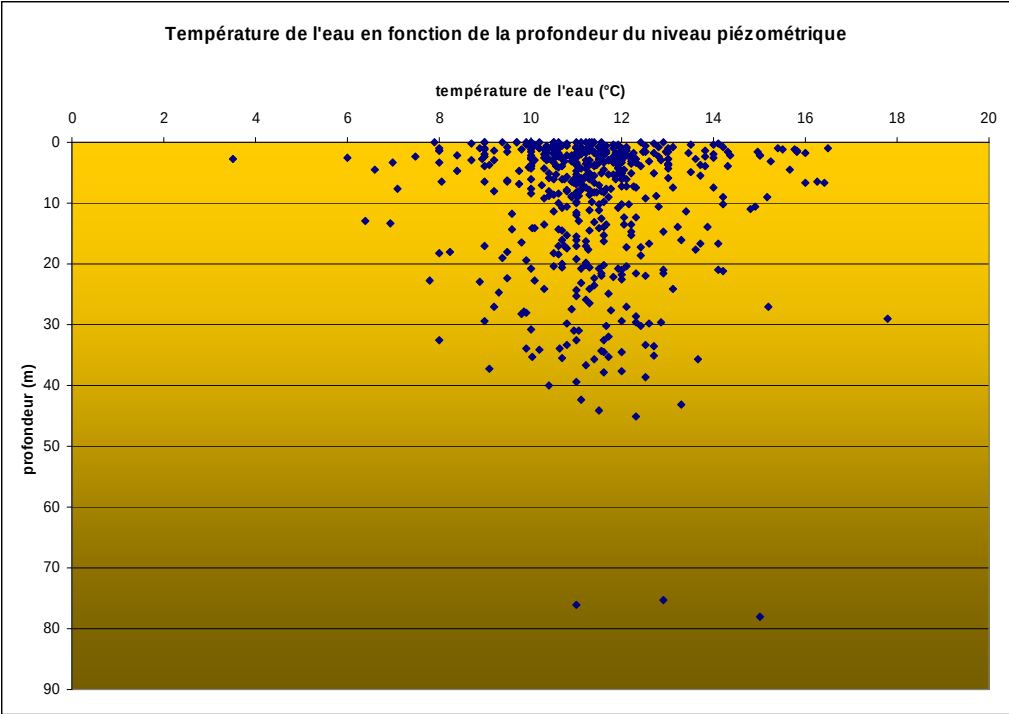


Figure 29 : Répartition de la température de l'eau avec la profondeur (exemple Picardie).

5.3.5. Problèmes rencontrés

- Problème de correspondance des cartes vectorisées, ce qui limite la fiabilité de l'extension des aquifères.
- Manque de précision sur les profondeurs des différentes données telles que les profondeurs de crépine, afin de connaître l'aquifère capté, la profondeur de la mesure de température, afin de savoir si elle a pu être influencée par l'extérieur...
- Lenteur du dépouillement des dossiers BSS qui se fait fiche par fiche.
- Manque important de données sur les paramètres hydrodynamiques des aquifères, tels que la perméabilité, la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement.

6. Région Languedoc-Roussillon

6.1. SECTEUR D'ÉTUDE

Pour cette région, trois départements sont concernés par le PNIGRA : Aude, Lozère, Pyrénées-Orientales. Les départements de l'Hérault et du Gard ne relèvent pas du PNIGRA *sensu stricto*, car les atlas du potentiel géothermique des aquifères de ces départements ont été réalisés dans le cadre de projets distincts. Ils ont seulement été intégrés à une démarche de consolidation régionale des informations départementales.

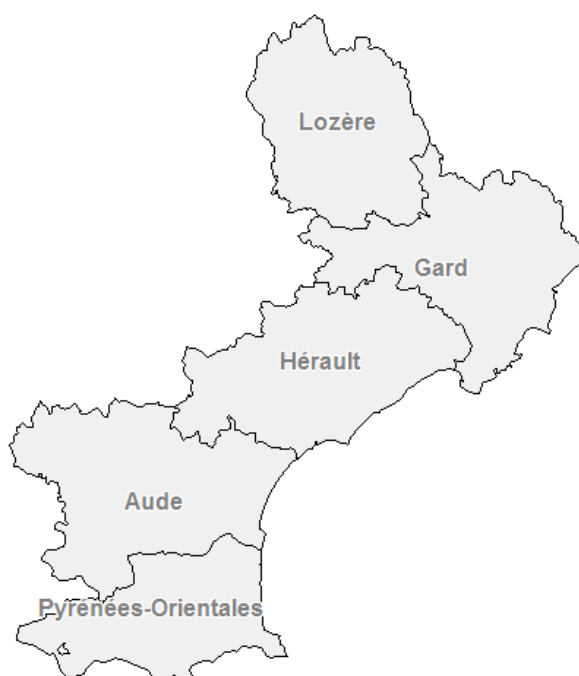


Figure 30 : Les cinq départements de la région Languedoc-Roussillon.

6.2. AVANCEMENT DES TÂCHES DU PROJET

La méthodologie employée en Languedoc-Roussillon diffère de celle mise en œuvre dans les autres Régions ; elle se base sur la synthèse hydrogéologique Régionale existante et sur du « dire d'expert ». Ce choix du Service Géologique Régional est imputé :

- à la géologie locale complexe impliquant un très grand nombre d'entités hydrogéologiques ;
- à un soucis d'homogénéité avec les travaux déjà réalisés pour les départements de l'Hérault et du Gard.

La Figure 31 fournit l'avancement des tâches principales du projet PNIGRA pour le Languedoc-Roussillon.

Département, superficie départementale & proportion de la superficie régionale	Cartographie des aquifères superficiels vis-à-vis de la ressource géothermale (base des données hydro : synthèse régionale 1/100.000)	Cartographie des aquifères à moyenne profondeur 500-1000 m vis-à-vis de la ressource géothermale (données hydro entièrement originales)	Atlas (document HTML départemental) & consolidation régionale des cartographies départementales
Aude 6370 km ² - 23% Région	En cours dans le cadre PNIGRA (achevé déc.-09)	En-cours dans le cadre PNIGRA (achevé dec-09)	Offre à monter
Gard 5820 km ² - 21% Région	En cours hors cadre PNIGRA (achevé déc.-09)	En cours hors cadre PNIGRA (achevé déc.-10)	En-cours hors cadre PNIGRA (achevé mars-10)
Hérault 6200 km ² - 22% Région	Réalisé hors cadre PNIGRA	Réalisé hors cadre PNIGRA	Réalisé hors cadre PNIGRA
Lozère 5180 km ² - 19% Région	En cours dans le cadre PNIGRA (achevé mars-10)	En-cours dans le cadre PNIGRA (achevé dec-09)	Offre à monter
P.-O. 4130 km ² - 15% Région	En cours dans le cadre PNIGRA (achevé mars-10)	En-cours dans le cadre PNIGRA (achevé dec-09)	Offre à monter

Figure 31 : Avancement prévisionnel des tâches au 31 décembre 2009 du projet PNIGRA pour le Languedoc-Roussillon.

6.3. AQUIFÈRES CIBLES

La Figure 32 fournit la liste des aquifères identifiés par la synthèse hydrogéologique régionale en Languedoc-Roussillon. Tous ces aquifères sont pris en compte dans le cadre du PNIGRA et décrits vis-à-vis de la ressource géothermale qu'ils représentent.

Code	Désignation
132	Alluvions quaternaires de l'Hers et de la Vixiège
138a1	Calcaires et dolomies liasiques du Causse de Séverac-Massegras
138a2	Calcaires et dolomies jurassiques du Causse de Séverac-Massegras
138b1	Calcaires et dolomies liasiques du Causse de Sauveterre
138b2	Calcaires jurassiques du Causse de Sauveterre
138c1	Calcaires et dolomies liasiques du Causse de Marvejols
138c2	Calcaires jurassiques du Causse de Marvejols
138d1	Calcaires et dolomies liasiques du Causse de Mende
138d2	Calcaires jurassiques du Causse de Mende
138e	Calcaires jurassiques et liasiques du Causse des Bondons
138f	Calcaires jurassiques et liasiques du Causse du Bleymard
139a1	Calcaires et dolomies liasiques du Causse Méjean
139a2	Calcaires jurassiques du Causse Méjean
139b1	Calcaires et dolomies liasiques du Causse Noir
139b2	Calcaires jurassiques du Causse Noir
139c	Calcaires liasiques et jurassiques du Can de l'Hospitalet

Code	Désignation
141a0	Calcaires jurassiques de la Buège-St Guilhem
141a1	Calcaires jurassiques de la Séranne et rive droite de la Vis
141a2	Calcaires jurassiques du Larzac méridional de St Michel à St Pierre de la Fage
141a3	Calcaires et marnes jurassiques et crétacés du Gangeois et Thaurac
141a3	Calcaires et marnes jurassiques et crétacés du Gangeois et Thaurac
141b	Calcaires jurassiques de la terminaison méridionale du Larzac et du Causse de Blandas
141c	Calcaires jurassiques de la terminaison méridionale du Larzac au Nord de Lodève et du massif de l'Escandorgue
141d	Calcaires jurassiques de l'avant-Causse de St Affrique
142a	Calcaires et marnes jurassiques du compartiment occidental du système karstique de la source du Lez
142b	Calcaires et marnes jurassiques du compartiment oriental du système karstique de la source du Lez
142b	Calcaires et marnes jurassiques du compartiment oriental du système karstique de la source du Lez
142c	Calcaires du Crétacé inférieur du Causse de l'Hortus
142d	Calcaires éocènes du bassin de Saint Martin de Londres
143a	Calcaires jurassiques du Pli Occidental de Montpellier
143c	Calcaires jurassiques de la Gardiole
143d	Calcaires jurassiques du Pli Oriental de Montpellier
144a1	Calcaires crétacés du Pays de Sault
144a2	Marnes albiennes du Pays de Sault
144b	Calcaires dévoniens du Pays de Sault
145a1	Calcaires jurassico-crétacés des Corbières (système de Cases de Pène-Font Estramar-Fitou)
145a2	Calcaires jurassico-crétacés de la zone nord-pyrénéenne, (chaînon de Galamus-Bugarach)
145a3	Marnes albiennes du synclinal de St Paul de Fenouillet et de l'Agly
145a4	Marnes albiennes du bassin de Quillan
145b	Calcaires, grès et marnes jurassico-crétacés de l'extrémité orientale des Corbières (nappe charriée du Pied du Poul)
146	Alluvions quaternaires en Roussillon
147	Calcaires jurassiques des Gras et Bois de Païolive
148b	Calcaires urgoniens du Bas Vivarais, Plateau d'Ornac
149a1	Calcaires urgoniens du plateau de Lussan
149a2	Calcaires urgoniens entre le Mont Bouquet et Tavel
149b1	Calcaires urgoniens des Gorges du moyen Gardon (rive gauche)
149b2	Calcaires urgoniens des Gorges du moyen Gardon (rive droite)
149c	Calcaires urgoniens du Bois de Lens
150a	Alluvions quaternaires et villafranchiennes de la Vistrenque
150b	Alluvions quaternaires et villafranchiennes des Costières
150c	Formations villafranchiennes et pliocènes des Costières entre Vauvert et St Gilles
150d	Alluvions quaternaires et villafranchiennes à l'Ouest de St Gilles
214	Formation tertiaire du bassin de Carcassonne et Castelnaudary sous couverture
214a	Graviers, grès et calcaires de l'Eocène inférieur et moyen au Sud de la Montagne Noire (secteur de Castelnaudary)
214b	Calcaires de l'Eocène inférieur et moyen du Cabardès
214c	Calcaires de l'Eocène du massif de l'Alaric
214d	Calcaires de l'Eocène inférieur et moyen du Minervois
214d	Calcaires de l'Eocène inférieur et moyen du Minervois
225	Sable et argile pliocènes du Roussillon
226	Sables astiens d'Agde-Valras-embouchure de l'Aude
226	Sables astiens d'Agde-Valras-embouchure de l'Aude
227	Calcaires cambriens du Lodévois

Code	Désignation
327b	Alluvions quaternaires du Rhône en amont de Pont Saint Esprit
327d	Alluvions quaternaires de l'Ardèche
327e	Alluvions quaternaires du Rhône de la région de Pont St Esprit
327f0	Alluvions quaternaires du Rhône entre Cèze et Tave
327f1	Alluvions quaternaires de la basse vallée de la Cèze
327f2	Alluvions quaternaires de la Tave
327g	Alluvions quaternaires du Rhône, de l'Ardoise à Villeneuve lès Avignon
328b	Alluvions quaternaires du Rhône en rive gauche, boucle de Vallabrègues
328c1	Alluvions quaternaires du Rhône entre Beaucaire et Villeneuve lès Avignon
328c2	Alluvions quaternaires du Bas Gardon en aval de Remoulins
328d	Alluvions quaternaires du Bas-Rhône entre Beaucaire à Aigues-Mortes
328e1	Alluvions quaternaires et villafranchiennes entre le Vidourle et le Lez
328e2	Sables et marnes tertiaires du secteur de Montpellier
328e3	Alluvions quaternaires et villafranchiennes entre Montpellier et Sète
334a	Alluvions quaternaires de l'Hérault du secteur de Ganges-Saint Bazille de Putois
334b1	Terrasses alluvionnaires quaternaires de l'Hérault entre le Pont du Diable et la Mer
334b2	Alluvions quaternaires récentes de l'Hérault entre le Pont du Diable et la Mer
334c1	Terrasses alluvionnaires quaternaires de la Lergue
334c2	Alluvions quaternaires récentes de la Lergue
334d	Alluvions quaternaires de la Thongue
334e	Alluvions quaternaires de la Peyne
335	Alluvions quaternaires du Libron
336b	Alluvions quaternaires de l'Orb dans le secteur de Lamalou
336c	Alluvions quaternaires du Jaur
336d1	Terrasses alluvionnaires quaternaires de l'Orb entre Réals et la Mer
336d2	Alluvions quaternaires récentes de l'Orb entre Réals et la Mer
337a	Alluvions quaternaires de l'Aude en aval d'Olonzac
337a	Alluvions quaternaires de l'Aude en aval d'Olonzac
337b	Alluvions quaternaires de l'Aude en amont d'Olonzac
337c	Alluvions quaternaires du Fresquel
337d	Alluvions quaternaires de la Cesse
337e	Alluvions quaternaires de l'Ognon
337f	Alluvions quaternaires de l'Argent Double
337g	Alluvions quaternaires de l'Orbieu
337h	Alluvions quaternaires de l'Orbiel
337i	Alluvions quaternaires du Lauquet
338	Alluvions quaternaires du Lez
366a	Alluvions quaternaires du Gardon d'Alès
366b	Alluvions quaternaires du Gardon d'Anduze
366c	Alluvions quaternaires du Moyen Gardon
370	Alluvions quaternaires du Vidourle
370	Alluvions quaternaires du Vidourle
371	Alluvions quaternaires de la Têt et marnes miocènes du Conflent
372a	Colluvions et alluvions quaternaires du Capcir
372b	Colluvions et alluvions quaternaires de Cerdagne
548c	Marnes oligocènes du fossé d'Alès-Barjac
548d	Alluvions quaternaires de la Cèze dans le secteur de St Ambroix
549e1	Grès, calcaires et marnes du Crétacé moyen et supérieur dans le bassin versant de la basse Cèze
549e2	Grès, calcaires et marnes du Crétacé moyen et supérieur dans le bassin versant de la basse Ardèche
549e3	Grès, calcaires et marnes du Crétacé moyen et supérieur dans le bassin versant du Rhône dans le secteur de Pont St Esprit

Code	Désignation
549g	Formations urgoniennes ou tertiaires du bassin de Pujaut à Fournès (calcaires et marnes)
549h	Calcaires urgoniens du secteur de Villeneuve les Avignon
555	
556a1	Calcaires jurassiques du dôme de Lédignan
556a2	Marnes et marno-calcaires du Crétacé inférieur du dôme de Lédignan
556a3	Calcaires jurassiques du dôme de Lédignan Nord
556b	Calcaires, marnes et molasses oligo-miocènes du bassin de Castries- Sommières
556b	Calcaires, marnes et molasses oligo-miocènes du bassin de Castries- Sommières
556c1	Calcaires et marnes tertiaires du bassin de St Chaptès et d'Uzès en rive droite du Gardon
556c2	Calcaires et marnes oligocènes du bassin de St Chaptès et d'Uzès
556c3	Molasses du bassin de St Chaptès et d'Uzès
556c4	Argiles, grès et calcaires éocènes à l'Ouest du Mont Bouquet
556d1	Calcaires du Crétacé supérieur des Garrigues nîmoises
556d2	Marno-calcaires du Crétacé inférieur de la Vaunage
557a1	Molasses, calcaires, grès et marnes tertiaires du bassin de Carcassonne, dans le bassin versant de l'Aude
557a2	Molasses, calcaires, grès et marnes tertiaires du bassin de Carcassonne, dans le bassin versant de l'Etang de Bages
557b	Calcaire dévonien non-différencié sous couverture
557b1	Calcaires dévoniens et schistes du Massif du Mouthoumet
557b2	Schistes ordoviciens de la Serre de Quintillan
557b3	Schistes, calcaires et dolomies du Carbonifère et du Dévonien de l'Unité de Félines-Palairac
557b4	Schistes, calcaires et dolomies du Carbonifère et du Dévonien de l'Unité du Roc de Nitable
557c0	Calcaires et marnes éocènes et oligocènes de l'avant pli de Montpellier
557c1	Marnes et calcaires du Crétacé au Miocène du Bas Languedoc dans le Bassin versant de l'Etang de Thau
557c2	Marnes et calcaires du Crétacé au Miocène du Bas Languedoc dans le Bassin versant de l'Hérault
557c3	Molasses, calcaires, grès et marnes tertiaires du bassin versant du Libron
557c4	Molasses, calcaires, grès et marnes tertiaires du bassin versant de l'Orb
557c5	Molasses, calcaires, grès et marnes tertiaires du bassin versant de l'Aude
557c5	Molasses, calcaires, grès et marnes tertiaires du bassin versant de l'Aude
557c6	Molasses, calcaires, grès et marnes tertiaires des bassins de Bages-Sigean et de la Berre
557c7	Molasses, calcaires, grès et marnes tertiaires de la plaine de Lapalme-Caves
557d	Calcaires, marnes et grès du Crétacé inférieur de la Clape
557e	Calcaires et marnes du Trias à l'Eocène de l'Arc de St Chinian
557f1	Calcaires et marnes jurassiques et triasiques de la nappe charriée des Corbières (entre Berre et Aude)
557f2	Calcaires et marnes jurassiques et triasiques de la nappe charriée des Corbières (lobe de Fontjoncouse-Ripaud et semelle triasique de Durban)
557f3	Calcaires et marnes aptiens de la Montagne du Tauch
557g	Alluvions quaternaires de la Berre
558a1	Schistes, granites, calcaires et dolomies primaires des Monts de Lacaune (unités des Monts de St Gervais, d'Avène-Mendic et de Mélagues)
558a2	Schistes et granites de la zone axiale de la Montagne Noire dans le B.V. de l'Aude
558a2	Schistes et granites de la zone axiale de la Montagne Noire dans le B.V. de l'Aude
558a3	Schistes et granites de la zone axiale de la Montagne Noire (Caroux, Espinouse) dans le B.V. de l'Orb
558a4	Gneiss et granites de la zone axiale de la Montagne Noire dans le B.V. du Thoré et de l'Agout

Code	Désignation
558a4	Gneiss et granites de la zone axiale de la Montagne Noire dans le B.V. du Thoré et de l'Agout
558b1	Schistes, marnes et calcaires primaires de la nappe des Monts de Faugères et des écaillles du Cabrières
558b2	Schistes, marnes et calcaires primaires de la nappe de Pardailhan
558b3	Calcaires, marnes et schistes primaires du Minervois
558b3	Calcaires, marnes et schistes primaires du Minervois
558c	Dolomies et calcaires jurassiques du fossé de Bédarieux
558d	Pélites permienes du Lodévois
561	Marnes et molasses du domaine de l'Albigeois-Toulousain dans le bassin versant de la Garonne
568h	Calcaires, grès et marnes éocènes du chaînon Plantaurel, Pech de Foix, synclinal de Rennes les Bains et Couiza
603d1	Schistes et micaschistes (métamorphisme) de Labastide-Langogne dans le B.V. de l'Allier
603d2	Schistes et micaschistes (métamorphisme) de Labastide-Langogne dans le B.V. de l'Ardèche
606b	Volcanisme de l'Aubrac
606c	Alluvions glaciaires de l'Aubrac
607a1	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. de l'Hérault
607a2	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. de la Dourbie
607a3	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. du Vidourle
607a4	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. des Gardons
607a4	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. des Gardons
607a5	Schistes, micaschistes et granites de l'Aigoual, Cévennes et Mont Lozère dans le B.V. du Tarn
607a6	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. de la Cèze
607a6	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. de la Cèze
607a7	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. de l'Ardèche
607a7	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. de l'Ardèche
607a8	Schistes, micaschistes et granites de l'Aigoual, Cévennes et Mont Lozère dans le B.V. du Lot
607c1	Argiles, grès du Houiller et du Trias du bassin d'Alès-Bessèges et calcaires et dolomies du Lias de la rive droite du Gardon entre Ales et Sumène
607c2	Calcaires du Lias et Jurassique de la bordure cévenole entre Alès et Saint Ambroix
607d	Calcaires du Lias et Jurassique de la bordure cévenole entre Alès et Sumène
607e	Calcaires cambriens de la région viganaise
608a	Granites, gneiss et micaschistes de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. du Lot
608b	Granites, gneiss et micaschistes de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. de la Truyère
608c	Granites, gneiss et micaschistes de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. de l'Allier
620a1	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, gneiss, granites) des Pyrénées axiales dans le B.V. de la Cote Vermeille

Code	Désignation
620a2	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, gneiss, granites, calcaires) des Pyrénées axiales dans le B.V. du Tech
620a3	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, gneiss, granites, calcaires) des Pyrénées axiales dans le B.V. du Réart
620a4	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, gneiss, granites) des Pyrénées axiales dans le B.V. de la Têt
620a5	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, gneiss, granites) des Pyrénées axiales dans le B.V. du Sègre
620a6	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, gneiss, granites) des Pyrénées axiales dans le B.V. de l'Aude
620a6	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, gneiss, granites) des Pyrénées axiales dans le B.V. de l'Aude
620a7	Formations cristallines, métamorphiques et primaires (schistes, gneiss, granites et calcaires) des Pyrénées axiales dans le B.V. de l'Agly
620a7	Formations cristallines, métamorphiques et primaires (schistes, gneiss, granites et calcaires) des Pyrénées axiales dans le B.V. de l'Agly
620b1	Calcaires dévoniens du synclinal de Villefranche, rive gauche de la Têt
620b2	Calcaires dévoniens du synclinal de Villefranche, rive droite de la Têt
620c	Calcaires dévoniens du Causse de Thuir

Figure 32 : Liste des aquifères cibles en Languedoc-Roussillon.

6.4. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES

6.4.1. Aquifères superficiels

La complexité géologique de la région d'étude amène à différencier en Languedoc-Roussillon cinq niveaux de superposition de réservoirs aquifères distincts possibles jusqu'à des profondeurs relativement faibles, généralement moins de 500 m, voire même 250 m. Ainsi, un ensemble de 400 entités hydrogéologiques homogènes vis-à-vis des aquifères rencontrés (nature et superposition des aquifères) a été défini couvrant l'ensemble de la région Languedoc-Roussillon (Figure 33 à Figure 36).

La cartographie du potentiel géothermiques dans les aquifères superficiel se base sur la synthèse hydrogéologique régionale disponible dans un format numérique (SIG) à l'échelle du 1/100 000.

Dans le cadre du programme PNIGRA, les données hydrogéologiques de la synthèse ont été contrôlées et complétées, pour chacune des entités hydrogéologiques et pour chaque niveau aquifère rencontré dans l'entité, pour ce qui concerne les paramètres pris en compte dans l'évaluation du potentiel géothermique, ceci essentiellement sur la base des connaissances de terrain de l'expert hydrogéologue.

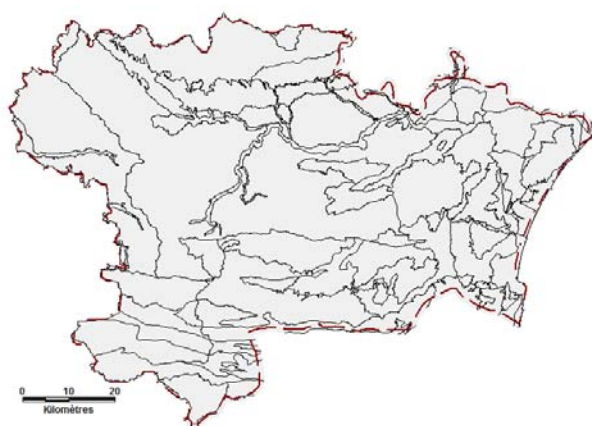


Figure 33 : Entités hydrogéologiques de l'Aude.

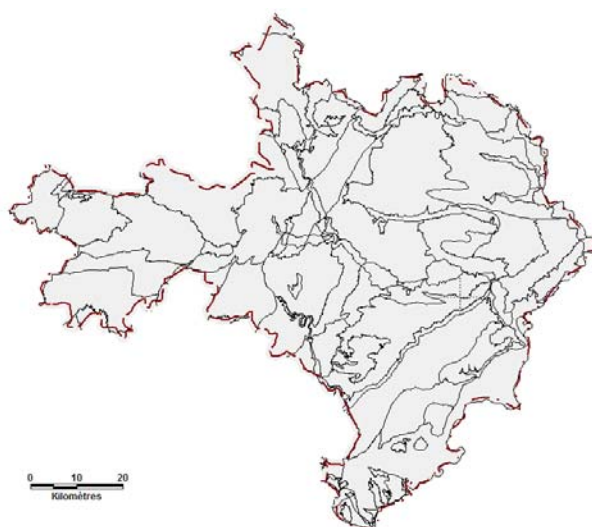


Figure 34 : Entités hydrogéologiques du Gard.

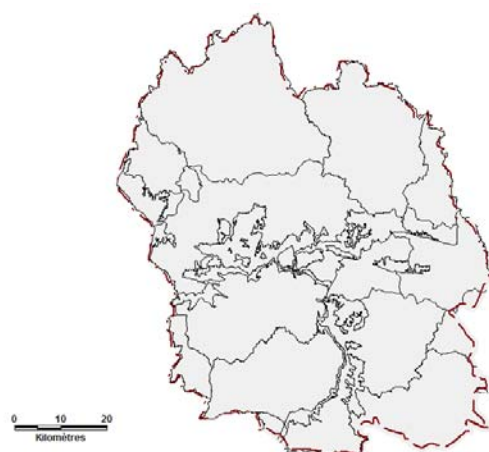


Figure 35 : Entités hydrogéologiques de la Lozère.

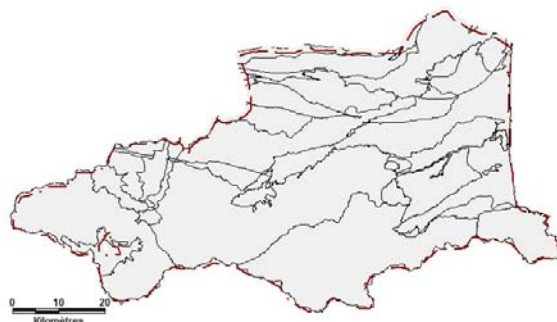


Figure 36 : Entités hydrogéologiques des Pyrénées-Orientales.

Champs	Contenu	Données renseignés par PNIGR
ID		☒
Désignation	Désignation de l'entité hydrogéologique	
Aire		
NIVEAU1	Code de l'aquifère du niveau 1	
NIVEAU2	Code de l'aquifère du niveau 2	
NIVEAU3	Code de l'aquifère du niveau 3	
NIVEAU4	Code de l'aquifère du niveau 4	
NIVEAU5	Code de l'aquifère du niveau 5	
Département		
Thème_BDRHFV2		
Etat_BDRHFV2		
Type_BDRHFV2		
Niveau_BDRHFV2		
Niveau_Synthèse		
Domaine_Synthèse		
Thème_Synthèse		
Profondeur_1	Profondeur aquifère (niveau 1)	☒
Epaisseur_1	Epaisseur aquifère (niveau 1)	☒
Débit_potentiel_1	Débit aquifère (niveau 1)	☒
Transmissivité_1	Transmissivité aquifère (niveau 1)	☒
Perméabilité_1	Perméabilité aquifère (niveau 1)	☒
Sensibilité_1	Sensibilité aquifère (niveau 1)	☒
Observation_1	Observation aquifère (niveau 1)	☒
Obs_sensib_1	Obs. sensibilité aquifère (niveau 1)	☒
Pr_1_max	Profondeur max (niveau 1)	☒
Pr_1_min	Profondeur min (niveau 1)	☒
Ep_1_max	Epaisseur max (niveau 1)	☒
Ep_1_min	Epaisseur min (niveau 1)	☒
De_1_max	Débit max (niveau 1)	☒
De_1_min	Débit min (niveau 1)	☒
Tr_1_max	Transmissivité max (niveau 1)	☒
Tr_1_min	Transmissivité min (niveau 1)	☒
Pe_1_max	Perméabilité max (niveau 1)	☒
Pe_1_min	Perméabilité min (niveau 1)	☒

Figure 37 : Champs renseignés dans la cadre du PNIGR (exemple du niveau 1).

La Figure 37 montre les champs renseignés par le programme PNIGRA en Languedoc-Roussillon pour les cinq niveaux distingués par la synthèse hydrogéologique et pour toutes les entités hydrogéologiques décrites. Finalement, la superposition des cinq niveaux est consolidée pour chacune des 400 entités hydrogéologiques individualisées (Figure 38).

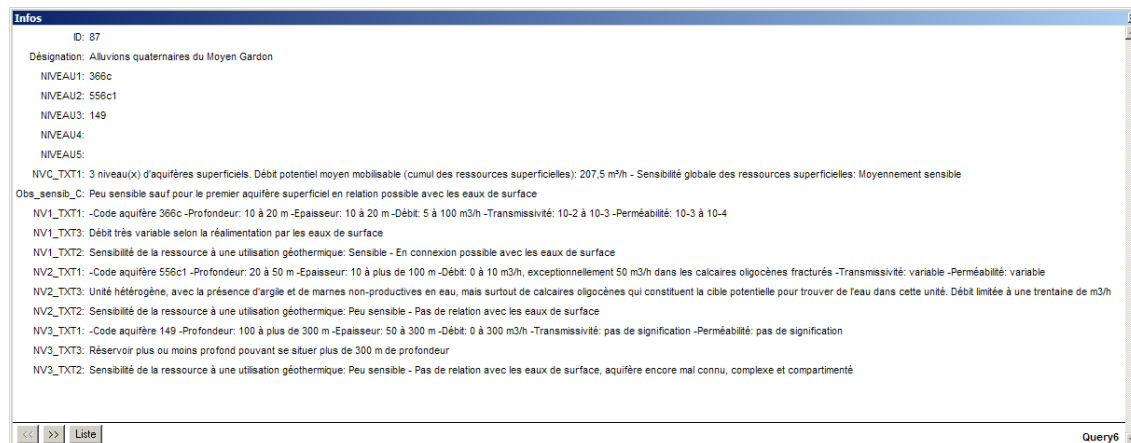


Figure 38 : Données consolidées par entité hydrogéologique.

6.4.2. Aquifères à moyenne profondeur

La cartographie à l'échelle du 1/100.000 des aquifères à moyenne profondeur (500-1 000 m) vis-à-vis de la ressource géothermale, avec indication des anomalies géothermiques possibles, est réalisée par l'expert hydrogéologue sur la base de sa connaissance thématique du sujet, des documents de la carte géologique, de rapports d'étude divers et de l'exploitation des données de la banque du sous-sol.

Il s'agit pour les départements concernés par PNIGR (Aude, Lozère et Pyrénées-Orientales) d'un travail totalement original, déjà produit dans le cas du département de l'Hérault (Figure 39), en cours également de réalisation pour le département du Gard.

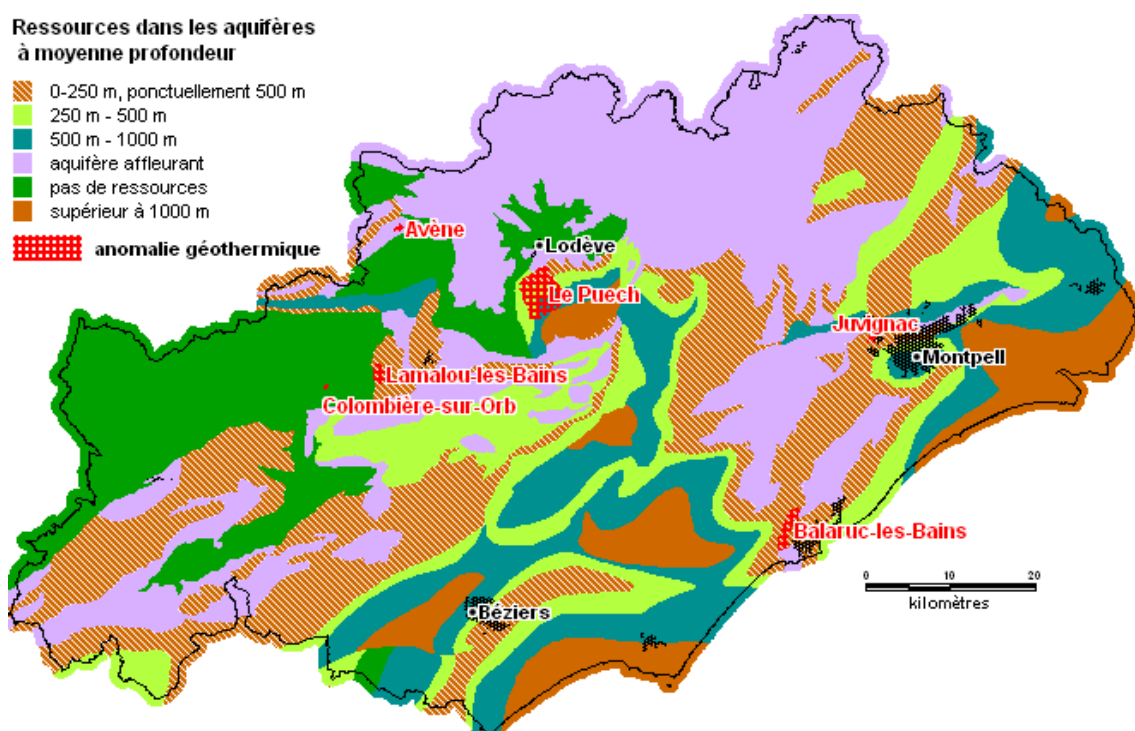


Figure 39 : Ressources dans les aquifères à moyenne profondeur dans l'Hérault.

7. Région Nord - Pas-de-Calais

7.1. SECTEUR D'ÉTUDE

Le projet PNIGRA s'applique sur près de 90 % de la région, ce qui représente 11 100 km² sur les 12 400 km² du territoire du Nord - Pas-de-Calais.

Comme le montre la figure 40 ci-dessous, les 10 % restant correspondent à deux zones particulières :

- l'Avesnois, à l'est du Nord - Pas-de-Calais ;
- le Boulonnais, à l'ouest du Nord - Pas-de-Calais.

Ces deux zones ne seront pas étudiées dans le cadre du projet, car leur contexte géologique particulier (secteurs tectonisés et très hétérogènes du point de vue hydraulique) rend délicate l'évaluation du potentiel géothermique très basse énergie.

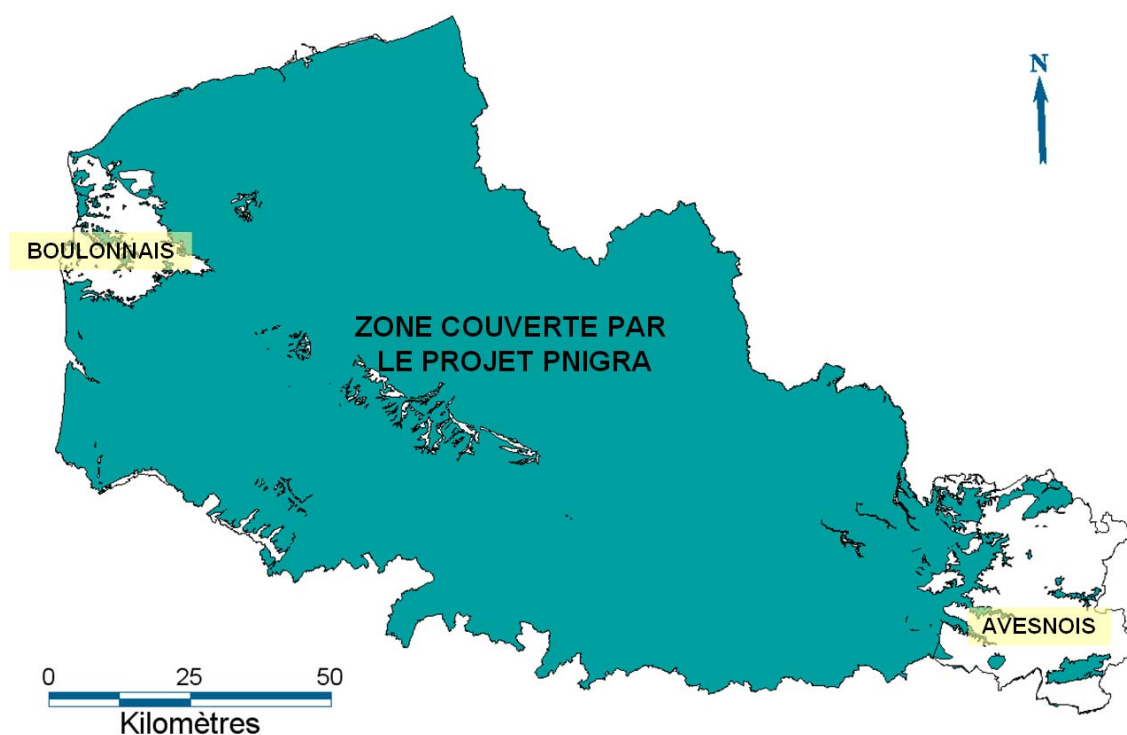


Figure 40 : Extension du projet PNIGRA dans la région Nord-Pas-de-Calais.

7.2. AQUIFÈRES CIBLES

7.2.1. Utilisation de la BD LISA

Une nouvelle version du Référentiel Hydrogéologique Français, appelée BD LISA, est en cours d'élaboration pour le bassin Artois-Picardie. Dans ce cadre, un travail de regroupement et de cartographie des entités hydrogéologiques a été réalisé. (BRGM/RP-57520-FR, Dufrenoy R., Petit V. avec la collaboration de Mardhel V. - 2009). Ce travail a servi de base à l'identification des grands systèmes aquifères de la région Nord-Pas-de-Calais et a permis de distinguer les systèmes aquifères à retenir dans le cadre de l'opération PNIGRA.

Sur les 19 grands systèmes aquifères régionaux identifiés, huit ont été retenus pour le projet PNIGRA. Les systèmes non retenus correspondent :

- aux systèmes aquifères fracturés du Jurassique du Boulonnais ;
- aux systèmes aquifères fracturés et plissés du Paléozoïque de l'Avesnois ;
- aux systèmes aquifères présents à plus de 100 m de profondeur ;
- aux aquifères alluvionnaires peu épais et peu productifs.

De plus, seules les portions de ces huit systèmes aquifères situées dans la tranche de profondeur 0-100 m seront retenues, dès lors que la géométrie de ceux-ci aura été bien définie.

7.2.2. Caractéristiques et localisations

Pour chacun des systèmes aquifères retenus pour le projet PNIGRA, une synthèse bibliographique des connaissances a été réalisée. Une description très générale de ces différents aquifères est présentée dans le tableau 11. Ce tableau présente l'extension en km² de chacun des aquifères, ainsi que leur superficie en tant que premiers aquifères rencontrés.

La figure 24 présente la carte des premiers aquifères rencontrés et montre qu'il est possible d'atteindre, sur près de 90 % de la superficie de la région du Nord-Pas-de-Calais, l'une des nappes retenues pour le projet PNIGRA.

Cependant, la géométrie précise des aquifères n'as pas encore été étudiée. De ce fait, il est possible que le premier aquifère rencontré soit à une profondeur supérieure à 100 m dans certaine zone, ce qui diminuerait le pourcentage de territoire où la géothermie très basse énergie par doublets de forage serait possible.

La figure 42 montre les extensions des différents aquifères retenus pour le projet. L'aquifère de la craie, d'âge crétacé supérieur, couvre près de 66,90 % du territoire de la région. Il est complété par l'aquifère des sables d'Ostricourt, qui couvre 36,63 % du territoire.

Désignation		Limites d'extension		Caractéristiques							
Nom	Code	Source de donnée	Format numérique	Sous recouvrement	Affleurement	Descriptif succinct	Puissance	Superficie régionale (km²)	Pourcentage de la superficie régionale	Superficie comme premier aquifère	Pourcentage de la superficie régionale
Sables quaternaires	F02A	BDLISA	OUI	NON	OUI	Dépôts marins et éoliens côtiers (sables « pissards », dunes...) de la plaine des Flandres et des Bas-Champs du littoral de la Manche. Milieux poreux, Nappe libre	10 à 30 m	912,92	7,36 %	912,92	7,36 %
Calcaires des Monts de Flandres	F4H01	BDLISA	OUI	NON	OUI	Calcaire des Monts des Flandres (Lutétien) Milieux fissuré, Nappe libre	12 m	1,16	0,01 %	1,16	0,01 %
Sables des Monts de Flandres	F4H02	BDLISA	OUI	NON	OUI	Sable des Monts des Flandres (Cuisien) Milieux poreux, Nappe libre	33 m	3,526	0,03 %	2,36	0,02 %
Sables d'Ostricourt	F6A01	BDLISA	OUI	EN PARTIE	OUI	Sables d'Ostricourt (marins) et de Grandglise (continentaux), Milieux poreux, Nappe libre et captive	15 m	4 543	36,63 %	3 857,64	31,11 %
Craies blanches et grises aquifères du Coniacien au Campanien	F6U01	BDLISA	OUI	EN PARTIE	OUI	Craies blanches, pauvres en silex, avec lits phosphatés, vers le sommet et Craies grises plus riches en silex, avec bancs indurés au sommet (le Tun et la Meule) Milieux fissuré, Nappe libre et captive	Pluri-métrique à plus de 100 m	8 296	66,90 %	5 826,61	46,98 %
Craies marneuses et aquifères du Cénomanien.	F7B01	BDLISA	OUI	OUI	OUI	Craies et craies marneuses bleues et grises et marnes (Dièves blanches) avec à la base le « Tourtia » (sables grossiers glauconieux) Nappe captive	Pluri-métrique à plus à 50 m	1 252	10,10 %	118,79	0,96 %
Sables verts de l'Albien-Aptien	F8M01	BDLISA	OUI	OUI	OUI	Sables verts Milieux poreux Nappe libre et captive	18 m	4 950	39,91 %	181,046	1,46 %
Sables du Néocomien	F8O01	BDLISA	OUI	OUI	OUI	Sables, grès et argiles d'origine continentale, en « poches » dans les terrains sous-jacents Milieux poreux, Nappe libre et captive		2 733	22,04 %	198,557	1,60 %

Tableau 12 : Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Région Nord-Pas-de-Calais.

