

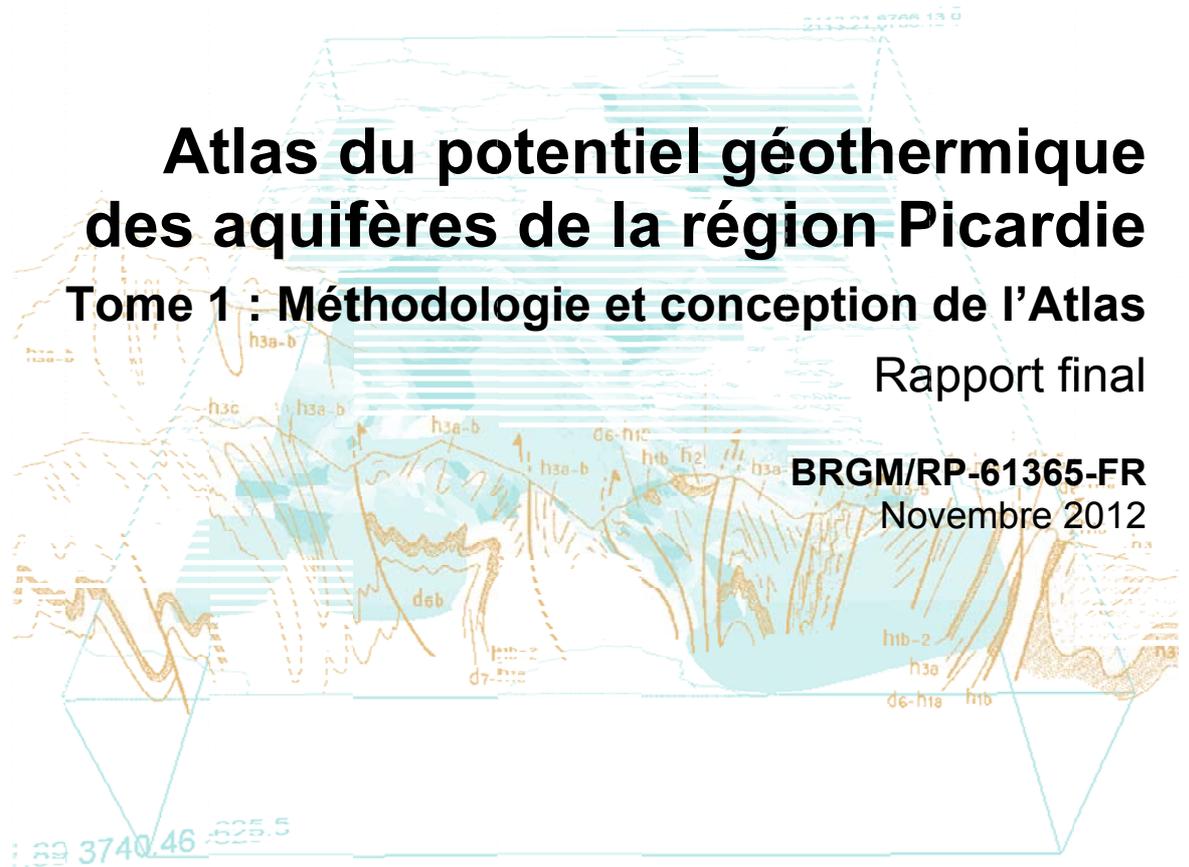


Atlas du potentiel géothermique des aquifères de la région Picardie

Tome 1 : Méthodologie et conception de l'Atlas

Rapport final

BRGM/RP-61365-FR
Novembre 2012



ADEME



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



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Atlas du potentiel géothermique des aquifères de la région Picardie

Tome 1 : Méthodologie et conception de l'Atlas

Rapport final

BRGM/RP-61365-FR

Novembre 2012

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

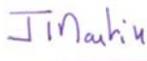
D. Maton, M. Analy, P. Durst, O. Goyénèche, Ph. Herniot, C. Zammit
Avec la collaboration de
R. Pissy

Vérificateur :

Nom : J.C. MARTIN

Date : 23/11/2012

Signature :



Approbateur :

Nom : D. MIDOT

Date : 23/11/2012

Signature :



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

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

Mots clés : atlas, géothermie, pompe à chaleur, géothermie très basse énergie, géothermie basse énergie, géothermie profonde, piézométrie, température, débit, géologie régionale, aquifère, Picardie.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : D. Maton, M. Analy, P. Durst, O. Goyénèche, Ph. Herniot, C. Zammit avec la collaboration de R. Pissy (2012) – Atlas du potentiel géothermique des aquifères de la région Picardie. Tome 1 : Méthodologie et conception de l'Atlas. Rapport final. BRGM/RP-61365-FR, 210 p., 96 fig., 16 tabl., 7 annexes, 1 Dvd.

Synthèse

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

Le tome 1 de cette étude présente la méthodologie du projet, et les résultats de l'analyse multicritères sur les aquifères superficiels, mis sous forme d'un atlas géothermique numérisé, disponible sur internet et une évaluation du potentiel géothermique des aquifères profonds.

Les principes généraux de la géothermie, les conditions de montage d'une opération géothermique en incluant les principaux mécanismes d'aides et procédures incitatives, le contexte réglementaire de la géothermie sont traités dans le tome 2. Dans ce dernier document, un état des lieux et les perspectives de développement de la filière géothermie en Picardie sont également esquissés.

Les paramètres pris en compte pour l'analyse multicritères sur les aquifères superficiels concernent la profondeur d'accès à la ressource, la productivité (ou débit exploitable) et la température de l'aquifère. En raison du nombre restreint de données de base et de leur forte variabilité, l'approche statistique a quasi-systématiquement été privilégiée.

Les résultats obtenus pour le potentiel géothermique du meilleur aquifère superficiel, exprimés en pourcentage de couverture de la région Picardie, sont les suivants :

- Fort potentiel : 85,7 % du territoire
- Potentiel moyen : 11,8 % du territoire
- Faible potentiel : 0,2 % du territoire
- Potentiel non connu précisément : 2,3 % du territoire

L'atlas des aquifères superficiels étant constitué de cartes, une attention particulière a été apportée lors de la réalisation de la cartographie des paramètres considérés, en veillant à suivre une démarche cohérente, adaptée à la disponibilité et la distribution des données. Toutefois, les résultats obtenus restent indicatifs, en raison de la faible

densité des données de base et de la perte de précision liée à la spatialisation et aux traitements de ces données.

Les résultats de cette étude sont mis à disposition du public sur l' « espace régional – Picardie » du site internet ADEME-BRGM dédié à la géothermie : www.geothermiewperspectives.fr. Il permet de renseigner, à une échelle de mailles de 500 mètres de côté, la ou les entités hydrogéologiques exploitables au plan géothermique très basse énergie. Dès lors que plusieurs aquifères superficiels superposés existent, l'outil permet de préciser la ressource en eau souterraine a priori la plus intéressante. Cet outil cartographique en ligne permet ainsi d'apprécier en première approche l'intérêt de la mise en place un projet de géothermie très basse énergie sur nappe, sans pour autant avoir vocation à se substituer aux études de faisabilité à réaliser à la parcelle, préalablement requises pour tout projet.

L'Atlas mis en ligne, outre le potentiel géothermique sur aquifère, fournit d'autres informations, dont en particulier :

- les cartographies des zones comportant des contraintes géologiques ou hydrogéologiques à prendre en compte pour des projets géothermiques sur aquifère avec PAC. Ces informations peuvent également être utilisées pour l'implantation de sondes géothermiques verticales qui est un sujet différent de celui traité dans cette étude ;

- des cartographies uni-critères concernant les aquifères profonds pouvant présenter un potentiel géothermique exploitable.

Concernant l'analyse réalisée pour évaluer le potentiel géothermique des aquifères profonds du Jurassique (Lusitanien, Dogger), du Lias inférieur, du Rhétien et du Trias, les paramètres pris en compte sont la température, la transmissivité (qui permettra in fine de déterminer un débit de production) et la profondeur d'accès à la ressource. Les données ponctuelles issues de 62 rapports de fin de sondages (RFS) ont fait l'objet d'interpolation en complétant des synthèses existantes pour produire des cartes à l'échelle de la région Picardie. Les cartographies correspondent tout d'abord à des cartes uni-critères (profondeur, épaisseur totale et utile, salinité, température perméabilité).

Ces aquifères ont peu été reconnus et exploités en région Picardie. L'absence de forages instrumentés en quantité suffisante n'a pas permis de déterminer de façon satisfaisante un potentiel géothermique de ces aquifères profonds, principalement du Lusitanien et Dogger, reconnus comme potentiellement les plus intéressants pour la production d'énergie géothermique associée à des réseaux de chaleur urbains. En conséquence, l'échelle de restitution des aquifères profonds n'est en aucun cas comparable à celle de l'atlas des aquifères superficiels.

Sommaire

1. Introduction	13
2. Contexte géologique et hydrogéologique régional de la Picardie	15
2.1. LA POPULATION PICARDE	15
2.2. LA GEOLOGIE DE LA REGION PICARDE	16
2.3. L'HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION PICARDE	19
2.3.1. Description des « principales » entités hydrogéologiques superficielles et intermédiaires	19
2.3.2. Description des « principales » entités hydrogéologiques profondes	29
2.3.3. Entités hydrogéologiques BDLISA	33
3. Cartographie du potentiel géothermique très basse énergie	37
3.1. PRINCIPE DE L'ELABORATION DES CARTES DU POTENTIEL	37
3.2. CRITERES DE POTENTIALITE GEOTHERMIQUE	37
3.3. TRAITEMENT DES DONNEES	39
3.3.1. Etape 1 : Recueil de données relatives à chaque critère	39
3.3.2. Etape 2 : Cartographie par critère – classification, spatialisation et indexation des critères	40
3.3.3. Etape 3 : Analyse multicritère : calcul du potentiel géothermique de chaque aquifère	42
3.3.4. Etape 4 : Elaboration de la carte du potentiel géothermique régional présentant les secteurs favorables à l'implantation de pompes à chaleur sur nappe	43
3.4. CARTOGRAPHIE DES DIFFERENTS CRITERES DE POTENTIALITE GEOTHERMIQUE	44
3.4.1. Profondeur d'accès à la ressource	44
3.4.2. Productivité ou débit exploitable des aquifères	50
3.4.3. Température de la ressource	56
3.4.4. Qualité de la ressource	62
3.4.5. Indexation des critères	66
3.4.6. Evaluation du potentiel géothermique : pondération des différents critères	66
3.4.7. Représentation : Echelle de restitution des cartes	67
3.4.8. Cartes du potentiel géothermique des aquifères superficiels	67

4. Cartographies du potentiel géothermique basse énergie	71
4.1. METHODOLOGIE	71
4.1.1. Analyse des Rapports de Fin de Sondage (RFS).....	71
4.1.2. Forages étudiés	73
4.1.3. Données complémentaires	76
4.1.4. Réalisation de cartes uni-critère.....	76
4.1.5. Premiers résultats et conclusions sur le potentiel des aquifères profonds en région Picardie	80
4.2. APPROCHE DU POTENTIEL GEOTHERMIQUE DES AQUIFERES PROFONDS	81
4.2.1. Aquifère des calcaires du Lusitanien	81
4.2.2. Aquifère des calcaires du Dogger	93
4.2.3. Aquifère du Lias inférieur	109
4.2.4. Aquifère du Rhétien	120
4.2.5. Aquifère du Trias.....	125
5. Zones de contraintes	135
5.1. LA REGLEMENTATION NATIONALE	135
5.2. LES REGLEMENTATIONS TERRITORIALISEES	135
5.2.1. Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE).	136
5.2.2. Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)	136
5.2.3. Zone de répartition (ZRE).	138
5.2.4. Périmètres de protection des captages d'Alimentation en Eau Potable (AEP).....	139
5.2.5. Périmètres de protection des stockages souterrains de gaz	140
5.3. CONTRAINTES GEOLOGIQUES POUR LE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE SUR SONDES GEOTHERMIQUES VERTICALES (SGV)	140
5.3.1. Cavités anthropiques	141
5.3.2. Zones karstiques.....	141
5.3.3. Zones avec présence de gypse	141
6. Diffusion de la cartographie sur internet	143
6.1. MISE A DISPOSITION DE LA CARTOGRAPHIE REGIONALE DES AQUIFERES SUPERFICIELS SOUS FORME D'UNE GRILLE.....	143
6.2. MISE EN LIGNE DE L'ATLAS SUR LE SITE « GEOTHERMIE PERSPECTIVES »	147
6.2.1. Rubriques générales sur l'espace régional de Picardie	148

6.2.2. Outil de consultation de l'Atlas régional.....	151
6.3. AVERTISSEMENT	155
7. Conclusions	157
8. Glossaire	159
9. Bibliographie.....	161

Liste des figures

Figure 1 - Carte des communes de Picardie de plus 5 000 habitants (© Conseil régional de Picardie)	15
Figure 2 - Carte régionale harmonisée de la région Picardie (©BRGM)	16
Figure 3 - Coupe géologique sud-ouest – nord-est (Pays de Thelles – Thiérache) (©BRGM)	17
Figure 4 - Coupe stratigraphique du bassin de Paris	18
Figure 5 - Coupe des aquifères superficiels en Picardie	20
Figure 6 - Coupe géologique transversale du Bassin Parisien et les grands aquifères profonds (©BRGM)	30
Figure 7 - Principe de l'élaboration des cartes du potentiel géothermique régional.....	38
Figure 8 - Principe de la spatialisation des données (source ArcGis Desktop).....	40
Figure 9 - Démarche de cartographie unicritère (classification et indexation).....	42
Figure 10 - Principe de l'analyse multicritères	43
Figure 11 - Schéma explicitant les différents régimes de nappe (source BRGM).....	44
Figure 12 - Représentation en boîte à moustaches des profondeurs d'accès par aquifère	47
Figure 13 - Distribution du nombre de données "profondeur d'accès à la ressource"	49
Figure 14 - Carte des données ponctuelles des profondeurs d'accès à la ressource.....	49
Figure 15 - Représentation en boîte à moustaches des débits spécifiques par aquifère.....	53
Figure 16 - Distribution des données de débit exploitable collectées au sein des classes de productivité.....	54
Figure 17 - Carte des données ponctuelles des débits spécifiques	55
Figure 18 - Corrélation entre les températures des eaux souterraines et les profondeurs des ouvrages.....	57
Figure 19 - Corrélation entre les températures des eaux souterraines et les profondeurs des niveaux piézométriques (ou niveau d'eau dans les ouvrages).....	58

Figure 20 - Représentation en boîte à moustaches des températures par aquifère.....	60
Figure 21 - Nombre de données par classes de température.....	61
Figure 22 - Carte des données ponctuelles de température.....	61
Figure 23 - Carte de répartition du meilleur aquifère superficiel.....	68
Figure 24 - Méthodologie employée par GeoGreen pour l'analyse des RFS.....	72
Figure 25 - Structure type de la feuille Excel synthétisant les données disponibles.....	73
Figure 26 - Répartition des puits par niveau géologique final.....	74
Figure 27 - Extension des réservoirs du Lusitanien.....	82
Figure 28 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Lusitanien) : Comparaison avec la carte d'extension des faciès réservoirs du Lusitanien (carte BRGM, 1976).....	83
Figure 29 - Porosité du Lusitanien.....	85
Figure 30 - Répartition géographique de la porosité moyenne du Lusitanien. Comparaison avec l'extension des réservoirs du Lusitanien (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976).....	85
Figure 31 - Perméabilité du Lusitanien.....	86
Figure 32 - Répartition géographique de la perméabilité du Lusitanien. Comparaison avec l'extension des réservoirs du Lusitanien (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976).....	87
Figure 33 - Salinité du Lusitanien.....	88
Figure 34 - Salinité du Lusitanien en fonction de la profondeur absolue.....	88
Figure 35 - Répartition géographique de la salinité du Lusitanien. Comparaison avec la carte hydrochimie du Lusitanien (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976).....	89
Figure 36 - Pression absolue du Lusitanien en fonction de la profondeur absolue.....	90
Figure 37 - Température du Lusitanien en fonction de la profondeur absolue.....	91
Figure 38 - Répartition géographique de la température du Lusitanien. Comparaison avec la carte température du Lusitanien (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976).....	91
Figure 39 - Débit du Lusitanien.....	92
Figure 40 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Bathonien). Comparaison avec les faciès du Bathonien (à partir de la carte IFPEN, 2002).....	95
Figure 41 - Porosité du Dogger calcaire.....	97
Figure 42 - Répartition géographique des porosités moyennes du Bathonien.....	98
Figure 43 - Répartition géographique porosités moyennes du Bajocien.....	98
Figure 44 - Perméabilité du Dogger calcaire.....	99
Figure 45 - Répartition géographique des perméabilités moyennes Bathonien.....	100
Figure 46 - Répartition géographique des perméabilités moyennes du Bajocien.....	100
Figure 47 - Salinité du Dogger calcaire.....	101
Figure 48 - Salinité du Bathonien en fonction de la profondeur absolue.....	102
Figure 49 - Salinité du Bajocien en fonction de la profondeur absolue.....	102