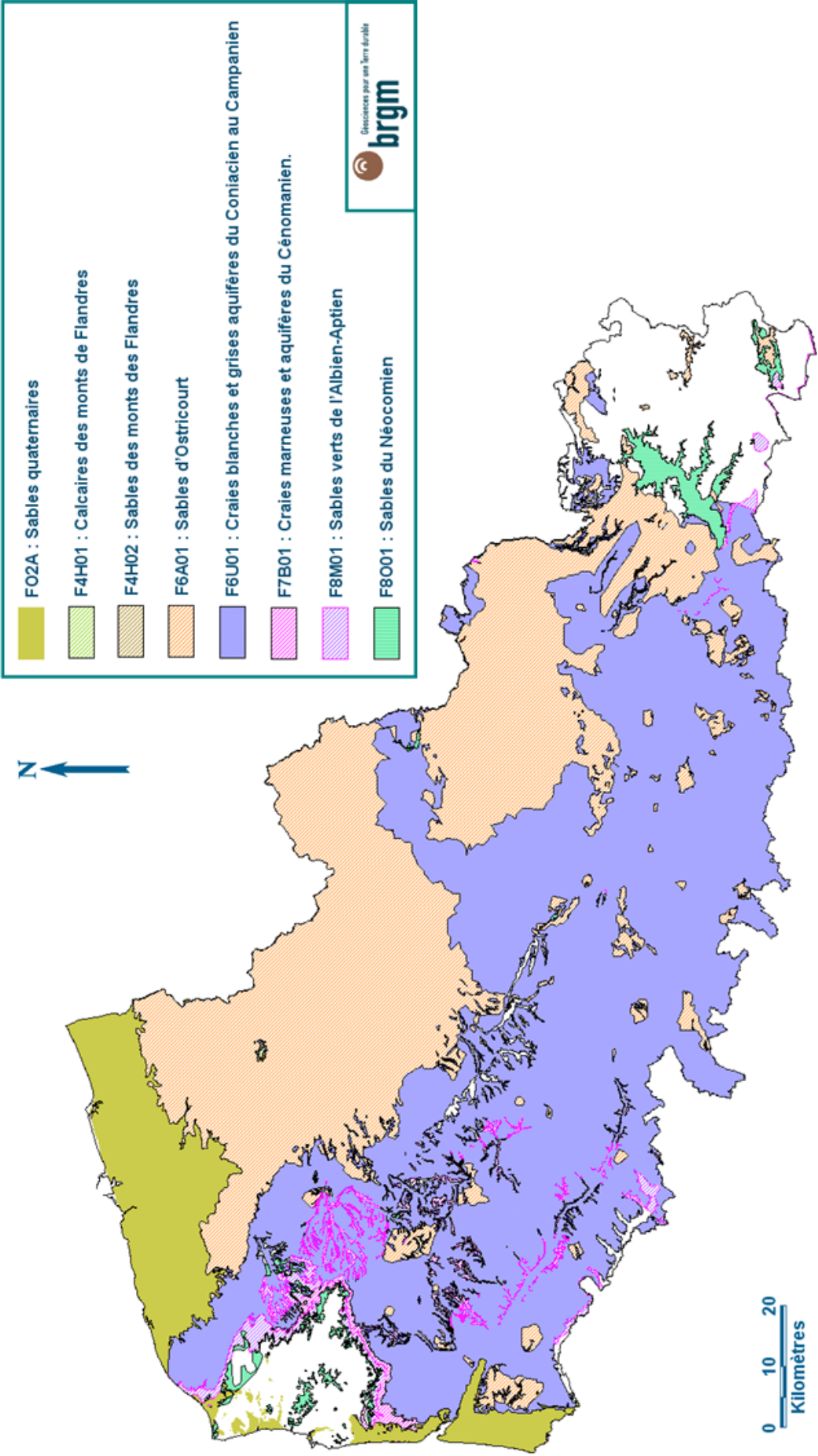
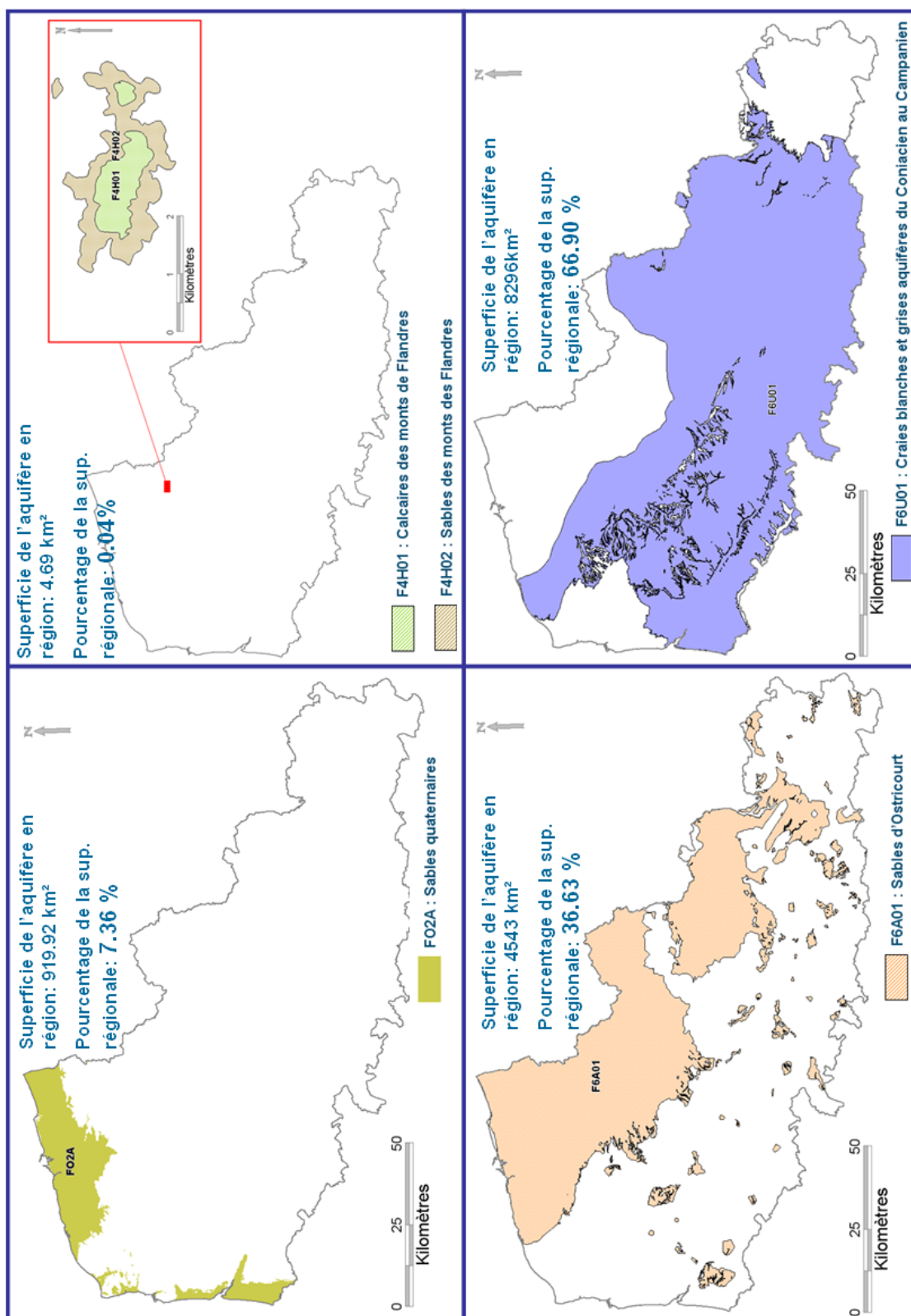


Figure 41 : Carte des premiers aquifères rencontrés du projet PNIGRA en région Nord - Pas-de-Calais.



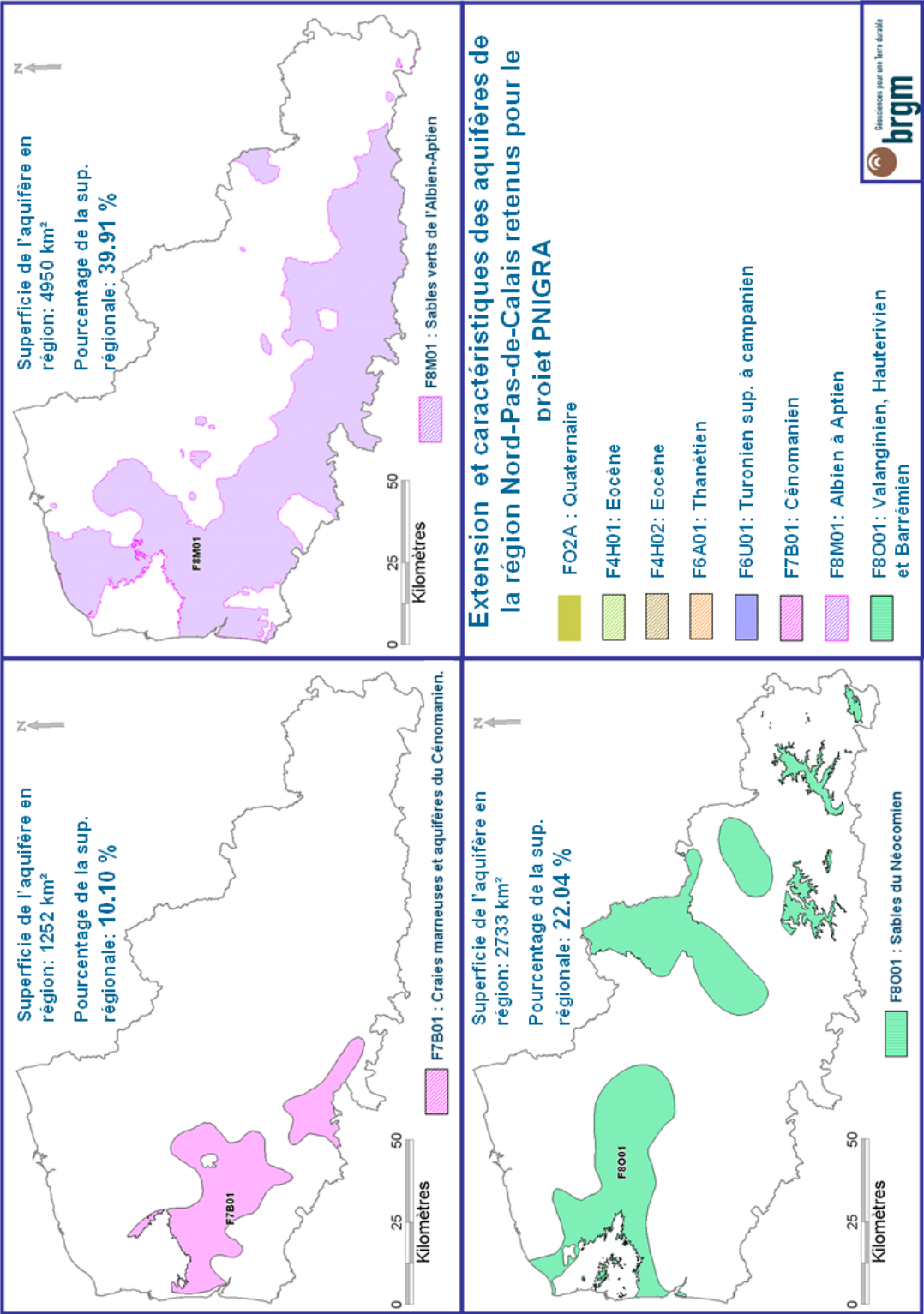


Figure 42 : Extension des aquifères du Nord - Pas-de-Calais retenus pour le projet PNIGRA.

7.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES

7.3.1. Planification du travail et organisation de la collecte d'information

		Objectifs	Description du travail de la journée
PHASE 1	12/10/2009	Etablissement du planning et réalisation de la base de données MS ACCESS	Etablissement du planning.
	13/10/2009		Recherche des informations nécessaires à mettre dans la base de données, présentes dans les rapports concernant la géothermie
	14/10/2009		Réalisation de la base de données ACCESS
ETAPE 1 PHASE 3	15/10/2009	CREATION DE LA GRILLE NPC	Création des mailles, calculs des coordonnées de chaque maille, ajout des informations sur commune et région. Utilisation du fichier mnt pour calculer l'altitude moyenne de chaque maille.
	16/10/2009		Fin de la création de point d'altitude, ajout dans le fichier access et rédaction de la fiche méthodologique
	19/10/2009		
ETAPE 2 PHASE 2	22/10/2009	COLLECTE DES DONNEES	Etude des informations disponibles dans la BSS et BDES à partir des informations contenues dans les dictionnaires de données, et choix des critères de sélection, rédaction fiche méthodologique extraction.
ETAPE 1 PHASE 2	23/10/2009	LISTING AQUIFERES NPC	Recherche de fichier SIG rassemblant les aquifères. Utilisation des fichiers de la BD Lisa en cours d'élaboration.
	26/10/2009		Extension des aquifères et liste des aquifères
	27/10/2009		Carte des aquifères superficiels et calcul des statistiques sur ces aquifères.
	28/10/2009		Rédaction d'une note synthétique sur les aquifères superficiels de la région.
ETAPE 2 PHASE 2	29/10/2009	COLLECTE DES DONNEES	Création d'une base de données rassemblant l'ensemble des informations concernant les points BSS. Correction d'erreur sur la BSS (point avec mauvaises région) en cours avec P.Brinon.
	30/10/2009		
	06/11/2009		Récupération des données sur les paramètres hydrodynamiques (11 points)
	09/11/2009		Analyse des requêtes SQL, permettant d'extraire de la BSS tout type d'informations.
	10/11/2009		Etude de la nomenclature de la BSS et de la BDES Création de nouvelles requêtes SQL.
	12/11/2009		
	13/11/2009		Création du fichier access rassemblant les infos de la BSS et de la BDES
	16/11/2009		Recherche des paramètres hydrodynamiques sur d'autres sources... sources SIGES pour données sur CRAIE
	17/11/2009		Importation ADES et compilation des infos ADES, BSS, BDES et autres sources.
	18/11/2009		Fin de l'organisation de la base de données, Statistiques sur les données
	19/11/2009		Ajout des données issues des Logs géologiques vérifiées. Attribution d'un aquifère à chaque forage.
	20/11/2009		Tentative d'attribution d'un aquifère à un point... pb de conversion entre code MARGAT et code LISA... demande plus de temps qu'il n'y en a de disponible pour le rapport du 09/11.
	23/11/2009		
ETAPE 2 PHASE 3	24/11/2009		
	25/11/2009	ATTRIBUTION AQUIFERE AUX POINTS RETENUS	Réalisation de carte statistique sur la disponibilité de données... *
	26/11/2009		ATTRIBUTION DES CODES LISA à certains points du projet à partir de la couche NIVEAU pour l'élaboration de cartes pour le rapport ADEME.
	27/11/2009		Attribution code lisa au différents niveaux des LGV.
	30/11/2009	RAPPORT ADEME	Réalisation des cartes de répartition des données.

Tableau 13 : Avancement du travail au SGR/NPC pour octobre et novembre 2009.

Le Service Géologique Régional du Nord - Pas-de-Calais a recruté un intérimaire à temps plein sur le projet PNIGRA. Le travail effectué par celui-ci depuis son arrivée est présenté dans le tableau 13 ci-dessus.

7.3.2. Grille SIG

Un ensemble de 49 970 mailles de 500 m sur 500 m a permis de couvrir l'ensemble du territoire du Nord - Pas-de-Calais. Un identifiant, constitué de lettres pour les colonnes et de chiffres pour les lignes, a été attribué à chacune de ces mailles.

Pour le moment, des informations sur la localisation du centroïde, du nom de la région, du département, du numéro INSEE et du nom de la commune ont été saisies.

7.3.3. Critère « Productivité d'aquifère »

a) Sources de données

Les données de base nécessaires à la description du critère « productivité » sont les données de transmissivité, perméabilité, débits spécifiques, rabattements et débits d'exploitation.

Ces informations ont été récupérées par le biais des sources de données suivantes :

- les données rassemblées par R. Duffrenoy pour le projet SIGES (système d'information géographique sur les eaux souterraines) auprès des différents acteurs du domaine des eaux souterraines (1628 points) ;
- la BDES avec la table param_hydro (5 points).

Les données ponctuelles collectées pour le projet PNIGRA contribueront à compléter la BDES.

Pour le moment, aucune donnée cartographiée n'a été récupérée.

b) Les points et leur aquifère

Pour le moment, des paramètres hydrodynamiques ont été répertoriés sur 1 632 points BSS, dont 1 294 ont un aquifère connu.

Cependant, il semble essentiel de trouver d'autres données. En effet, comme on peut le voir sur le tableau 14 ci-après, nous ne disposons pas pour le moment de données sur les paramètres hydrodynamiques de l'ensemble des aquifères. Seul l'aquifère de la Craie (Turonien supérieur à Campanien) possède assez de données pour pouvoir y effectuer des statistiques.

Le tableau 14 montre également que 336 points n'ont pas encore d'aquifère attribué. Cela s'explique par la méthodologie qui a été employée pour les rattacher à un aquifère.

En effet, il a tout d'abord été choisi d'utiliser les informations sur les codes Margat des niveaux aquifères (objectif_niveau = RECEAU ou EXPEAU) de la table « niveau » de la BSS. Cette table donne la description des couches lithologiques de chaque passe des coupes lithologiques. Seulement, tous les points BSS n'ont pas forcément une coupe lithologique, et pour ceux qui en ont une, les codes Margat n'ont pas toujours été renseignés (236 points), ce qui explique l'absence de données sur certains points.

Code et nom de l'aquifère	Nombres de points avec mesures	Pourcentage de points avec mesure par aquifère	Nombres de mesures de paramètres hydrodynamiques	Pourcentage mesures de paramètres hydrodynamiques
FO2A (Sables quaternaires)	2	0,12 %	2	0,05 %
F4H01 (calcaires de Monts de Flandres)	0	0	0	0
F4H02 (Sables des Monts de Flandres)	0	0	0	0
F6A01 (sables landéniens)	5	0,31 %	7	0,17 %
F6U01 (craie du turonien supérieur à Campanien)	1 284	78,77 %	3 318	82,23 %
F7B01 (Craies marneuses et aquifères du Cénomanién)	0	0	0	0
F8M01 (Sables verts de l'Albien Aptien)	0	0	0	0
F8O01 (Sables du Néocomien)	0	0	0	0
Aquifère non retenu pour le projet	3	0,18 %	7	0,17 %
Aquifère non attribué	336	20,61 %	701	17,37 %
TOTAL	1 630	100 %	4 035	100 %

Tableau 14 : Pourcentage de points et de données par aquifère.

Ces informations devraient être complétées avec la mise en place de correspondance entre les niveaux stratigraphiques des Logs Géologiques Vérifiées et des aquifères du Nord - Pas-de-Calais. En effet, 31 points ont simplement un Log géologique vérifiée et ne sont donc pas dans la table « niveau ». D'autre part, 258 points ont à la fois une coupe géologique et un log géologique vérifié. Cela devrait permettre de compléter l'attribution des aquifères pour certains points, et la confirmer pour d'autres.

Une dernière vérification devrait être faite en utilisant les valeurs de profondeur de chaque niveau aquifère et les cartes de géométrie des aquifères.

Le tableau 15 cible uniquement les données de l'aquifère crayeux et montre que pour 1284 points, près de 3 318 valeurs de paramètres hydrodynamiques ont été mesurées. Ces mesures sont représentées en majorité par des valeurs de transmissivité (44 %) et des valeurs de débit spécifique (32,5 %).

Paramètres	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données
Rabattement	11	0,33 %
Débit	10	0,3 %
Débits spécifique	1 163	35,05 %
Transmissivité	1 385	41,74 %
Perméabilité	478	14,41 %
Coefficient d'emménagement	271	8,17 %
Total	3 318	100 %

Tableau 15 : Répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité » concernant la nappe de la craie.

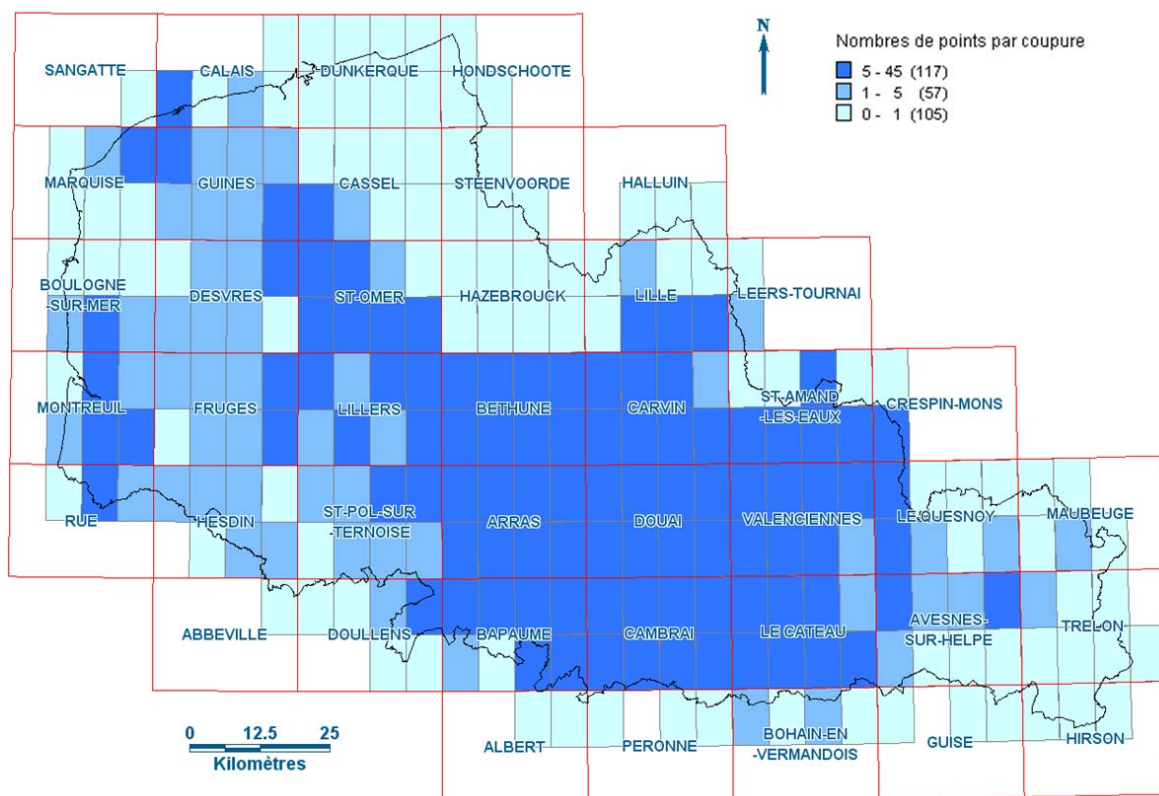


Figure 43 : Répartition par coupe des points d'eau ayant fourni des données sur les paramètres hydrodynamiques (découpage en feuilles 1/50 000 et octants).

Concernant maintenant la répartition de l'ensemble des points ayant des valeurs de paramètres hydrodynamiques, la figure 43 montre que de nombreuses coupures n'ont

aucune valeur de paramètres. Il faudra donc aller récupérer ces informations, si elles existent, dans les dossiers papiers, ce qui devrait permettre de donner des renseignements sur les caractéristiques hydrodynamiques des autres aquifères.

7.3.4. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »

a) Sources de données

La profondeur d'accès à la ressource peut répondre à deux cas :

- premier cas, la nappe est libre : on considérera que la profondeur d'accès à la ressource en eau correspond à la profondeur du niveau piézométrique moyen ;
- deuxième cas, la nappe est captive : on considérera que la profondeur d'accès à la ressource en eau correspond à la profondeur du toit de l'aquifère.

Il est donc nécessaire de savoir si la nappe est libre ou captive au niveau de chaque maille. Pour répondre à cette question, différentes données ont été récoltées sur :

- la BSS, avec la table dossier, où les forages artésiens ont été indiqués, ainsi que la table Mes_piezo où est présenté l'ensemble des mesures piézométriques, et enfin la table niveau où est indiqué la profondeur du toit et du mur des formations aquifères ;
- la BDES, avec la table piézomètre, où est indiqué le type de gisement (captif ou libre), et la table tubages, où est indiquée la profondeur de début et de fin des crépines;
- la banque de données ADES, avec la table descriptif, où est indiqué le type de gisement, et la table chronique où est enregistré l'ensemble des mesures piézométriques.

Cependant, pour le moment, aucune donnée cartographique n'a été utilisée. Cela devrait être fait durant une étape ultérieure où les cartes de la géométrie des aquifères seront numérisés. Un modèle géologique des toits et des murs des formations sera aussi réalisé.

b) Résultats actuels

L'ensemble des données récupérées a permis de définir le type de gisement de 1 465 points, avec 1 275 points pour lesquels un aquifère retenu pour le projet PNIGRA a été attribué.

Le tableau 16 montre la répartition des types de gisements en fonction des différents aquifères.

Code et nom de l'aquifère	Libre	Captif	Captif artésien	total
F02A (Sables quaternaires)	1	3	0	4
F4H01 (calcaires de Monts de Flandres)	0	0	0	0
F4H02 (Sables des Monts de Flandres)	0	0	0	0
F6A01 (sables landéniens)	97	87	5	189
F6U01 (craie du turonien supérieur à Campanien)	444	578	57	1 079
F7B01 (Craies marneuses et aquifères du Cénomanién)	0	0	0	0
F8M01 (Sables verts de l'Albien Aptien)	0	0	0	0
F8O01 (Sables du Néocomien)	3	0	0	3
Aquifère non retenu pour le projet	4	14	0	18
Aquifère non attribué	50	100	22	172
TOTAL	599	782	84	1 465

Tableau 16 : Types de gisement répertoriés.

La figure 44 présente les différents modes de gisement pour tous aquifères confondus.

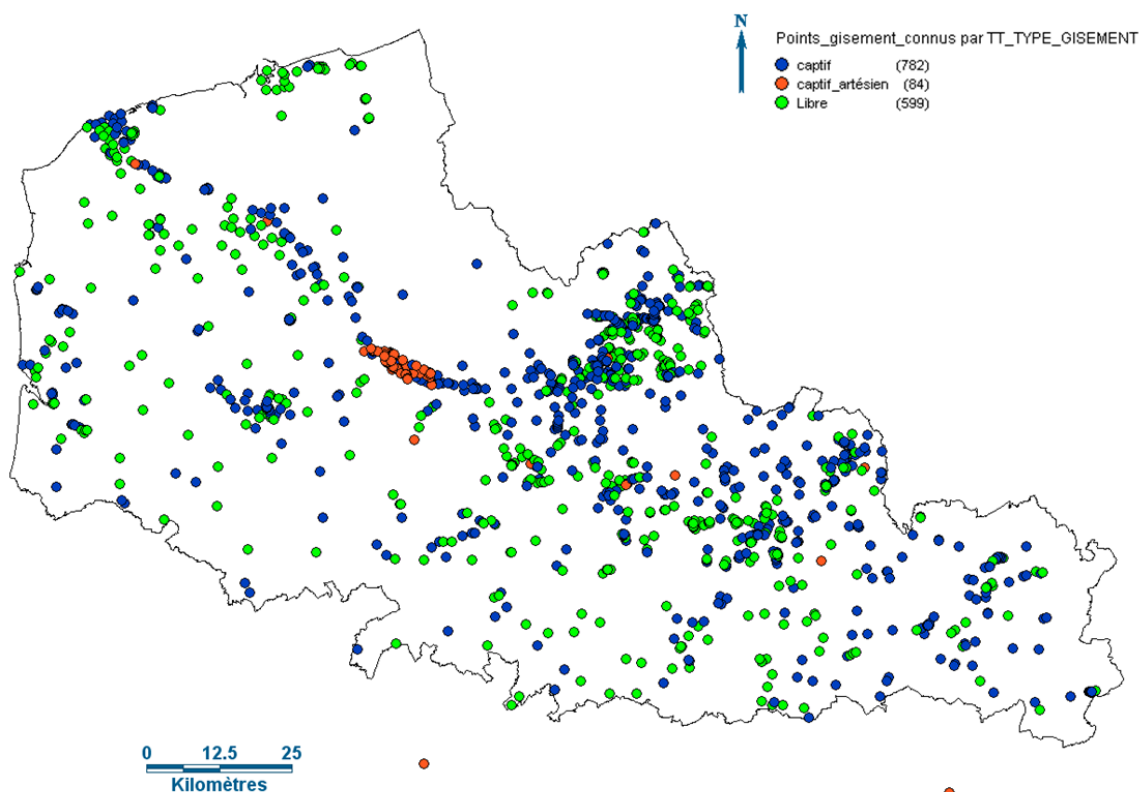


Figure 44 : Carte de répartition des types de gisements.

Ces informations devront être recoupé avec le type d'aquifère capté et les cartes de géométrie des aquifères, pour permettre de définir avec précision les zones libres et les zones captives de l'aquifère.

Ce recoupement fait, il sera alors facile de définir précisément la profondeur à forer pour atteindre la ressource.

7.3.5. Critère « Température de la ressource »

a) Sources de données

En ce qui concerne les valeurs de température de l'eau de chacun des aquifères, les valeurs ont été récupérées sur :

- ADES, la banque d'accès aux données sur les eaux souterraines. 8 728 valeurs ont été extraites en important les valeurs du paramètre température de l'eau sur l'ensemble des points d'eau du Nord-Pas-de-Calais ;
- BSS, la banque de données du sous-sol. 3 427 valeurs ont ainsi été récupérées dans la table « Meschimie » sous le libellé « température de l'eau ».

Code et nom de l'aquifère	Nombre de points avec mesures	Pourcentage de points avec mesure par aquifère	Nombre de mesures de température enregistrées	Pourcentage de mesures de température enregistrées
FO2A (Sables quaternaires)	0	0	0	0
F4H01 (calcaires de Monts de Flandres)	0	0	0	0
F4H02 (Sables des Monts de Flandres)	0	0	0	0
F6A01 (sables landéniens)	5	0,7 %	66	0,61 %
F6U01 (craie du turonien supérieur à Campanien)	620	86,83 %	9 778	90,37 %
F7B01 (Craies marneuses et aquifères du Cénomaniens)	0	0	0	0
F8M01 (Sables verts de l'Albien Aptien)	0	0	0	0
F8O01 (Sables du Néocomien)	2	0,28 %	41	0,38 %
Aquifère non retenus pour le projet	15	2,10 %	229	2.12%
Aquifère non attribué	72	10,08 %	706	6,52 %
TOTAL	714	100 %	10 820	100 %

Tableau 17 : Pourcentage de points par aquifère avec profondeur de l'aquifère connue.

Au total, 12 155 mesures de température ont été récupérées pour 812 points d'eau. Parmi ceux-ci, 714 points d'eau ont comme renseignement la profondeur de l'aquifère et 627 se sont vu attribuer une entité hydrogéologique retenues pour le projet PNIGRA. La majorité de ces mesure ne concernent que l'aquifère de la craie (Turonien supérieur à Campanien) comme le montre le tableau 17.

En sélectionnant uniquement les points d'eau qui concernent l'aquifère de la craie, on obtient 9 778 valeurs de températures pour 620 points d'eau.

401 données nulles, et donc incohérentes, sont présente dans les données d'ADES. Celles-ci ayant probablement été saisies suite à de mauvaises manipulations, ont été retirées des statistiques.

La répartition de l'ensemble des points ayant des valeurs de température de la nappe, (voir figure 45) montre que de nombreuses coupures n'ont aucune valeur de températures dans les banques de données numériques de la BSS et d'ADES. Il faudra donc aller récupérer ces informations, si elles existent, dans les documents scannés et les documents papiers de la BSS, ce qui devrait permettre de donner des renseignements sur les températures des autres aquifères.

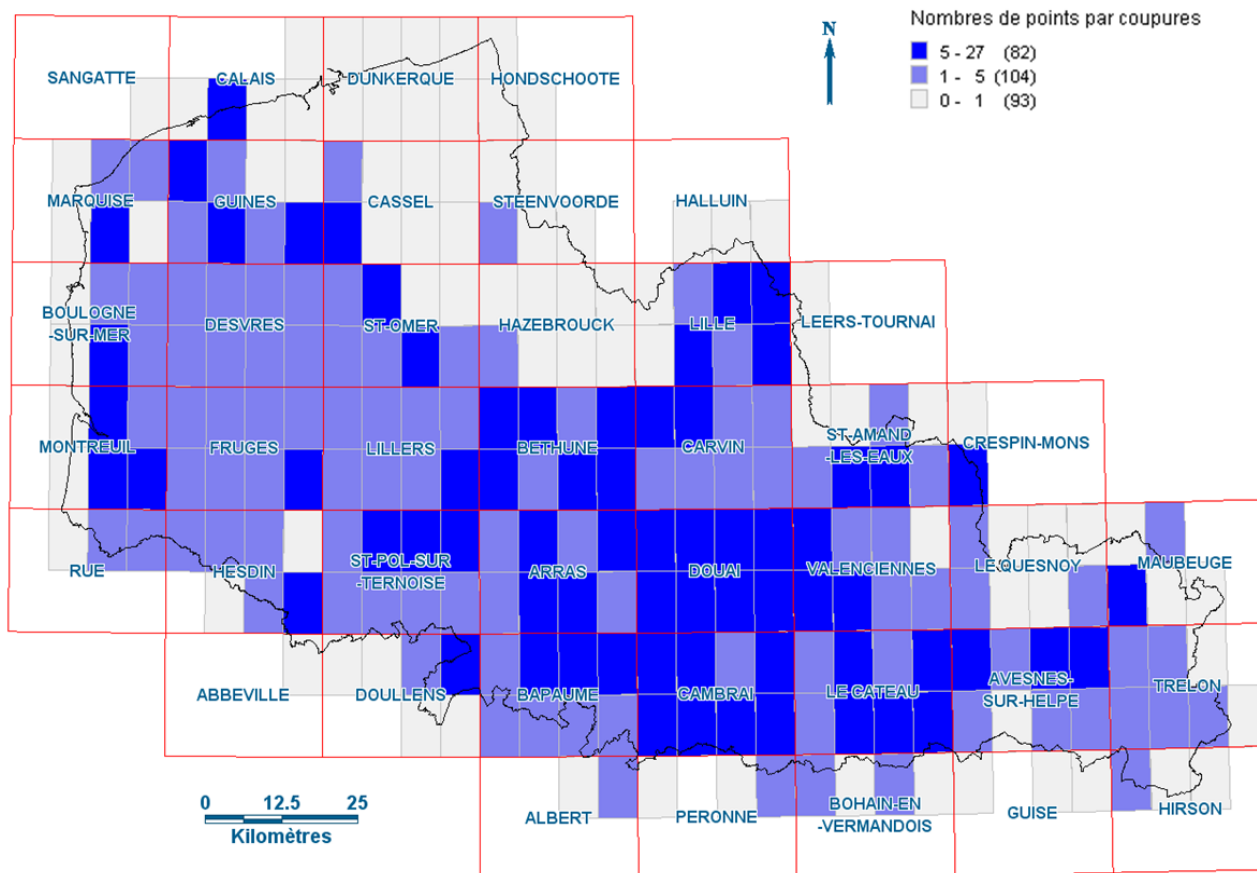


Figure 45 : Répartition par coupure des points d'eau ayant fourni des données sur les valeurs de température.

b) Analyse des données

Les données sur la température de l'eau de l'aquifère en fonction de la profondeur ont été analysées à partir de la méthode des « boîtes à moustaches de Tukey », qui permet une visualisation plus synthétique des données. Les valeurs extrêmes n'ont pas été représentées sur la figure.

La figure 29 présente la température de l'aquifère de la craie entre 0 et 70 m de profondeur. La moyenne est toujours supérieure à la médiane, ce qui montre une part plus importante de mesures de températures hautes.

Entre 0 et 60 m de profondeur, les températures semblent globalement identiques, avec une majorité de valeurs comprise entre 10,4 °C et 12 °C. Les médianes, plus représentative que les moyennes car elles ne subissent pas l'influence de valeurs atypiques, sont comprises entre 10,8 °C et 11,3 °C.

À partir de 60 m de profondeur, l'influence du gradient géothermique se fait ressentir, avec une majorité de valeurs comprises entre 13 °C et 14,4 °C, avec cependant une médiane à 13,1 °C. Cependant, les statistiques à cette profondeur on été faites sur 326 valeurs, soit seulement 2,68 % du total des données.

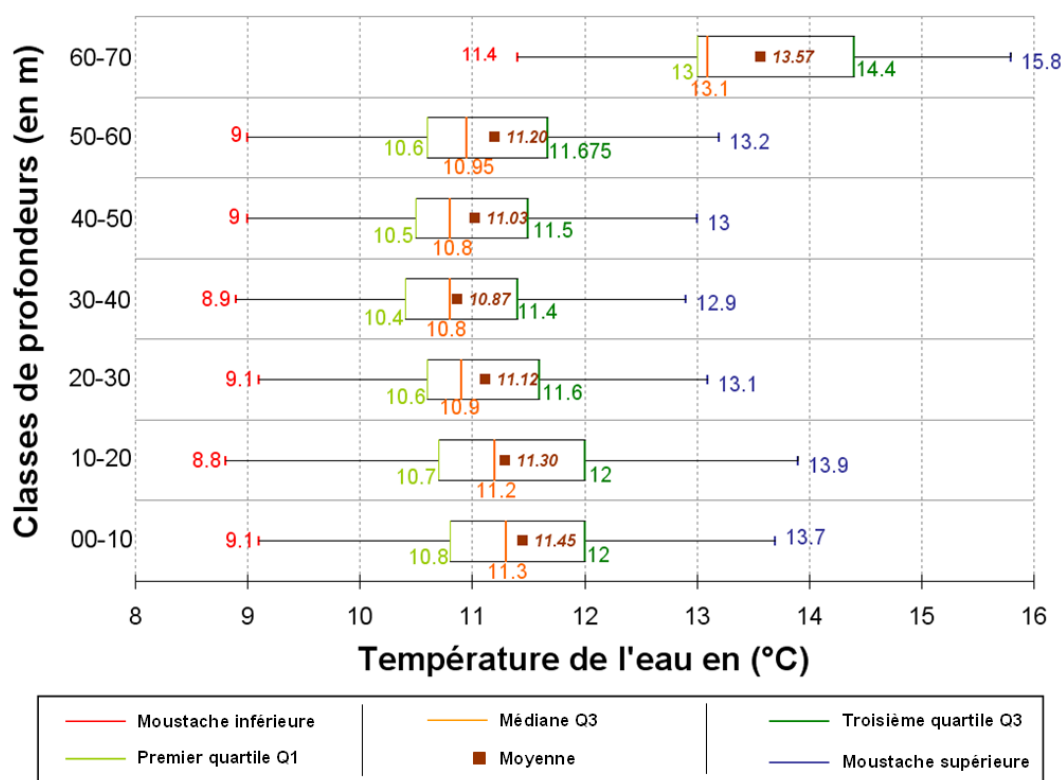


Figure 46 : Aquifère de la craie (F6U01), température de l'eau en fonction de la profondeur.

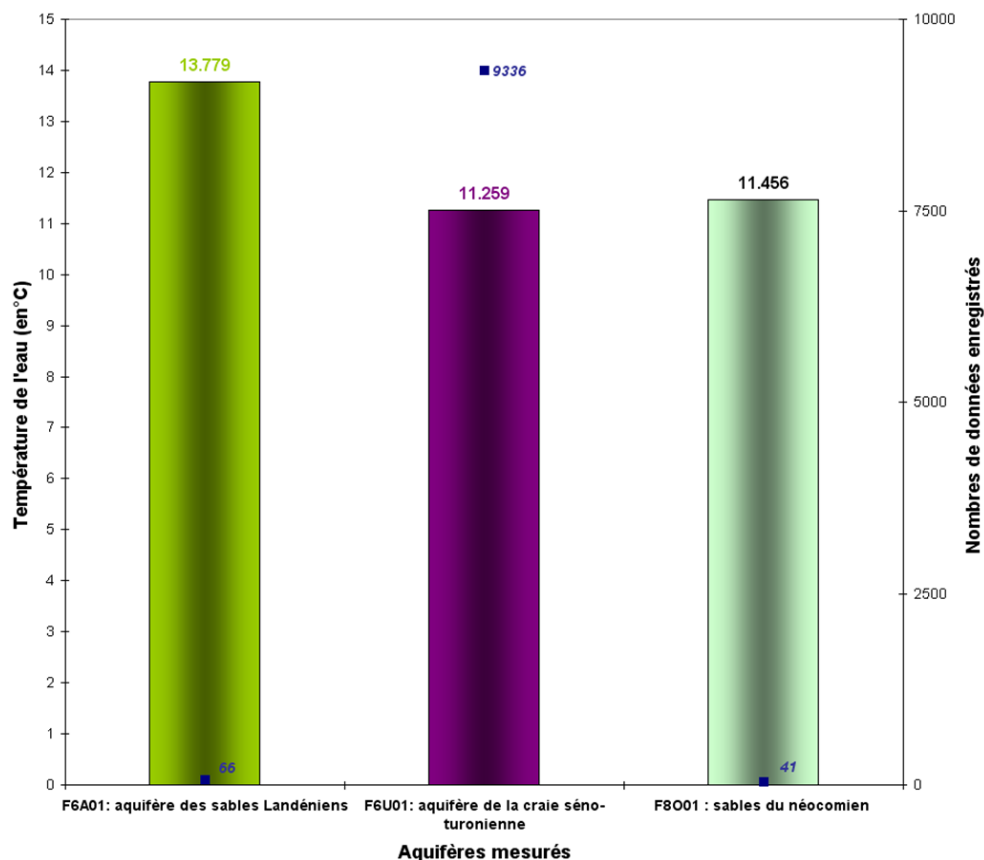


Figure 47 : Température moyenne de l'eau de trois aquifères retenus pour le projet PNIGRA.

Une moyenne globale, sur l'ensemble des données, quelque soit la profondeur, nous donne des valeurs relativement proche entre les différents aquifères, avec toutefois une valeur plus importante pour la température moyenne de l'aquifère des sables landéniens (figure 47). Cependant, au vu du faible nombre de données disponibles pour l'aquifère des sables landéniens et l'aquifère des sables du Néocomien, ces résultats ne sont pas encore assez significatifs.

7.3.6. Particularités géochimiques régionales

a) Sources de données

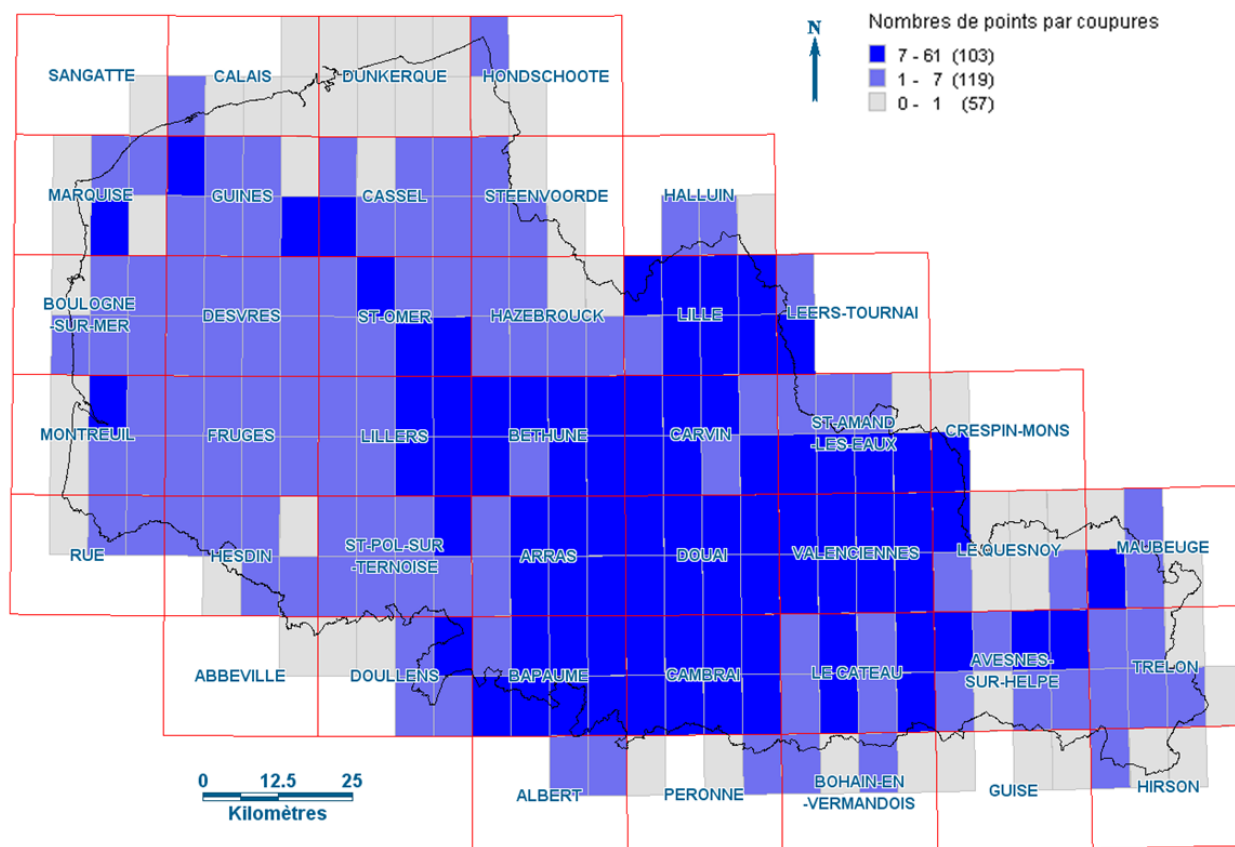
L'installation d'un système d'exploitation géothermique nécessite de connaître les caractéristiques chimiques de l'eau qui circule dans l'aquifère pour évaluer son éventuel impact sur la viabilité du système.

Pour le moment, il a été choisi de s'intéresser aux éléments suivants :

- la dureté de l'eau (titre hydrotimétrique (T.H.)), car une dureté élevée se traduit par un fort pouvoir entartrant ;

- le titre alcalimétrique complet (T.A.C), dont une valeur élevée peut être synonyme d'entartrages mais aussi d'influence sur la corrosion des métaux ;
- le pH, qui a une influence sur la corrosion et l'entartrage ;
- la teneur en fer, pouvant entraîner la prolifération de certaines bactéries, susceptibles de corroder l'installation et de précipiter le fer ;
- la teneur en chlorure, pouvant diminuer le pH et de ce fait accélérer la corrosion.

Il est possible que d'autres éléments soient analysés lors d'une étape ultérieure.



L'ensemble des données permettant de caractériser les eaux souterraines des différents aquifères du projet ont été récupérées sur :

- ADES, la banque d'accès aux données sur les eaux souterraines. 73 885 valeurs pour ces cinq paramètres ont été extraites l'eau, sur l'ensemble des points d'eau du Nord - Pas-de-Calais ;
- BSS, la banque d'accès aux données du sous-sol. 37 692 valeurs ont ainsi été récupérées dans la table « Meschimie » pour ces cinq éléments ;

- les données rassemblées par R. Duffrenoy pour le projet SIGES (système d'information géographique sur les eaux souterraines) auprès des différents acteurs du domaine des eaux souterraines (15 748 valeurs).

Toutefois, la majorité des données récoltées concernent l'aquifère de la craie (voir tableau 18 ci-après).

Code et nom de l'aquifère	Nombres de points avec mesures						Nombres de données enregistrées					
	T.H.	T.A.C.	pH	Fer	Chlorures		T.H.	T.A.C.	pH	Fer	Chlorures	TOTAL
FO2A (Sables quaternaires)	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
F4H01 (calcaires de Monts de Flandres)	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
F4H02 (Sables des Monts de Flandres)	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
F6A01 (sables landéniens)	61	62	4	57	62		153	132	5	167	179	636
F6U01 (craie du turonien supérieur à Campanien)	1 238	1 215	712	848	1 303		22 404	21 366	20 214	18 378	29 194	111 556
F7B01 (Craies marneuses et aquifères du Cénomaniens)	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
F8M01 (Sables verts de l'Albien Aptien)	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
F8O01 (Sables du Néocomien)	2	3	2	3	3		40	66	40	38	66	250
FO2A (Sables quaternaires)	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Aquifères non retenus pour le projet	124	124	12	30	125		882	1 043	249	762	1 095	4 031
Aquifère non attribué	149	127	121	96	261		1 320	1 750	1 491	1 473	4 818	10 852
TOTAL	1 574	1 531	851	1 034	1 754		24 799	24 357	21 999	20 818	35 352	127 325

Tableau 18 : Répartition des données et des points avec données suivant leur aquifère.

8. Région Haute-Normandie

8.1. SECTEUR D'ÉTUDE

En Haute-Normandie, le secteur d'étude s'étend sur la totalité du territoire. Il comprend deux départements : la Seine-Maritime (76) au nord et l'Eure (27) au sud. Tous deux présentent des superficies équivalentes, soient respectivement, 6 014 km² et 6 300 km².

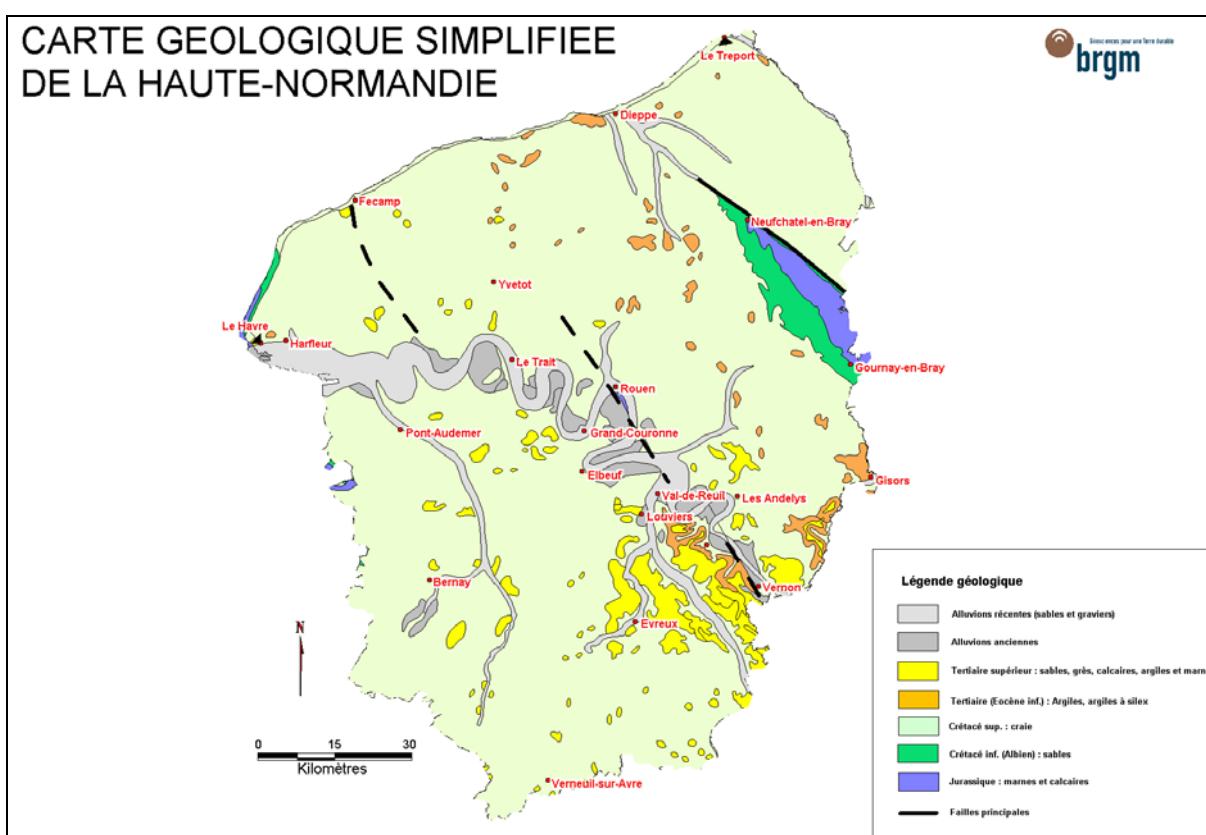


Figure 49 : Carte géologique simplifiée de la Haute-Normandie
(source : carte 1/1 000 000 de la France).

D'un point de vue géologique, la Haute-Normandie se situe en bordure ouest du bassin de Paris. Les terrains les plus anciens rencontrés sont d'âge jurassique et affleurent le long de la vallée de Calonne et dans le Pays de Bray à la faveur d'un anticlinal. L'ensemble de la région se compose de terrains crayeux formant de vastes plateaux incisés par de grandes vallées comme la Seine et l'Eure. La région est marquée par un réseau hydrographique très peu dense. L'écoulement des eaux est fortement géré par l'activité karstique qui règne dans les plateaux crayeux. Les conduits karstiques sont influencés par la fracturation, les résurgences sont nombreuses le long des grandes

vallées qui traversent la région. Les plateaux crayeux sont recouverts d'argiles à silex résultant de l'altération de la craie sous-jacente. Les limons quaternaires recouvrent quant à eux les hauteurs de ces plateaux.

8.2. AQUIFÈRES CIBLES

Les aquifères régionaux susceptibles d'être exploités pour un usage « géothermie très basse énergie » sont principalement :

- la nappe de la craie sur l'ensemble de la région ;
- la nappe alluviale essentiellement exploitable dans la vallée de la Seine ;
- la nappe du Tertiaire dans l'Eure ;
- la nappe de l'Albien du Crétacé inférieur, présente en Seine-Maritime et caractérisée par des sables verts ;
- et les aquifères du Jurassique supérieur (Tithonien, Kimméridgien, Oxfordien).

Le choix de cette sélection s'appuie sur la base de données d'extension des aquifères de BDLisa et sur les connaissances régionales. Les alluvions constituent un aquifère très productif, sollicités par de nombreux industriels, leur épaisseur peut atteindre 20 m dans la vallée de la Seine. Dans la région, la craie constitue un système karstifié dans lequel l'eau circule à travers un réseau de conduits complexe. L'aquifère du Jurassique est généralement assez profond, hormis dans le Pays de Bray et le Lieuvin où il est exploité du fait de sa faible profondeur.

Désignation		Limites d'extension		Caractéristiques					
Nom	Code	Source de donnée	Format numérique	Sous recouvrement	Affleurement	Descriptif succinct	Superficie affleurement (km ²)	Superficie totale aquifère (km ²)	Pourcentage de la superficie régionale
Alluvions	Allu	BdLisa	oui	non	oui	Alluvions anciens et modernes	678,0	1 165,5	5,5
Tertiaire	Terti	BdLisa	oui	oui	oui	Calcaires et marnes	241,1	311,3	2,0
Craie	Craie	BdLisa	oui	oui	oui	Craie glauconieuse et marneuse	370,2	11 716,1	3,0
Albien - Néocomien	Alb/néo com	BdLisa	oui	oui	oui	Sables verts et grès à faciès Wealdien	261,4	12 029,3	2,1
Oxfordien – Kimméridgien - Tithonien	Oxf / Kimm / Titho	BdLisa,	oui	oui	oui	Alternance marno-calcaire	229,9	12 314	1,9

Tableau 19 : Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Région Haute-Normandie.

Des aquifères distincts présentant des propriétés hydrogéologiques proches peuvent être regroupés.

Certains aquifères, répertoriés dans le tableau ci-dessus, regroupent plusieurs étages géologiques qui sont compris dans une même série, car ils présentent des formations similaires.

Les données relatives à la superficie des aquifères concernent uniquement la partie affleurante du territoire Haut-Normand. La superficie des zones affleurantes des aquifères représente 14,5 % de la surface régionale, la majeure partie des affleurements des plateaux (8,5 %) est représentée par des formations superficielles telles que les colluvions ou les limons des plateaux et les argiles à silex non cartographiés sur la Figure 50. Ces derniers n'ont pas été pris en compte dans le tableau, car ils ne constituent pas un aquifère exploitable en géothermie.

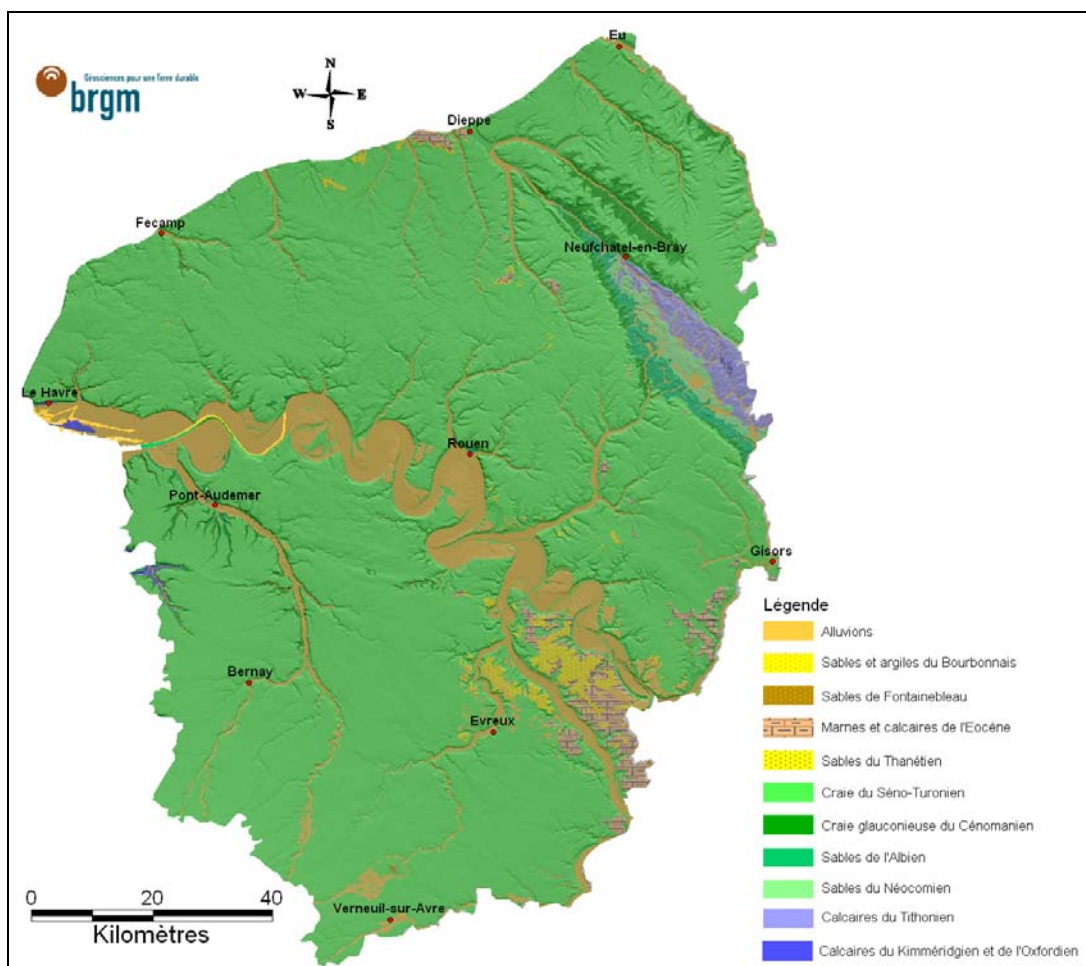


Figure 50 : Extension et superposition des aquifères de la région Haute-Normandie, hors recouvrement par limons des plateaux et argiles à silex (source BdLisa, 2009).

8.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES

8.3.1. Plannification du travail et organisation de la collecte d'information

Pour la Haute-Normandie, l'intérimaire Zaheirine Udhin a été recrutée pour réaliser le recueil de données.

8.3.2. Grille SIG

Pour les régions Basse-Normandie et Haute-Normandie, une seule et même grille de travail a été générée.

Cette grille comporte différents champs renseignant sur le nombre de colonnes et de lignes générées (respectivement 541 et 420) pour un total de 120 629 mailles.

Chaque maille est carrée et fait 500 m de côté avec comme base un X et un Y (en Lambert II étendu) multiple de 500.

Les champs de la grille sont :

- Identifiant_maille : combinaison entre code colonne et code ligne ;
- N_colonne : code de la colonne de la grille (1 ou 2 lettres) ;
- N_ligne : code de ligne de la grille (nombre) ;
- X_centre_maille : coordonnée en Lambert II étendu du centroïde de la maille ;
- Y_centre_maille : coordonnée en Lambert II étendu du centroïde de la maille ;
- Région : numéro de la région où se situe le centroïde de la maille ;
- Département : numéro du département où se situe le centroïde de la maille ;
- Commune : code INSEE de la commune où se situe le centroïde de la maille ;
- Altitude TOPO : altitude en m NGF du centroïde de la maille (moyenne des altitudes du MNT au pas de 50 m).

8.3.3. Critère « Productivité d'aquifère »

Les données de base nécessaires à la description du critère « productivité » sont les données de transmissivité, perméabilité, débits spécifiques, rabattements et débits d'exploitation potentiellement disponibles dans les sources de données suivantes :

- BSS (tous points BSS liés à un pompage, un niveau piézométrique ou une analyse chimique de l'eau) ;
- rapports divers ;
- résultats de calage de modèles hydrodynamiques (aucune source de données en modélisation).

Deux types de données peuvent être recueillis, des données ponctuelles et des données cartographiées.

En Haute-Normandie, les sources de données consultées sont :

- la BSS (requêtes sur la productivité, la piézométrie, l'exploitation, les analyses, les pompages d'essai) ;
- la base de données des forages AEP Pollac en Haute-Normandie ;
- ADES (paramètres qualitatifs des eaux souterraines).

Elles ont permis de sélectionner 2 815 points d'eau (cf. Figure 51) présentant des données de débits (débits de pompage, débits au soufflage, débits spécifiques), de paramètres hydrodynamiques (transmissivité, perméabilité, emmagasinement).

Des données qualitatives ont également été recherchées : la température ainsi de certains paramètres physico-chimiques, tels que le pH, la résistivité, la turbidité, la conductivité, le TAC, la dureté totale (TH), l'O₂ dissous, le CO₂ dissous, le calcium (Ca²⁺), le magnésium (Mg²⁺), le fer (Fe), le chlore (Cl⁻) et les sulfates (SO₄²⁻).

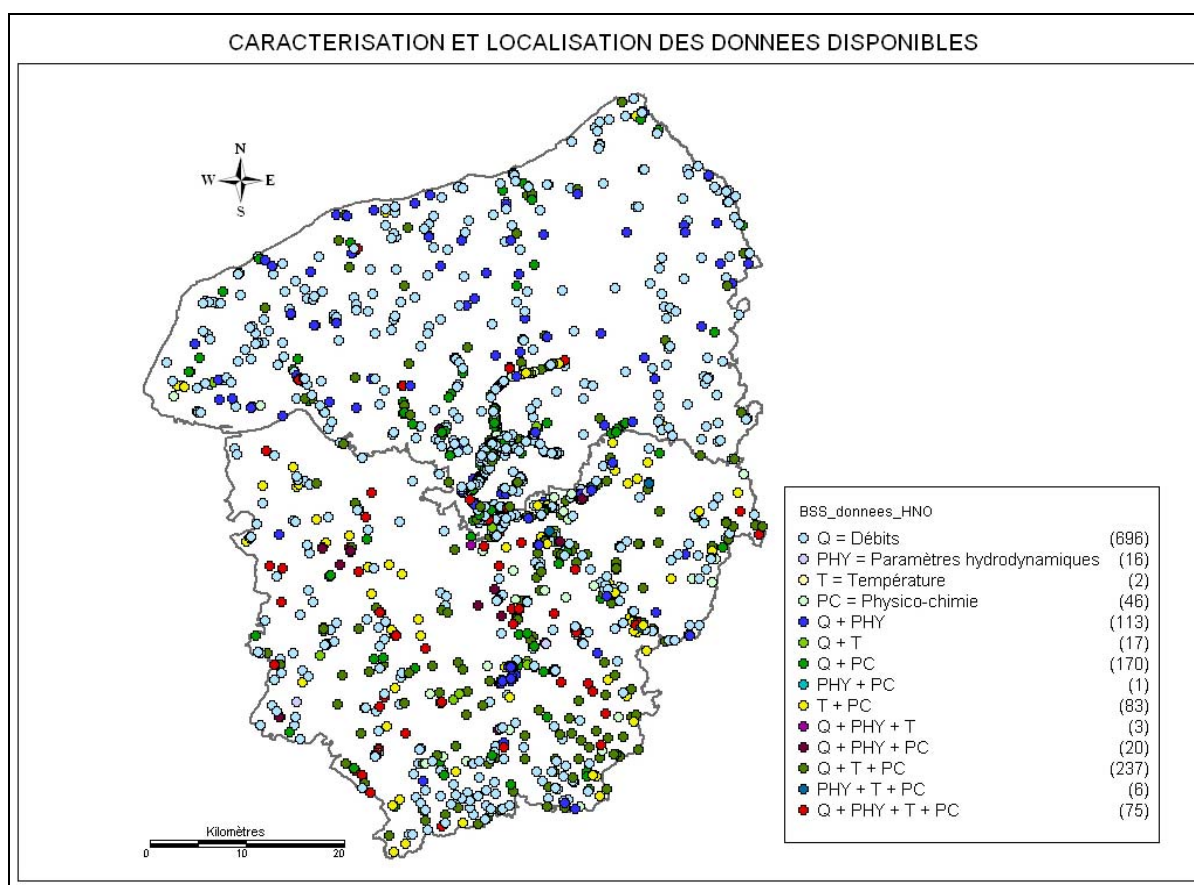


Figure 51 : Carte de répartition de points d'eau ayant fourni des données.

Le rattachement des points d'eau à un aquifère a été rendu possible par une interprétation des coupes géologiques et des coupes techniques de foreur. Ces interprétations ont été soumises à l'expertise du géologue régional. Cependant certains aquifères n'ont pu être identifiés du fait d'un manque de lisibilité des coupes géologiques.

Le Tableau 20 synthétise le nombre de valeurs disponibles pour les différents paramètres hydrodynamiques des aquifères. Les pourcentages sont calculés à partir du nombre total de données en productivité. Les indices comportant des données hydrodynamiques représentent environ 47 % de la totalité des indices traités.

Paramètres	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données
Rabatement	1 268	41,7
Débits	1 385	45,6
dont débits spécifiques	1 220	40,1
Transmissivité	231	7,6
Emmagasinement	153	5,0
Perméabilité	3	0,1
Total	3 040	100

Tableau 20 : Présentation de la répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité ».

La valeur concernant le nombre de données de débits correspond à la somme des données de débits de pompage, débits au soufflage et débits par palier.

Précisons également que le pourcentage des débits spécifiques est calculé par rapport au total de données disponibles en productivité.

Aucune donnée cartographique relative à la « productivité des aquifères » n'étant disponible, seules les données ponctuelles présentées ci-dessus ont été utilisées.

8.3.4. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »

Les données de base nécessaires à la description du critère « profondeur d'accès à la ressource » sont les données de topographie, de géométrie des formations géologiques (toit et mur des formations géologiques) et de piézométrie. Elles permettront l'évaluation de la profondeur des nappes (piézométrie pour les aquifères libres et profondeur du toit de l'aquifère dans le cas d'un aquifère captif).

a) Sources de données consultées

- Topographie : MNT au pas de 50 m.
- Géométrie :
 - BSS : logs géologiques validés (cf. Figure 52) / logs géologiques non validés ;

- cartes géologiques et hydrogéologiques : carte hydrogéologique du département de la Seine-Maritime (BRGM, 1990).
- Piézométrie :
 - Cartes piézométriques : carte piézométrique de l'Atlas hydrogéologique de l'Eure (BRGM, 2004) ;
 - BSS, ADES.
- Profondeur des crépines : BSS.

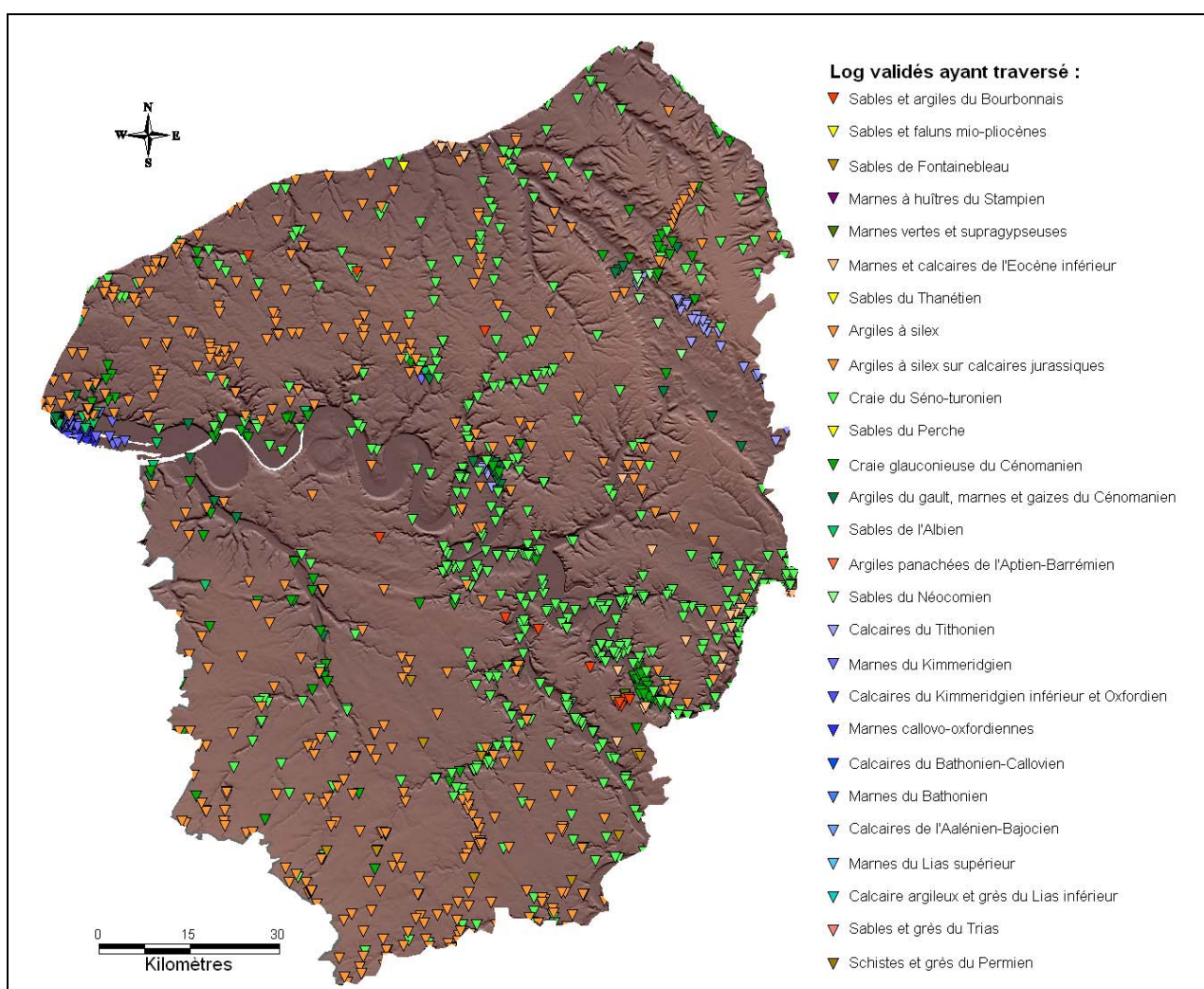


Figure 52 : Aquifères traversés par les logs géologiques validés en Haute-Normandie.

8.3.5. Critère « Température de la ressource »

Les sources de données consultées sont la BSS, ADES, et des rapports divers. Aucune donnée cartographique n'a été utilisée pour réaliser la carte de répartition des températures par aquifère.

Elles ont permis d'identifier 425 points de mesure qui sont représentés sur la Figure 53. Ces données correspondent à environ 23 % de la totalité des informations traitées.

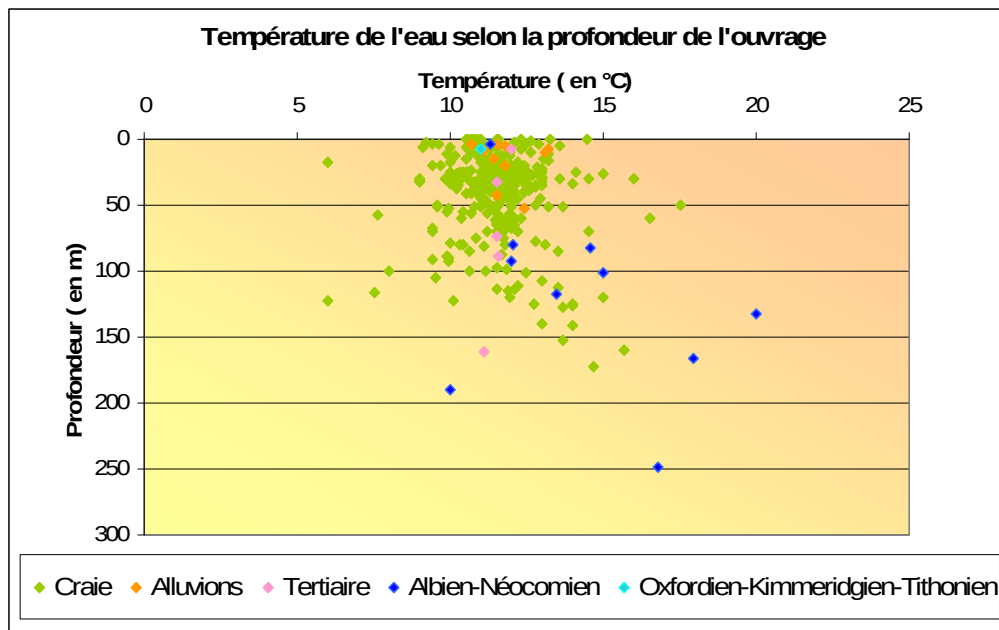


Figure 53 : Aquifères de Haute-Normandie - Répartition de la température de l'eau avec la profondeur.

La plupart des valeurs renseigne sur la température de l'aquifère de la Craie. On en compte 342 points, soit 80 % des données répertoriées.

Globalement, la température des aquifères varie entre 9 °C et 16 °C. La température dans les aquifères du Jurassique est légèrement plus élevée (17 °C à 20 °C) que dans les aquifères supérieurs, probablement due à sa profondeur.

8.3.6. Particularités géochimiques régionales

Aucune zone ayant une particularité géochimique n'a été détectée sur le secteur de la Haute-Normandie.

9. Région Basse-Normandie

9.1. SECTEUR D'ÉTUDE

En région Basse-Normandie, la zone d'étude couvre l'ensemble du territoire des trois départements (Calvados, Manche, Orne). Pour moitié environ, le potentiel géothermique concerne le socle (socle armoricain briovérien, paléozoïque et granitique).

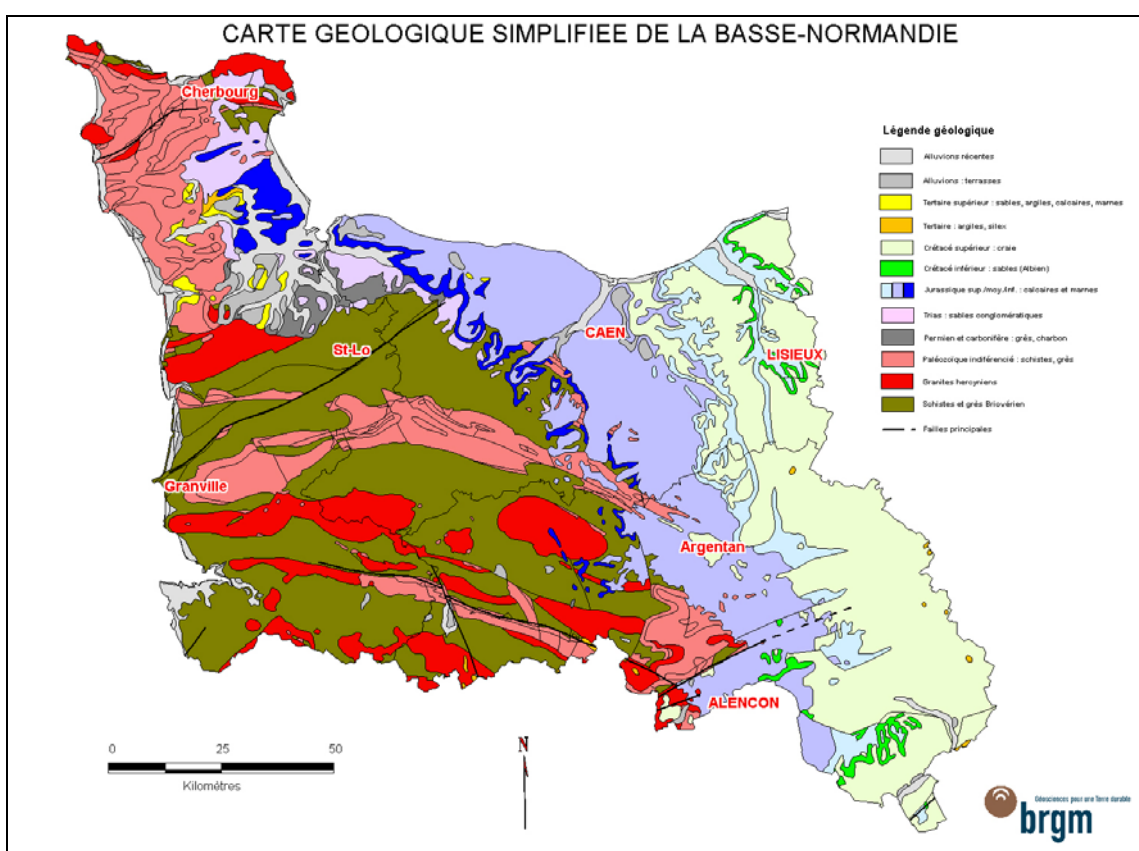


Figure 54 : Carte géologique simplifiée de la Basse-Normandie
(source : carte au 1/1 000 000 de la France).

D'un point de vue géologique, la Basse-Normandie se divise en deux parties de part et d'autre d'une ligne Valognes-Carentan-Falaise-Alençon. À l'ouest de cette ligne, le domaine de socle, composé de terrains schisto-gréseux ou granitiques, représente 8 580 km² soit 51,2 % de la surface totale régionale. À l'est, le domaine sédimentaire, débutant par le Trias en finissant par des terrains d'âge plio-quadernaires, représente lui environ 8 213 km² soit 48,8 % de la surface régionale (cf. figure 1).

9.2. AQUIFÈRES CIBLES

En Basse-Normandie, les aquifères régionaux susceptibles d'être exploités pour un usage « géothermie très basse énergie » sont d'ouest en est :

- le socle ;
- le Permien ;
- le Trias ;
- le Lias ;
- l'Aaléno-Bajocien ;
- le Bathonien-Callovien ;
- l'Oxfordien supérieur – Kimméridgien ;
- l'Albien ;
- la Craie cénomaniennne ;
- les Sables du Perche ;
- l'Éocène ;
- les terrains du Mio-pliocène du centre de la Manche ;
- et les alluvions.

Cette sélection se base sur les extensions de ces aquifères ainsi que leur potentialité reconnue régionalement. Des aquifères distincts présentant des propriétés hydrogéologiques proches peuvent être regroupés.

Le Tableau 21 répertorie les différents aquifères cibles et leurs caractéristiques de la région Basse-Normandie.

Les données de superficie des aquifères concernent la partie affleurante et la superficie totale de l'aquifère sur le territoire Bas-Normand. Les affleurements des aquifères occupent 83 % de la surface régionale, le reste représentant les formations argileuses non aquifères, les placages argilo-limoneux et les altérites.

La Figure 55 illustre l'extension des principaux aquifères de la région.

Les deux grands domaines (socle et sédimentaire) formant la Basse-Normandie offrent des ressources aquifères nombreuses et hétérogènes qui permettent d'envisager un potentiel géothermique sur l'ensemble du territoire, avec environ 50 % de la superficie en domaine de socle et 50 % en domaine sédimentaire.

Désignation		Limites d'extension		Caractéristiques					
Nom	Code	Source de donnée	Format numérique	Sous recouvrement	Affleurement	Descriptif succinct	Superficie affleurement (km ²)	Superficie totale aquifère (km ²)	Pourcentage de la superficie régionale
Alluvions	Allu	BdLisa	oui	non	oui	Graves plus ou moins argilo-sableuses	1 392,1	1 392,1	8,3
Mio-pliocène	Mioc	BdLisa	oui	oui	oui	Sables et faluns	286,0	285,4	1,7
Eocène	Tert	BdLisa	oui	oui	oui	Calcaires et marnes	27,5	27,5	0,2
Sables du Perche	SabP	BdLisa	oui	oui	oui	Sables fins à grossiers	229,0	644,5	1,4
Craie cénomaniennne	Craie	BdLisa, Atlas hydro 14	oui	oui	oui	Craie glauconieuse	781,4	3 073,8	4,6
Sables de l'Albien	Alb	BdLisa	oui	oui	oui	Sables verts	36,3	1 699,0	0,2
Oxfordien supérieur – Kimméridgien inférieur	Oxf	BdLisa	oui	oui	oui	Calcaires récifaux et sables	364,1	3 593,1	2,2
Bathonien-Callovien	Batho	BdLisa, Atlas hydro 14	oui	oui	oui	Calcaires fins, micritiques, bioclastiques	768,3	6 570,9	4,6
Aaléno-Bajocien	Bajo	BdLisa, Atlas hydro 14	oui	oui	oui	Calcaires oolithiques et bioclastiques	154,2	7 115,6	0,9
Lias	Lias	BdLisa, Atlas hydro 14	oui	oui	oui	Sables et calcaires	428,7	7 600,0	2,6
Trias	Trias	BdLisa	oui	oui	oui	Conglomérats, cailloutis, calcaires, argiles	634,5	2 542,47	3,8
Permien	Perm	BdLisa	oui	oui	oui	Schistes/grès, calcaires et conglomérats	213,2	633,3	1,3
Socle	Socle	BdLisa	oui	oui	oui	Alternance schistes et grès, granite	8 580,0	16 793,0	51,2

Tableau 21 : Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Région Basse-Normandie.

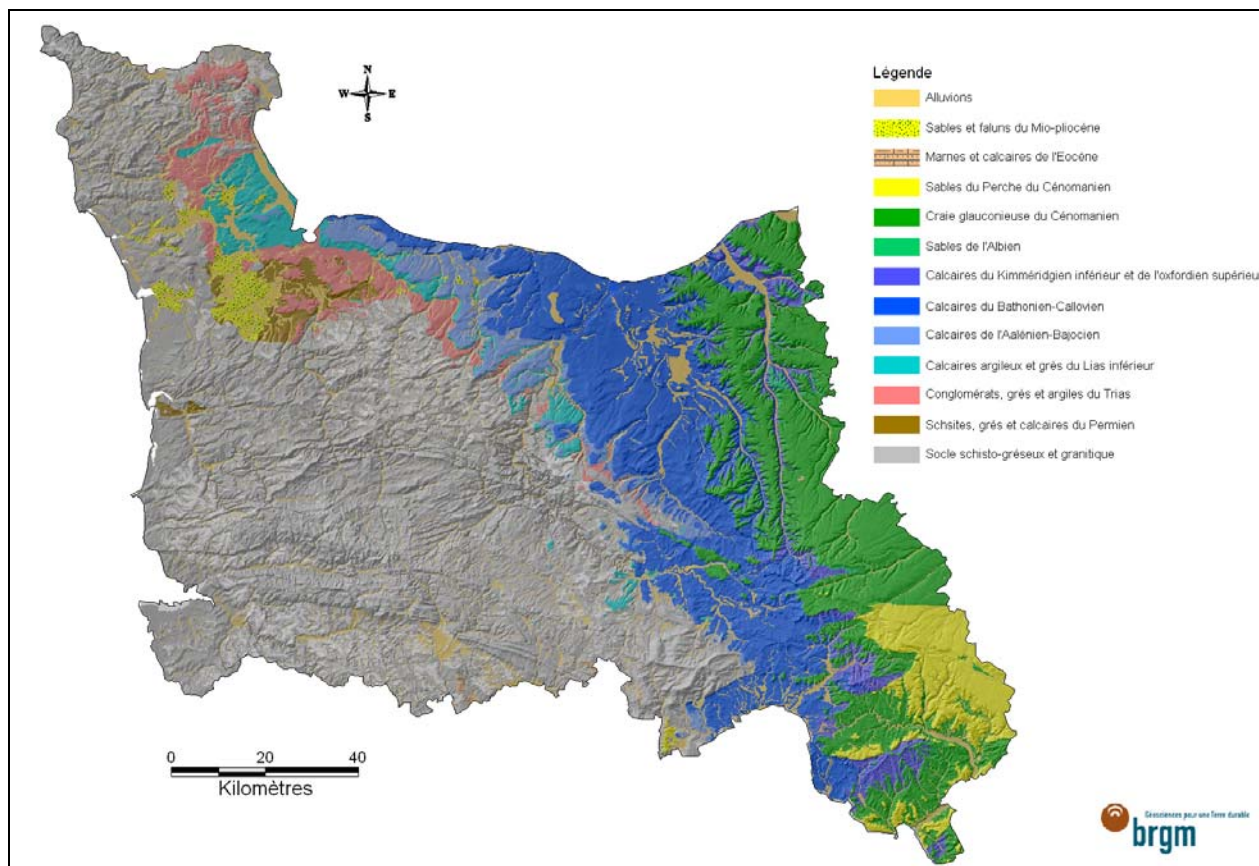


Figure 55 : Extension et superposition des aquifères de la région Basse-Normandie, hors recouvrement par limons des plateaux et argiles à silex (source : BdLisa 2009).