Figure 50 - Répartition géographique des salinités moyennes du Bathonien. Comparaison avec la carte hydrochimie du Dogger (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976).....	103
Figure 51 - Répartition géographique des salinités moyennes du Bajocien.....	103
Figure 52 - Pression du Bathonien en fonction de la profondeur absolue.....	104
Figure 53 - Pression du Bajocien en fonction de la profondeur absolue.....	105
Figure 54 - Température du Bathonien en fonction de la profondeur absolue.....	106
Figure 55 - Température du Bajocien en fonction de la profondeur absolue.....	106
Figure 56 - Répartition géographique de la température du Bathonien. Comparaison avec la carte température du Dogger (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976).....	107
Figure 57 - Débit du Bathonien.....	108
Figure 58 - Zone d'extension des réservoirs du Sinémurien-Hettangien et du Rhétien (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976).....	110
Figure 59 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Sinémurien). Comparaison avec les faciès du Sinémurien-Hettangien (à partir de la carte IFPEN 2002).....	111
Figure 60 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Hettangien). Comparaison avec les faciès du Sinémurien-Hettangien (à partir de la carte IFPEN 2002).....	112
Figure 61 - Porosité du Lias inférieur calcaire.....	113
Figure 62 - Répartition géographique des porosités moyennes du Sinémurien calcaire.....	114
Figure 63 - Répartition géographique des porosités moyennes de l'Hettangien calcaire.....	114
Figure 64 - Perméabilité du Lias inférieur calcaire.....	115
Figure 65 - Répartition géographique des perméabilités moyennes du Sinémurien calcaire.....	116
Figure 66 - Répartition géographique des perméabilités moyennes de l'Hettangien calcaire.....	116
Figure 67 - Salinité de Lias inférieur calcaire.....	117
Figure 68 - Salinité du Lias inférieur calcaire en fonction de la profondeur absolue.....	118
Figure 69 - Répartition géographique de la salinité moyenne de l'Hettangien . Comparaison avec la carte hydrochimie du Sinémurien-Hettangien (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976).....	118
Figure 70 - Pression du Lias inférieur calcaire en fonction de la profondeur absolue.....	119
Figure 71 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Rhétien). Comparaison avec les faciès du Rhétien marin (à partir de la carte IFPEN 2002).....	121
Figure 72 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Rhétien). Comparaison avec les faciès du Rhétien continental (à partir de la carte IFPEN 2002).....	121
Figure 73 - Porosité du Rhétien.....	122
Figure 74 - Répartition géographique des porosités moyennes du Rhétien.....	123
Figure 75 - Perméabilité du Rhétien.....	124
Figure 76 - Répartition géographique des perméabilités moyennes du Rhétien.....	124

Figure 77 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Trias). Comparaison avec les faciès de la formation de Chaunoy (à partir de la carte IFPEN 2002).....	127
Figure 78 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Trias). Comparaison avec faciès des grès de Donnemarie (carte IFPEN 2002)	127
Figure 79 : Porosité du Trias gréseux	129
Figure 80 - Répartition géographique des porosités moyennes du Trias	129
Figure 81 - Perméabilité du Trias gréseux	130
Figure 82 - Répartition géographique des perméabilités moyennes du Trias.....	131
Figure 83 - Loi k/phi dans le Trias	131
Figure 84 - Salinité du Trias gréseux.....	132
Figure 85 - Salinité du Trias en fonction de la profondeur absolue.....	133
Figure 86 - Répartition géographique de la salinité du Trias. Comparaison avec la carte hydrochimie du Trias (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976)	133
Figure 87 - Transcription maillée des entités aquifères spatialisées et de leurs attributs associés sur le critère de surface	144
Figure 88 - Maillage de l'information – cas de deux aquifères superposés	145
Figure 89 - Carte de superposition des aquifères à l'échelle du territoire picard	146
Figure 90 - Page d'accueil du site geothermie-perspectives.....	147
Figure 91 - Page d'accueil de l'espace régional sur le site geothermie-perspectives	148
Figure 92 – Présentation de la page d'accueil et la page 1 « Le développement de la géothermie en région »	150
Figure 93 - Fenêtre d'interrogation de l'outil via la carte régionale	152
Figure 94 - Fenêtre de recherche par commune.....	152
Figure 95 - Fenêtre cartographique à l'échelle communale	153
Figure 96 - Fiche de renseignements fournie pour une maille	154

Liste des tableaux

Tableau 1 – Surface totale et affleurante des aquifères superficiels en région Picardie.....	21
Tableau 2 - Types d'entités hydrogéologiques	33
Tableau 3 - Tableau multi-échelle des entités hydrogéologiques du Bassin parisien en Picardie (en bleu les systèmes aquifères et en vert les domaines hydrogéologiques)	35
Tableau 4 - Vue synthétique de l'organisation spatiale des entités sédimentaires de niveau 2 en Picardie.....	36
Tableau 5 - Nombre de données des profondeurs d'accès par aquifère	45
Tableau 6 - Classes de profondeur d'accès à la ressource prises en compte	48
Tableau 7 - Nombre de données de débit exploitable par aquifère.....	52
Tableau 8 - Classes de productivité prises en compte	54
Tableau 9 - Nombre de données de température par aquifère	59
Tableau 10 - Classes de température d'aquifère prises en compte	60
Tableau 11 - Classification et indexation des critères de potentialité géothermique des aquifères très basse énergie.....	66
Tableau 12 - Pourcentage du territoire concerné, en fonction du potentiel géothermique attribué	68
Tableau 13 - Répartition du potentiel par aquifère	69
Tableau 14 - Répartition des meilleurs aquifères en fonction de la proportion du territoire concerné	69
Tableau 15 - Proportions du territoire concerné par une superposition des entités aquifères définies dans cette étude	70
Tableau 16 - Description lithostratigraphique du Dogger	94

Liste des annexes

Annexe 1 Echelle stratigraphique du bassin de Paris	163
Annexe 2 Carte des profondeurs d'accès et des débits exploitables de l'aquifère de la craie.....	167
Annexe 3 Carte régionale du potentiel géothermique régional des principaux aquifères superficiels	171
Annexe 4 Carte du potentiel géothermique régional du meilleur aquifère superficiel	179
Annexe 5 Liste et carte de répartition des forages utilisés pour l'étude sur les aquifères profonds (Etude Geogreen, 2012)	183
Annexe 6 Cartographies des potentiels géothermiques des aquifères profonds	189
Annexe 7 Cartographies des zones de contraintes hydrogéologiques et géologiques.....	207

1. Introduction

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

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

L'objet du présent projet est d'évaluer les potentialités que représentent les ressources géothermiques superficielles, situées à une profondeur inférieure à 100 m, ce qui correspond à la géothermie très basse énergie (température de l'aquifère inférieure 30°C), ainsi que des aquifères profonds permettant une géothermie basse énergie (température de l'aquifère entre 30 et 90°C).

Le rapport présenté est le résultat d'une convention entre la DREAL Picardie, l'ADEME et le BRGM pour l'étude du potentiel géothermique de la région Picardie.