9.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES

9.3.1. Plannification du travail et organisation de la collecte d'information

Pour la collecte de données et la planification des tâches, l'intérimaire Alexandre Lereculey a été recruté.

9.3.2. Grille SIG

Pour les régions Basse-Normandie et Haute-Normandie, une seule et même grille de travail a été générée. Cette grille comporte différents champs renseignant sur le nombre de colonnes et de lignes générées (respectivement 541 et 420) pour un total de 120 629 mailles. Chaque maille est carrée et fait 500 m de côté avec comme base un X et un Y (en Lambert II étendu) multiple de 500.

Les champs de la grille sont :

- Identifiant_maille : combinaison entre code colonne et code ligne ;

- N_colonne : code de la colonne de la grille (1 ou 2 lettres) ;
- N_ligne : code de ligne de la grille (nombre) ;
- X_centre_maille : coordonnée en Lambert II étendu du centroïde de la maille ;
- Y_centre_maille : coordonnée en Lambert II étendu du centroïde de la maille ;
- Région : numéro de la région où se situe le centroïde de la maille ;
- Département : numéro du département où se situe le centroïde de la maille ;
- Commune : code INSEE de la commune où se situe le centroïde de la maille ;
- Altitude TOPO : altitude en m NGF du centroïde de la maille (moyenne des altitudes du MNT au pas de 50 m).

9.3.3. Critère « Productivité d'aquifère »

Les données de base nécessaires à la description du critère « productivité » sont les données de transmissivité, perméabilité, débits spécifiques, rabattements et débits d'exploitation potentiellement disponibles dans les sources de données suivantes :

- BSS ;
- rapports divers ;
- résultats de calage de modèles hydrodynamiques (aucune source de données en modélisation).

Deux types de données peuvent être recueillis, des données ponctuelles et des données cartographiées. En Basse-Normandie, les sources de données consultées sont :

- la BSS (tous points BSS liés à un pompage, à un niveau piézométrique ou à une analyse chimique de l'eau => requêtes sur la productivité, la piézométrie, l'exploitation, les analyses, les pompes d'essai) ;
- des rapports d'études hydrogéologiques locales sur des secteurs bien définis (rapport « Ressources en eau souterraine de l'Isthme du Cotentin - BRGM, 2000 » et « Atlas hydrogéologique du Calvados – BRGM, 2007 »).

Elles ont permis de sélectionner 3 111 points d'eau présentant des données de débits (débits de pompage, débits au soufflage, débits spécifiques, débits critiques, débits d'exploitation), de paramètres hydrodynamiques (transmissivité, perméabilité, emmagasinement), de température et de paramètres physico-chimiques (pH, turbidité, résistivité, conductivité, dureté totale, TAC, O₂, CO₂, anions, cations, salinité).

La carte (cf. Figure 56) montre la répartition des points d'eau BSS en fonction du nombre de données acquises pour l'atlas géothermique. On peut noter que le domaine de socle est mis en évidence sur cette carte par les points de couleur bleu-ciel qui représentent des données uniquement de débits.

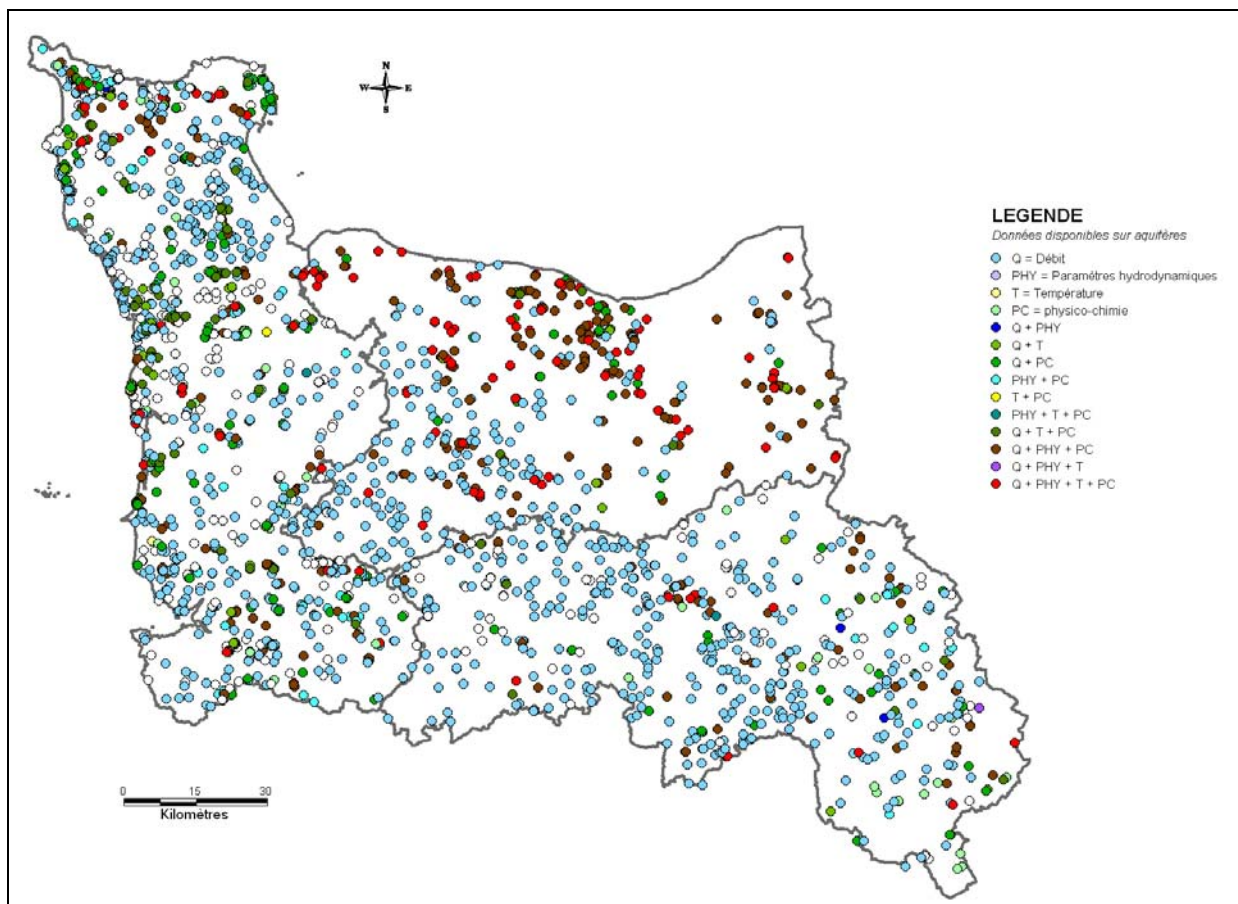


Figure 56 : Carte de répartition de points d'eau ayant fourni des données (source Banque du Sous-Sol).

Le rattachement des points d'eau à un aquifère a été rendu possible soit par l'information directement mentionnée (aquifère) sur les documents soit par une interprétation des coupes géologiques et des coupes techniques de forer. Ces derniers ont été soumis à l'expertise du géologue régional afin de valider leur interprétation. Cependant certains points d'eau n'ont pas pu être rattachés à un aquifère faute d'une coupe géologique fiable.

Le Tableau 22 synthétise le nombre de valeurs disponibles pour les différents paramètres hydrodynamiques des aquifères. Près de 3 700 données renseignent sur la « productivité » des aquifères régionaux.

Le nombre de données de débits correspond à la somme des données de débits de pompage, débits au soufflage et débits par palier. Précisons également que le pourcentage des débits spécifiques est calculé par rapport au total de données disponibles en productivité.

Paramètres	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données
Rabatement	937	25,3
Débits	2 267	61,3
Dont débits spécifiques	865	23,4
Transmissivité	351	9,5
Emmagasinement	139	3,8
Perméabilité	2	0,1
Total	3 696	100

Tableau 22 : Présentation de la répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité ».

9.3.4. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »

Les données de base nécessaires à la description du critère « profondeur d'accès à la ressource » sont les données de topographie, de géométrie des formations géologiques (toit et mur des formations géologiques) et de piézométrie. Elles permettent l'évaluation de la profondeur des nappes (piézométrie pour les aquifères libres et profondeur du toit de l'aquifère dans le cas d'un aquifère captif).

a) Sources de données consultées

- Altitude topographique : MNT au pas de 50 m.
- Géométrie :
 - extensions des aquifères (BdLisa), cartes géologiques au 1/50 000, cartes géologiques de l'Atlas hydrogéologique du Calvados (BRGM, 2007) ;
 - BSS (logs validés/logs non validés).
- Piézométrie :
 - cartes piézométriques de l'Atlas hydrogéologique du Calvados (BRGM, 2007) ;
 - rapport R40824 – « Ressources en eau souterraine de l'Isthme du Cotentin – Synthèse des connaissances » (BRGM, 2000) ;
 - carte piézométrique de la nappe des sables du Cénomanién (BRGM, 1995) ;
 - BSS ;
 - ADES.
- Profondeur des crépines : BSS.

b) Résultats

Dans le cadre du projet BdLisa, les logs géologiques validés ont été codifiés selon les passes et les aquifères traversés permettant ainsi de délimiter point par point l'extension des aquifères (cf. Figure 57). Ceux-ci permettront également de définir les murs et toits des aquifères retenus dans le cadre du projet de l'atlas géothermique.

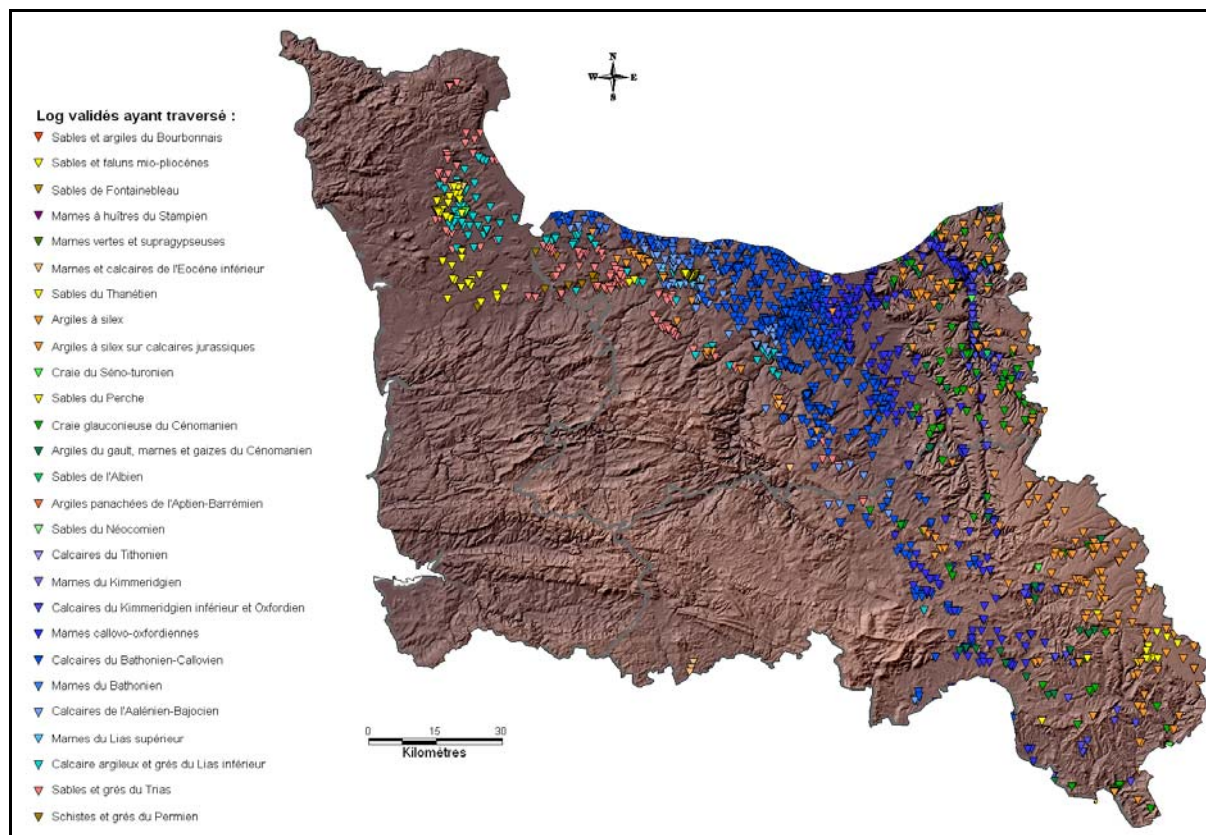


Figure 57 : Terrains traversés par les logs géologiques validés en domaine sédimentaire (source : BdLISA 2009).

Pour la Basse-Normandie, les données piézométriques permettant l'évaluation de la profondeur des nappes (aquifères libres) existent sous format numérique et sont représentées sur la carte en Figure 58. Pour le département du Calvados, les courbes piézométriques existent en basses-eaux, moyennes-eaux et hautes-eaux pour les aquifères du Bajocien, du Bathonien et de la Craie cénomaniennne. Pour le département de la Manche, le bassin mio-pliocène est en partie renseigné par des courbes isopièzes de différentes formations géologiques composant le bassin centre-manche.

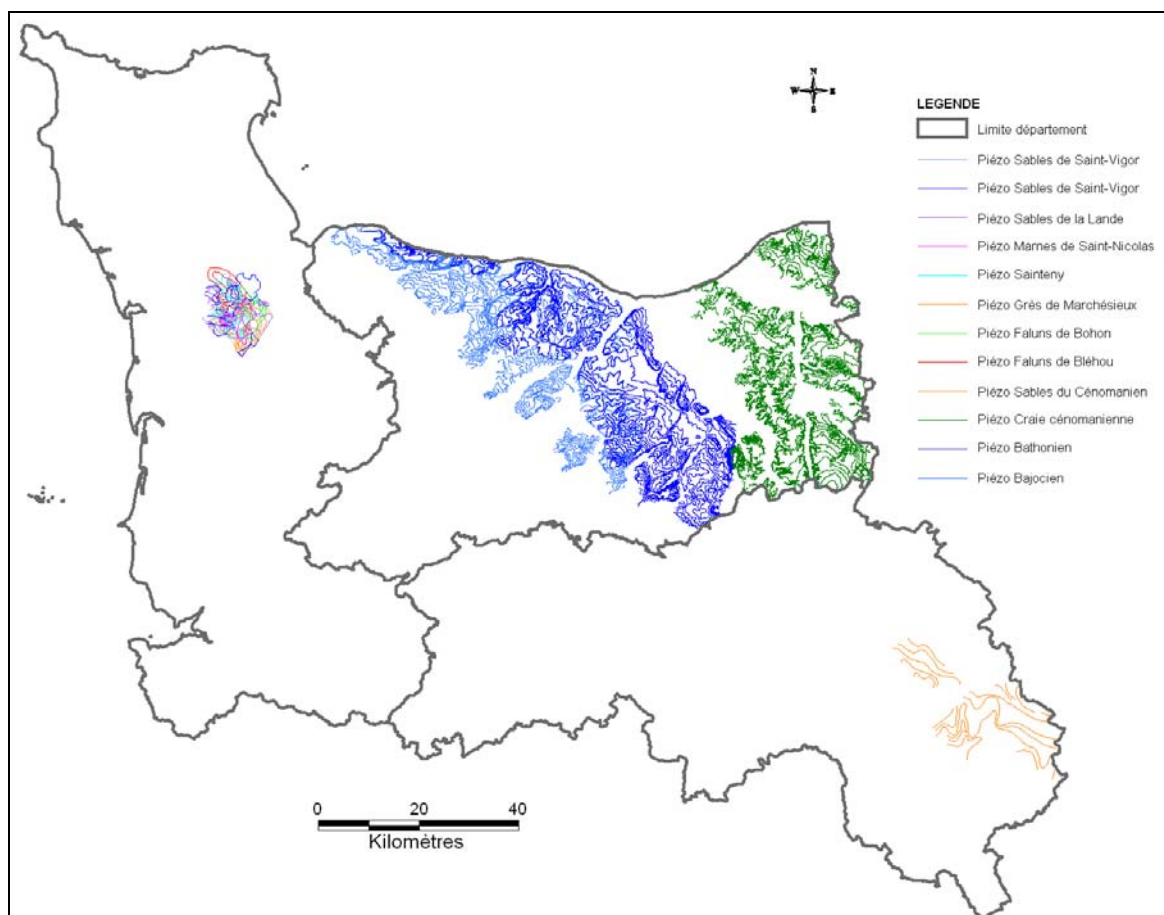


Figure 58 : Cartes piézométriques numériques existantes en Basse-Normandie.

9.3.5. Critère « Température de la ressource »

Les sources de données consultées sont la BSS et ADES. Elles ont permis d'identifier 677 points de mesure.

L'ensemble des données de température sont regroupées autour de la valeur 12 °C quel que soit l'aquifère. En revanche, les plages de température sont plus ou moins étendues selon l'aquifère, par exemple pour le socle les températures s'échelonnent de 3 °C à 24 °C et l'Oxfordien de 10,6 °C à 14,3 °C.

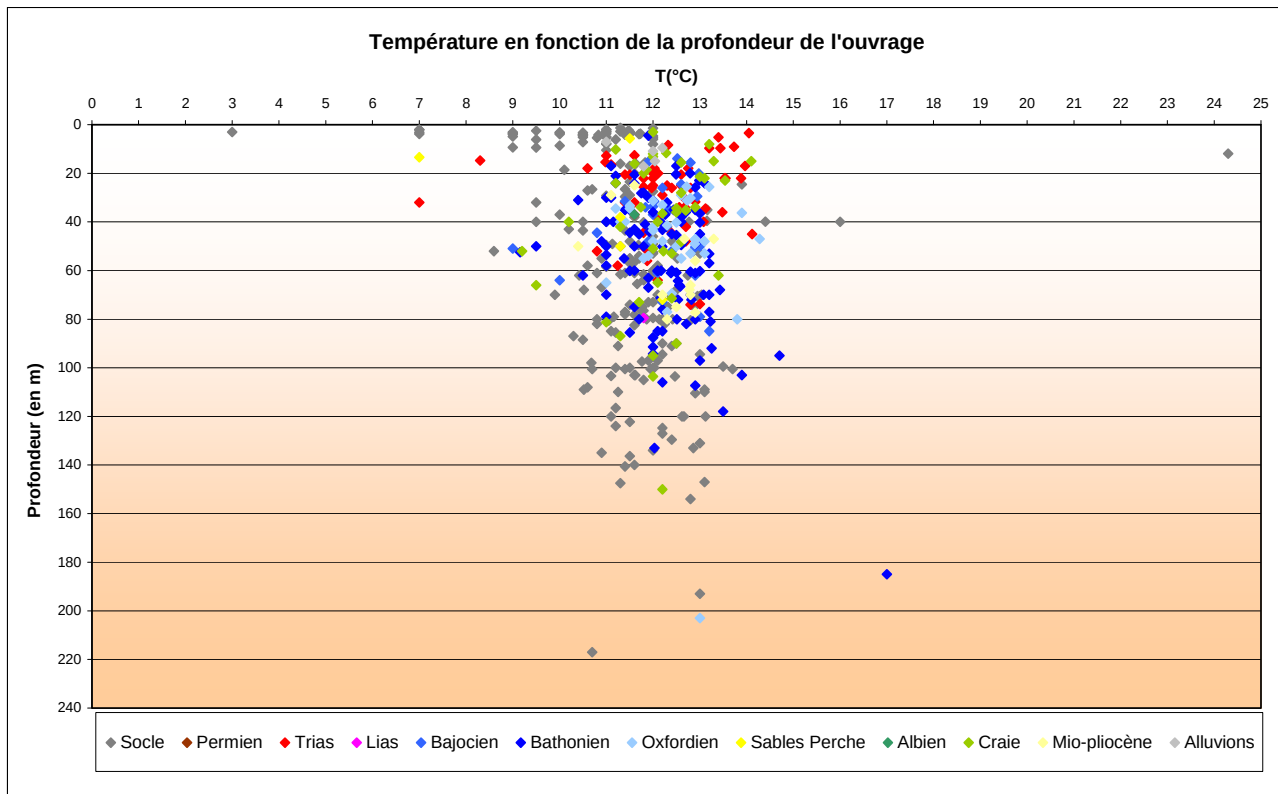


Figure 59 : Aquifères de Basse-Normandie : répartition de la température de l'eau avec la profondeur.

9.3.6. Particularités géochimiques régionales

Hormis deux contextes géologiques différents, à savoir le socle et le sédimentaire, aucune particularité géochimique n'est pour l'instant détectée sur la Basse-Normandie.

10. Pays de Loire

10.1. SECTEUR D'ÉTUDE

La région Pays de la Loire s'étend principalement sur le Massif armoricain et sur les marges du Bassin parisien et du Bassin aquitain. Géologiquement, deux zones s'identifient nettement de par la formation et la nature des roches :

- tout d'abord une zone de socle dans le massif armoricain essentiellement formée de terrains cristallins et considérée comme peu aquifère. Elle concerne les départements de la Loire-Atlantique, la Mayenne, le nord et le centre de la Vendée ainsi que l'ouest du Maine-et-Loire ;
- la seconde zone correspond aux couvertures sédimentaires. Elle comprend les formations :
 - du Bassin parisien à l'est de la région,
 - du Bassin aquitain vendéen au sud,
 - les alluvions,
 - on retrouve localement dans la zone de socle des dépôts sédimentaires comblant les bassins d'effondrement ou déposés sous forme de placages. Ils seront attribués à cette zone sédimentaire.

Le massif cristallin de la zone de socle possède une faible productivité par rapport à celle d'aquifères sédimentaires. De plus, la fissuration de celui-ci rend la distribution spatiale difficilement prédictible. Le secteur d'étude se restreint alors à la zone sédimentaire proposant des aquifères régionaux et locaux dont la productivité est considérée comme potentiellement suffisante pour l'objet du projet. Sa superficie est de 13 953 km², soit 42,9 % de celle de la région. Le Tableau 23 ci-dessous présente les zones de la région Pays de la Loire définies ci-dessus et leur surface respectives en km² et en % de la surface totale.

Région	32523 km ² 100%	Zones avec potentiel limité pour la géothermie "très basse énergie" sur nappe	18570 km ² 57,10%	Socle	18570 km ² 57,10%
		Zones potentielles pour la géothermie "très basse énergie" sur nappe	13953 km ² 42,90%	Bassin parisien	6671 km ² 20,52%
				Bassin aquitain	1665 km ² 5,12%
				Alluvions	2230 km ² 6,85%
				Dépôts sédimentaires en zone de socle (Bassins d'effondrement, Placages)	3387 km ² 10,41%

Tableau 23 : Inventaire des zones potentielles pour la géothermie « très basse énergie » et leurs surfaces respectives en km² et en % de la surface totale - Région Pays de la Loire.

La Figure 60 permet de visualiser les différentes zones potentielles pour la géothermie « très basse énergie » de la région et leur répartition.

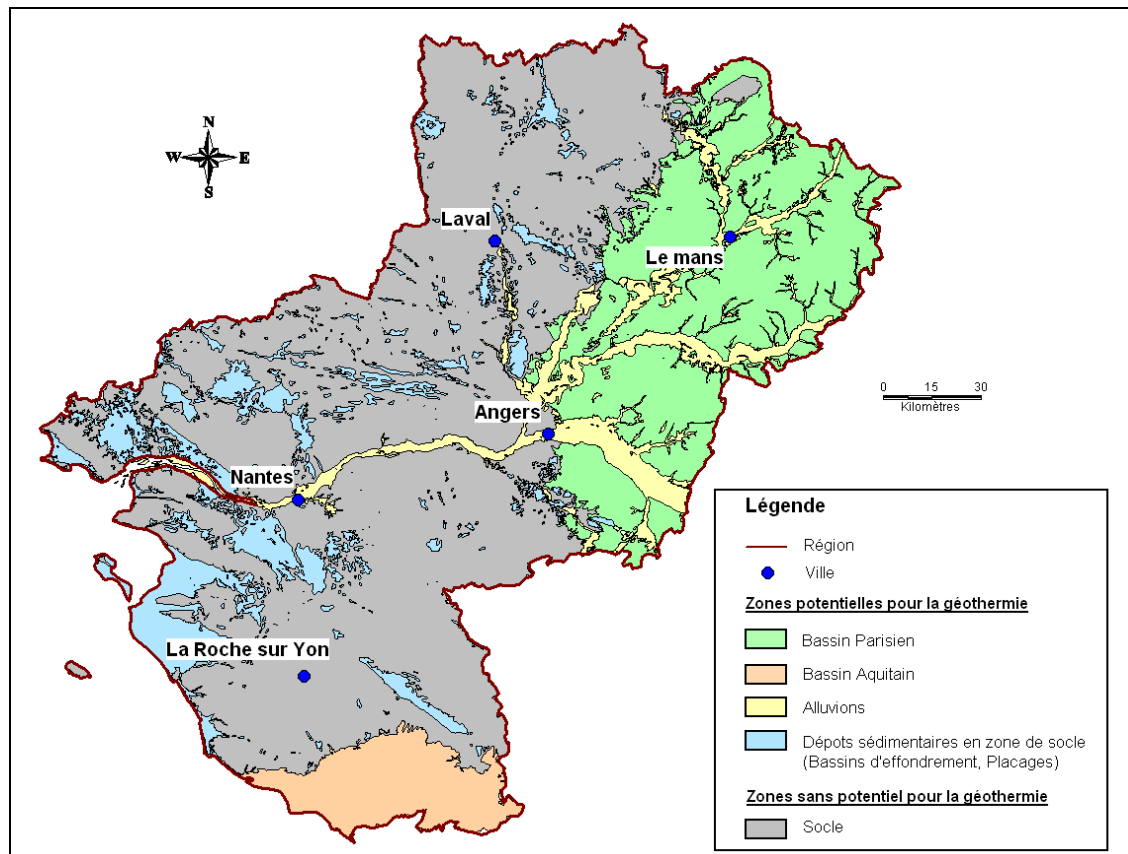


Figure 60 : Localisation des zones potentielles pour la géothermie « très basse énergie » sur aquifère - Région Pays de la Loire.

10.2. AQUIFÈRES CIBLES

Le paragraphe précédant a permis de mettre en évidence quatre zones potentielles pour des opérations de géothermie au sein du secteur d'étude. Chacune de ces zones possède de nombreux aquifères de surface, de profondeur et de nature lithologique très variables. Certains d'entre eux, très proches du point de vue de leurs propriétés hydrogéologiques ont pu être regroupés sur la base de la connaissance des aquifères régionaux et de la synthèse des informations hydrogéologiques (rapport BDRHF V2, livre « Aquifère & eaux souterraines en France » BRGM, édition 2006, etc.).

Une liste d'aquifères cibles pour l'étude du potentiel géothermique de très basse énergie est ainsi proposée. Elle ne concerne que des aquifères superficiels, c'est à dire situés dans la tranche de profondeurs 0-100 m.

- **Bassin aquitain** : trois aquifères potentiels sont présents dans cette zone ;

- **Bassin parisien** : vingt-cinq aquifères sont identifiés. Parmi ceux-ci, cinq sont écartés du fait de leur faible productivité. Les vingt aquifères restants sont regroupés en sept grands aquifères principaux. Chacun de ces derniers correspond à un regroupement de deux à cinq aquifères unitaires ;
- **Vallée alluviale** : de par l'hétérogénéité spatiale des paramètres hydrodynamiques au sein de ces aquifères, la distinction entre l'aquifère des alluvions anciens et celui des alluvions récents n'est pas représentative dans le cadre du projet. Un aquifère unique est donc défini pour l'ensemble de la zone ;
- **Placages et remplissages des bassins d'effondrements** : ces aquifères très locaux et nombreux sont dispersés sur l'ensemble de la zone de socle. Ne représentant qu'une faible part des potentialités géothermique de la région, ils ne seront pas concernés par la phase 1 de cette étude. Ils sont donc considérés actuellement comme un aquifère unique mais pourront, lors de la poursuite de l'étude, être différenciés et individualisés en fonction de leurs propres caractéristiques hydrogéologiques.

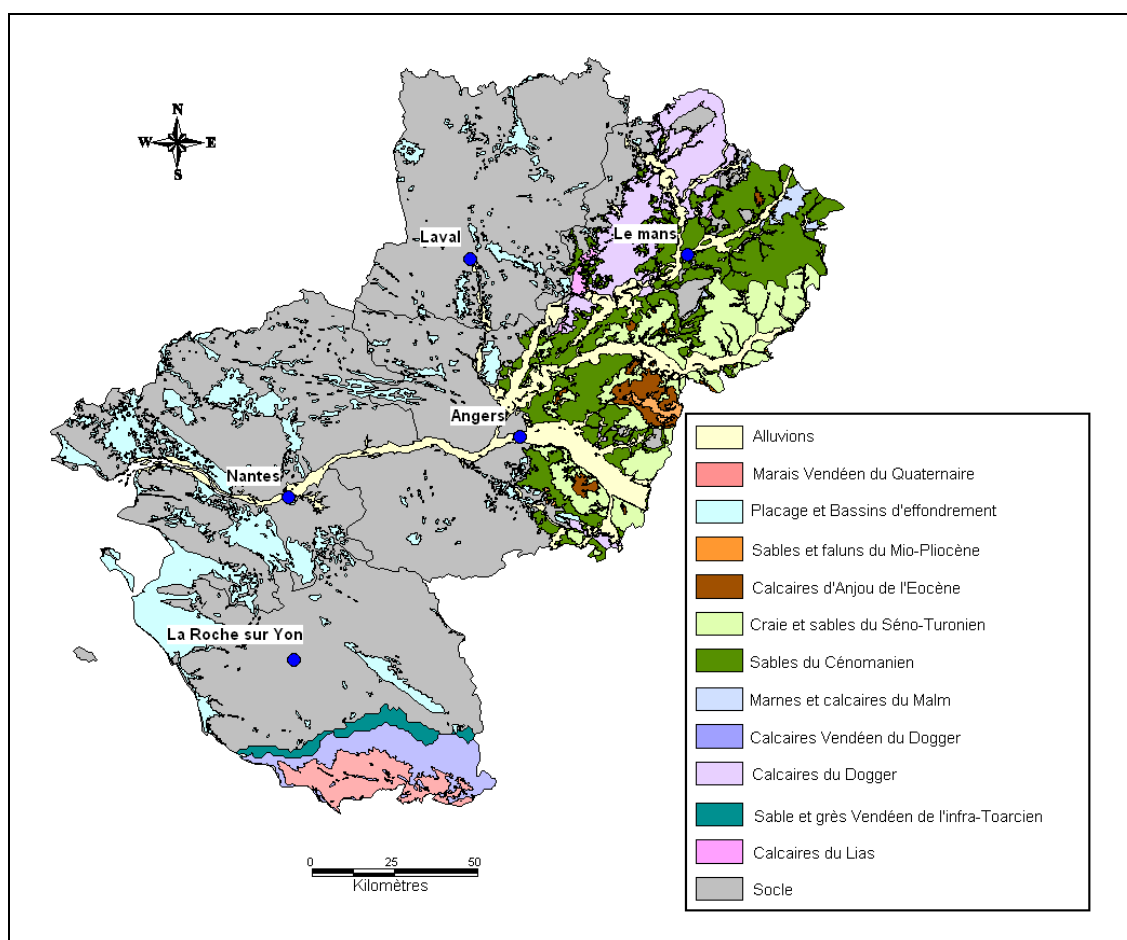


Figure 61 : Zones d'affleurement des aquifères sélectionnés - Région Pays de la Loire.

Désignation		Limite d'extension		Caractéristiques				
Nom	Code	Source de donnée	Format numérique	Sous recouvrement	Affleurement	Descriptif succinct	Superficie (km2)	Pourcentage de la superficie régionale
Alluvions	All	Carte géologique 1/250000 de la région Pays de la Loire	Oui	Non	Oui	Graviers, sables, argiles (Couverture et Jalle)	2230	6,91
						Perméabilité d'interstices		
						Nappe libre (localement captive sous l'effet de la jalle)		
						Qualité de l'eau dégradée (nitrate et pesticide)		
Marais Vendéen du Quaternaire	Quat	Carte géologique 1/250000 de la région Pays de la Loire	Oui	Non	Oui	Graviers, sables, argiles	603	1,87
						Perméabilité d'interstices		
						Nappe libre		
Placages et Bassins d'effondrement	Remp	Carte géologique 1/250000 de la région Pays de la Loire	Oui	Non	Oui	Sables, calcaires et marnes. Dépôts très locaux	3224	9,99
						Perméabilité d'interstices et/ou de fissuration		
						Nappe libre		
Sables et faluns du Mio-Pliocène	F2B	BDRHF V2 (BRGM 56954-FR)	Oui	Oui	Oui	Sables et faluns	56	0,17
						Perméabilité d'interstices		
						Nappe libre et captive		
Calcaire d'Anjou de l'Eocène	F4D	BDRHF V2 (BRGM 56954-FR)	Oui	Oui	Oui	Calcaires marneux	370	1,15
						Perméabilité d'interstices		
						Nappe libre et captive		
Craie et sables du Séno-Turonien	F6U	BDRHF V2 (BRGM 56954-FR)	Oui	Oui	Oui	Craie (Tuffeau), sables, faciès plus marneux et glauconieux à sa base	2143	6,64
						Perméabilité d'interstices et localement phénomènes de karstification.		
						Nappe libre et captive		
						Bonne productivité mais forte vulnérabilité liée aux réseaux karstiques		
Sables du Cénomanien	F7A	BDRHF V2 (BRGM 56954-FR)	Oui	Oui	Oui	Sables grossiers, sables fins argileux, sables marneux	6185	19,01
						Perméabilité d'interstices		
						Nappe libre et captive		
						Bonne qualité des eaux, faible minéralisation		
Calcaires et marnes du Malm	F10F	BDRHF V2 (BRGM 56954-FR)	Oui	Oui	Oui	Ressources la plus importante de la région	873	2,68
						Calcaires corraliens et calcaires à Astarte		
						Perméabilité de fissuration, Phénomène de karstification		
Calcaires du Dogger	F11T	BDRHF V2 (BRGM 56954-FR)	Oui	Oui	Oui	Nappe libre (bon débits mais vulnérable), nappe captive	3500	10,84
						Calcaires (présence locale de nodules, silex, oolithes), Aquifère discontinu		
						Perméabilité d'interstices moyenne à faible, Degré de fissuration important en surface. Karstification en zone d'affleurement		
						Nappe libre et captive,		
Calcaires Vendéen du Dogger	F11U	Carte géologique 1/250000 de la région Pays de la Loire	Oui	Oui	Oui	Nappe libre vulnérable aux pollutions diffuses agricoles	1344	4,16
						Calcaires crayeux altérés, diaclasés en surface.		
						Perméabilité de fissuration,		
Calcaires du Lias	F12B	BDRHF V2 (BRGM 56954-FR)	Oui	Oui	Oui	Nappe libre et captive	1382	4,28
						Calcaires et calcaires sableux		
						Perméabilité de fissuration		
Sables et grès Vendéen de l'infra-Toarcien	F13A	Carte géologique 1/250000 de la région Pays de la Loire	Oui	Oui	Oui	Nappe libre (vulnérable) et captive (bon complément de ressource local)	1624	5,03
						Sable et grès		
						Perméabilité d'interstices et de fissuration		
						Nappe libre et captive		

**Tableau 24 : Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles –
Région Pays de la Loire**

• Données ponctuelles

Parmi l'ensemble des sources de données disponibles et consultées pour le critère « productivité » en région pays de la Loire, la liste ci-dessous regroupe celles qui ont fourni des informations :

- 374 dossiers issus de la BSS région Pays de la Loire « Format numérique » ;
- dossier BSS en cours d'instruction : « Réalisation d'un nouveau forage d'eau potable F1 bis sur le site de Riverelles-Saint-Gervais de Vic (72). Compte rendu technique des travaux. ANTEA ingénierie et conseil ; Agence Ouest – Sud-Ouest. Juillet 2009 – 55181/A » ;
- étude méthodologique sur la délimitation des nappes d'Accompagnement. Exemple du Val de l'Authion ; Barlet Nathalie, Mémoire de géologue de l'IGAL n° 144, 2001, 103 p., 30 fig. ;
- l'annexe 4 du rapport suivant : Programme d'étude et de modélisation pour la gestion de la nappe du Cénomanien. Rapport de fin de phase 2. SOGREAH BRD/ENV/MBN/NDT-N° 2730117-R3V2 – Aril 2006.

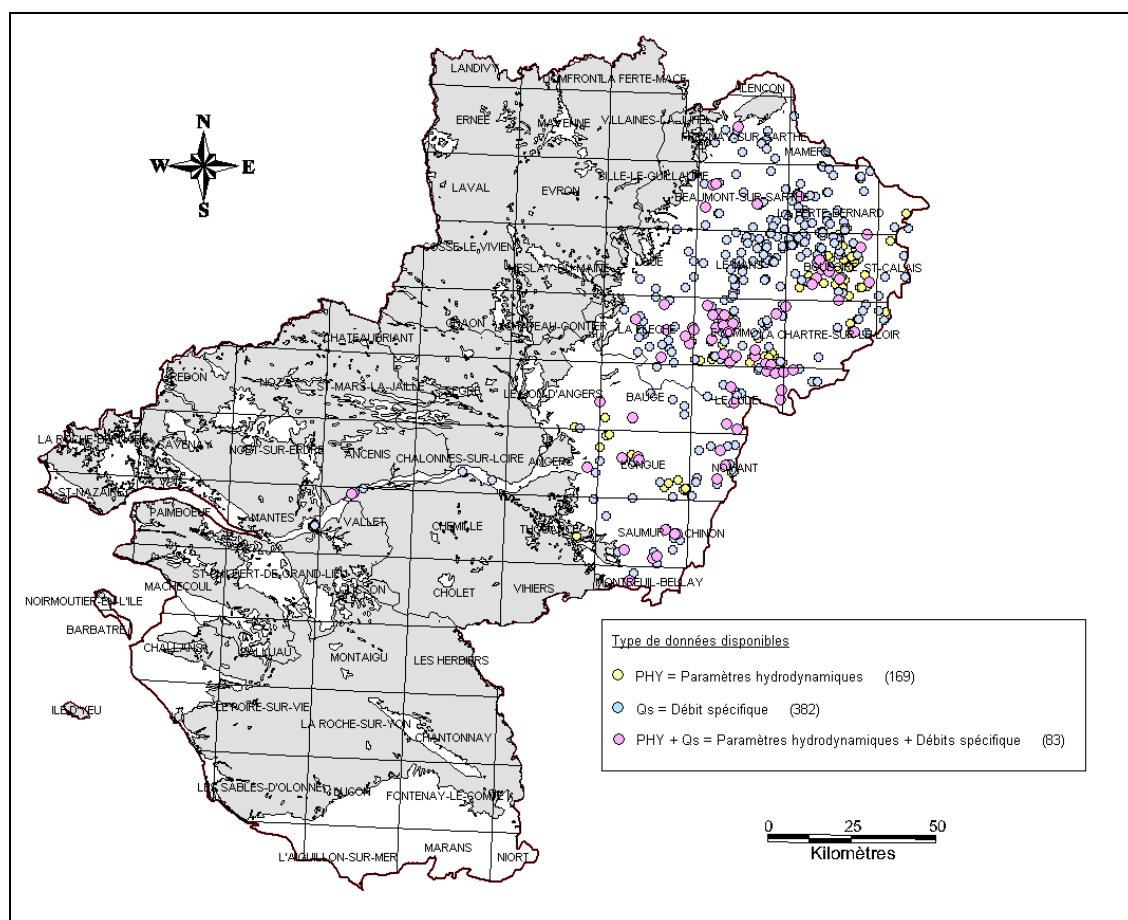


Figure 62 : Répartition des données disponibles pour la description du critère « productivité » – Région Pays de la Loire

Une vision de l'ensemble de données disponibles est présentée sur la Figure 62. De plus, l'annexe 1 permet de visualiser le même type de données pour chacun des aquifères définis en région Pays de la Loire.

Les points présents sur cette carte ont été sélectionnés selon les critères suivants :

- tous les ouvrages captent un aquifère dont la profondeur du toit est inférieure à 100 m ;
- la connaissance simultanée d'au moins un des deux types de données nécessaires à la description du critère « productivité » et de l'aquifère qu'il capte.

Afin de rattacher chaque donnée issue des dossiers de la BSS à un aquifère, la méthodologie suivante a été mise en place :

- dans un premier temps, la profondeur de la base et du sommet des crépines de chaque ouvrage est récupérée d'après les coupes techniques présentes dans les dossiers BSS ;
- ensuite, selon la présence dans le dossier d'un log stratigraphique validé ou non validé, la méthode appliquée diffère :
 - si le log stratigraphique est validé : la comparaison de ses données avec la profondeur crépinée ainsi que l'appui des cartes géologiques concernées permet de rattacher les ouvrages à l'aquifère qu'ils captent,
 - si le log stratigraphique n'est pas validé : un croisement entre les données issues de celui-ci, celles disponibles dans la BDRHF V2 de la région Pays de la Loire et la profondeur des crépines est effectué.

Le tableau 25 ci-dessous récapitule l'ensemble des données hydrodynamiques ponctuelles relatives au critère « productivité ».

Aquifère	Paramètres									
	Rabatement		Débit		Débits spécifique		Transmissivité		Total	
	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données
Alluvions	34	10,18	34	10,18	35	9,16	4	2,37	35	7,26
Sables et faluns du Mol-Pliocène	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Calcaires d'Anjou de l'Eocène	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Craie et sables du Séno-turonien	30	8,98	30	8,98	31	8,12	1	0,59	31	6,43
Sables du Cénomani	218	65,27	218	65,27	264	69,11	158	93,49	364	75,52
Marnes et calcaires du Malm	7	2,10	7	2,10	7	1,83	0	0,00	7	1,45
Calcaires du Dogger	45	13,47	45	13,47	45	11,78	6	3,55	45	9,34
Calcaires du Lias	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Total	334	100	334	100	382	100	169	100	482	100

Tableau 25 : Synthèse des types de données ponctuelles relatives au critère « productivité » - Région Pays de la Loire

La Figure 62 met en évidence une hétérogénéité dans la répartition de l'ensemble des données hydrodynamiques sur la zone d'étude. On observe une densité plus élevée en Sarthe que dans le Maine et Loire. Des lacunes sont visibles principalement au niveau des feuilles géologiques de « Bauge », « Le Lion d'Angers », « Longué » et « Saumur ». De plus, les données des vallées alluviales représentent seulement 7 % de l'ensemble des paramètres connus pour le critère « productivité », soit 35 données sur les 482 disponibles.

Chaque paramètre possède une répartition sensiblement identique à l'ensemble des données disponibles. Une lacune de connaissance des transmissivités est quand même constatée dans l'Ouest de la Sarthe. De plus, le nombre de données pour chacun des paramètres est variable. En effet, seulement 169 données ont été récoltées pour la transmissivité alors que 382 l'ont été pour le débit spécifique.

L'annexe 1 permet de visualiser les différents aquifères définis et la répartition des paramètres associés à chacun d'entre eux. Le premier constat est l'absence totale de données concernant les aquifères des calcaires du Lias, des calcaires d'Anjou de l'Éocène et des sables et faluns du Mio-Pliocène. Les aquifères de la craie et des sables du Séno-Turonien et celui des sables du Cénomaniens ont une répartition de données plutôt homogène, mais le premier possède une densité de points bien plus faible que le second. D'ailleurs, l'aquifère des sables du Cénomaniens est celui qui est le plus représenté avec plus de 75 % des données disponibles. Enfin, les paramètres hydrodynamiques des aquifères calcaires du Malm et du Dogger sont localisés, dans l'ensemble, au Nord de chacun d'entre eux.

- **Données cartographiques**

Aucune source de données cartographiques disponible et consultée n'a permis de collecter de donnée relative au critère « production ».

10.3.3. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »

Les données de base nécessaires à la description du critère « profondeur d'accès à la ressource » sont les données de topographie, de géométrie des formations géologiques (toit et mur des formations géologiques) et de piézométrie. Elles permettront l'évaluation de la profondeur des nappes (piézométrie pour les aquifères libres et profondeur du toit de l'aquifère dans le cas d'un aquifère captif).

a) Sources de données consultées

- Données ponctuelles :
 - géométrie : BSS (logs validés/logs non validés),
 - piézométrie : BSS,
 - profondeur des crépines.

- Données cartographiques :
 - topographie : MNT au pas de 50 m,
 - géométrie : BSS (logs validés/logs non validés) ; cartes géologiques,
 - piézométrie : cartes piézométriques.

b) Résultats

Les résultats présentés ne tiennent pas compte des données concernant la zone du Bassin aquitain et celle des placages et bassins d'effondrement. Ces données seront respectivement disponible fin 2009 et au cours de l'année 2010.

• Données ponctuelles

La liste ci-dessous présente les différentes sources disponibles en région Pays de la Loire des données nécessaires à la description du critère « Profondeur d'accès à la ressource » :

- BSS région Pays de la Loire « Format numérique » ;
- Étude méthodologique sur la délimitation des nappes d'Accompagnement. Exemple du Val de l'Authion. Barlet Nathalie. Mémoire de géologue de l'IGAL n° 144, 2001, 103 p., 30 fig. ;
- Programme d'étude et de modélisation pour la gestion de la nappe du Cénomanién. Rapport de fin de phase 2. SOGREAH BRD/ENV/MBN/NDT-N° 2730117-R3V2 – Avril 2006.

Une vision de l'ensemble de données disponibles est présentée sur la Figure 63. De plus, l'annexe 2 permet de visualiser les mêmes données pour chacun des aquifères définis en région Pays de la Loire.

Les points présents sur cette carte ont été sélectionnés selon les critères suivants :

- tous les ouvrages captent un aquifère dont la profondeur du toit est inférieure à 100 m ;
- présence d'une coupe technique de l'ouvrage et de la profondeur crépinée ;
- lorsque la nappe est libre, il est nécessaire d'avoir une valeur de profondeur piézométrique afin de définir la profondeur d'accès.

Le Tableau 26 présente l'ensemble des données disponibles en fonction des différents paramètres entrant dans la définition du critère « Profondeur d'accès » et par aquifère.

Les données ponctuelles disponibles pour le critère « Profondeur d'accès » sont au nombre de 398. Leur répartition se rapproche fortement de celles pour le critère « productivité ». Les lacunes identifiées sont donc elles aussi les mêmes.

Les différents paramètres possèdent un nombre de données très proche excepté pour les logs stratigraphiques validés disponibles seulement pour 181 ouvrages.

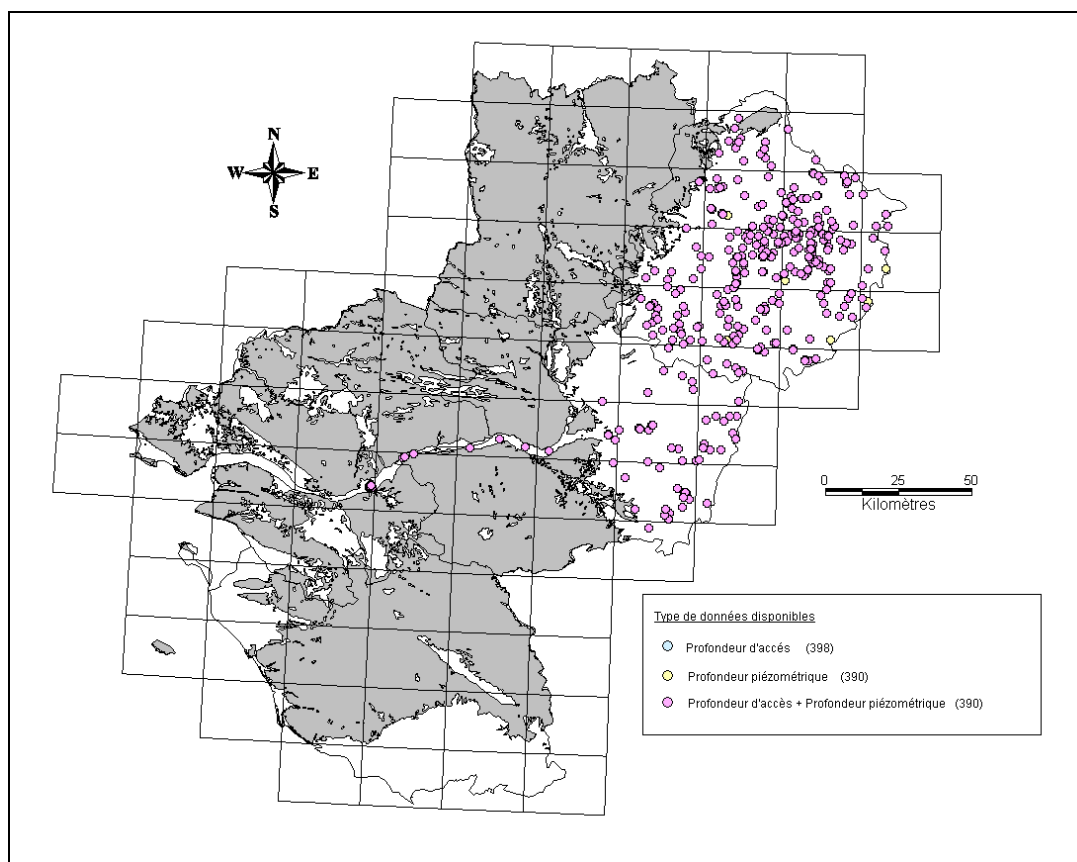


Figure 63 : Répartition des données disponibles pour la description du critère « profondeur d'accès » – Région Pays de la Loire.

Aquifère	Paramètres									
	Log valide		Profondeur des crépines		Profondeur d'accès		Profondeur piézométrique		Total	
	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données
Alluvions	27	14,92	46	11,56	46	11,56	46	11,79	46	11,56
Sables et faluns du Moi-Pliocène	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Calcaires d'Anjou de l'Eocène	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Craie et sables du Séno-turonien	14	7,73	35	8,79	35	8,79	34	8,72	35	8,79
Sables du Céno-manien	109	60,22	254	63,82	254	63,82	250	64,10	254	63,82
Marnes et calcaires du Malm	3	1,66	7	1,76	7	1,76	6	1,54	7	1,76
Calcaires du Dogger	28	15,47	56	14,07	56	14,07	54	13,85	56	14,07
Calcaires du Lias	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Total	181	100	398	100	398	100	390	100	398	100

Tableau 26 : Synthèse des types de données ponctuelles relatives au critère « profondeur d'accès » - Région Pays de la Loire.

L'étude des données par aquifère confirme l'absence totale de celles-ci pour les calcaires du Lias, ceux de l'Éocène ainsi que pour les sables et faluns du Mio-Pliocène. Là encore les sables du Cénomaniens possèdent le maximum de données (254) même si une hétérogénéité spatiale se remarque.

- **Données cartographiques**

La source de données cartographiques suivante a permis de collecter des données relative au critère « profondeur d'accès » : Carte hydrogéologique du Bassin de l'Authion à l'échelle 1/5 0000. BRGM ; 1979.

10.3.4. Critère « Température de la ressource »

a) Sources de données consultées

- Données ponctuelles : BSS, ADES, rapports divers.
- Données cartographiques : carte de répartition des températures par aquifère.

b) Résultats

Les résultats suivants ne tiennent pas compte des données concernant la zone du Bassin aquitain et celle des placages et bassins d'effondrement. Les données seront respectivement disponible fin 2009 et au cours de l'année 2010.

- **Données ponctuelles**

La liste ci-dessous présente les différentes sources disponibles en région Pays de la Loire des données nécessaires à la description du critère « Température » :

- BSS région Pays de la Loire « Format numérique » ;
- ADES.

Une vision de l'ensemble de données disponibles est présentée sur la Figure 64.

La répartition des données disponibles pour décrire le critère « température » suit le même type de répartition que celles des critères précédents. Par contre le nombre de mesures est bien plus faible avec seulement 79 données. Chaque point est rattaché à un aquifère mais le faible nombre de valeurs ne permet pas une étude cohérente de la répartition des données par nappe.

La figure 65 ci-dessous montre l'évolution de la température de l'eau selon la profondeur à laquelle elle a été mesurée.

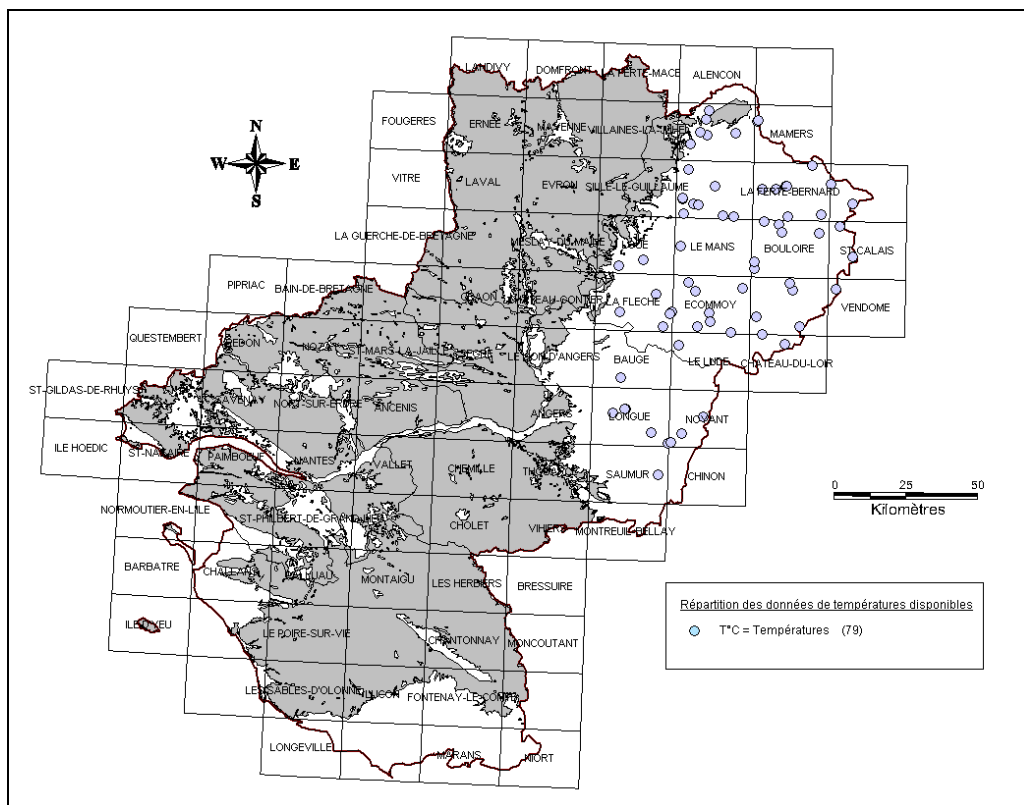


Figure 64 : Répartition des données disponibles pour la description du critère « Température » – Région Pays de la Loire.

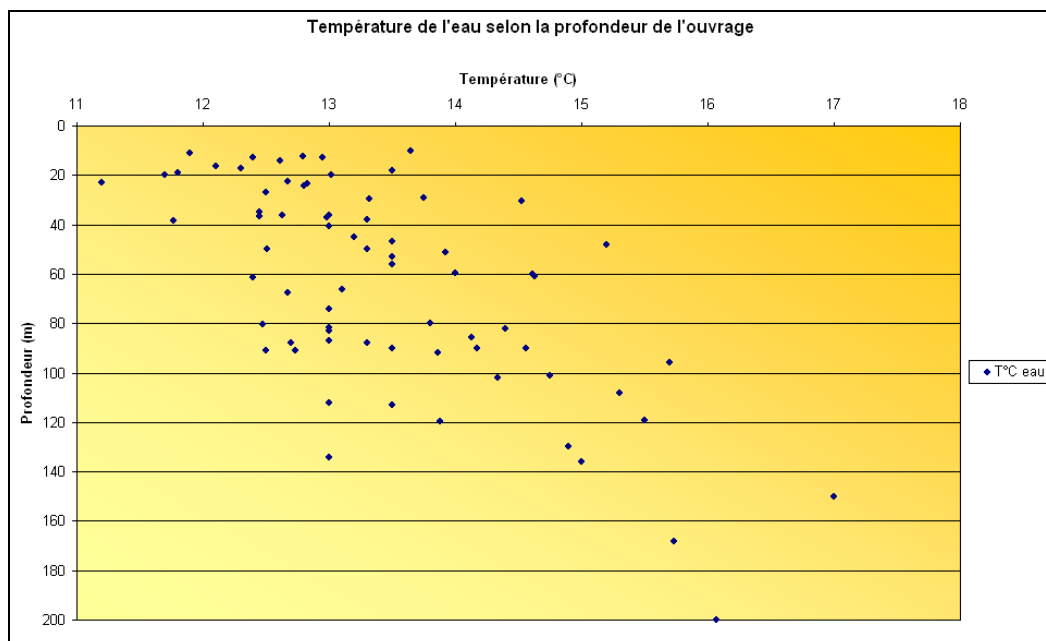


Figure 65 : Évolution des températures en fonction de la profondeur de l'eau de l'ouvrage – Région Pays de la Loire.

La qualité des données de température est variable. En effet, l'export du paramètre sous ADES permet d'obtenir une valeur minimale et maximale et de faire une moyenne de l'ensemble des valeurs disponibles par ouvrage. Elles représentent 70,8 % des données disponibles, soit 56 valeurs. Les 23 données issues de la BSS sont ponctuelles dans le temps et donc moins représentatives de la température moyenne de l'eau.

Le graphique ci-dessus montre que l'ensemble des valeurs se répartissent dans l'intervalle de température 11-18 °C. La densité de points est plus forte entre 12 et 14 °C. On remarque également que de manière générale, les données s'organisent sur un axe où la température augmente avec la profondeur de l'ouvrage.

- **Données cartographiques**

Aucune source de données cartographiques disponible et consultée relative au critère « température » n'a permis de collecter des données.

11. Région Picardie

11.1. SECTEUR D'ÉTUDE

L'étude du potentiel géothermique s'étend sur l'ensemble de la Picardie, cela concerne donc les départements de l'Aisne, de l'Oise et de la Somme.

Le département de l'Aisne est le plus étendu, il couvre 7 435,5 km². La Somme 6 213,6 km² et l'Oise 5 901,3 km². Ce qui fait une superficie total de 19 550,4 km².

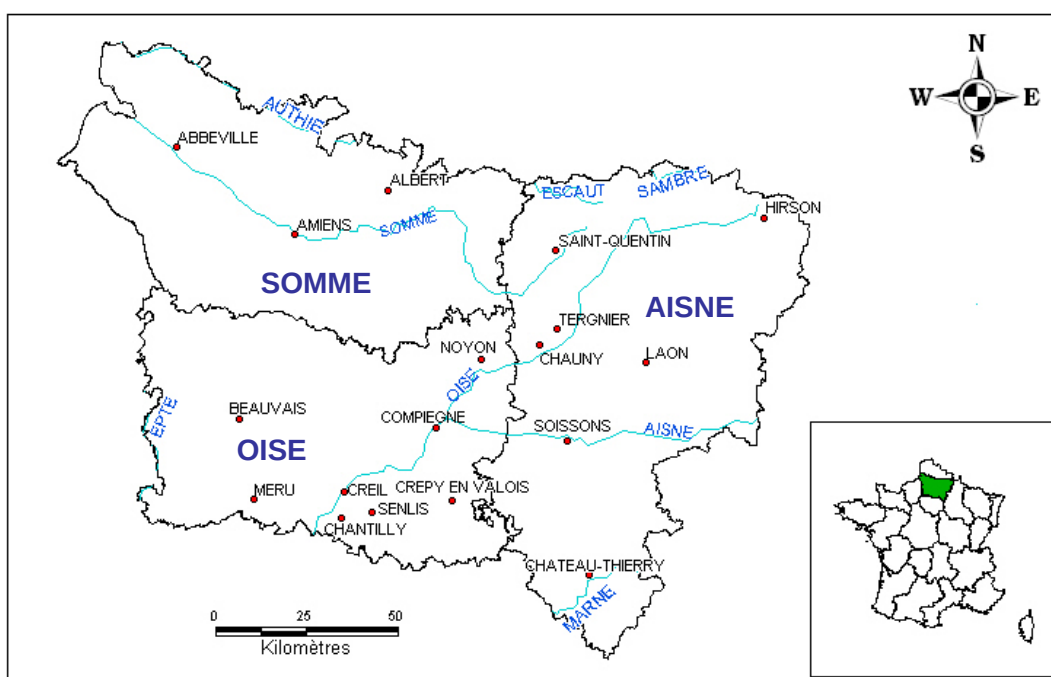


Figure 66 : Carte administrative simplifiée de la Picardie.

11.2. AQUIFÈRES CIBLES

Les aquifères picards susceptibles d'être exploités pour un usage « géothermie très basse énergie » sont les suivants.

a) Les aquifères alluvionnaires

Les alluvions sont des dépôts très hétérogènes localisés dans le fond des vallées. La productivité des ouvrages dépend de l'épaisseur de la couche et de sa granulométrie. La nappe des alluvions est souvent confondue avec l'aquifère sous-jacent et forme alors un aquifère complexe très productif. En général, les forages exploitent la nappe

sous-jacente parce que la nappe des alluvions est vulnérable aux pollutions. Mais elle est toutefois largement exploitée dans la vallée de la Marne et de l'Aisne où elle repose sur une formation imperméable, les argiles du Sparnacien.

b) Les aquifères de l'Éocène moyen et inférieur

La nappe du calcaire grossier du Lutétien : elle est présente dans le sud de l'Aisne et de l'Oise. Ce niveau calcaire est souvent séparé des sables de Cuise sous-jacents par un niveau discontinu semi-imperméable, celui des argiles de Laon. Le calcaire, grossier par son hétérogénéité structurelle, peut atteindre des valeurs de transmissivité élevées dans les calcaires fissurés et en connaître des plus faibles dans les bancs marneux (de $1.10^{-1} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ à $8.7.10^{-3} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$).

C'est un aquifère épais de 30 à 40 m, à perméabilité d'interstices et de fissures et généralement libre, il donne naissance à de nombreuses sources exploitées pour l'AEP.

L'aquifère des sables du Cuisien (Yprésien supérieur) : cette nappe se localise dans une formation argilo-sableuse et a une puissance de 30 à 60 m. Ce réservoir est présent dans toute la région et au sud d'une ligne reliant Clermont à Ham ; la roche réservoir hormis quelques exceptions est saturée. La perméabilité d'interstice du réservoir est assez médiocre et les transmissivités y demeurent faibles ($< 5.10^{-3} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$). On peut, si l'on capte la nappe sur toute sa hauteur, obtenir des débits compris entre 30 et 50 m^3/h .

La nappe des sables de Cuise se caractérise par une perméabilité d'interstices constante mais peu élevée. Les débits peuvent être importants mais dépendent directement de la puissance du réservoir. Il est très intéressant dans le sud de l'Aisne et de l'Oise (sous une ligne Compiègne-Laon).

La nappe des sables de Bracheux (Thanétien) : présente dans le département de la Somme sous la forme de placages résiduels peu épais et absente au sud d'une ligne reliant Senlis à Château-Thierry. Elle est généralement en liaison hydraulique avec la craie. La nappe est continue, libre à la périphérie des dépôts tertiaires puis captive sous les argiles du Sparnacien. La présence d'argile dans la matrice sableuse lui donne une transmissivité assez faible (en moyenne $3,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ selon les données de 15 dossiers BSS). Il reste donc un réservoir peu exploité car ajouté à cela il connaît des teneurs en fer importantes.

Cet aquifère est individualisé lorsqu'il est sur une couche argileuse. C'est le cas dans le Soissonnais, dans la vallée de l'Oise entre Compiègne et Noyon. Sinon la nappe est confondue avec celle de la craie sous-jacente avec qui elle constitue un aquifère bi-couche. Dans ce cas, nous l'avons associée au niveau de la craie et le toit de l'aquifère est celui du Thanétien.

c) Les aquifères du Crétacé

L'aquifère de la craie est le plus important tant par sa superficie que par sa production. Il est formé par des couches datées du Sénonien au Cénomanien et couvre la quasi totalité de la Picardie.

La craie du Sénonien est puissante de plusieurs dizaines de mètres et s'épaissit vers le Sud pour atteindre rapidement plus de 300 m.

La nappe contenue dans ces niveaux est libre lorsque la craie est affleurante, semi-captive dans les vallées alluviales (lorsqu'il y a des horizons tourbeux) et captive sous le recouvrement tertiaire du sud de l'Oise et de l'Aisne.

Nous distinguons deux types de porosité dans la craie :

- la porosité d'interstices ;
- la porosité de fissures.

La première contribue à la perméabilité matricielle, de l'ordre de 10^{-5} m.s^{-1} , et la deuxième à la perméabilité de fractures, de l'ordre de 10^{-3} m.s^{-1} à 10^{-2} m.s^{-1} . C'est elle qui conditionne l'écoulement de la nappe.

La fissuration de la craie est d'origine tectonique et climatique. Au-delà de 50 m, les fissures disparaissent et la craie devient compacte et donc peu perméable. Seule la partie superficielle (< 80 m) de l'aquifère de la craie peut donc être considérée comme une ressource pour la géothermie basse énergie en Picardie.

Le Turonien inférieur est formé d'argiles vertes ou bleues appelées localement « Dièves ». Dans sa partie supérieure le Turonien est plutôt représenté par la craie blanche à silex. Il va de quelques dizaines de mètres dans le Nord à plus de 100 m dans le Sud de l'Aisne.

Nous avons regroupé les aquifères du Sénonien, du Turonien et des sables du Thanétien. En effet la craie du Sénonien est généralement en continuité hydraulique avec les sables du Thanétien sus-jacents.

Le niveau de la craie du Cénomanien est différencié du précédent parce qu'il est parfois séparé de la craie du Sénonien par les « Dièves » du Turonien. Il est donc individuellement exploitable dans le nord-est de l'Aisne (Thiérache) où les « Dièves » sont présentes et là où la craie du Cénomanien affleure.

Le Crétacé inférieur à moyen est représenté par des marnes argileuses et des grès calcaires du Néocomien avec des argiles et des sables à la base.

L'Albien est représenté par des « sables verts » : ce sont des sables quartzeux, glauconieux et parfois argileux. L'ensemble va de quelques mètres dans le nord à 100 m dans le sud et est captif entre les argiles noires du Gault au toit et des argiles de l'Aptien au mur. La nappe est libre dans les zones d'affleurement (Pays de Bray et

nord-ouest de l'Aisne). Il est très productif mais peu exploité du fait de l'ensablement des ouvrages qu'il engendre.

À ce stade de l'étude, très peu de données sur l'exploitation de cet aquifère en Picardie ont été collectées. Là où il affleure, il donne de faibles débits. Les sables verts de l'Albien constitueraient une ressource plus intéressante dans le cas de forages profonds (> 100 m) lorsqu'ils sont captifs.

d) L'aquifère du Jurassique moyen

Le calcaire du Bathonien est de type oolithique et graveleux. Il forme le meilleur réservoir du Jurassique moyen parce qu'il est très fracturé. Il est karstique dans la vallée du Thon (nord de l'Aisne). Il est épais de 50 à 200 m et affleure au nord-est de l'Aisne dans la région d'Hirson.

Sa zone d'exploitation pour la géothermie basse énergie est limitée à la région d'Hirson (02) où il affleure. La nappe y est libre, fournit de bons débits et l'eau y est de bonne qualité. Nous pouvons synthétiser cela dans le tableau suivant :

Désignation	Limites d'extension		Caractéristiques				
Nom	Source de donnée	Format numérique	Sous recouvrement	Affleurement	Descriptif succinct	Superficie (km ²)	Pourcentage de la superficie régionale
CALCAIRE DU DOGGER	BDRHF-V2	OUI	OUI	OUI	Fracturé à karstique / libre à captif	15	0,07
SABLE DE L'ALBIEN	BDRHF-V2	OUI	OUI	OUI	Perméabilité d'interstices / libre à captif	74	0,4
CRAIE DU CENOMANIEN	BDRHF-V2	OUI	OUI	OUI	Perméabilité d'interstices et de fissures / libre à captif	57	0,3
CRAIE	BDRHF-V2	OUI	OUI	OUI	Perméabilité d'interstices et de fissures / libre à captif	13 570	69,5
SABLES DU THANETIEN	BDRHF-V2	OUI	OUI	OUI	Perméabilité d'interstices / libre à captif	6 721	34
SABLE DE L'YPRESIEN	BDRHF-V2	OUI	OUI	OUI	Perméabilité d'interstices / libre à captif	4 578	23
CALCAIRE DU LUTETIEN	BDRHF-V2	OUI	OUI	OUI	Perméabilité d'interstices et de fissures / libre et perché	3 706	19
ALLUVIONS	BDRHF-V2	OUI	NON	OUI	Perméabilité d'interstices / libre	1 671	8,5

Tableau 27 : Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Région Picardie.

La somme des pourcentages présentés dans ce tableau n'est pas égale à 100 % parce qu'il s'agit de formations présentes en affleurement et en multicouches.

Les aquifères productifs et intéressants pour la géothermie très basse énergie couvrent 98 % du territoire picard. Les deux pourcents non exploitables se situent dans le Pays de Bray (Malm) et en Thiérache (socle).

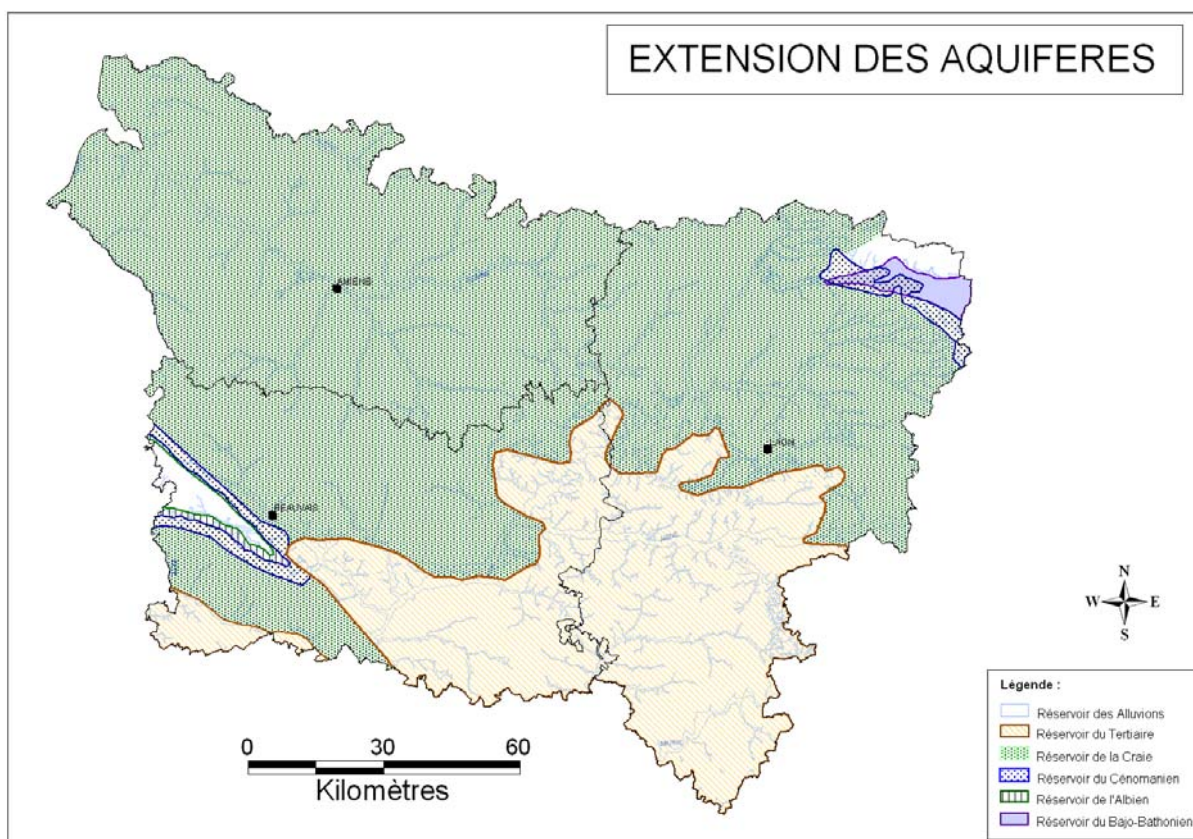


Figure 67 : Extension des aquifères de la Picardie.

11.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES

11.3.1. Planification du travail et organisation de la collecte d'information

Une ingénieure hydrogéologue a été recrutée pour la réalisation de ce travail, sous la responsabilité de l'hydrogéologue régional.

11.3.2. Grille SIG

La grille de travail a été créée mais est encore en cours de réalisation. Elle est composée de 78 221 mailles de 500 x 500 m. Les champs définis sont :

- Identifiant maille (de type J72) ;

- Identifiant colonne (de type J) ;
- Identifiant ligne (de type 72) ;
- X_ centre maille ;
- Y_ centre maille ;
- Région ;
- Département ;
- Num département ;
- Commune ;
- Num commune.

11.3.3. Critère « Productivité d'aquifère »

La majorité des données de débits proviennent de la consultation des dossiers BSS. 1 747 dossiers ont été consultés, 82 % d'entre eux nous renseignent sur le débit de l'ouvrage. Au total, 1 498 points nous donnent une valeur de débit (96,5 %) et/ou de débit spécifique (3.5 % $Q_{spé}$ uniquement).

Pour le département de l'Aisne, les données de débit spécifique, transmissivité, coefficient d'emménagement sont issues de l'Atlas hydrogéologique de l'Aisne (BRGM/RP-57439-FR, décembre 2009). Les données de cet atlas proviennent de la BSS et de rapports d'hydrogéologues agréés (avis pour la mise en place de périmètres de protection).

Il est fréquent que les dossiers BSS affichent une mesure de débit sans préciser si elle a été réalisée avant ou après l'acidification de l'ouvrage.

La répartition des points d'eau ayant fourni des données est présentée sur la Figure 68. Une analyse de la répartition des débits est présentée sur la figure 69.

L'observation de cette carte souligne le fait que nous possédons dans la plupart des cas au moins des données de « débit » et de « température de l'eau ». Les points verts qui désignent les dossiers complets sont peu nombreux et mal répartis sur le territoire.

Les zones d'exploitation de la craie sont bien renseignées et nombreux, alors que dans le Tertiaire du sud de l'Aisne et de l'Oise ne nous que très peu d'informations.

Le paramètre hydrodynamique « perméabilité » n'est pas renseigné dans ce tableau parce que nous possédons trop peu de données. Nous l'avons remplacé par le coefficient d'emménagement (S) qui est déterminé par la quantité d'eau libérée pour une perte de charge donnée.

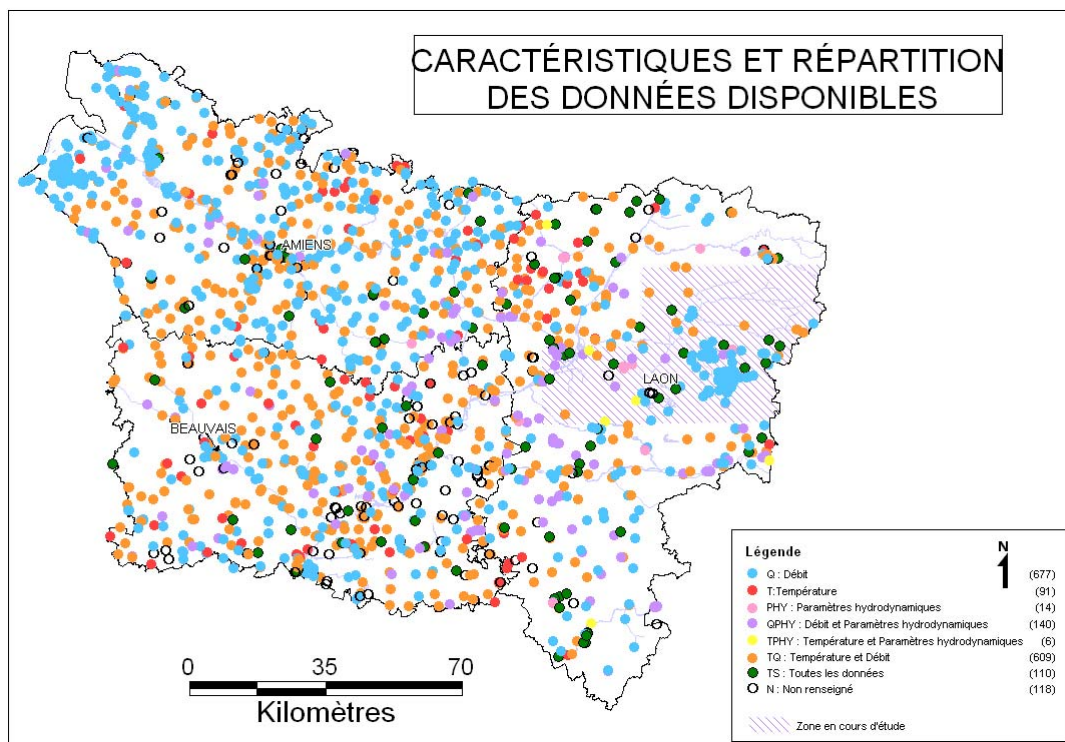


Figure 68 : Répartition des points ayant fourni des données.

Paramètres	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données
Rabatement	1 180	27,38
Débit	1 445	33,53
Débits spécifique	1 275	29,59
Transmissivité	260	6,03
Coefficient d'emmagasinement	149	3,46
Total	4 309	100

Tableau 28 : Répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité ».

En observant la carte ci-dessous, nous voyons que les débits sont les plus forts dans les vallées. Nous manquons de données dans la zone du pays de Bray (affleurements des sables de l'Albien et du calcaire du Tithonien), dans le nord de l'Aisne ainsi que dans sa partie sud représentée par les formations tertiaires.

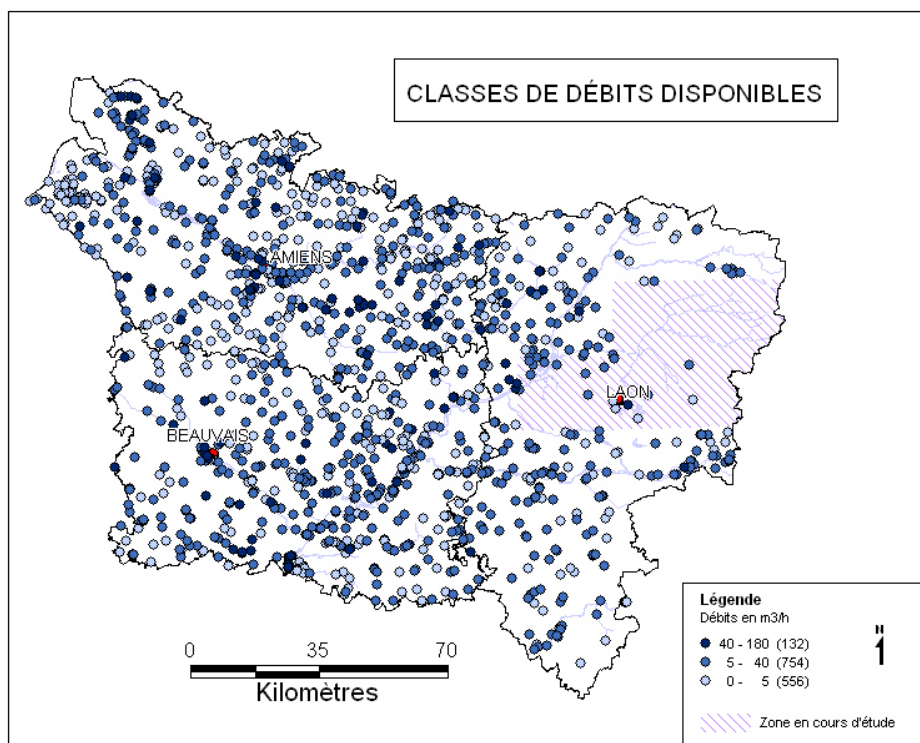


Figure 69 : Répartition et classes des débits disponibles.

11.3.4. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »

Les données de base nécessaires à la description du critère « profondeur d'accès à la ressource » sont les données de topographie, de géométrie des formations géologiques (toit et mur des formations géologiques) et de piézométrie. Elles permettront l'évaluation de la profondeur des nappes (piézométrie pour les aquifères libres et profondeur du toit de l'aquifère dans le cas d'un aquifère captif).

Les données recueillies sont des données ponctuelles issues des différentes sources de données listées ci-dessous :

- géométrie : BSS (logs validés/logs non validés) ;
- piézométrie : BSS, ADES ;
- profondeur des crépines : BSS.

Par ailleurs, une extraction du modèle géologique de l'Aisne a été réalisée pour recueillir les données sur la géométrie des différentes couches (BRGM/RP-57439-FR, décembre 2009). Ces données n'ont pas encore été compilées dans le dossier de synthèse.

Aquifère	Nbr de données	Profondeur moyenne (m)	Minima (m)	Maxima (m)
Alluvions	32	3	0,84	7,5
Lutétien	67	19,6	0,1	59,48
Yprésien	125	17,6	0,05	80,5
Thanétien	39	16,8	0,79	72
Craie	1248	19,6	0,2	102
Cénomanién	10	16	1	67
Bajo-Bathonien	13	9,4	2,72	67
TOTAL	1534	14,57	0,05	102

Tableau 29 : Synthèse de la profondeur d'accès à la ressource selon l'aquifère.

Les sables de l'Albien ne figurent pas dans ce tableau, car une seule valeur est disponible pour cet aquifère, ce qui n'est pas représentatif.

La profondeur moyenne d'accès à la ressource est de 14,5 m, mais ces valeurs sont difficilement exploitables, car l'écart entre les *minima* et les *maxima* est très important.

Nous pouvons tout de même noter une différence entre les alluvions qui sont un aquifère superficiel et la craie très exploitée qui affiche une profondeur moyenne d'accès à la ressource de 19,6 m.

La moyenne attribuée au Bajo-Bathonien paraît faible, c'est parce qu'il est généralement exploité lorsqu'il est affleurant, donc à faible profondeur. Cet aquifère est plus exploité à très grande profondeur pour alimenter de grands complexes.

Les données collectées présentent un plus fort pourcentage de valeurs inférieures à la moyenne que de valeurs supérieures à la moyenne sauf pour les alluvions (44 % des données sont comprises dans l'intervalle [1-3]).

Pour les calcaires du Lutétien les valeurs sont mieux réparties, il y a 55 % des données inférieures à l'intervalle [0,1-20]. Pour les autres formations, les valeurs inférieures à la moyenne sont beaucoup plus nombreuses :

- 63 % = [0,05-18] pour l'Yprésien ;
- 64 % = [0,79-17.5] pour le Thanétien ;
- 65 % = [0,2-20] pour la Craie ;
- 80 % = [1-12] pour le Cénomanién ;
- 85 % = [2,72-4.5] pour le Bajo-Bathonien.

Les zones où les profondeurs d'accès à la ressource sont les plus faibles correspondent aux zones d'affleurement des aquifères productifs, aux vallées et plus particulièrement celles de la Marne et de l'Aisne puisqu'on y exploite les alluvions.

Le Vimeu se démarque avec une profondeur d'accès à la ressource importante.

Le nord de la Somme et la région d'Amiens (lorsqu'on s'éloigne de la Somme) présentent également un accès à la ressource à plus de 28 m de profondeur.