Il s'agit dans cette étude de caractériser les possibilités en géothermie sur le territoire de la Picardie. Cette caractérisation porte sur l'énergie contenue dans les aquifères, en d'autres termes le « potentiel géothermique des aquifères ».

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

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

La présente étude est scindée en deux documents (deux tomes). Ce **premier tome** est consacré à la méthodologie employée pour créer cet atlas, aux résultats obtenus par aquifères et enfin aux modalités de la diffusion des résultats sur le site géothermie-perspectives.

Le **second tome** traite, quant à lui, des principes généraux de la géothermie, des conditions de montage d'une opération géothermique en incluant les principaux mécanismes d'aides et procédures incitatives, de la législation en vigueur en matière de géothermie. Dans ce dernier document, un état des lieux de la filière géothermie et les perspectives de développement de la filière géothermie en Picardie sont également

esquissés. L'accent a été mis sur les conditions nécessaires pour favoriser l'emploi en région Picardie dans ce secteur qui devrait bénéficier des orientations inscrites dans le SCRAE de la région.

2. Contexte géologique et hydrogéologique régional de la Picardie

2.1. LA POPULATION PICARDE

L'étude du potentiel géothermique s'étend sur l'ensemble de la Picardie. Peuplée de 1,911 million d'habitants (INSEE, 2009) et couvrant une superficie de 19 400 km², la Picardie constitue la partie nord du Bassin parisien, à proximité de l'Europe du nord-ouest.

La Picardie est composée de 3 départements : l'Aisne (02), l'Oise (60) et la Somme (60). Ce territoire s'ouvre sur la Manche par une courte façade littorale d'environ 60 km de part et d'autre de la baie de Somme.

La Picardie se caractérise par la présence de nombreuses villes de taille moyenne ou petite, qui maillent assez étroitement le territoire largement marqué par un habitat périurbain. Hormis Amiens, la capitale régionale, seules quatre agglomérations dépassent les 50 000 habitants : il s'agit de Creil, Saint-Quentin, Compiègne et Beauvais.

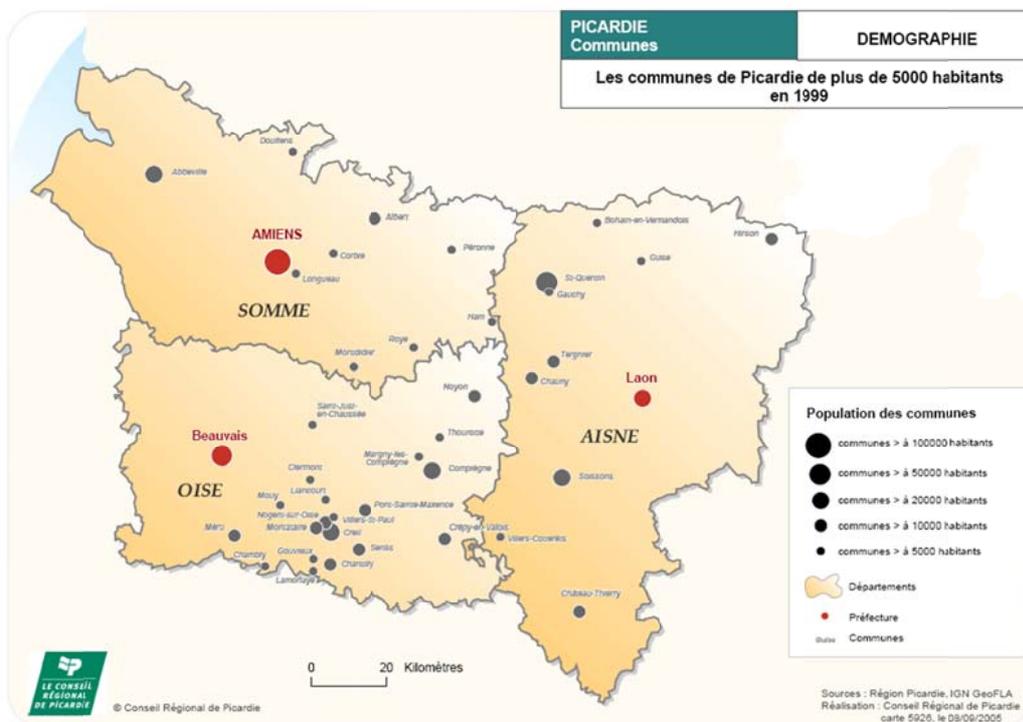


Figure 1 - Carte des communes de Picardie de plus 5 000 habitants (© Conseil régional de Picardie)

2.2. LA GEOLOGIE DE LA REGION PICARDE

Cette région appartient à la partie nord du Bassin sédimentaire de Paris, et comprend deux entités géologiques majeures :

- l'affleurement de l'auréole du Crétacé supérieur, sous un faciès de craie largement développé sur les territoires de la Somme, du nord de l'Aisne et de l'ouest de l'Oise,
- l'affleurement des sédiments du Tertiaire (calcaires, sables et argiles de l'Éocène principalement) déposés sur le substrat crayeux au sud de l'Aisne et à l'est de l'Oise.

Plus localement, des terrains plus anciens d'âge jurassique affleurent en limite de la région : dans la Thiérache en marge de massif primaire des Ardennes et dans le Beauvaisis à la faveur de la « boutonnière » du Pays de Bray. Ces terrains sont formés par des argiles ou des marnes calcaires relativement imperméables.



Carte géologique simplifiée de la Région Picardie

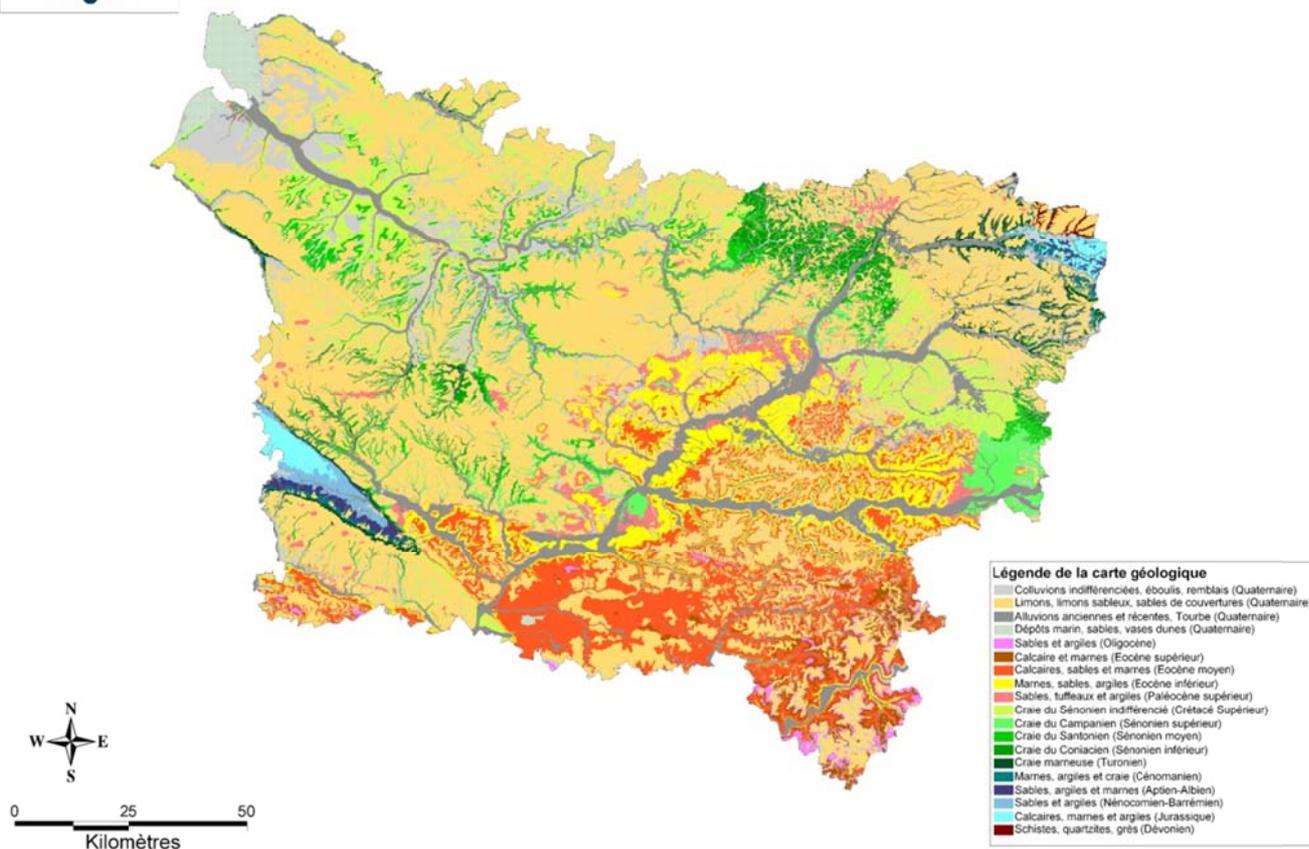


Figure 2 - Carte régionale harmonisée de la région Picardie (©BRGM)