Dans l'Oise et l'Aisne, il n'y a pas de zone qui se démarque, mise à part la vallée de la Marne.

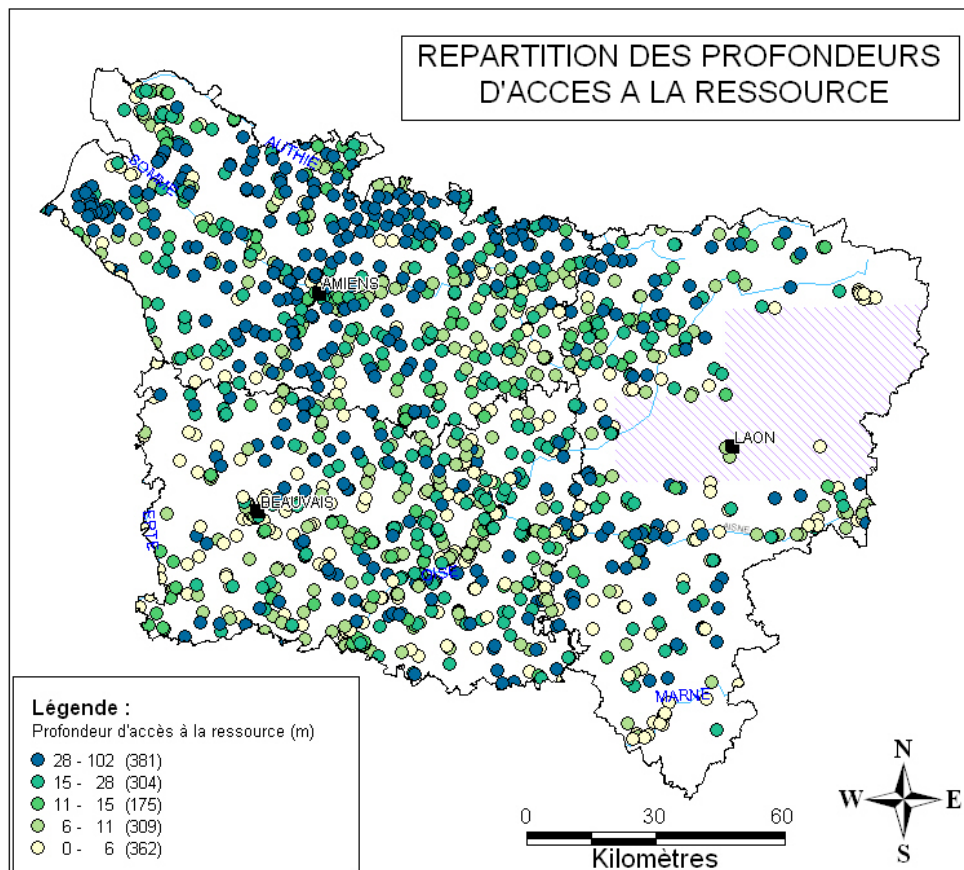


Figure 70 : Carte de la profondeur d'accès à la ressource en eau.

11.3.5. Critère « Température de la ressource »

Les données traitées proviennent de la consultation des dossiers BSS et complétées par une extraction ADES de tous les points des réseaux « qualité » de Picardie. Il s'agit pour la majorité de captages AEP dont la qualité de l'eau est très surveillée.

À faible profondeur, la température de l'eau ne varie pas beaucoup. Il y a tout juste quelques dixièmes de différence et cela ne peut pas être analysé parce que les analyses donnent des valeurs à $\pm 1^\circ\text{C}$. Ce qui est intéressant de noter, c'est que 82,5 % des mesures sont comprises entre 10 et 12 $^\circ\text{C}$.

Nous avons un total de 781 mesures. Des valeurs extrêmes ont été écartées parce que nous avons des doutes sur leur fiabilité. Il s'agit de températures supérieures à

15 °C ou inférieures à 8 °C. Ces valeurs sont probablement influencées par les températures extérieures saisonnières ou bien proviennent d'analyses au robinet.

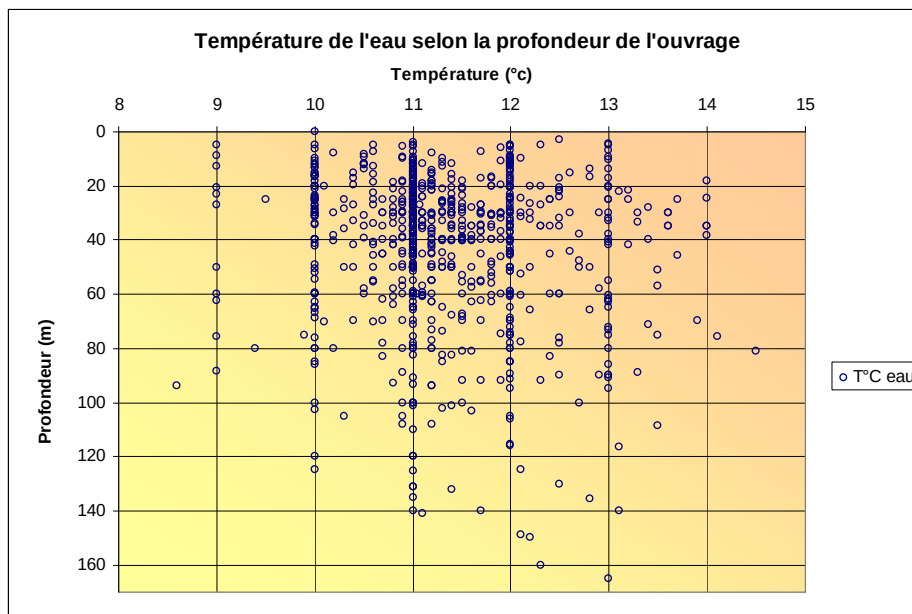


Figure 71 : Répartition de la température de l'eau selon la profondeur.

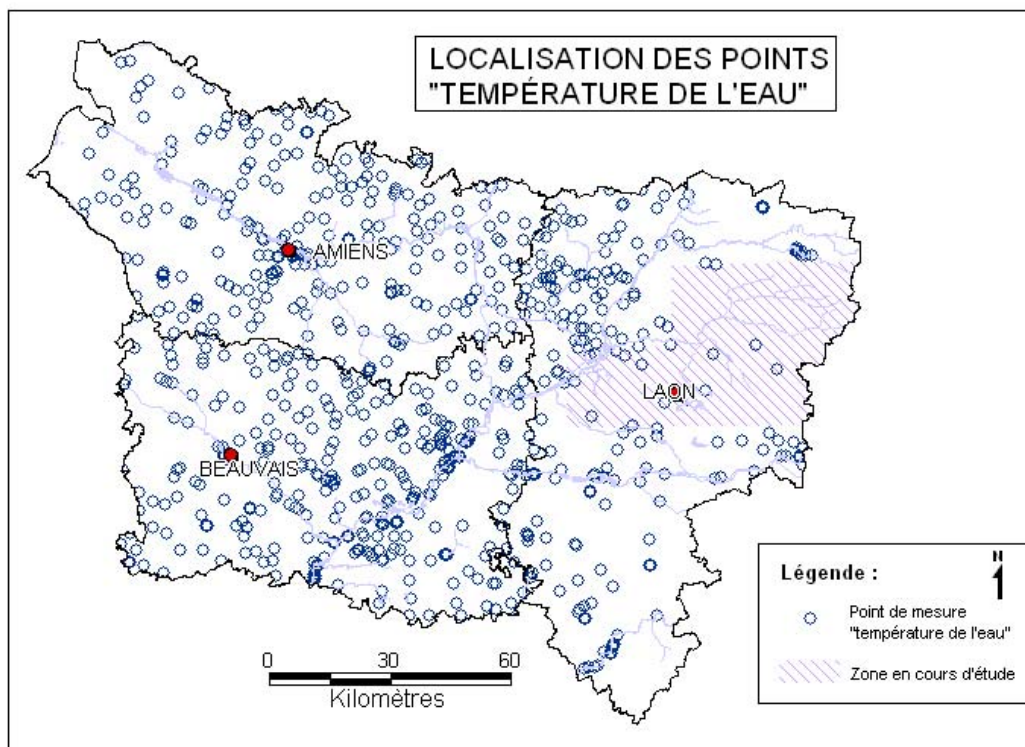


Figure 72 : Répartition des points ayant une mesure de la température de l'eau.

Le graphique (Figure 71) nous montre bien l'absence de corrélation entre la profondeur de l'ouvrage et la température de l'eau à faible profondeur (< 150 m).

11.3.6. Particularités géochimiques régionales

Les données sur la qualité de l'eau proviennent soit de la banque de données ADES soit de dossiers BSS. Dans la BSS les dossiers contenant des analyses sont généralement des captages AEP ou, dans certains cas, des forages d'irrigation.

Les données issues d'ADES font l'objet d'un contrôle qualité, elles peuvent être considérées comme étant fiables.

L'ensemble des points d'eau ayant fourni des données est présenté sur la Figure 73.

L'information sur la qualité de l'eau n'est pas également répartie sur le territoire. Les formations tertiaires dans le sud de l'Aisne et de l'Oise sont encore une fois mal renseignées.

Les dossiers comportant des analyses de l'eau sont généralement des dossiers AEP donc plus nombreux autour des grandes villes et dans les vallées urbanisées.

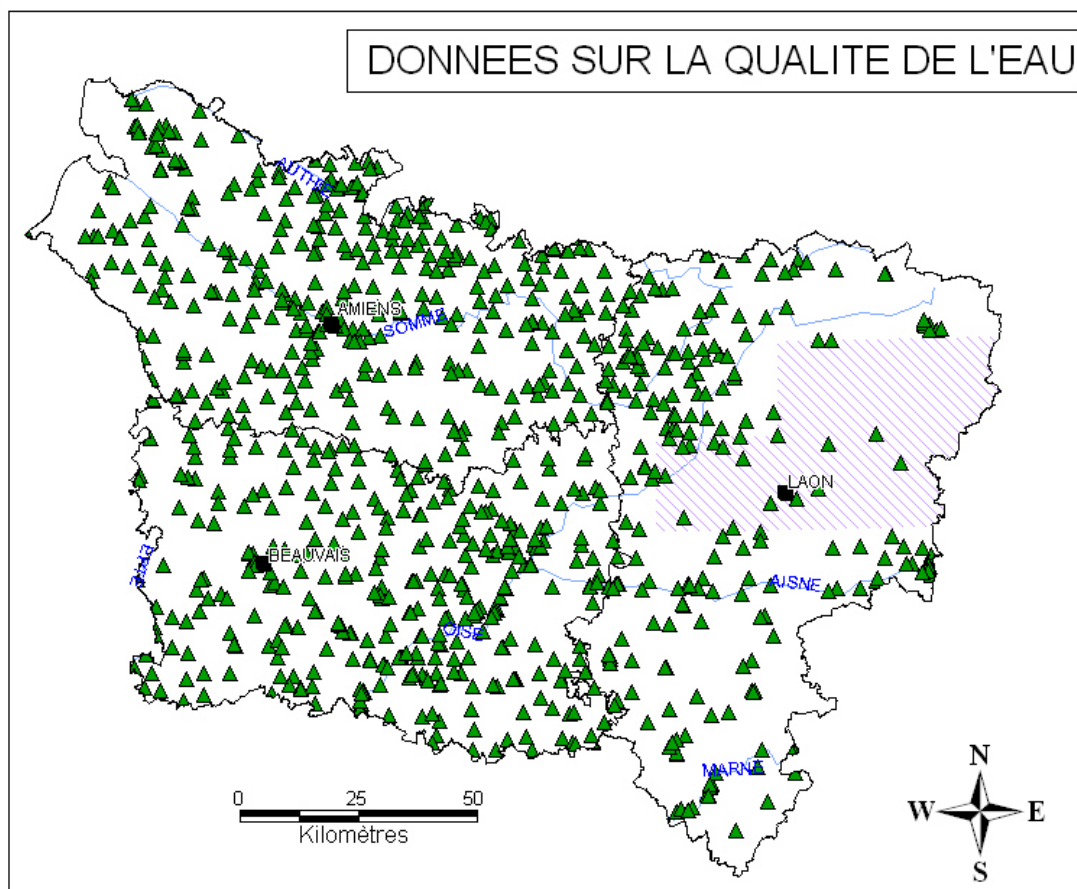


Figure 73 : Répartition des données « qualité de l'eau » en Picardie.

12. Région Poitou-Charentes

12.1. SECTEUR D'ÉTUDE

Pour la région Poitou-Charentes, dans le cadre du programme 2009 du PNIGRA, il est prévu le dépouillement préliminaire des données hydrogéologiques nécessaires à la réalisation d'un atlas géothermique pour le département de la Vienne (86).

Les départements des Deux-Sèvres et de la Charente ne feront pas l'objet d'un traitement dans le cadre de ce travail. Les formations géologiques du département des Deux-Sèvres sont à dominante de socle métamorphique (prolongation du Massif Armoricain). Le développement d'aquifère y est réduit et de fait la géothermie sur aquifère. Le département de la Charente pourra faire l'objet d'un travail spécifique dans l'avenir, son conseil général affiche pour le moment d'autres priorités.

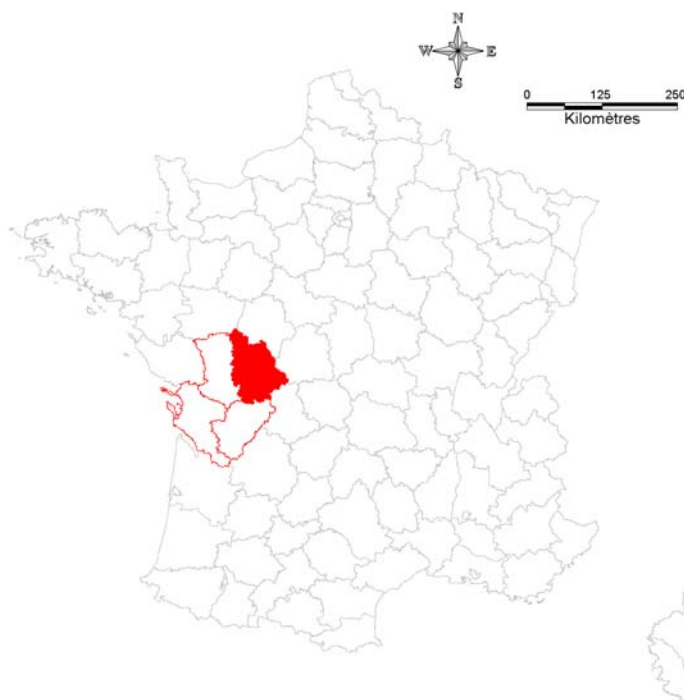


Figure 74 : Secteur d'étude Poitou-Charentes, Vienne.

Le département de la Charente-Maritime (17) ayant déjà fait l'objet d'un travail spécifique demandé par le Conseil général de ce département (Bichot et *al.*, 2009), l'ensemble des résultats issus de ce travail sera repris pour être mis en cohérence avec le projet PNIGRA.

Le département de la Vienne (86) a une superficie de 6 985 km², ce qui représente 27 % de la superficie totale de la région Poitou-Charentes (25 810 km²).

12.2. AQUIFÈRES CIBLES

Cinq entités aquifères sont susceptibles d'être exploitées pour un usage de géothermie très basse énergie dans ce département, soit de bas en haut de l'échelle stratigraphique :

- l'Infra-Toarcien (Lias) ;
- les calcaires du Dogger ;
- les calcaires altérés du Jurassique supérieur ;
- les sables et calcaires du Cénomanien inférieur et moyen ;
- les calcaires crayeux du Turonien.

La surcouche des alluvions et des formations du Tertiaire n'a pas été exploitée pour le moment. Les alluvions ont des débits spécifiques souvent très faibles et ne seront donc pas retenues pour la géothermie.

La mise en place des couches géologiques a conduit à un approfondissement des entités hydrogéologiques du sud vers le nord. De fait, la profondeur de certaines entités dépassent les 100 m dans le nord du département, l'intérêt pour la géothermie de ces entités devient donc moindre, elle sera à prendre en considération et à délimiter.

Stratigraphie	Code	Libellé
Oligocène-Eocène	3F	Unité Aquifère des Calcaires lacustres Sannoisien (Ludien sup, Stampien inf.)
Paléocène	5B	Unité Semi-Perméable des Argiles à Silex issues de l'altération (Séno-Turonien)
Crétacé supérieur (Séno-Turonien)	6U	Unité Aquifère de la Craie et argile-sableuse séno-turonienne
Crétacé supérieur (Cénomanien)	7A-C	Unité Perméable des Sables glauconieux du Cénomanien moyen (sables de Vierzon) et imperméable des Sables argileux glauconieux du Cénomanien inférieur
Jurassique sup.	10F	Unité semi-perméable des Calcaires argileux de l'Oxfordien et des Calcaires altérés du Kimméridgien inférieur
Jurassique moyen (Dogger)	11D	Unité Aquifère des Calcaires du Bajocien et du Bathonien
Jurassique inf.	12B	Unité Aquifère des Calcaires et dolomies, calcaires à oolithes (Hettangien à Pliensbachien)

Tableau 30 : Liste des entités aquifères ou semi-perméable dans le département de la Vienne d'après la BD Lisa (Niveau 2).

Les entités de socle ne sont pas prises en compte dans le cadre de ce travail, seul les entités sédimentaires sont retenues.

L'extension des aquifères est tirée directement du découpage réalisé pour la BD Lisa. Les entités utilisées sont les entités de niveau 2 sur lesquelles est appliqué le découpage du département de la Vienne (cf. Tableau 33).

Les principales caractéristiques des aquifères cibles du département de la Vienne sont fournies dans le Tableau 34.

Un tableau synthétique final sera fourni après validation du référentiel BD Lisa en cours de finalisation.

Désignation		Limites d'extension		Caractéristiques			
Nom	Code	Source de donnée	Format numérique	Affleurant ou Sous recouvrement	Descriptif succinct	Superficie (km ²)	Pourcentage de la superficie du département
Oligocène-Eocène	3F	BDLisa	oui	Affleurant	Aquifère libre développé dans les calcaires lacustres	390	5,5 %
Paléocène	5B	BDLisa	oui	Affleurant puis sous recouvrement	Formation semi-perméable dans les altérations du séno-turonien		
Séno-Turonien	6U	BDLisa	oui	Affleurant puis sous recouvrement	Aquifère libre devenant captif vers le nord dans les calcaires crayeux	746	10,6 %
Cénomanién	7A-C	BDLisa	oui	Affleurant puis sous recouvrement	Libre à captif. Découpage à valider dans BDLisa rassemblant les formations du Cénomanién moyen et inférieur	1 878	26,7 %
Jurassique sup.	10F	BDLisa	oui	Affleurant puis sous recouvrement	Libre à captif. Aquifère développé dans la frange superficielle d'altération		
Dogger	11D	BDLisa	oui	Affleurant puis sous recouvrement	Libre sur une grande partie du département (considéré comme libre sous les recouvrements du sidérolithique. Aquifère développé dans les calcaires du Bajocien et du Bathonien, ayant subi une karstification superficielle		
Infra-Toarcién	12B	BDLisa	oui	Très peu à l'affleurement	Très peu libre, rapidement captif sous le Dogger. Aquifère développé dans les calcaires dolomitiques de l'Hettangien et du Pliensbachien		

Tableau 31 : Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Département Vienne

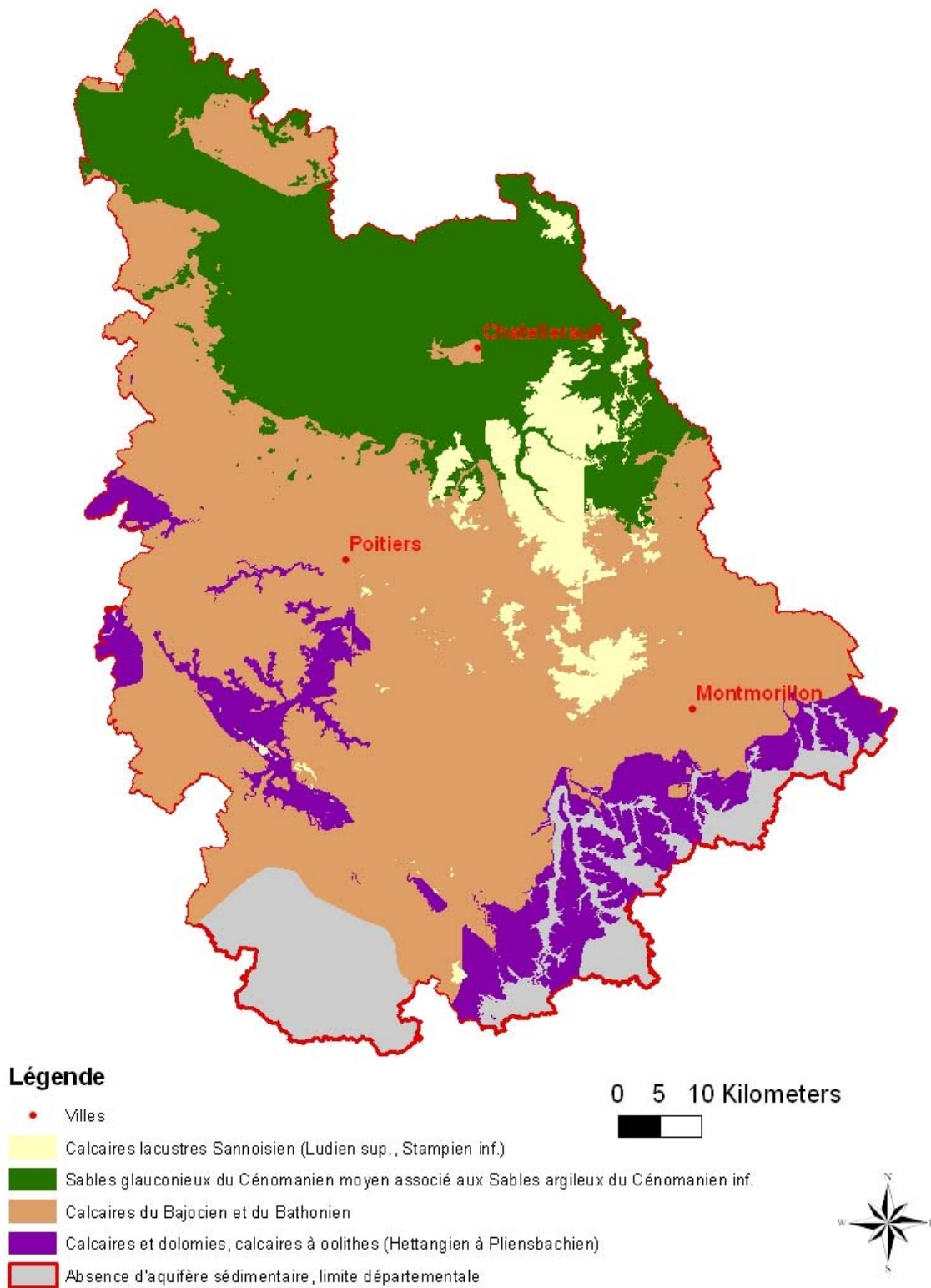


Figure 75 : Zones d'affleurement des aquifères de la Région Poitou-Charentes, Vienne (source BD Lisa, état d'avancement de décembre 2009).

12.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES

12.3.1. Grille SIG

La réalisation, sous MapInfo, du maillage carré de 500 m a été réalisée (Grille_POC.tab), le croisement de celui-ci avec les bases de données (piézométrie, exploitation BSS) pour obtenir des données maillées seront les prochains objectifs à accomplir pour le département de la Vienne dans le cadre du projet PNIGRA ou dans le cadre d'un projet avec le Conseil général de la Vienne.

La région Poitou-Charentes correspond à 103 856 mailles, dont 28 161 mailles pour le département de la Vienne.

12.3.2. Critère « Productivité d'aquifère »

À partir de la BSS, tous les points ont été extraits sur le département de la Vienne. Puis, un tri a été effectué à partir des informations disponibles de chaque point via « ACCESS ».

Ainsi parmi les 1 810 points BSS ayant un « LOG GEOLOGIQUE » (Figure 76 / BD_GT86), seuls ceux dont la détermination de l'aquifère captée pourra être effectuée, seront retenus et exploités.

Liste des principaux aquifères captés en Vienne (Nord), pour 473 points BSS traités au 01/12/2009 :

- Alluvions : 6 % ;
- Tertiaire : 2 % ;
- Turonien-Coniacien : 6 % ;
- Cénomaniens : 34 % ;
- Jurassique sup. (Oxfordien) : 31 % ;
- Jurassique moy. (Dogger) : 18 % ;
- Infra-Toarcien : 3 %.

Ces données sont regroupées sous forme de tableau EXCEL ayant pour informations :

- Indice BSS ;
- Productivité ;
- Débit ;
- Profondeur Eau/Sol ;
- Profondeur atteinte ;
- Altitude Z ;

- Niveau Aquifère Captée ;
- Toit Aquifère Captée ;
- données complémentaires (transmissivité, rabattement...).

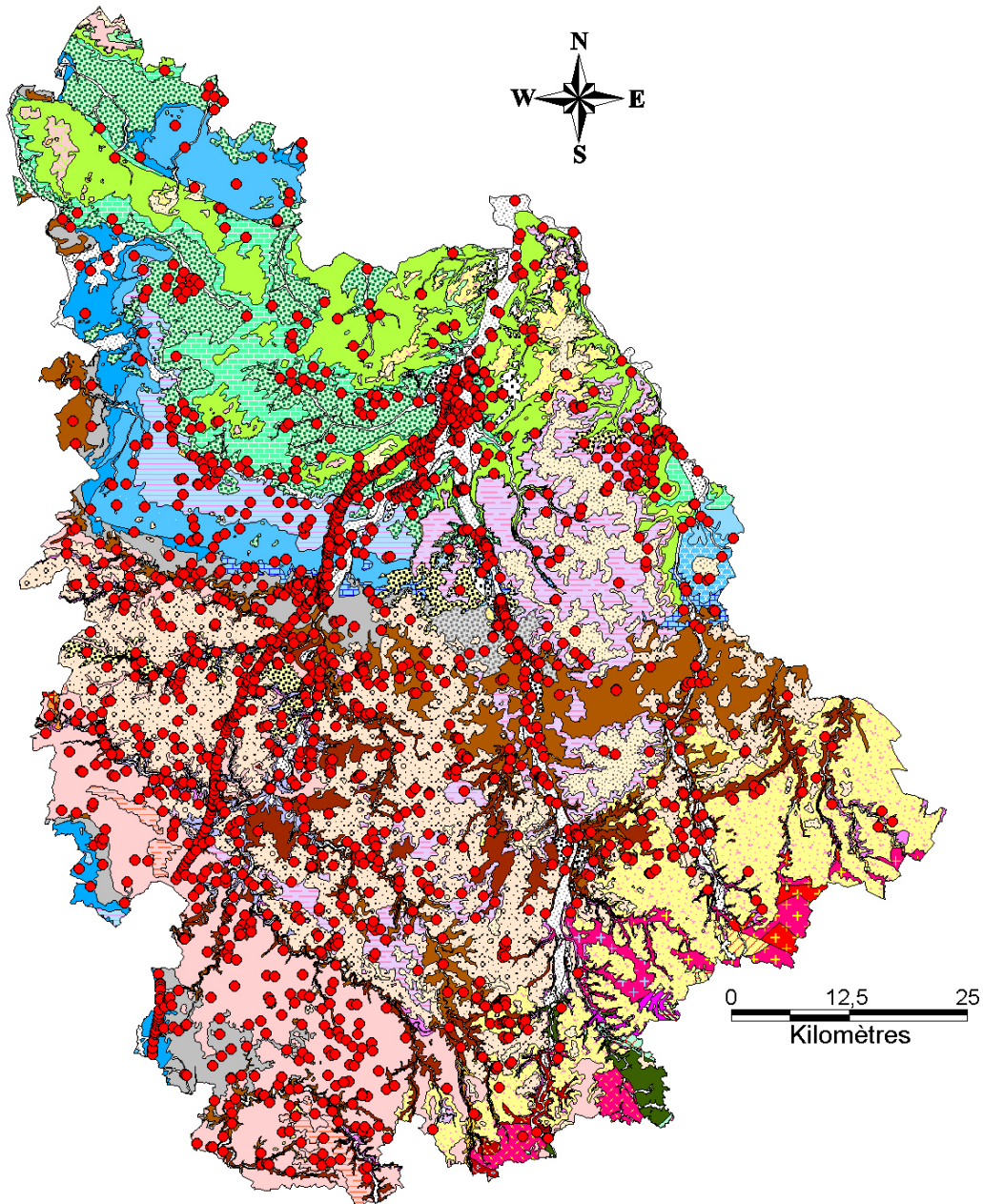


Figure 76 : Carte de répartition des points d'eau en Vienne sur l'extrait de la carte géologique au 1/250 000 de G. Karnay (2004).

Pour les données hydrodynamiques des aquifères, les points ayant une donnée concernant une production, productivité ou un essai de pompage informant d'un débit sont notés. Pour les données de niveau d'eau, seuls les points, dont le niveau piézométrique « PROFONDEUR_EAU_SOL » est renseigné, seront retenus.

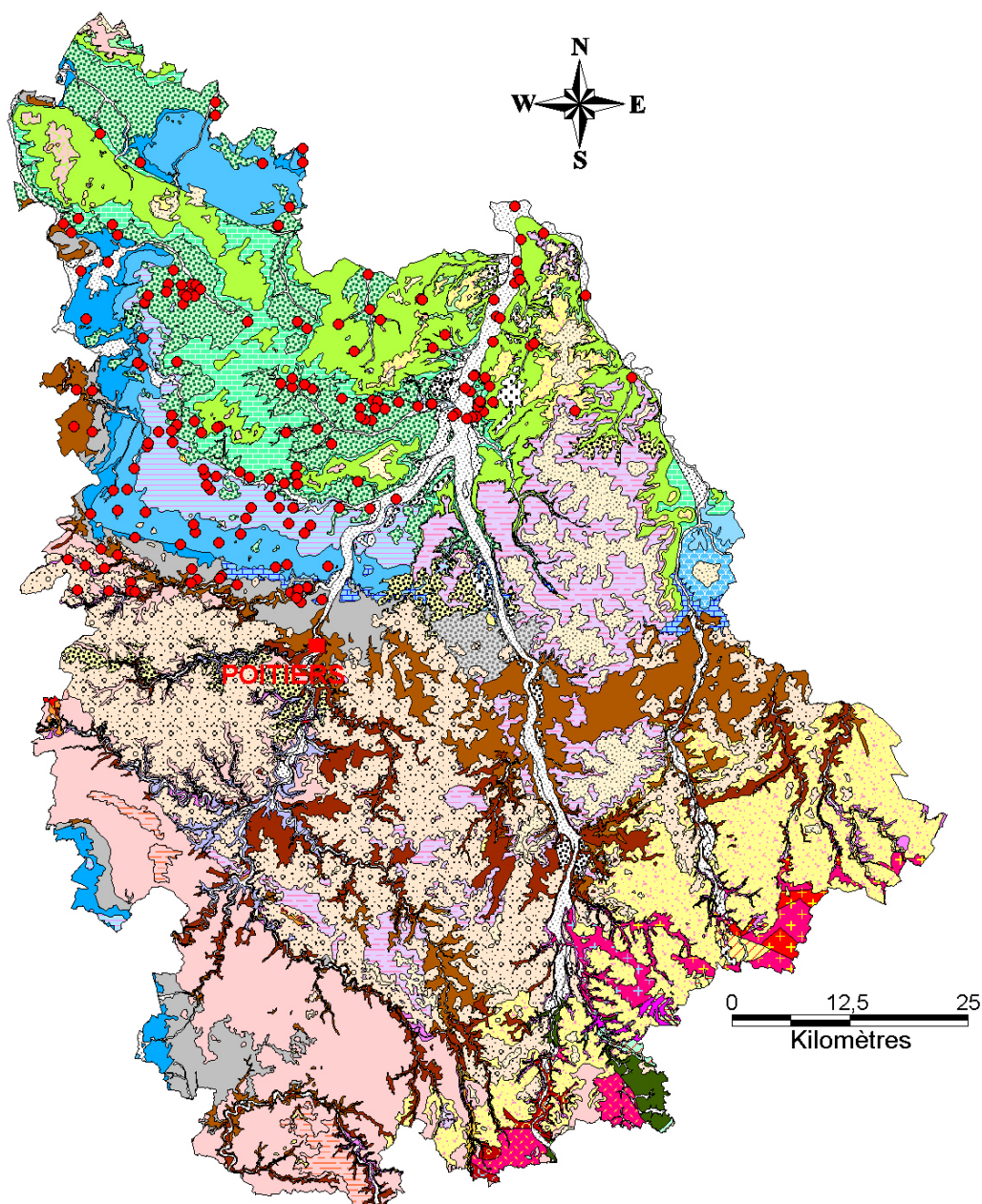


Figure 77 : État d'avancement de l'analyse des données des points d'eau ayant fourni des données relatives au critère « productivité » (sur le fond géologique 1/250 000 G. Karnay, 2004).

Ainsi sur les 473 points BSS traités, 186 points BSS ont été retenus, disposant de données informant un débit, une productivité, couplé à une profondeur eau/sol (Figure 77).

Paramètres	Nombre de données
Rabatement	16
Débit	186
Débits spécifique	1
Transmissivité	5
Total	208

Tableau 32 : Répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité ».

12.3.3. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »

Les données de base nécessaires à la description du critère « profondeur d'accès à la ressource » sont les données de topographie, de géométrie des formations géologiques (toit et mur des formations géologiques) et de piézométrie. Elles permettront l'évaluation de la profondeur des nappes (piézométrie pour les aquifères libres et profondeur du toit de l'aquifère dans le cas d'un aquifère captif).

Différentes sources de données ont été consultées :

- données cartographiques :
 - topographie : MNT au pas de 50 m,
 - géométrie : modèles géologiques (Modèle de l'Infra-Toarcien) ; BSS (logs validés/logs non validés) ; cartes géologiques (aucunes cartes harmonisées sur la Vienne et les Deux-Sèvres),
 - piézométrie (Annexe 2) : carte piézométrique de l'aquifère du Turonien-Cénomanién (Nord Vienne) ; carte piézométrique de l'aquifère du Dogger ; carte piézométrique de l'aquifère de l'Infra-Toarcien ;
- données ponctuelles (Cf. Figure 78) :
 - géométrie : BSS (logs validés/logs non validés),
 - piézométrie : BSS, ADES, documents bibliographiques et des rapports (cf. bibliographie),
 - profondeur des crépines.

La synthèse de ces différentes sources d'information permettra de regrouper des données hydrodynamiques supplémentaires comme le débit spécifique, le niveau de rabattement, la transmissivité, la perméabilité..., grâce notamment à l'exploitation des résultats du modèle régional de l'Infra-Toarcien.

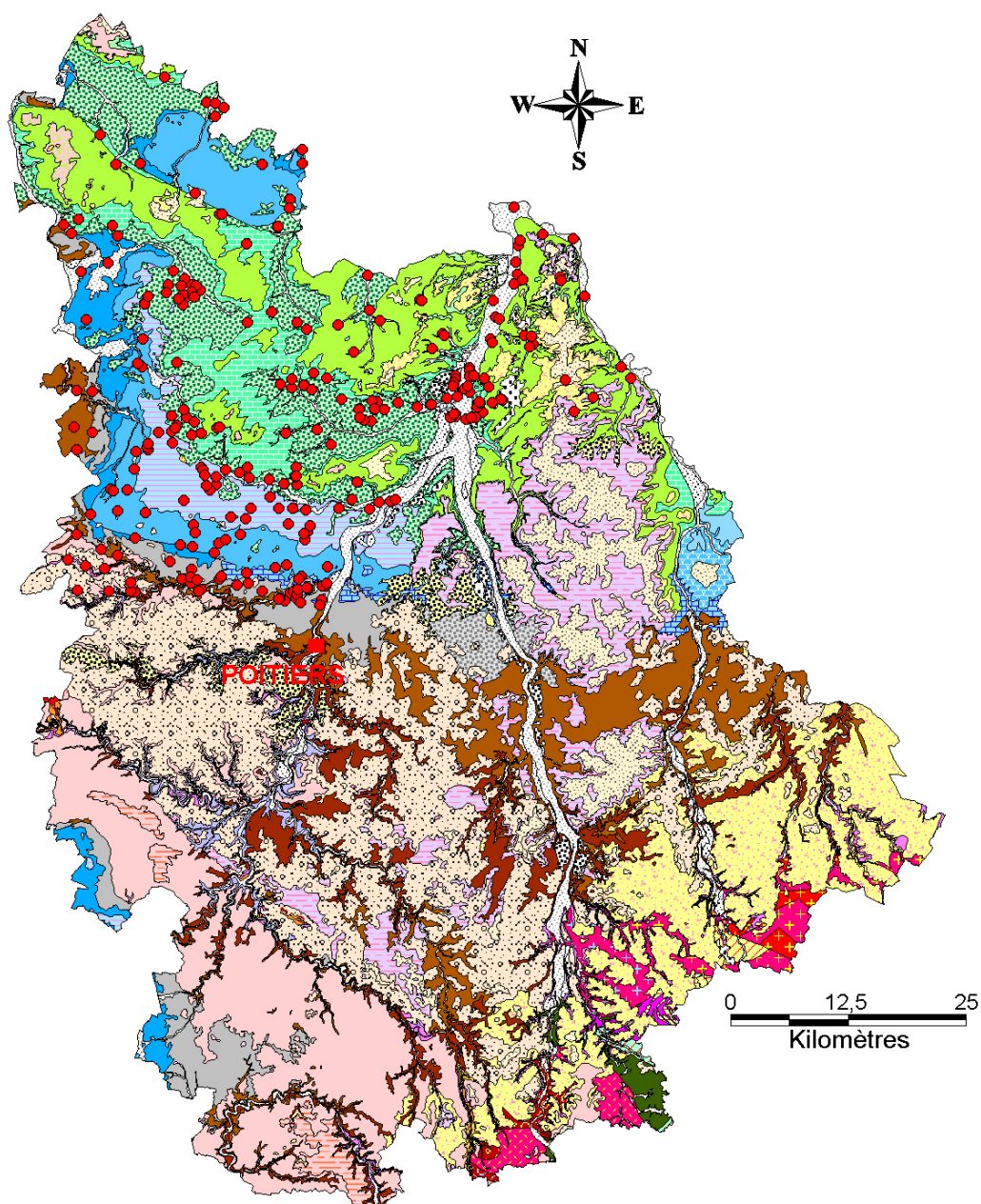


Figure 78 : État d'avancement de l'analyse des données des points d'eau ayant fourni des données relatives au critère « profondeur eau/sol » (sur le fond géologique 1/250 000 G. Karnay, 2004)

12.3.4. Critère « Température de la ressource »

Pour l'instant, aucune donnée concernant le critère « Température de la ressource » n'a été collectée dans le traitement des dossiers BSS effectué à ce jour. Un futur traitement des rapports et du réseau qualité nous fournira peut-être ces données.

12.3.5. Particularités géochimiques régionales

Aucune donnée sur les particularités géochimiques régionales n'a été recensée dans le dépouillage des dossiers BSS effectué à ce jour.

Les données du réseau régional de la qualité des eaux souterraines (RP-56596-FR) permettent de distinguer plusieurs faciès naturels différents. Ceux-ci peuvent avoir une origine dans des facteurs que l'on peut qualifier de géographique, ou provenir des caractéristiques intrinsèques de l'aquifère. Ainsi, en Poitou-Charentes, on peut globalement identifier (en dehors des nappes alluviales et de socle dont la qualité est peu suivie) :

- la nappe captive de l'Infra-Toarcien, bien préservée des impacts anthropiques, mais en revanche avec un faciès physico-chimique nettement magnésien et surtout des teneurs naturelles pouvant être excessives en fluor, voire en arsenic ;
- la nappe du Dogger particulièrement karstifiée, donc vulnérable, et présentant des teneurs en aluminium parfois élevées notamment en période de « crues » ;
- les autres aquifères carbonatés de nature fissurée comme les calcaires marneux du Jurassique supérieur, ou intercalant des faciès sableux comme dans le Crétacé supérieur.

Certains éléments présentent une répartition géographique singulière : les chlorures augmentent d'est en ouest, en fonction de l'altitude et de la proximité au littoral, et le baryum semble plus abondant à la périphérie du socle.

12.4. OBJECTIFS

- Finir le dépouillement des dossiers BSS sélectionnés et le traitement des données.
- ADES : exporter les points d'eau ayant un suivi sur les paramètres chimiques.
- Cartographier les critères « Productivité », « Profondeur d'accès à la ressource », « Température de la ressource » et les particularités géochimiques locales des eaux souterraines.
- Déterminer l'exploitabilité des aquifères par analyses multicritères.

13. Région Rhône-Alpes

13.1. SECTEUR D'ÉTUDE



Figure 79 : Entités hydrogéologiques de la région Rhône-Alpes (Lamotte et al., 2009).

L'inventaire géothermique concerne tous les départements de la région Rhône-Alpes (huit départements au total). Cependant, en l'état actuel de l'avancement du projet, le travail n'a pas été réalisé sur la totalité du territoire. En effet, la multitude et la complexité des contextes géologiques de cette région nécessitent un tri des entités hydrogéologiques en fonction de leur intérêt géothermique. Ainsi, il a été établi un classement par ordre de priorité. Cette sélection repose sur des critères géologiques et démographiques, décrits dans le paragraphe suivant.

Sur le territoire rhône-alpin sont répertoriés 177 entités hydrogéologiques distinctes (Figure 79). La délimitation et l'étude de ces entités s'appuient en grande partie sur la synthèse hydrogéologique du bassin Rhône-Méditerranée AERMC/BRGM (Lamotte *et al.*, 2009).

À partir de la BSS et des données du réseau qualité et quantité de la banque de données d'ADES, des données ponctuelles vont être recueillies pour chaque entité hydrogéologique étudiée. Ces données pourront ensuite être traitées et incluses dans une base de données « géothermie », qui reprend le format de la base de données constituée pour la synthèse hydrogéologique du bassin Rhône-Méditerranée AERMC/BRGM (Lamotte *et al.*, 2009).

L'unité de restitution pour la région Rhône-Alpes s'appuie sur la délimitation des entités hydrogéologiques de niveau 2 définies dans le cadre de l'actualisation de la synthèse hydrogéologique du bassin Rhône-Méditerranée (Lamotte *et al.*, 2009). Ces entités hydrogéologiques sont actuellement en cours d'intégration dans la base de données BD-Lisa (ex BDRHFv2).

13.2. AQUIFÈRES CIBLES

Comme expliqué précédemment, toutes les entités hydrogéologiques de la région Rhône-Alpes ne vont pas être étudiées. La multitude et la complexité des contextes géologiques que l'on rencontre dans cette région, ajouté à une courte durée impartie pour réaliser le projet, oblige à sélectionner les entités hydrogéologiques que l'on souhaite traiter en priorité. Deux tris successifs ont permis de retenir les entités hydrogéologiques prioritaires dans le cadre de l'inventaire géothermique, et par conséquent de réduire le nombre d'entités hydrogéologiques à étudier.

Le premier tri est géologique. Le socle, sur lequel repose directement une grande partie du territoire, est écarté de l'étude. Le nombre d'entités hydrogéologiques à étudier est ainsi réduit de 177 à 79. Le deuxième tri se fonde sur deux critères : hydrogéologique et démographique. Les entités hydrogéologiques situées dans des zones où la population est importante vont être privilégiées. De plus, seules les entités hydrogéologiques les plus superficielles (prise en compte au maximum de 3 entités superposées) sont retenues. Cette sélection permet de réduire à 43 le nombre d'entités hydrogéologiques à étudier (Figure 80).

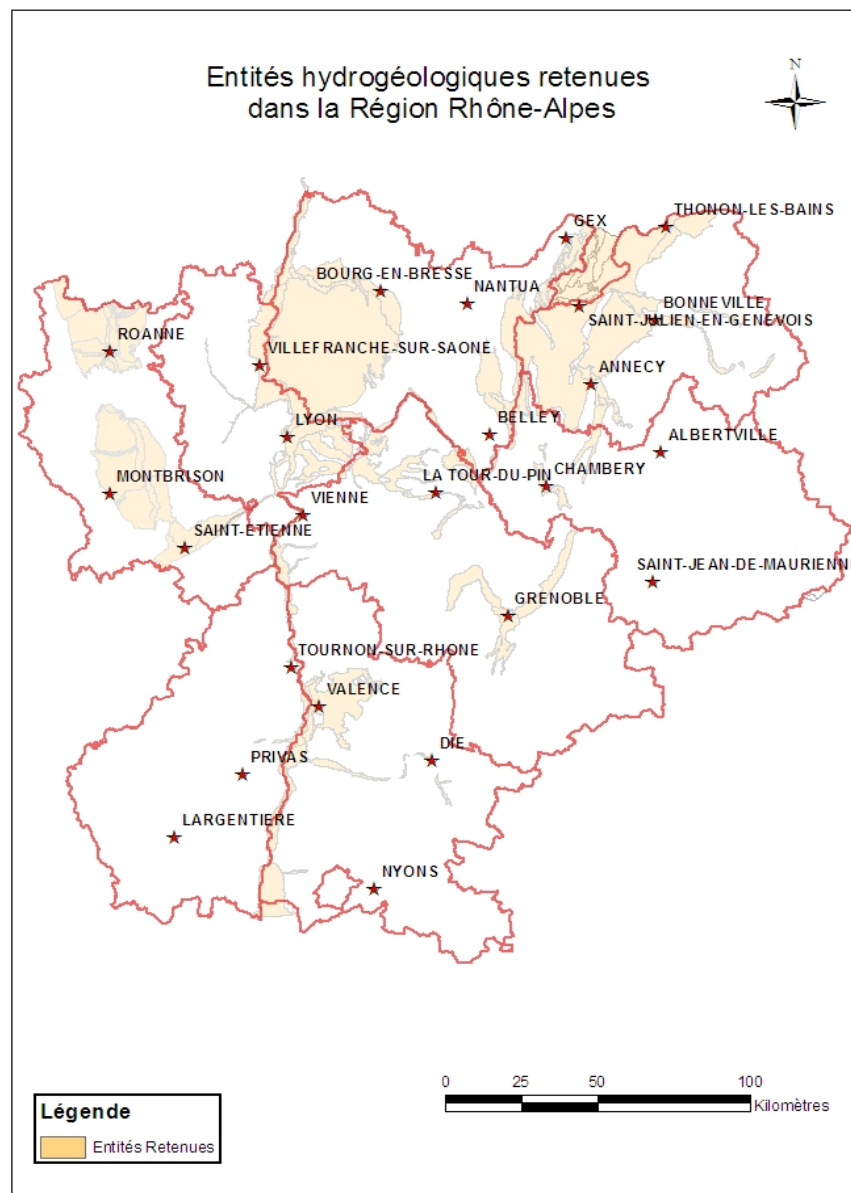


Figure 80 : Extension des entités hydrogéologiques retenues pour la région Rhône-Alpes.

Les entités hydrogéologiques retenues recouvrent ainsi 10 587 km² sur les 43 698 km² que compte la région Rhône-Alpes, soit environ 24,2 % du territoire rhône-alpin, 40 % de ses communes et 74 % de sa population. Elles sont décrites succinctement dans le Tableau 33 qui suit.

Désignation		Limites d'extension		Caractéristiques				
Nom	Code	Source de donnée	Format numérique	Sous recouvrement	Affleurement	Descriptif succinct	Superficie (km ²)	Pourcentage de la superficie régionale
	151A2	BDRHF-V2	oui	oui	oui	Alluvions anciennes, Libre et captive	1710	3,9 %
	151A4	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale, Libre	54	0,1 %
	151A5	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluvions anciennes, Libre	97,7	0,2 %
	151X	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale, Libre à semi-captive.	183	0,4 %
	152C	BDRHF-V2	oui	Non	oui	Alluvions anciennes, Libre	62	0,1 %
	152D	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluvions anciennes, Libre	61	0,1 %
	152E	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluvions anciennes, Libre	82	0,2 %
	152H	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluvions anciennes, Libre	221	0,5 %
	154A	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluvions anciennes, Libre	296	0,7 %
	154B1	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluvions anciennes, Libre à captive	30	0,1 %
	154C	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale, Libre	99	0,2 %
	177A	BDRHF-V2	oui	oui	oui	Alluvions anciennes, Libre et captive	294	0,7 %
	177A1	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluvions anciennes, Libre et captive	53	0,1 %
	177C1	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluvions anciennes, Captive ou captive et artésien	78	0,2 %
	177C2	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale, Libre	8	0,02%
	177C3	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluvions anciennes, Libre et captive	306	0,7 %
	324A	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale, Libre et captive	126	0,3 %
	325B	BDRHF-V2	oui	non	Oui	Alluviale, Libre	111	0,3 %
	325C	BDRHF-V2	oui	non	Oui	Alluviale, Libre	89	0,2 %
	325D	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale, Libre	114	0,3 %
	385	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale, Libre et captive	50,4	0,1 %

Désignation		Limites d'extension		Caractéristiques				
Nom	Code	Source de donnée	Format numérique	Sous recouvrement	Affleurement	Descriptif succinct	Superficie (km ²)	Pourcentage de la superficie régionale
	540X	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale, Libre à semi-captive	50	0,1 %
	540X3	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale Libre	45	0,1 %
	542B	BDRHF-V2	oui	oui	oui	Alluvions anciennes, Libre et captive	2 189	5,0 %
	542B1 A	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluvions anciennes, Captive	13	0,03 %
	543A1	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale, Libre	40	0,1 %
	621B	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale, Libre à captive	3	0,01 %
	PLIO1	BDRHF-V2	oui	oui	oui	Sédimentaire, Fréquemment captive et artésien	269	0,6 %
	RHDI 1	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale, Généralement libre et localement captive	217	0,5 %
	RHDI 2	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale, Libre	160	0,4 %
	RHDI 3	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale, Libre et localement captive	190	0,4 %
	RHDI 4	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale, Libre	165	0,4 %
	RHDI 5	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale, Libre, parfois captive et semi-captive	156	0,4 %
	B11A	BDRHF-V2	oui	oui	oui	Sédimentaire, Libre et captive	216,5	0,5%
	B11B	BDRHF-V2	oui	oui	oui	Sédimentaire, captive	1 296,7	3,0%
	B11F	BDRHF-V2	oui	oui	oui	Sédimentaire	131,6	0,3%
	E8R	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale	10,7	0,02%
	N14B	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale	77,0	0,2%
	N14D	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale	68,1	0,2%
	N14E	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale	1,6	0,00%
	N14F	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale	8,9	0,02%
	N14G	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale	6,0	0,01%
	N14H	BDRHF-V2	oui	non	oui	Alluviale	14,9	0,03%

Tableau 33 : Inventaire et principales caractéristiques des aquifères cibles – Région Rhône-Alpes.

13.3. COLLECTE ET ORGANISATION DES DONNÉES

13.3.1. Planification du travail et organisation de la collecte d'information

Le projet d'inventaire géothermique de la région Rhône-Alpes a nécessité le recrutement d'une intérimaire, pendant une durée de trois mois.

13.3.2. Spatialisation des données ponctuelles et attribution à une entité hydrogéologique

La spatialisation des données ponctuelles disponibles constitue une étape primordiale. En effet, il s'agit de rattacher ces données (côte piézométrique, débit spécifique...) à des coordonnées XY et à une entité hydrogéologique unique. Sans cette étape, l'exploitation des données disponibles au droit d'un ouvrage (préalablement identifié par son n° BSS) n'est pas envisageable. Quelques points sont d'ors et déjà rattachés à une entité hydrogéologique (lien point d'eau – entité hydrogéologique captée disponible). C'est le cas des points du réseau qualité et quantité de la banque de données d'ADES, et de quelques points renseignés pour l'actualisation de la synthèse hydrogéologique du bassin Rhône-Méditerranée (Lamotte *et al.*, 2009). Pour les autres, il est nécessaire de procéder au cas par cas. Pour cela, les informations issues des coupes techniques (permettant de positionner les crépines), des coupes géologiques ainsi que des logs vérifiés contenus dans les dossiers BSS associés à chaque point (à supposé que ces documents existent et soient renseignés dans la BSS) ont été étudiées et croisées. Le mode d'identification du lien point d'eau – entité hydrogéologique captée a été spécifié pour chaque point.

En région Rhône-Alpes, la superposition des entités hydrogéologiques (jusqu'à quatre entités superposées) rend d'autant plus complexe le rattachement d'un point à une entité hydrogéologique, car cette étape ne peut s'effectuer de manière automatique. Dans le cadre du projet PNIGRA, 2 547 points ont été traités permettant d'identifier le lien point d'eau – entité hydrogéologique captée de 1 024 points, les 1 523 restants ne pouvant être documentés par manque de données (coupes géologiques et/ou techniques mal renseignées ou inexistantes).

13.3.3. Grille SIG

Une grille (ou raster) de travail a été générée sur tout le territoire rhône-alpin. Chaque maille a une taille de 500 m * 500 m. Cette grille de travail comporte 292 617 mailles, dont 178 964 seront renseignées par les entités hydrogéologiques choisies pour la région Rhône-Alpes.

Les données collectées n'ont pour l'instant pas été bancarisées dans cette grille. Cependant la réflexion méthodologique a été engagée afin de définir la démarche à suivre pour aboutir à une grille documentant le potentiel géothermique sur toutes les mailles (Figure 81). Pour remplir cette grille, un minimum de 141 grilles intermédiaires devront être générées pour documenter les 43 entités hydrogéologiques.

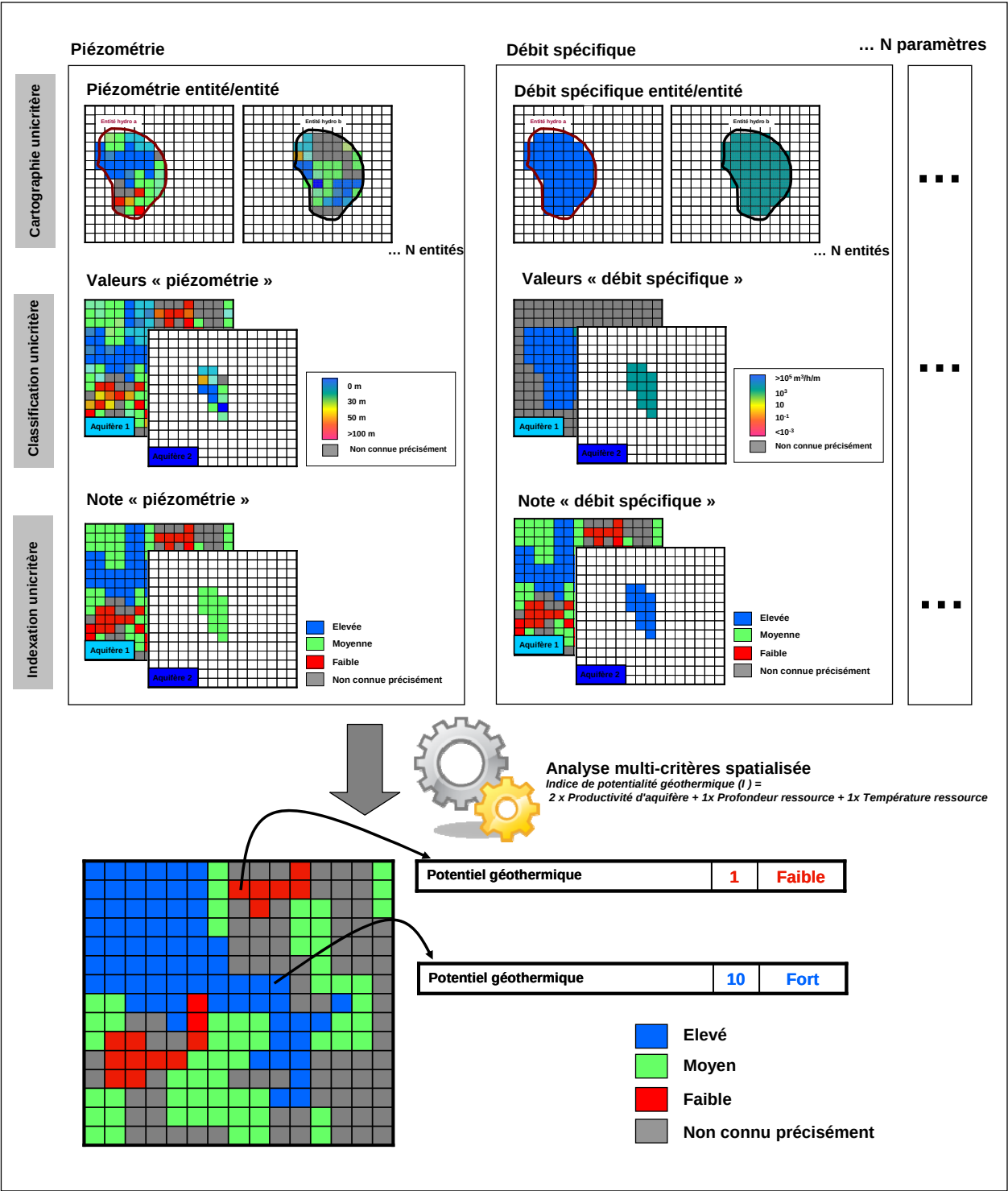


Figure 81 : Principe de codage de l'information et grilles SIG à générer pour la région Rhône-Alpes.

Sur la région Rhône-Alpes, le traitement des données SIG est réalisé sur le logiciel ArcGIS afin de bénéficier des données bancarisées dans la géodatabase de la synthèse hydrogéologique du bassin Rhône-Méditerranée (Lamotte *et al.*, 2009).

13.3.4. Sources de données exploitées

Les données suivantes ont été recherchées :

- **données hydrodynamiques** (débit spécifique, perméabilité, transmissivité) ;
- **données piézométriques** relatives à chaque entité hydrogéologique ;
- **données sur la profondeur du toit** de l'aquifère.

Par manque de temps, les données de températures et d'hydrochimie ont été écartées pour l'instant.

Les sources documentaires consultées sont les suivantes (liste non exhaustive) :

- documents d'archives ;
- rapports de bureaux d'étude et de foreurs ;
- rapports de collectivités locales ou administratives ;
- synthèse hydrogéologique du bassin Rhône-Méditerranée BRGM/AERMC (Lamotte *et al.*, 2009) ;
- données disponibles au BRGM mais non bancarisées (BSS - Banque des données du Sous-sol - et ADES - banque d'Accès aux Données des Eaux Souterraines).

Enfin, des supports cartographiques ont été recherchés :

- topographie : MNT au pas de 50 m ;
- géométrie : modèles géologiques, BSS (logs validés/logs non validés), cartes géologiques ;
- piézométrie : cartes piézométriques.

Les données ainsi recueillies permettent de documenter les entités hydrogéologiques pour différentes échelles :

- à l'**échelle ponctuelle** d'un ouvrage : les données issues de la BSS, d'ADES, de la bibliographie sont disponibles pour un point de mesure (ouvrage) ;
- à l'**échelle de l'entité** : dans la bibliographie, et plus particulièrement dans la synthèse hydrogéologique actualisée du bassin Rhône-Méditerranée (Lamotte *et al.*, 2009), des données hydrodynamiques sont documentées entité hydrogéologique par entité hydrogéologique.

13.3.5. Critère « Productivité d'aquifère »

Les données de base nécessaires à la description du critère « productivité » sont les données de transmissivité, perméabilité, débit spécifique, rabattements et débits d'exploitation.

a) Établissement de grilles intermédiaires

En raison de la densité des données hydrodynamiques disponibles sur une entité hydrogéologique, le critère « productivité » ne peut être documenté maille par maille. Une valeur unique de productivité va être attribuée au sein d'une même entité hydrogéologique (Figure 82). Pour cela les données hydrodynamiques vont faire l'objet d'un traitement statistique (minimum, maximum, moyenne, médiane...). Dans le cas où ce traitement n'aurait pas de sens (insuffisance de valeurs, mauvaise répartition spatiale...), l'attribution de données hydrodynamiques s'appuiera sur la bibliographie (Figure 82).

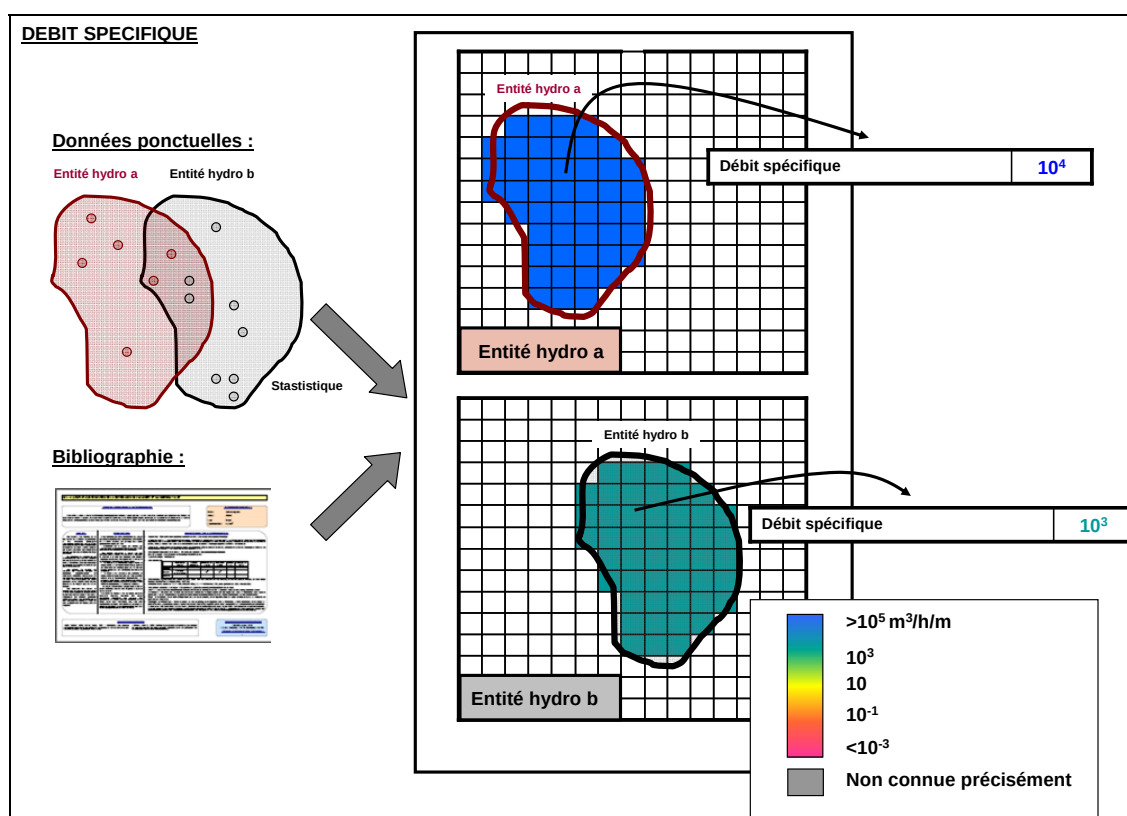


Figure 82 : Établissement d'une grille intermédiaire documentant les données hydrodynamiques pour une entité hydrogéologique donnée de la région Rhône-Alpes.

b) Avancement actuel

Les données hydrodynamiques ponctuelles ont été recherchées dans la BSS. Un traitement préalable de ces données a été nécessaire car les essais de pompage réalisés n'étaient généralement pas interprétés. L'ensemble des points pour lesquels ce travail a été réalisé est reporté sur la Figure 83. Sur les 43 entités hydrogéologiques considérées pour la région Rhône-Alpes, 474 points (rattachés à une entité hydrogéologique unique) présentent au moins un paramètre hydrodynamique mesuré (dont 462 pour le débit spécifique, 45 pour la transmissivité et 10 pour la perméabilité) (Tableau 34). En l'état actuel du projet, seule la collecte et la bancarisation des données hydrodynamiques sont achevées. Les grilles intermédiaires documentant le critère « productivité de l'aquifère », édité entité par entité, n'ont pas encore été renseignées.

Paramètres	Nombre de données	% par rapport au nombre total de données
Débits spécifique	462	89,4 %
Transmissivité	45	8,7 %
Perméabilité	10	1,9 %
Total	517	100

Tableau 34 : Répartition du type de données ponctuelles relatives au critère « productivité ».

Dans un deuxième temps les données hydrodynamiques collectées devront faire l'objet d'un traitement statistique (visant à attribuer à chaque entité hydrogéologique une valeur Min, Max, Moyenne et Médiane, ainsi que le nombre d'individus pour chaque paramètre hydrodynamique considéré). Les points seront par la suite choisis de manière à obtenir une répartition spatiale homogène sur l'entité hydrogéologique considérée. Si nécessaire, les entités hydrogéologiques pourront être découpées en différents secteurs ou regroupées avec des entités adjacentes.

Dans le cas où le traitement statistique ne serait pas possible (données insuffisantes), les valeurs reportées dans la synthèse hydrogéologique du bassin Rhône-Méditerranée (Lamotte *et al.*, 2009) seront attribuées à l'entité hydrogéologique considérée (disponibles sur 35 entités sur les 43 considérées, Figure 83). Il s'agit uniquement de données de transmissivité et/ou de perméabilité. Au final, les mailles porteront les valeurs des paramètres hydrodynamiques attribuées à l'entité hydrogéologique contenant le centroïde de la maille considérée.

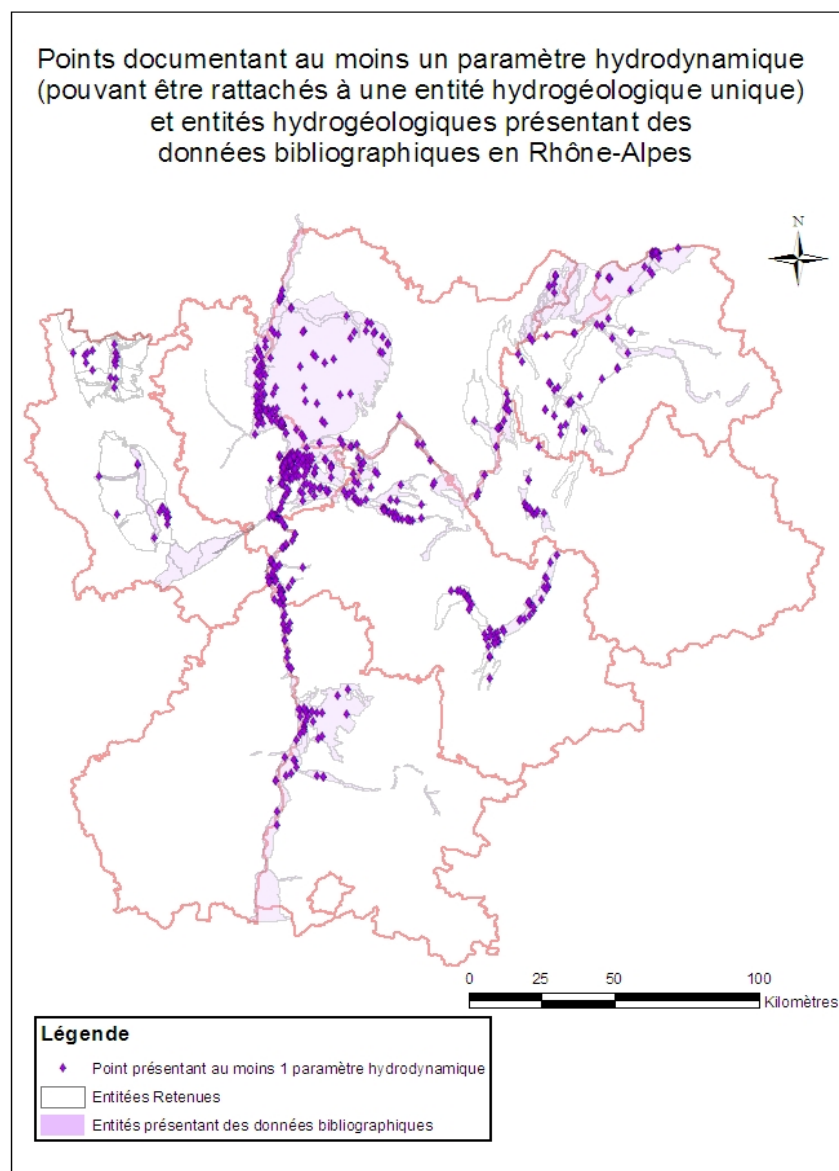


Figure 83 : Points documentant au moins un paramètre hydrodynamique (pouvant être rattachés à une entité hydrogéologique unique) et entités hydrogéologiques présentant des données bibliographiques (Lamotte et al., 2009) en Rhône-Alpes.

13.3.6. Critère « Profondeur d'accès à la ressource »

Les données de base nécessaires à la description du critère « profondeur d'accès à la ressource » sont les données de topographie, de géométrie des formations géologiques (toit et mur des formations géologiques) et de piézométrie. Elles permettront l'évaluation de la profondeur des nappes (piézométrie pour les aquifères libres et profondeur du toit de l'aquifère dans le cas d'un aquifère captif).

a) Établissement de grilles intermédiaires

Le critère « profondeur d'accès à la ressource » doit être documenté maille par maille afin de rendre compte des disparités spatiales existantes au sein d'une même entité hydrogéologique. Deux cas de figure peuvent être rencontrés :

- si seules des données ponctuelles sont disponibles, la grille de données est reconstituée pour l'entité hydrogéologique considérée par traitement statistique de type krigage (cf exemple pour la piézométrie en Figure 84) ;
- s'il existe dès à présent des cartes d'isovaleurs (à titre d'exemple une carte piézométrique documentant la piézométrie sous la forme de polygones), la grille de données sera établie à partir d'une interpolation et d'un krigage de ces polygones (cf exemple pour la piézométrie en en Figure 84).

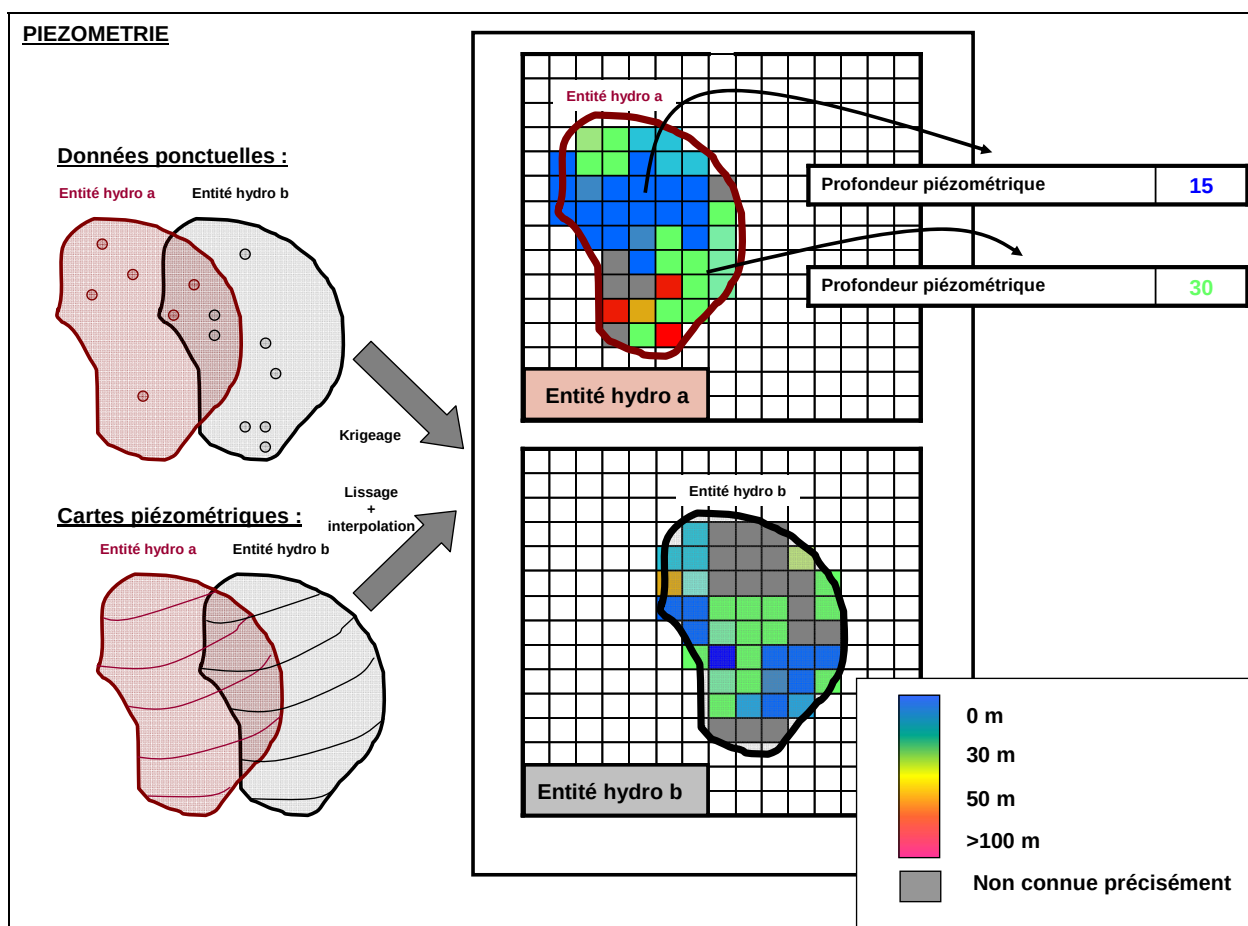


Figure 84 : Établissement d'une grille intermédiaire documentant la piézométrie pour une entité hydrogéologique donnée de la région Rhône-Alpes.

b) Avancement de la collecte des données

La géodatabase de la synthèse hydrogéologique du bassin Rhône-Méditerranée (Lamotte *et al.*, 2009) intègre des données piézométriques et des données sur l'altitude du toit et du mur de certains aquifères. Ces données sont stockées sous la forme de polygones (respectivement isopièzes et isohypses). En l'état actuel du projet, seules les données déjà numérisées dans cette géodatabase ont été exploitées (aucune numérisation supplémentaire n'a été réalisée). Sur les 43 entités hydrogéologiques considérées pour la région Rhône-Alpes, 26 d'entre elles présentent une piézométrie numérisée (polygones) dans cette géodatabase (Figure 85). Par ailleurs, deux d'entre elles possèdent des isohypses du toit numérisés, et 18 des isohypses du mur numérisés.

Entités présentant une piézométrie numérisée
et points documentant une profondeur piézométrique
(pouvant être rattachés à une entité hydrogéologique unique)
en Rhône-Alpes

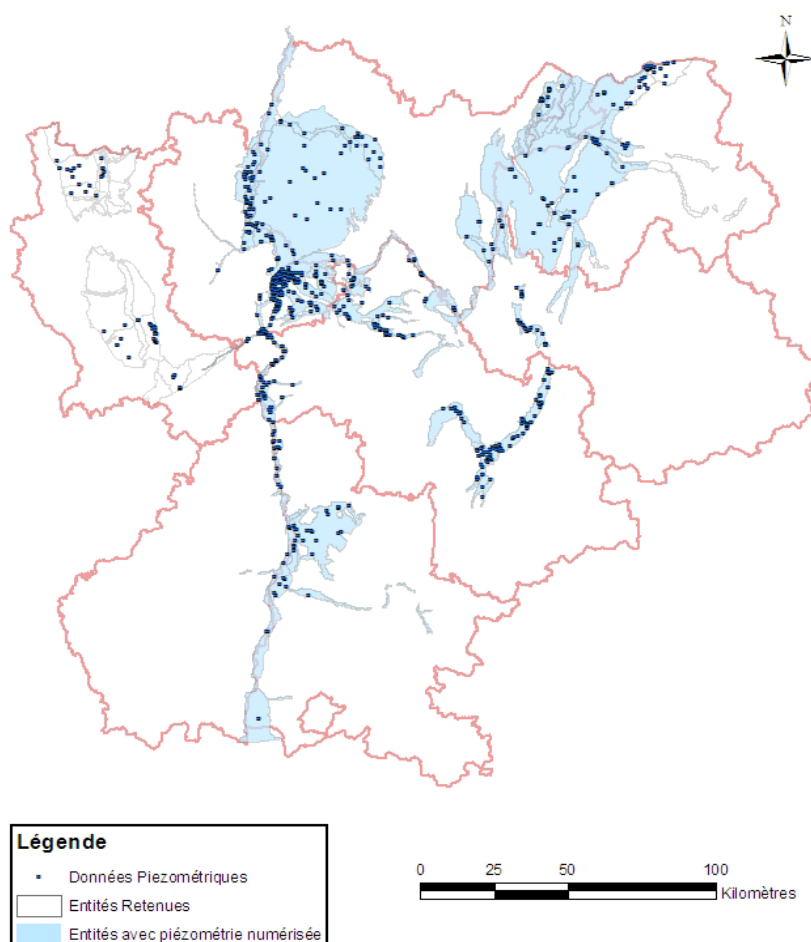


Figure 85 : Entités présentant une piézométrie numérisée et points documentant une profondeur piézométrique (pouvant être rattachés à une entité hydrogéologique unique) en Rhône-Alpes.

En ce qui concerne la piézométrie, des points supplémentaires sont considérés pour les entités où la piézométrie numérisée est inexistante ou incomplète. Sur ces entités hydrogéologiques (17 sur 43), 755 points présentent au moins une mesure de profondeur piézométrique et sont rattachés à une entité hydrogéologique unique (Figure 85).

En l'état actuel de l'avancement du projet, les grilles intermédiaires documentant maille par maille le critère « profondeur d'accès à la ressource » ne sont pas encore renseignées.

14. Conclusion

Le PNIGRA a permis d'inventorier pour onze régions les données disponibles pour la réalisation des atlas régionaux du potentiel géothermique sur aquifères superficiels et d'en débiter le recueil. Les premières analyses de données ont permis de mettre en évidence des lacunes de données sur certains aquifères.

Un bilan des réalisations est fourni pour chaque région dans le Tableau 35.

Les travaux restant à réaliser portent essentiellement sur du traitement de données pour intégration au SIG (traitements statistiques, spatialisation, numérisation). Ils devront être intégrés aux programmes régionaux de réalisation des atlas du potentiel géothermique qui devraient voir le jour dans le cadre de la mise en place des Schémas Régionaux Climat Air Energie (SRCAE) et qui seront proposés par les SGR à leurs partenaires locaux impliqués dans la définition des SRCAE.

Pour l'heure, **XXX** des régions ayant participé au PNIGRA sont en cours de discussion avec leurs partenaires pour définir des programmes d'étude.

Phase de travail	Etapas de travail		Objectif	Alsace	Bourgogne	Champagne	Languedoc-Roussillon	Nord pas de Calais	Haute Normandie	Basse Normandie	Pays de Loire	Picardie	Poitou Charente	Rhône Alpes	
1. Inventaire des connaissances et des données disponibles – Sélection des données.															
Recherche bibliographique	Liste et caractéristiques des aquifères régionaux		Repérer dans la littérature les études faites sur les aquifères régionaux et les données les concernant.	Réalisé	Réalisé	En cours (dec 2009)	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	
	Données hydrodynamiques (Perméabilité, transmissivité, débits, rabattements....)			Non réalisé	Réalisé	En cours (dec 2009)		Réalisé partiellement A poursuivre en 2010	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	En Cours (dec 2009)	Réalisé
	Données température			Réalisé	Réalisé	En cours (dec 2009)			Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Non réalisé	Réalisé	
	Données géochimiques (seulement si particularités régionales impliquant des équipements de forages particuliers et donc un surcoût pour le projet géothermique)			Réalisé	Réalisé	Réalisé partiellement, à poursuivre en 2010			Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé partiellement, à poursuivre en 2010	Réalisé
Recherche informatique	BRHF V2 (=BD LISA)	La Banque de Données du Référentiel Hydrogéologique Français répertorie l'ensemble des aquifères	Déterminer les aquifères à traiter en priorité	En cours (dec 2009)	Réalisé (BDRHFV1)	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé partiellement, à poursuivre en 2010	Réalisé	Réalisé (sera revu dans le cadre de BD Lisa)	Réalisé	
	BSS/ BDES	Tri par mots clé	Identifier sur l'ensemble des piézomètres, ceux qui contiennent des informations utiles à la réalisation de l'atlas (piézométrie, z toit, z mur, K, T, e, Q _{spécifique} , Q _{exploitation}).	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé (Synthèse hydro)	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé partiellement, à poursuivre en 2010	Réalisé	En cours (dec 2009)	Réalisé	
		Table données hydodynamiques		Réalisé partiellement, à poursuivre en 2010	Réalisé					En cours (dec 2009)	Réalisé partiellement, à poursuivre en 2010	Réalisé		Réalisé	
	ADES	Exporter point d'eau ayant un suivi sur les paramètres chimiques (température, TH, TAC, salinité, conductivité, teneurs en sulfates, teneurs en chlorures, teneurs en fer, teneurs en calcium et en magnésium,...)		En cours (dec 2009)	Non réalisé	En cours (dec 2009)	Réalisé (Synthèse hydro)	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	2010	Non réalisé	
	SIG	Carte géologique		Non réalisé	Non réalisé	Réalisé	Réalisé (Synthèse hydro)	En cours (dec 09)	Réalisé	Réalisé	2010	2010	Carte vectorisée 50 000ème. Aucune carte harmonisée départementale	Réalisé	
		Carte piézométrique		Réalisé partiellement, à poursuivre en 2010	Réalisé	Réalisé	Réalisé (Synthèse hydro)	En cours (dec 09)	En cours (dec 2009)	En cours (dec 2009)	2010	2010	Réalisé	Réalisé	
		Carte d'extension des aquifères		En cours (dec 2009)	Réalisé	Réalisé	Réalisé (Synthèse hydro)	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	
		MNT au pas de 50 m	Disposer de la topographie dans chaque maille de la grille pour déterminer, par la suite, la profondeur d'accès à la ressource	Réalisé	Non réalisé	Réalisé	Réalisé (Synthèse hydro)	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Non réalisé	Réalisé	
2. Traitement des données - élaboration du SIG															
Création de la grille SIG et définition des premiers champs de la base de donnée	Utilisation de MapInfo (cf. protocole défini par SGR Nord Pas de Calais en annexe 2) Premiers champs : - Identifiant_maille : constitué de la (des) lettre(s) associée(s) - Num_colonne : identifiant de la colonne, constitué d'une ou - Num_ligne : numéro de la ligne (de 1 à 371) ; - X_centre_maille : coordonnée X du centre de la maille - Y_centre_maille : coordonnée Y du centre de la maille - Département : numéro du département auquel appartient le - Num_INSEE_commune : numéro INSEE de la commune à		Permettre la régionalisation des données utiles à l'évaluation du potentiel géothermique des aquifères (topographie, piézométrie, géométrie des formations géologiques, productivité, température, géochimie)	Réalisé	Non réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	En cours (dec 2009)	Réalisé	En cours (déc 2009)	
Attribution d'un aquifère à chaque point d'eau				Réalisé	Non réalisé	2010	Réalisé (Synthèse hydro)	En cours (dec 09)	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	Réalisé	
Géométrie des aquifères principaux				Réalisé partiellement, à poursuivre en 2010	Non réalisé	2010	Réalisé (Synthèse hydro)	2010	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé	
Numérisation des données papier (données ponctuelles et cartographiques)				Réalisé	Réalisé	Réalisé partiellement, à poursuivre en 2010	Non réalisé	Réalisé partiellement A poursuivre en 2010	Réalisé	En cours (dec 2009)	2010	2010	Non réalisé	Non réalisé	

Tableau 35 : Bilan des travaux régionaux d'inventaire et de recueil de données.

15. Bibliographie

Ghyselinck-Bardeau M., Wuilleumier A. (2006) - Outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse à basse énergie (nappes alluviales et thermalisme) dans la région Midi-Pyrénées – Rapport intermédiaire. Rapport BRGM/RP-55215-FR, 192 p., 29 ill., 21 annexes.

Schomburgk S., Goyeneche 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. - rapport du Bureau d'étude ALTOINGENIERIE (volume séparé).

Gourmez P., avec la collaboration de **Monnot P.** (2006) - Guide d'aide à la décision pour l'installation de pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Île-de-France. Partie 2 : Guide technique, administratif et méthodologique. Rapport final. BRGM/RP-53306-FR, 149 p., 14 fig., 7 ann.

Bourgine B., Denis L., Filhine-Tresarrieu., Monnot P., Nguyen-The D., Robelin C. (2007) - Atlas du potentiel géothermique des aquifères lorrains. Rapport BRGM/RP-54987-FR, 83 p., 36 ill., 3 ann.

Jaudin F., Martin J.C. (2005) - Atlas sur la géothermie très basse énergie en Région Centre. Rapport intermédiaire. BRGM/RP-54340-FR, 50 p., 5 ill., 1 ann.

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 n° 2a. BRGM/RP-54542-FR, 76 p., 35 ill., 2 ann.