On retrouve en Picardie les auréoles emboîtées régulières du Bassin parisien ; c'est ainsi que des Ardennes vers Paris, les terrains primaires, secondaires puis tertiaires

sont ainsi successivement rencontrés (échelle stratigraphique du Bassin Parisien : cf. Annexe 1). Cette disposition implique un pendage des couches faibles mais régulier de la périphérie vers le centre du Bassin. Ce phénomène lié à la subsidence a permis d'amener le Primaire à la cote - 3000 mètres NGF au centre du dispositif.

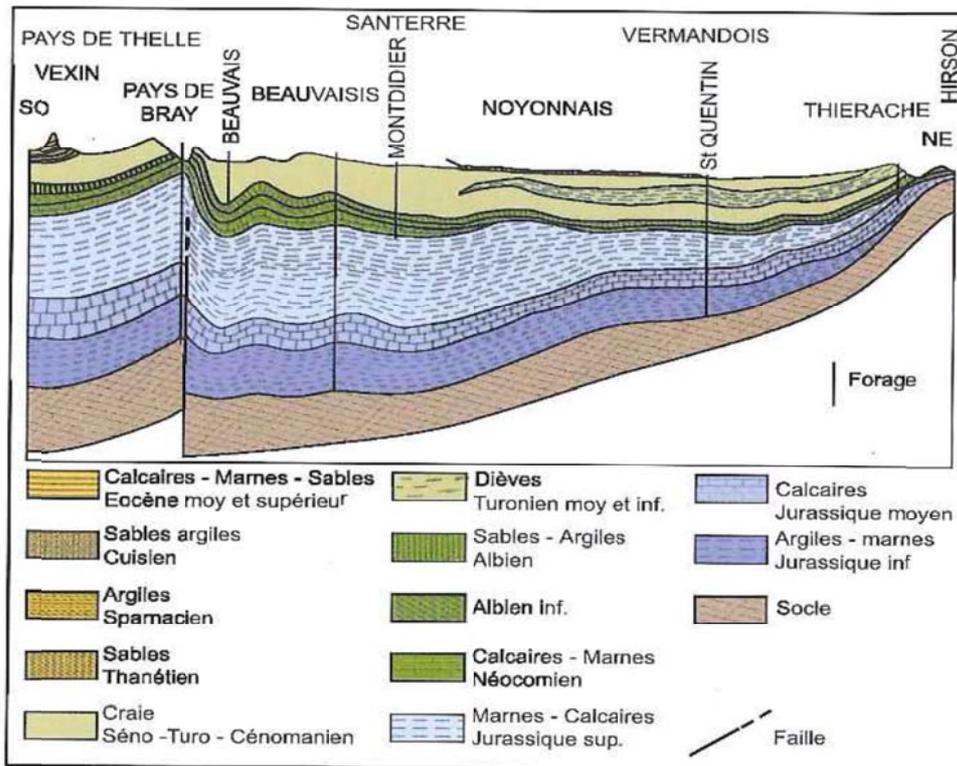


Figure 3 - Coupe géologique sud-ouest – nord-est (Pays de Thelles – Thiérache) (©BRGM)

La régularité de ce bassin a été altérée par l'existence de phénomènes tectoniques amorcés dès le Permien et poursuivis jusqu'au Pliocène. L'événement majeur de cette histoire longue de 240 Millions d'année se situe à la fin du Crétacé et pendant l'Eocène avec la surrection de grandes structures anticlinales (Bray et Artois) qui marque profondément l'allure du Bassin.

Les différents types de sédiments rencontrés dans le bassin s'expliquent par l'alternance de nombreux cycles de transgressions et régressions marines. Les sédiments sont soit d'origine clastique, soit carbonatés. La majeure partie des dépôts clastiques du début de l'ère Secondaire (Trias et Jurassique) correspond au démantèlement de la chaîne hercynienne et aux invasions de la mer téthysienne par l'est. A la fin du Secondaire (Crétacé) et au Tertiaire les dépôts sédimentaires sont liés à des invasions marines provenant de l'océan atlantique, par l'ouest.

Les couches potentiellement réservoirs en profondeur sont indiquées sur la colonne stratigraphique type du Bassin de Paris en Figure 4.

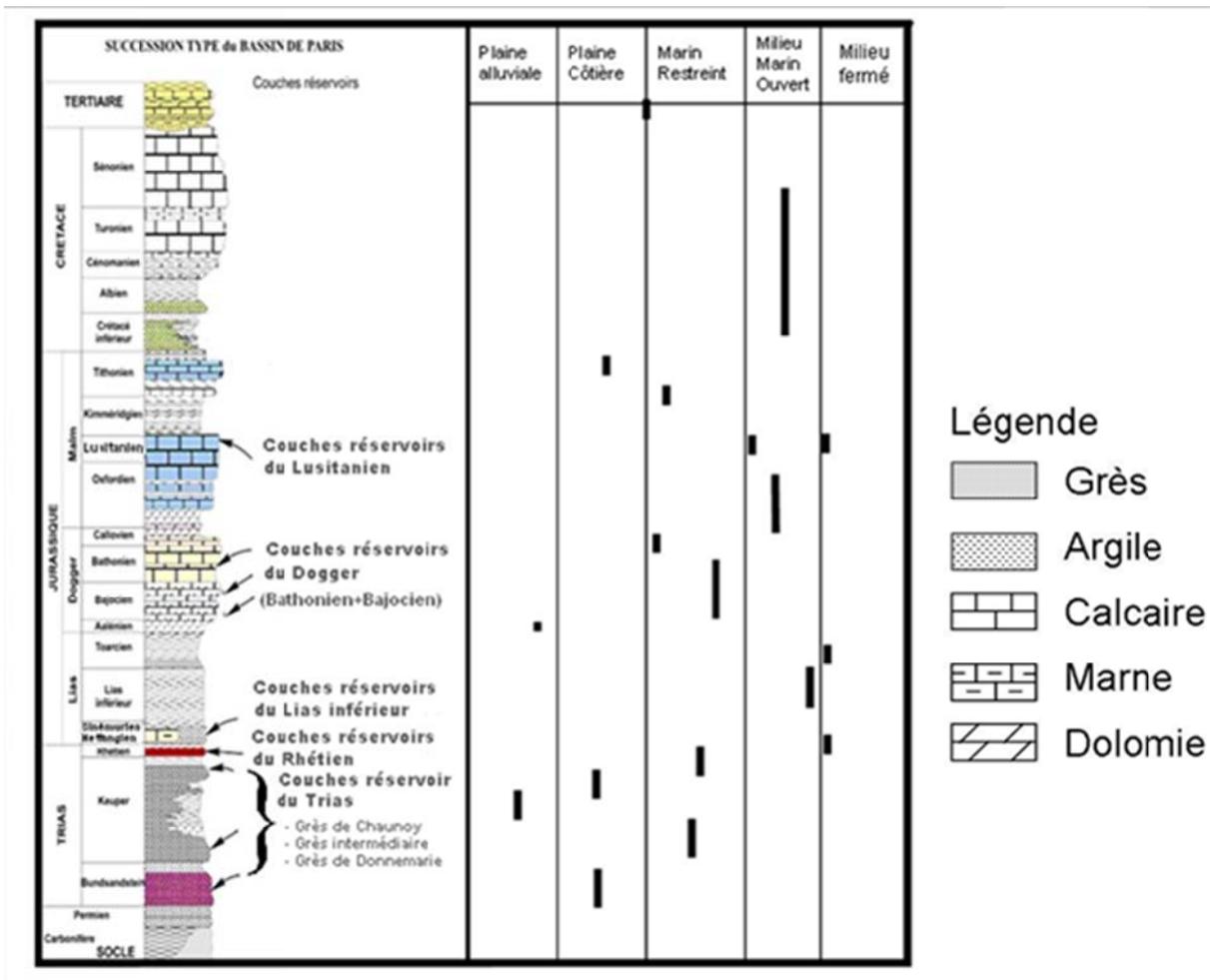


Figure 4 - Coupe stratigraphique du bassin de Paris

2.3. L'HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION PICARDE

Les principaux aquifères de la région Picardie (du plus récent au plus ancien) pris en compte dans l'atlas du potentiel géothermique, sont :