Martin J.C., Bacquet I., Tourliere B. (2006) - Atlas sur la géothermie très basse énergie en Région Centre. Géométrie et niveaux piézométriques des principales formations aquifères. Rapport intermédiaire n° 2b. BRGM/RP-54715-FR, 73 p., 36 ill., 4 ann.

Martin J.C., Bacquet I., Tourliere 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.

Dufrenoy R., Petit V. avec la collaboration de **Mardhel V.** (2009) - Référentiel Hydrogéologique Français - BDLISA. Bassin Artois-Picardie. Années 3 et 4. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1, 2 et 3 en régions Nord-Pas de Calais et Picardie. Rapport d'étape. BRGM/RP-57520-FR. 97 pages, 4 annexes.

Bezelgues-Courtade S., Monnot P., Le Brun M., Desplan A., Schomburgk S., Martin J.C., Nguyen-The D., Nguyen D. (2010) - Geothermal potential of shallow

aquifers : decision-aid tool for heat-pump installation. WGC 2010 – World Geothermal Congress 2010 – Bali - Indonésie – 25-30/04 2010.

BRGM (1998) - Dictionnaire de la banque de données des eaux Souterraines (Bd-ES) Rap. BRGM R 40189, Révision 1 (janvier 2000), 35 p.

Rapport BRGM/R 37779-FR – Version 4.6 – Janvier 2006 « BSS, la Base des données du Sous-Sol, Dictionnaire des données ».

Utilisation énergétique des nappes phréatiques du département du Haut-Rhin. 1980. Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie, BRGM, Electricité de Strasbourg, Electricité de France et Région.

Utilisation énergétique des nappes phréatiques du département du Bas-Rhin. 1980. Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie, BRGM, Électricité de Strasbourg, Électricité de France et Région.

Marchal J.P., Blaise M. (2004) - Actualisation de la synthèse hydrogéologique en région Languedoc-Roussillon. Rapport méthodologique. BRGM/RP-53020-FR, 31 p., 8 ill., 1 vol. séparé.

Marchal J.P., Blaise M. (2004) - Actualisation de la synthèse hydrogéologique en région Languedoc-Roussillon. Notice d'accompagnement du CD. BRGM/RP-53020-FR, 16 p., 4 ill.

Marchal J.P., Blaise M. (2005) - Actualisation de la synthèse hydrogéologique en Région Languedoc-Roussillon – Descriptif des tables. Annexe au Rapport final. BRGM/RP-53020-FR, 31 p., 1 vol. séparé.

Nguyen D., Marchal JP., Graveline N., Blaise M. (2008) - Potentiel géothermique du département de l'Hérault. Rapport final. Rap. BRGM/RP-55319-FR, 121 p., 47 ill., 6 ann., dont annexe 6 sur cédérom.

Allier D. et Chretien P., avec la collaboration de **Baraton A., Leveau E., Minard D. et Tourliere B.** (2009) - Atlas hydrogéologique numérique de l'Aisne – Notice – Rapport final. BRGM/RP-57439-FR, 158 pages, 65 illustrations, 10 tableaux, 6 annexes.

R. Dufrenoy avec la collaboration de **Chretien P. et Mardhel V.** (2009) - Référentiel Hydrogéologique Français – BDLISA Version 2 (découpage des entités de niveaux 1 & 2 en région Picardie) – BRGM/RP-57516-FR. 104 pages, 18 illustrations, 3 tableaux, 4 annexes.

Caous J.Y., Comom D. (1987) - Notice de l'atlas hydrogéologique de l'Oise – BRGM Éditions 1987. 84 pages, 17 illustrations, 9 tableaux, 2 annexes.

Caous J.Y., Caudron M., Mercier E. (1983) - Notice de l'atlas hydrogéologique de l'Aisne – BRGM Éditions 1983. 98 pages, 26 illustrations, 7 tableaux, 1 annexe.

Ouvrage collectif sous la direction de Roux J.C. (2006) - Aquifères et eaux souterraines en France Tome 1. BRGM Éditions 2006. 479 pages.

Roux J.C. (1978) - Notice de l'atlas hydrogéologique de la Somme – BRGM Éditions 1978. 98 pages, 32 illustrations, 25 tableaux, 3 annexes.

Bichot F., Bonfils R., Dugrillon D., Herve J.Y. (2009) - Potentiel géothermique du département de la Charente-Maritime. Rapport BRGM/RP-57683-FR, 85 p.

Bichot F., Lavie J., Dequidt D., Thinon-Larminach M. (2008) - Analyse des chroniques piézométriques et hydrologiques avec le logiciel TEMPO pour la gestion des prélèvements en nappe Phase 3 : Actualisation des modèles précédents – Traitement des bassins versants de la Vienne, du Thouet/Sèvre nantaise, du Sud des Charentes et des nappes profondes. BRGM/RP-56481-FR, 481 p., 413 ill., 1 planche hors texte.

Bichot F., Thinon-Larminach M., Touchard F., Bailly D. (2005) - Synthèse hydrogéologique par bassins versants de la Région Poitou-Charentes. Relations nappes-rivières. BRGM/RP-53767-FR, 130 p.

Douez O., Lavie J. avec la collaboration de **Pellerin C., Leonard S.** (FREDON) et **Barrault M.** (FREDON) (2007) - CPER 2000-2007 Phase 7. Réseau régional de suivi de la qualité des nappes en 2007. Rapport BRGM/RP-56596-FR, vol.1 et 2, 199 + 39 pages, 67 ill + 15., 7 ann.

Lemordant Y. (1997) - Piézométrie des aquifères Infra-Toarcien et Cénomaniens (partie nord) en région Poitou-Charentes. BRGM/R-39742.

Marchais E., Bichot F. (2006) - CPER 2000-2006 – Référentiels piézométriques – Phase 4 – Piézométries de l'aquifère Infra-Toarcien. BRGM/RP-54838-FR, 56 p, 18 ill., 3 ann., 2 planches hors texte.

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, 71 p., 5 annexes dont 1 hors texte.

Sites internet :

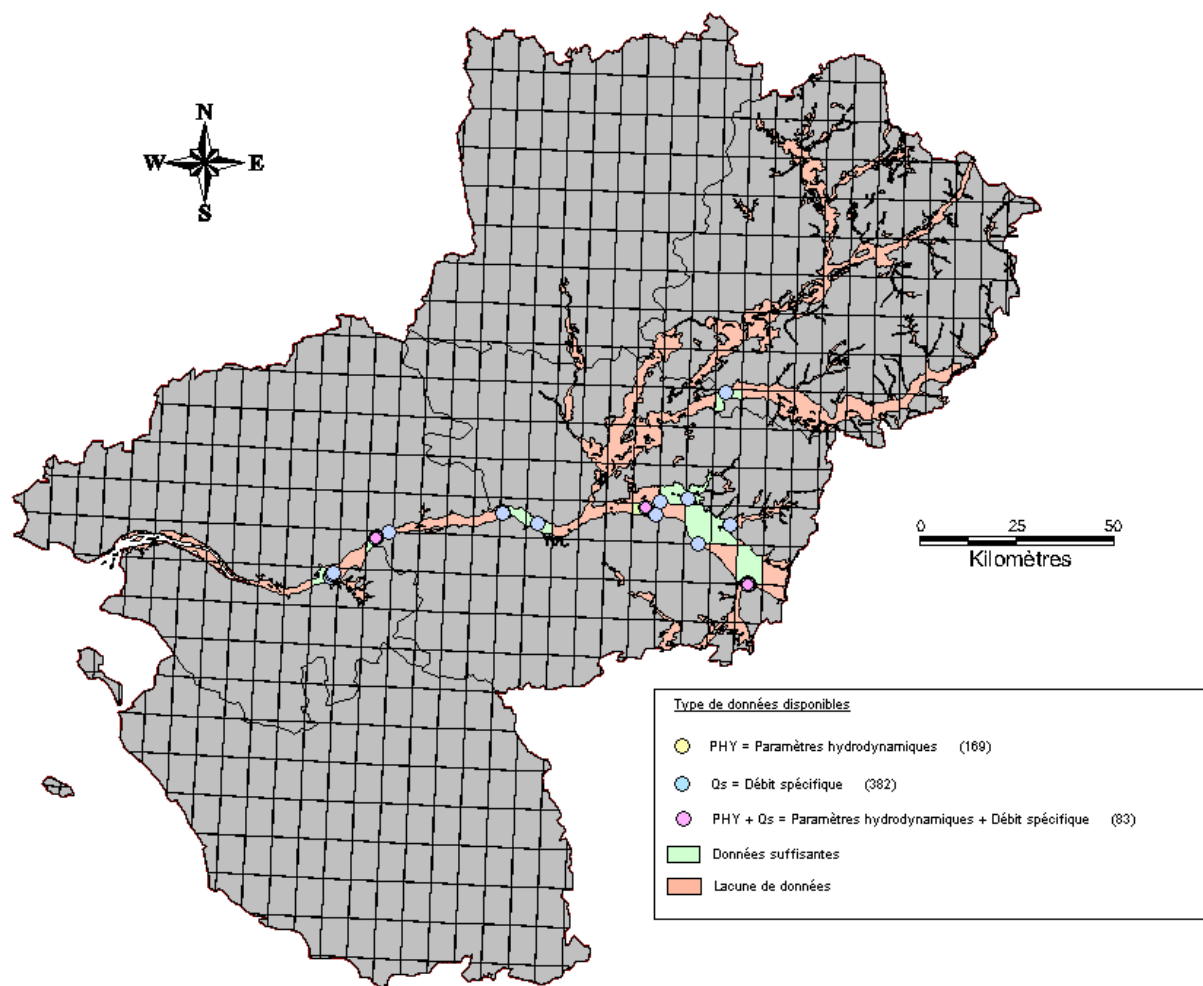
www.adeseaufrance.fr

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

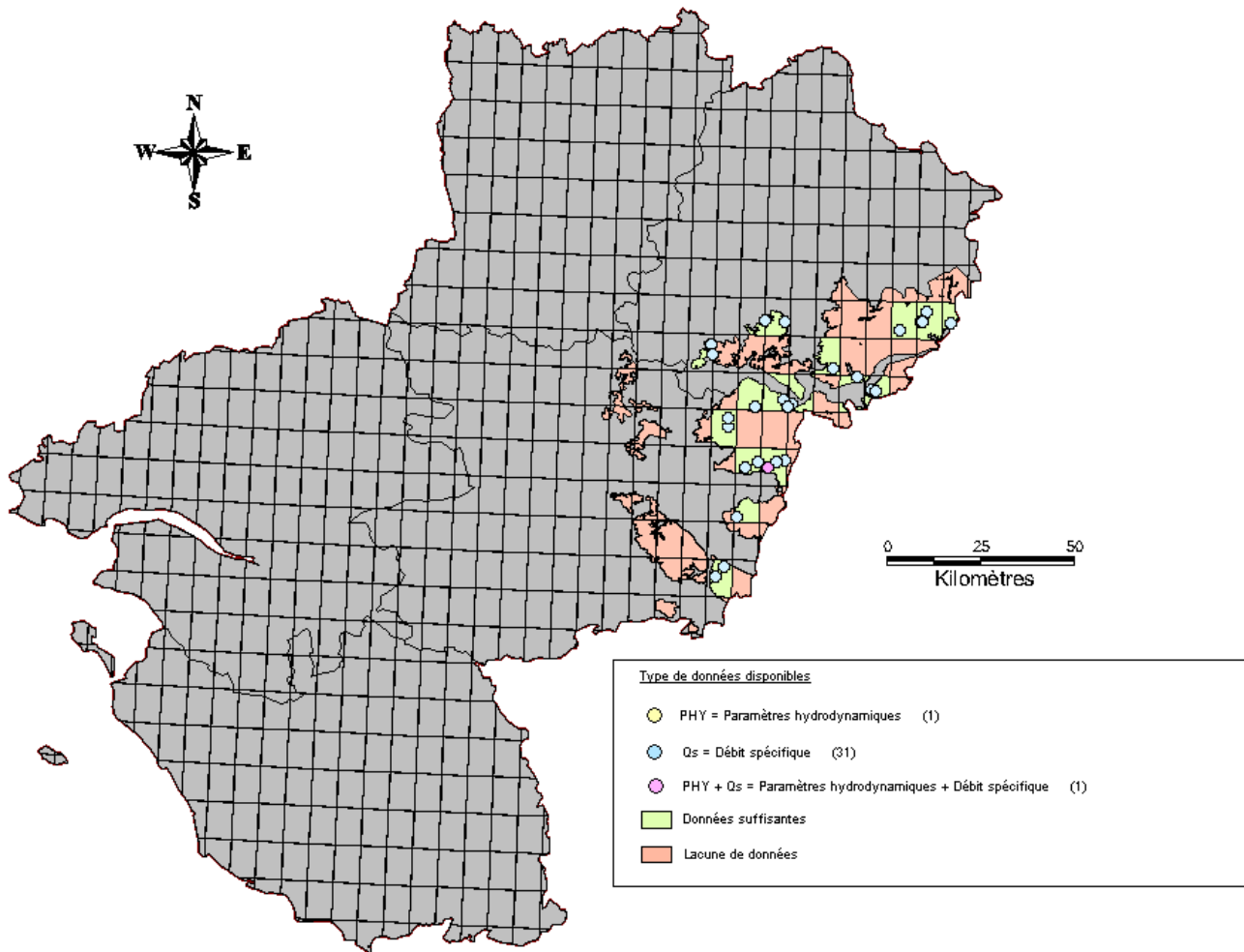
Annexe 1

Répartition des données relatives au critère « productivité » par aquifère – Région Pays de Loire

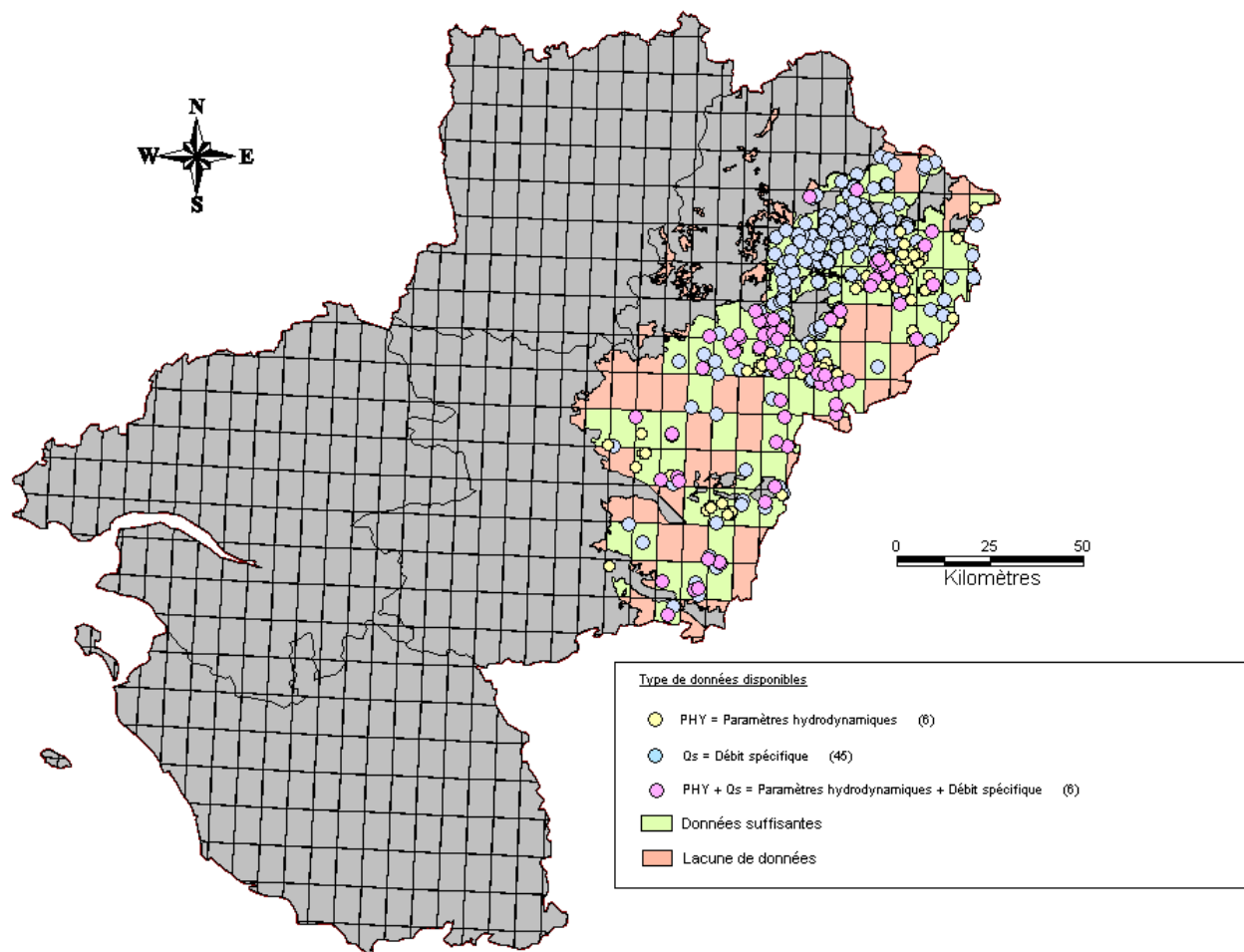
Type de données disponibles pour l'aquifère des Alluvions



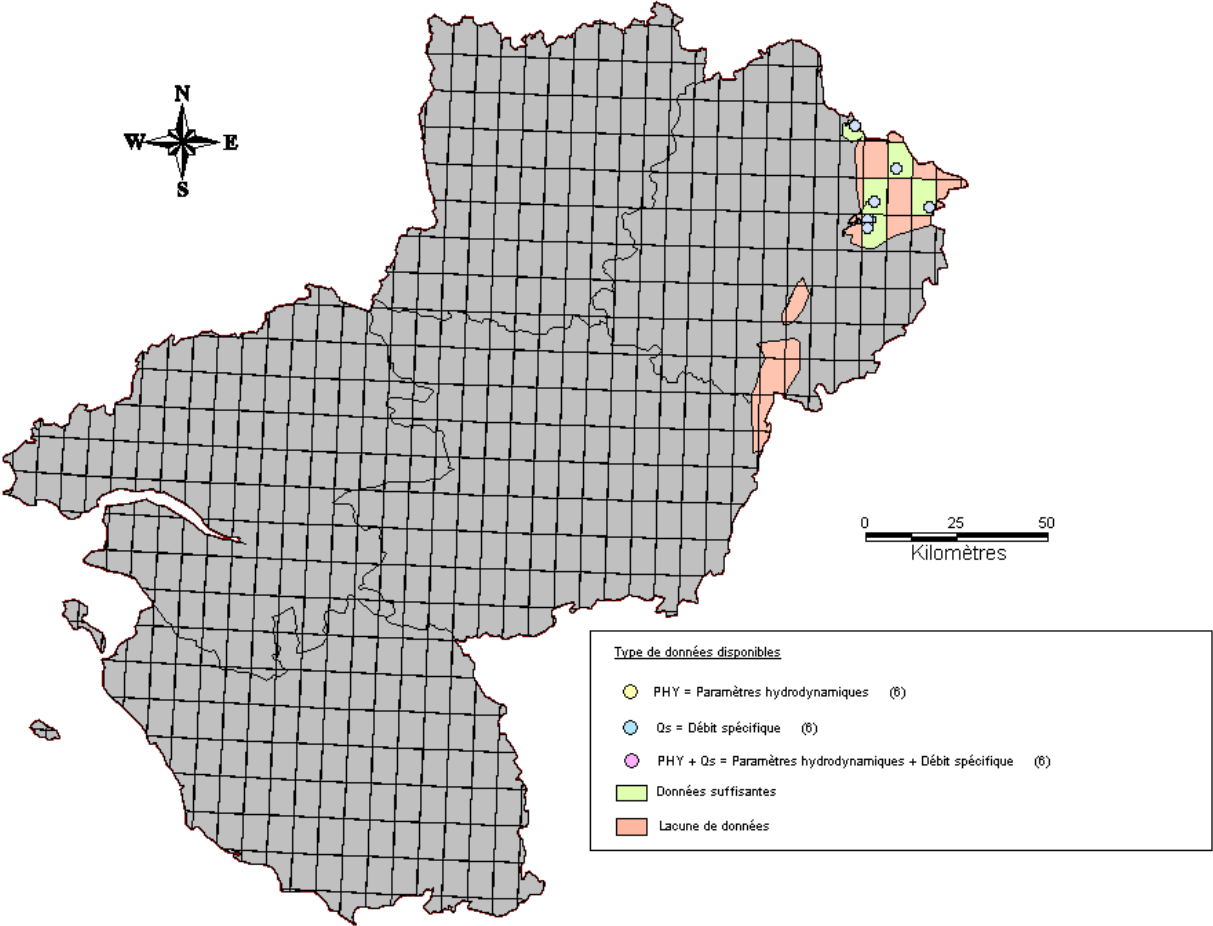
Type de données disponibles pour l'aquifère de la craie et des sables du Séno-Turonien



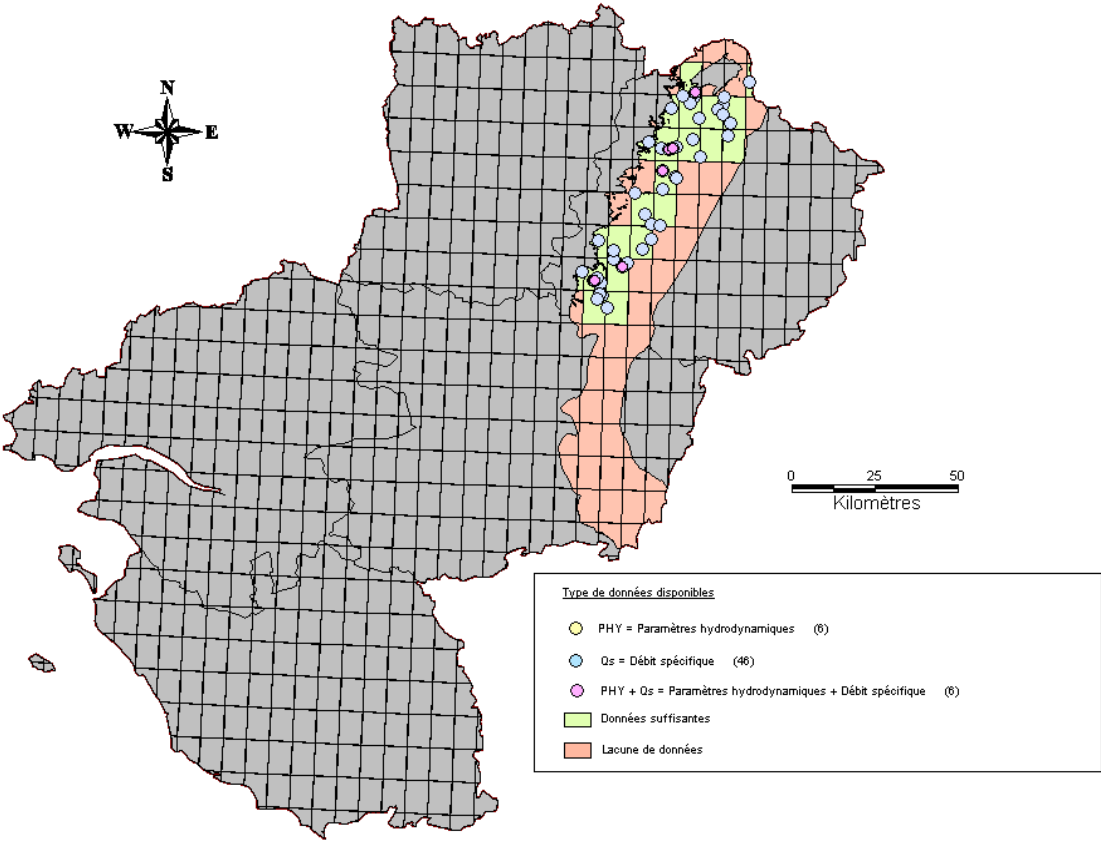
Type de données disponibles pour l'aquifère des sables du Cénomanien



Type de données disponibles pour l'aquifère des Calcaires du Malm



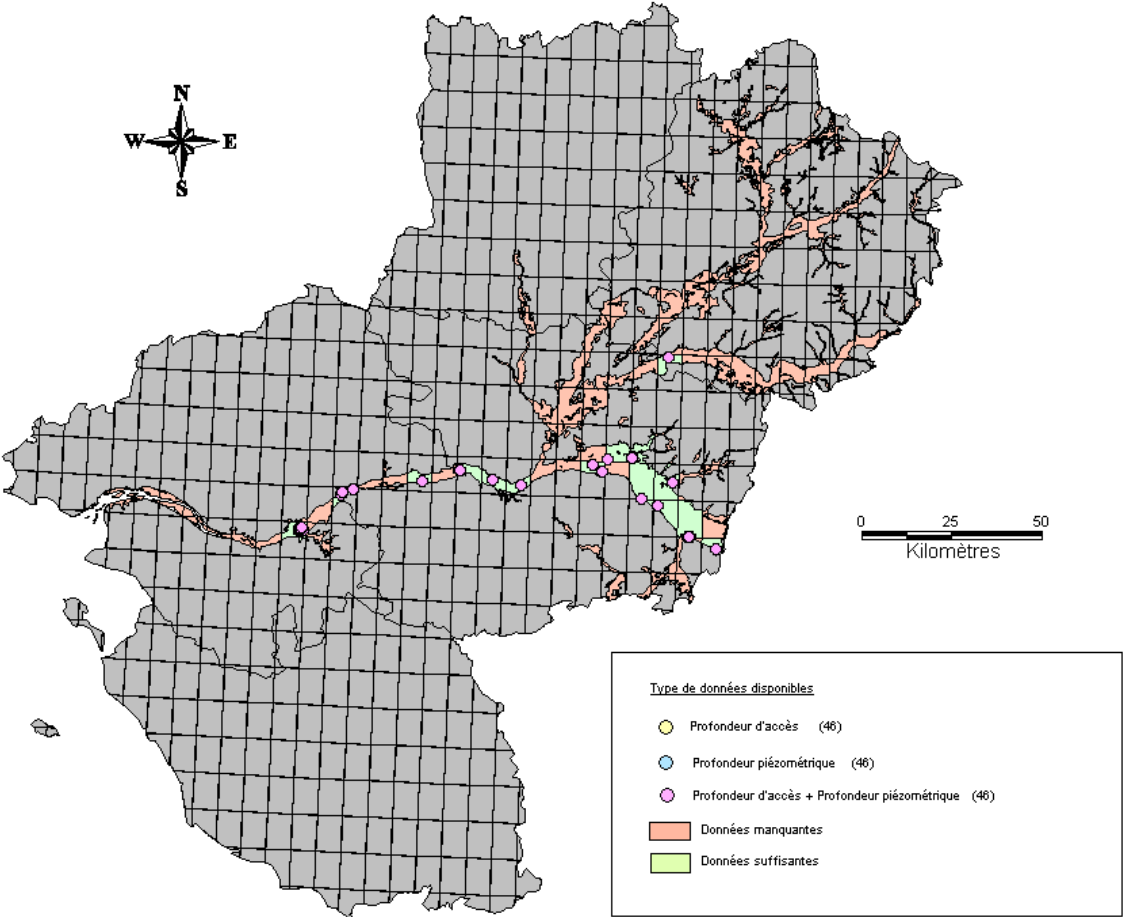
Type de données disponibles pour l'aquifère des Calcaires du Dogger



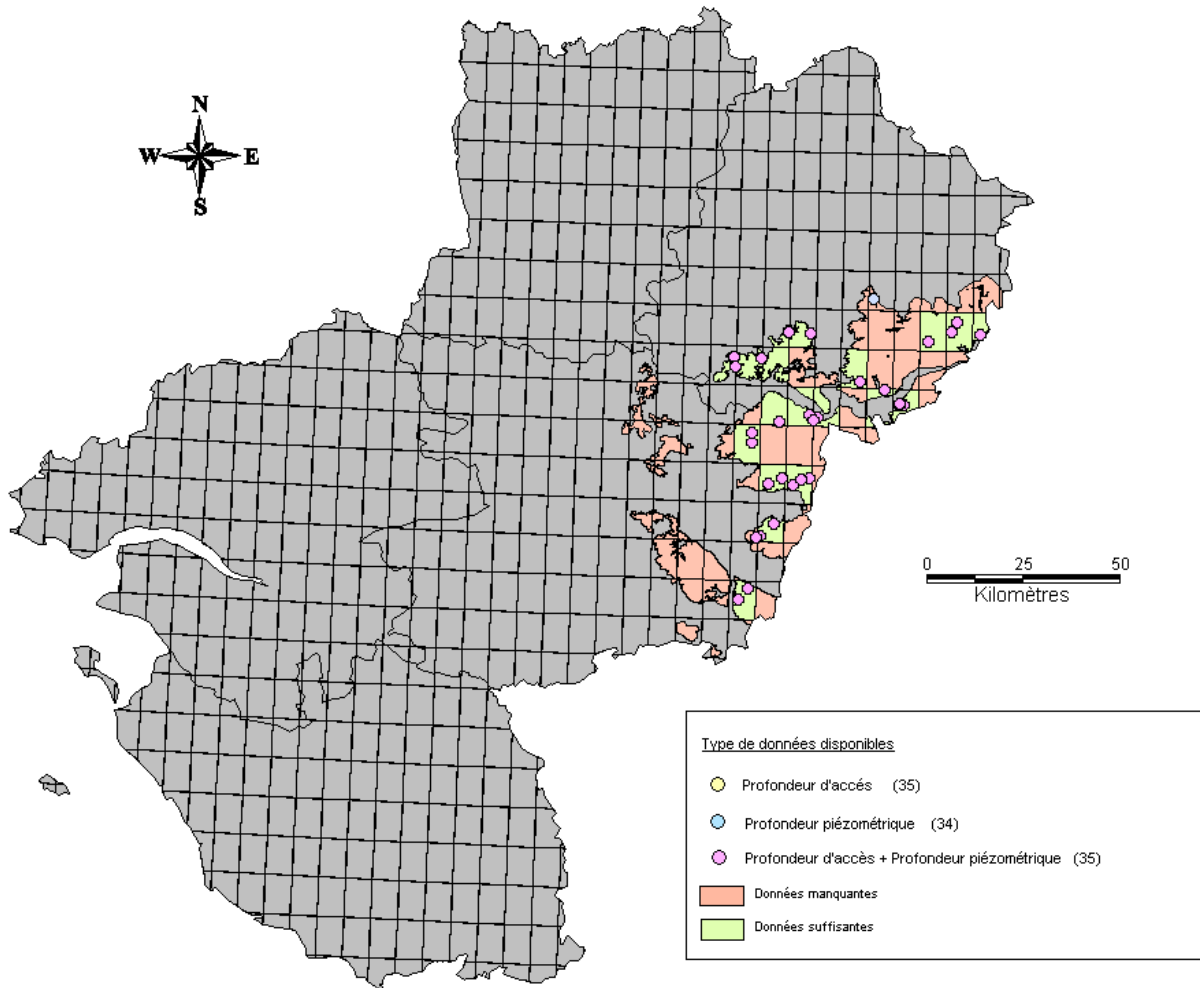
Annexe 2

Répartition des données relatives au critère « profondeur d'accès » par aquifère – Région Pays de Loire

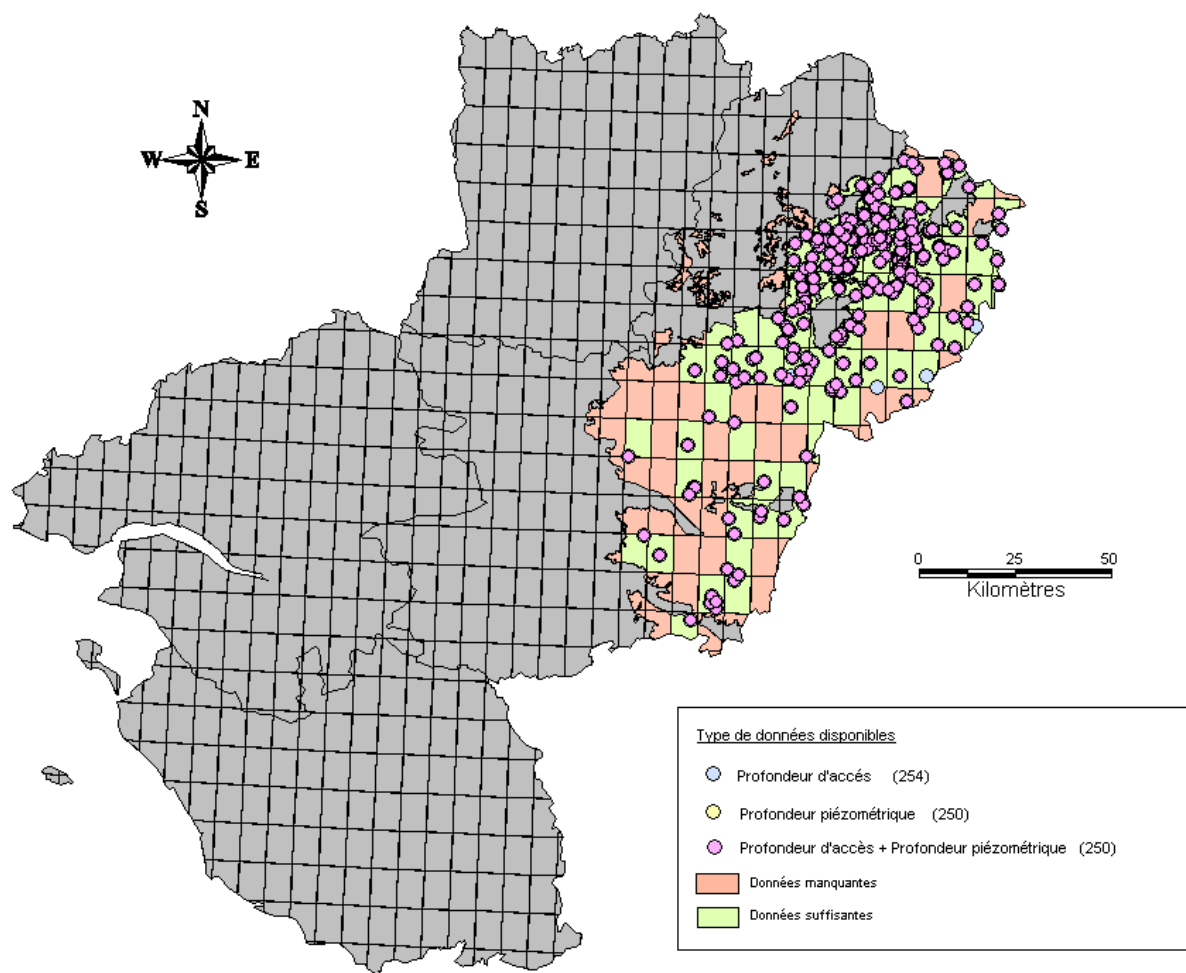
Type de données disponibles pour l'aquifère des Alluvions



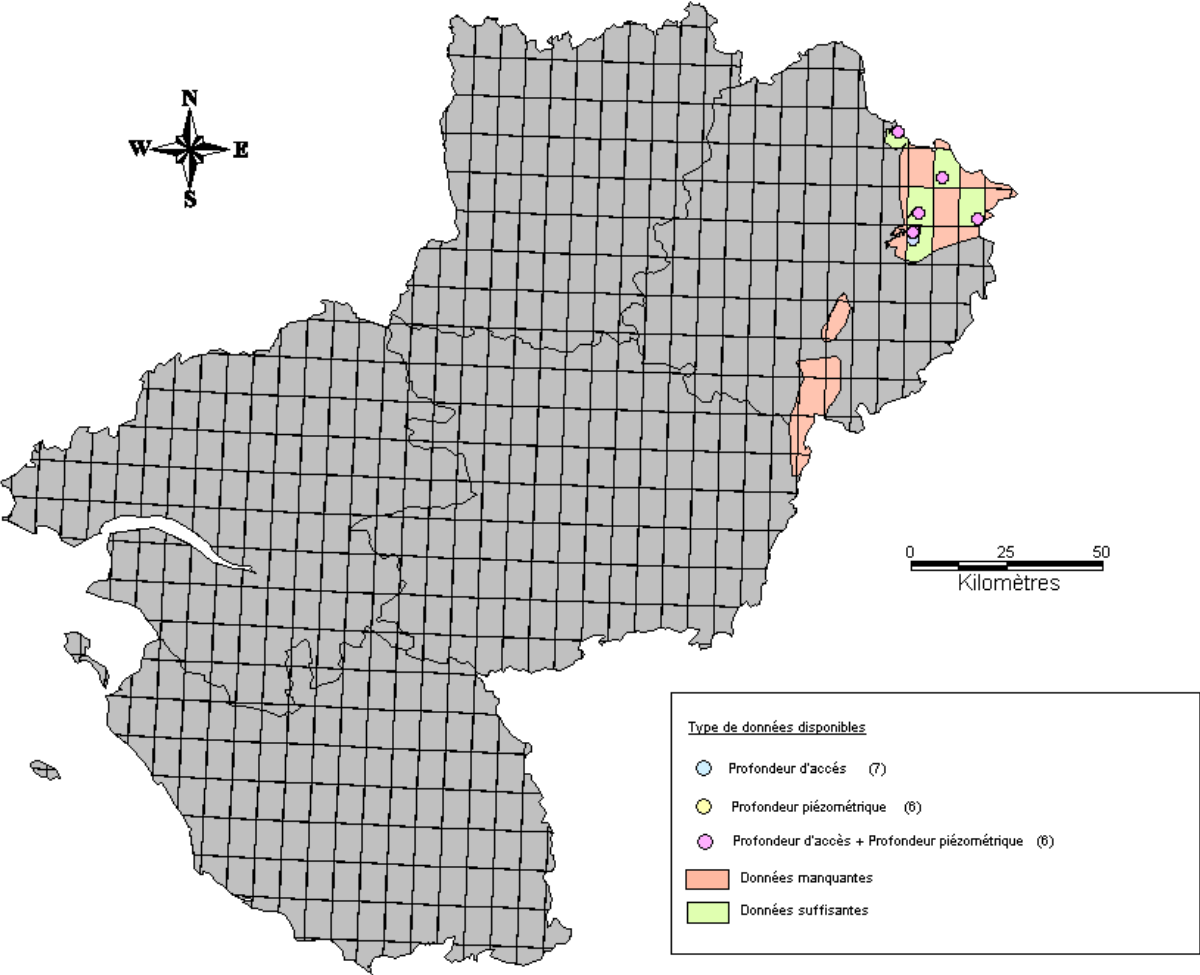
Type de données disponibles pour l'aquifère de la craie et des sables du Séno-Turonien



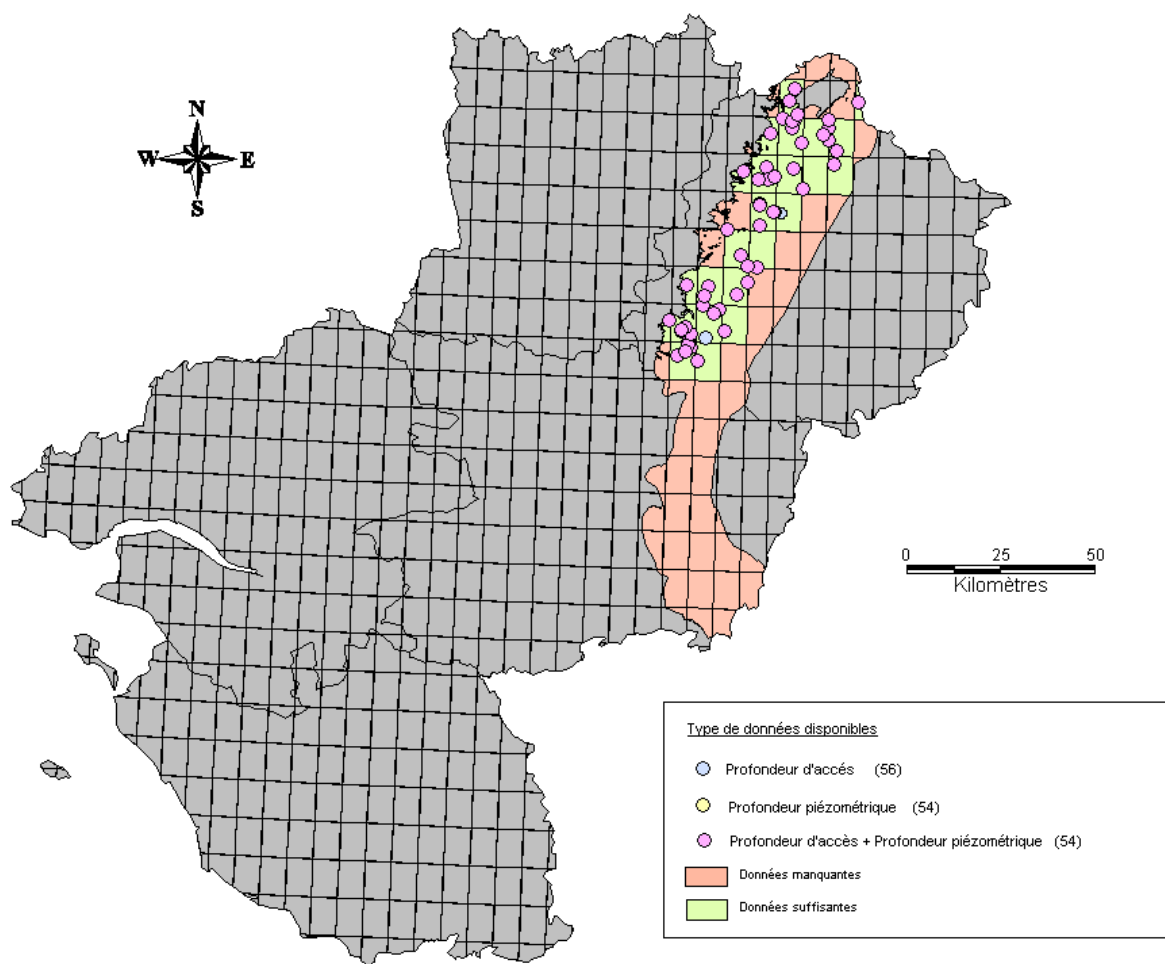
Type de données disponibles pour l'aquifère des sables du Cénomanien



Type de données disponibles pour l'aquifère des marnes et calcaires du Malm



Type de données disponibles pour l'aquifère des calcaires du Dogger





Géosciences pour une Terre durable

brgm

**Centre scientifique et technique
Service géothermie**

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34