- les sables et grès de Fontainebleau,
- les calcaires de Brie,
- les calcaires de Champigny et faciès gypseux associés,
- les sables et grès de Beauchamp et les sables d'Auvers,
- les calcaires du Lutétien,
- les sables de Cuise de l'Yprésien supérieur,
- les sables du Thanétien (Paléocène),
- la craie blanche du Turonien supérieur au Campanien (Séno-Turonien),
- les sables verts de l'Albien,
- les sables et grès du Néocomien,
- les calcaires du Tithonien (Lusitanien),
- les calcaires du Bathonien et Callovien inférieur (Dogger),
- les calcaires et les grès du Jurassique inférieur (Lias),
- les grès du Rhétien,
- et les grès du Trias.

Ils sont décrits dans les paragraphes suivants.

2.3.1. Description des « principales » entités hydrogéologiques superficielles et intermédiaires

Les terrains affleurants en Picardie sont pour l'essentiel des couches datées du Crétacé et du Tertiaire. Quinze systèmes aquifères superficiels et intermédiaires distincts y sont recensés dans les différentes couches sédimentaires à des profondeurs inférieures à 100 m de la surface du sol (Figure 4,

Figure 5, Tableau 1).

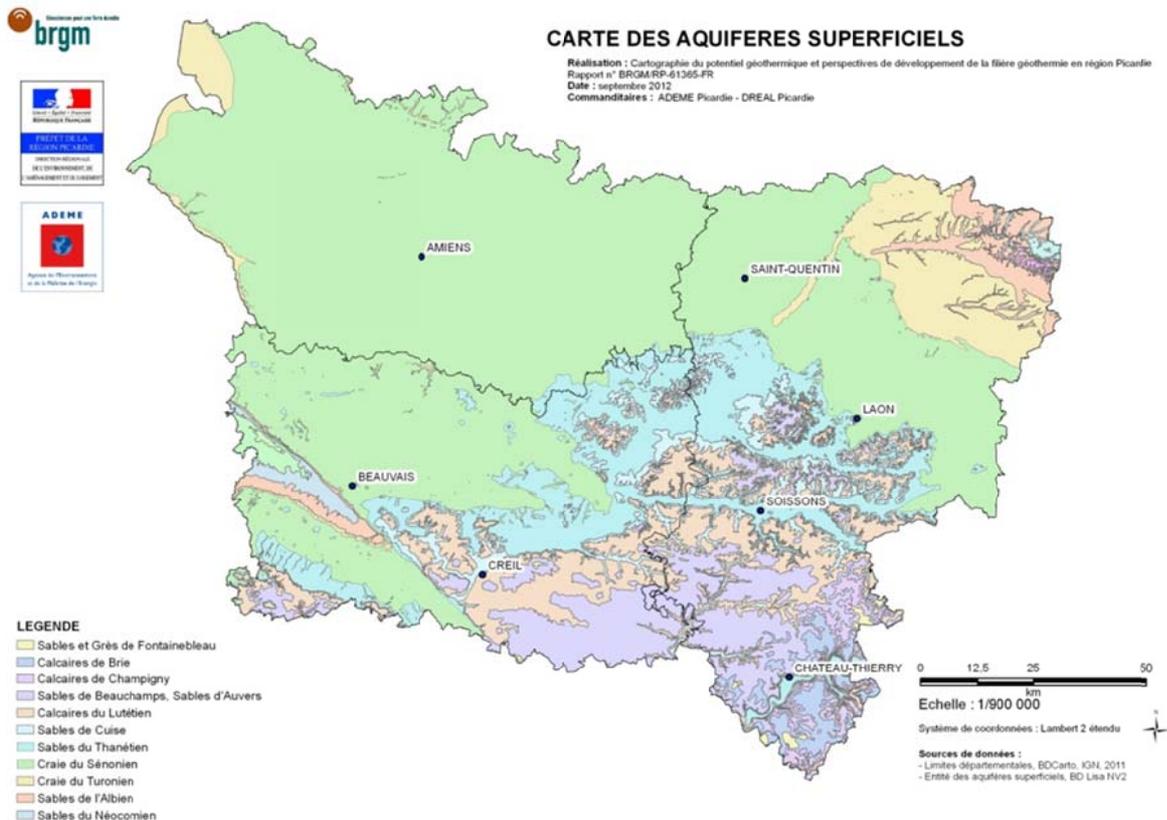


Figure 4 - Localisation des aquifères superficiels en Picardie

Les onze 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).

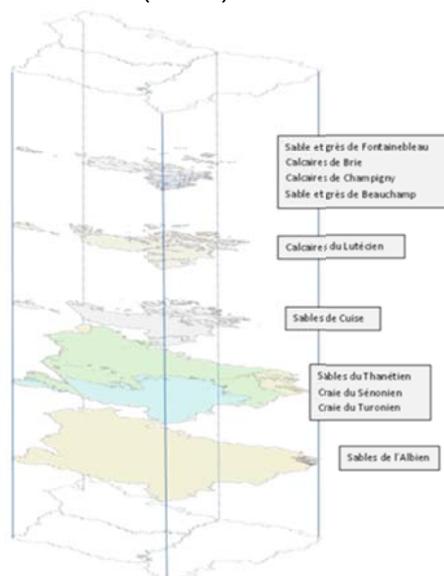


Figure 5 - Coupe des aquifères superficiels en Picardie

Code BD_LISA de l'aquifère	Libellé de l'entité BD_LISA de l'aquifère	Surface de l'entité aquifère (km ²)	dont surface affleurante (km ²)	% Surface régional
107C	Sables et Grès de Fontainebleau	41	41	0,21%
107G	Calcaires de Brie	289	252	1,49%
113A	Calcaires de Champigny et faciès gypseux associés	407	87	2,10%
113K	Sables et Grès de Beauchamp, sables d'Auvers	2 014	1 259	10,38%
113R	Calcaires du Lutétien	3 666	999	18,90%
113V	Sables de Cuise de l'Yprésien sup.	4 611	917	23,77%
119B	Sables du Thanétien (Paléocène)	6 743	1 185	34,76%
121A	Craie blanche du Turonien sup. au Campanien (Sénonien)	17 613	10 866	90,79%
121E	Craie marneuse du Turonien	18 814	1 200	96,98%
122E	Craie marneuse et glauconieuse du Cénomanién	19 067	158	98,29%
128A	Sables verts de l'Albien	19 011	91	98,00%
128E	Sables et Grès du Néocomien	8 400	79	43,30%
131A	Calcaires du Tithonien	14 409	77	74,28%
143 A	Calcaires du Bathonien	18 841	28	97,12%
F	Alluvions	1 257	1 257	6,48%

Tableau 1 – Surface totale et affleurante des aquifères superficiels en région Picardie

a) Systèmes alluviales

Il s'agit des formations alluviales anciennes et récentes.

Les nappes alluviales individualisées en tant que telles n'existent que dans les grandes vallées telles que l'Oise, l'Aisne, la Somme et leurs principaux affluents au fond desquelles existent des dépôts alluvionnaires grossiers épais. Les alluvions sont constituées principalement de sable et de graviers non consolidés sur une épaisseur souvent inférieure à 10 m et en régime libre ou parfois captif sous des formations tourbeuses.

Les alluvions reposant sur de la craie ou les formations de l'Eocène sont en continuité hydraulique et forment un seul et même aquifère dont le comportement hydrodynamique est indissociable. Les nappes alluviales sont ainsi rarement exploitées directement mais sont par contre fréquemment exploitées indirectement chaque fois qu'elles sont en relation avec les nappes sous-jacentes qui, elles, sont sollicitées par de nombreux captages. Les perméabilités sont très élevées et les ressources très importantes. Les ouvrages de captage peuvent fournir de forts débits.

Lorsque le substratum est formé de couches imperméables, la nappe des alluvions est alors indépendante et forme une unité hydrogéologique à part entière mais souvent de faible épaisseur. La productivité des installations dépend de l'épaisseur et de la granulométrie de la zone saturée. Du fait de l'hétérogénéité des dépôts alluvionnaires, il est généralement difficile de prévoir avec certitude les possibilités d'une nappe alluviale.

Elle est toutefois localement exploitée seule dans la vallée de la Marne et de l'Aisne où elle repose sur une formation imperméable, les argiles du Sparnacien et son épaisseur est importante. A Château Thierry, les débits potentiels exploitables atteignent

fréquemment 100 m³/h. La transmissivité moyenne de l'aquifère tourne autour de 10⁻² m²/s.

Reliée hydrauliquement aux rivières et aux réservoirs sous-jacents (craie, sables) ou latéraux, l'eau de la nappe alluviale est soumise à des variations chimiques saisonnières et locales. De ce fait, elle reflète plus la qualité des nappes contigües qui l'alimentent qu'une qualité intrinsèque. Proche du sol, elle subit une aération génératrice d'oxydes ferriques et des apports superficiels tributaires des activités humaines (vallées de l'Aisne, de l'Oise et de la Marne).

Les alluvions peuvent être localement intéressantes pour alimenter des pompes à chaleur (vallée de la Marne et de l'Aisne). Le captage de la nappe de la craie sous-jacente dans les vallées de la Somme et de l'Oise est préférable.

b) Grand Système Multicouche Oligo-Miocène du Bassin de Paris

Cet ensemble comprend les systèmes aquifères suivants :

- **Sables et Grès de Fontainebleau**

Il s'agit d'une assise de sables blancs qui n'occupe qu'une très petite surface au sud-est de la région. Ces sables se sont déposés en milieu marin et auraient été ensuite repris dans une phase éolienne à la fin du cycle Stampien qui aurait ainsi donné cette alternance observée de cordons dunaires à grésification et de chenaux dunaires.

Malgré leur caractère aquifère, les *Sables et Grès de Fontainebleau* (aquifère des sables du Stampien) ne constituent pas une ressource en eau souterraine en Picardie du fait de leur faible extension. Dans l'Aisne, ils sont associés aux Calcaires et Meulière de Brie sous-jacents (cf. ci-après) pour constituer un aquifère bicouche à nappe libre.

La nappe du Stampien ne fournit que de faibles débits par des sources ponctuelles. A l'exception de rares cas locaux, cette nappe ne peut donc alimenter en eau que des forages destinés aux pompes à chaleur.

Elle est peu minéralisée avec un pH acide (pH entre 5 et 6) caractéristique d'eaux de terrains siliceux.

- **Calcaires de Brie**

Ces calcaires de Brie (Sannoisien) ne sont présents en Picardie qu'au sud du département de l'Aisne. Cette assise est composée de marnes calcaireuses tendres et de calcaires plus ou moins durs. L'épaisseur des calcaires de Brie (Argiles à meulière non comprises) n'excède pas la dizaine de mètres. Les facies latéraux sont représentés par les *Caillasses d'Ogremont*, les *Calcaire de Sannois* et les *Marnes à huîtres*.

Bien qu'étant aquifères, les *Calcaires de Brie* ne sont pas exploités en Picardie. La petite nappe perchée qu'ils renferment donne naissance, au contact des marnes supra-gypseuses, à des sources de déversement.

c) Grand Système Multicouche de l'Eocène du Bassin de Paris

Les Calcaires de Champigny, les Marno-calcaires de Saint-Ouen, les Sables de Beauchamps et d'Auvers constituent l'aquifère multicouche du Bartonien.

- **Calcaires de Champigny et faciès gypseux associés**

Présents uniquement dans l'extrême sud du département de l'Aisne, en rive gauche de la Marne, les *Calcaires de Champigny* présentent des variations latérales de faciès, décrites dans la synthèse géologique du Bassin de Paris. Cette formation peut atteindre une épaisseur de 40 m.

A leur base, plus siliceux, ils constituent un réservoir aquifère conséquent à perméabilité de fissures élevées (karsts) qui est à l'origine des sources de la Dhuis (230 l/s) qui, après avoir fourni de l'eau potable à Paris pendant de longues années, alimentent désormais la ville de Marne-la-Vallée.

La nappe est moyennement minéralisée mais présente quelquefois des troubles aux émergences naturelles avec des fluctuations en pH, résistivité, chlorures, sulfates et nitrates.

- **Marnes et Calcaires de l'Eocène supérieur**

Présente essentiellement dans le Tardenois et le Valois, cette formation, épaisse d'une vingtaine de mètres, regroupe les *Calcaires de Saint-Ouen*, les *Sables et Grès de Beauchamp* ainsi que les *Sables d'Auvers*.

Les *Calcaires de Saint-Ouen* sont marneux, ce qui leur confère une faible perméabilité. Ils contiennent de nombreuses intercalations gypseuses et les eaux sont assez minéralisées en bicarbonates de calcium avec des teneurs élevées en sulfates, chlorures et magnésium.

Les *Sables de Beauchamp et d'Auvers* sont des sables fins, d'assez faible perméabilité d'interstices. Gisant dans des terrains siliceux, les eaux sont moins minéralisées lorsque la nappe est superficielle. Par contre, sous les terrains marneux supérieurs, elles se chargent en éléments sulfatés, bicarbonatés calciques et magnésiens.

Ces deux formations sont localement aquifères et contiennent des nappes de faible extension qui sont peu exploitées.

En raison des faibles débits fournis et de la discontinuité de ces aquifères, ils ne constituent pas un objectif intéressant pour alimenter des pompes à chaleur ayant des puissances significatives pour chauffer des bâtiments tertiaires ou des petits collectifs d'habitation.

- **Calcaires du Lutétien**

Présent dans la partie sud de l'Aisne et de l'Oise, le réservoir du Lutétien, à prédominance calcaire sur une trentaine de mètres, présente des faciès plus sableux à la base (en continuité avec les *Sables de l'Yprésien supérieur* là où les *Argiles de Laon* n'existent pas ou ont disparu par érosion) et plus marneux dans la partie sommitale sur une épaisseur de 10 à 15 m.

Les transitions lithologiques ne sont pas progressives, et cette hétérogénéité structurelle se répercute dans la transmissivité de l'aquifère, qui peut atteindre des

valeurs élevées supérieures à 10^{-2} m²/s dans les calcaires diaclasés, et baisser à 10^{-4} m²/s dans les bancs marneux.

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.

Les débits potentiels peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres cubes. En raison de la forte hétérogénéité de la perméabilité de fissures du réservoir, les transmissivités sont très variables d'un point à un autre. C'est ainsi que si l'on recoupe, dans un ouvrage de captage, une ou plusieurs grosses fissures, on obtiendra des débits de pompage souvent supérieurs à 100 m³/h, alors que si l'on reste dans la roche compacte on n'obtiendra guère que des débits inférieurs à 10 m³/h.

Les argiles de Laon peuvent constituer une séparation entre les sables de Cuise et les calcaires du Lutétien. Dans ce cas, l'exploitation de ces deux aquifères nécessite l'utilisation de deux puits distincts. Dans le cas contraire, une utilisation simultanée est envisageable, permettant une production énergétique plus importante.

Les eaux de cette nappe sont assez minéralisées naturellement par le cortège en sulfates, sodium, potassium et magnésium. Le fer est souvent présent ainsi que le fluor mais à des teneurs moyennes. La composition minérale des eaux de cette nappe comporte des variations saisonnières et locales. La protection aléatoire du réservoir et sa perméabilité de fissures permettent des infiltrations superficielles et des circulations accélérées qui contribuent à augmenter épisodiquement la charge minérale en sulfates, nitrates, fer. Au sud du département de l'Aisne, les eaux des calcaires marneux lutétiens, sous recouvrement des marnes bartoniennes, peuvent se charger en sulfates d'origine gypseuse.

Globalement, l'aquifère du Lutétien présente un bon potentiel pour alimenter des pompes à chaleur dans le sud de l'Oise et de l'Aisne sous une ligne Creil-Reims.

- **Sables de Cuise (Yprésien supérieur)**

Ce réservoir est présent dans toute la région et au sud d'une ligne reliant Clermont à Ham.

Constitué de sables fins gris à stratification entrecroisée avec des lits de mollusques marins, saumâtres et continentaux. Ce faciès passe latéralement aux Sables de Pierrefonds.

L'épaisseur de cette formation (20 à 70 m) lui assure une réserve en eau importante, bien alimentée au niveau des affleurements du Sud de l'Oise et de l'Aisne, et à l'aplomb des réservoirs calcaires sus-jacents en l'absence des *Argiles de Laon*. L'épaisseur de cette formation décroît vers le sud. Reposant sur les *Argiles du Sparnacien* qui en constituent le mur, la nappe est drainée par les vallées qui la recourent. De nombreuses sources émergent des sables au contact des argiles sparnaciennes.

Au sud du département de l'Aisne, l'aquifère des Sables de Cuise est en communication hydraulique avec l'aquifère des Calcaires du Lutétien, ce qui accroît sa productivité ; mais plus au nord les Argiles de Laon s'intercalent entre ces deux aquifères et la productivité des sables diminue.

La roche réservoir hormis quelques exceptions est saturée. La perméabilité d'interstice du réservoir est constante mais peu élevée. Les transmissivités y demeurent faibles ($< 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$). Les débits peuvent être importants mais dépendent directement de la puissance du réservoir. On peut, si l'on capte la nappe sur toute sa hauteur, obtenir des débits compris entre 25 et 100 m^3/h . Cette variabilité nécessite la réalisation d'une étude hydrogéologique en préalable à chaque projet.

Les eaux de cette nappe sont assez minéralisées naturellement par le cortège en sulfates, sodium, potassium et magnésium. Le fer est souvent présent ainsi que le fluor mais à des teneurs moyennes. En-dehors des secteurs affleurants de bordure de vallées, où des apports superficiels peuvent perturber l'équilibre chimique, la nappe ne reçoit pas une alimentation directe. Le niveau de l'*Argile de Laon* limite les migrations d'éléments azotés et métalliques.

Cet aquifère est très intéressant pour d'alimentation de pompes à chaleur dans le sud de l'Aisne et de l'Oise sous une ligne Creil-Compiègne-Laon.

d) Grand Système Multicouche du Paléocène et Grand système Multicouche du Crétacé supérieur (Séno-Turonien)

- **Sables du Thanétien (Paléocène)**

Les *Sables du Thanétien* (ex-Landénien ou de Bracheux) s'étendent sur pratiquement 7000 km^2 dans le quart sud-est de la région.

Plus au nord, cette formation ne subsiste que par lambeaux sous forme de placages peu épais et absente au sud d'une ligne reliant Senlis à Château-Thierry.

Grâce à sa perméabilité homogène d'interstices, le réservoir thanétien contient une nappe continue, libre à la périphérie des dépôts tertiaires, mais le plus souvent captive sous les argiles du Sparnacien. Même en présence d'un mur très argileux comme dans le nord de l'Aisne, il est en communication avec celui de la craie et constitue alors une roche magasin drainée par la nappe sous-jacente, naturellement ou par les pompages.

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). Les eaux de cette nappe sont assez minéralisées. Elles contiennent des teneurs en sulfates, sodium, potassium assez fortes.

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 pour définir le potentiel géothermique, nous l'avons associée au niveau de la craie et le toit de l'aquifère est celui du Thanétien.

- ***Craie blanche du Turonien Supérieur-Campanien (Turonien – Sénonien)***

La Craie blanche est pratiquement présente partout dans le nord de la France et son épaisseur est de plusieurs dizaines de mètres allant de 100 m à 600 m du nord vers le sud du Bassin Parisien. Les terrains crayeux affleurent sur la moitié du territoire picard au nord d'une ligne Gisors-Beauvais-Noyon-Laon-Reims. De par sa structure poreuse et son réseau de fissures secondaire, la craie constitue un réservoir aquifère continu, étendu et épais. La nappe qu'elle contient est libre puis devient captive sous les couvertures argilo-sableuses et les alluvions tourbeuses de certaines vallées (Somme, Oise,...) et sous des formations récentes du Quaternaire en bordure du littoral (Marquenterre, Bas-champs).

La nappe de la craie constitue la ressource en eau la plus importante du département, en superficie puisqu'elle couvre presque tout le territoire, et en production puisqu'elle satisfait les trois quarts des besoins en eau du département.

On distingue deux types de porosité dans la craie : la porosité d'interstice (ou primaire, ou matricielle) et la porosité de fissures (ou secondaire, ou macroporosité), liée au degré de fissuration de la roche. 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} 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 (« weathering¹ »). Seuls les trente à cinquante premiers mètres sous le niveau de la nappe sont concernés par ce phénomène. Au-delà, ces fissures disparaissent et la craie devient trop compacte pour être suffisamment perméable. Cette craie peu perméable devient le mur de la nappe, à l'exception de certaines zones où l'on rencontre des lits de silex qui permettent à l'eau de circuler. Seule la partie superficielle (< 50 m) de l'aquifère de la craie peut donc être considérée comme une ressource pour la géothermie basse énergie en Picardie

Dans la Somme et le nord de l'Aisne, un faciès particulier constitué de marnes turoniennes ou appelés « Dièves » en forme le substratum (voir Figure 3).

La nappe de la craie est libre dans la partie nord et centrale de la région picarde (hormis sous les alluvions tourbeuses des cours d'eau où elle peut être localement captive). Son alimentation dépend des précipitations efficaces qui s'infiltrent via la zone non saturée, qui peut atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur sous les plateaux. Elle devient captive dans la moitié sud du département, sous recouvrement des terrains tertiaires. Cette craie sous recouvrement tertiaire a moins subi le « weathering » qui confère au réservoir sa porosité de fissures et de ce fait, elle y est moins productive.

La profondeur du toit de la nappe va de plus de 60 m sous les plateaux à moins de 1 m en vallée humides.

Pour définir le potentiel géothermique de la nappe de la craie, nous avons regroupé les aquifères du Sénonien, du Turonien et des sables du Thanétien. En effet la craie du

¹ Altération sous l'effet des conditions météorologiques

Sénonien est généralement en continuité hydraulique avec les sables du Thanétien sus-jacents.

Le niveau de la craie du Cénomanién est différencié du niveau Turonien Sup-Campanien dans la cartographie BD Lisa 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 Cénomanién affleure.

L'épaisseur de l'aquifère de la craie est donc très variable et les transmissivités en sont affectées : entre 10^{-1} et 10^{-4} m^2/s^{-1} . Les débits fournis par la nappe de la craie sont souvent supérieurs à 100 $m^3.h^{-1}$. Cependant, les débits exploitables varient considérablement selon la localisation du forage : les zones de plateaux sont défavorisées tandis que, à l'inverse, dans les vallées, topographiquement plus basses et dont le sous-sol crayeux est plus fissuré, la productivité est meilleure mais surtout plus constante. Au sud-est, la craie est recouverte par les terrains tertiaires et devient captive. Sa productivité baisse alors fortement et devient quasi-nulle.

En régime libre, les eaux de la craie ont un faciès bicarbonaté calcique qui contribue à leur donner une dureté assez forte ($>30^\circ$) et un pH légèrement basique (7 à 8). Parmi les éléments majeurs les plus fréquemment rencontrés, les sulfates (10 mg/l) associés au magnésium (5 mg/l) et les chlorures (15 mg/l) associés au sodium (7 mg/l) participent à la minéralisation naturelle qui reste en général assez moyenne. A l'approche des recouvrements tertiaires, leurs teneurs augmentent sous l'effet d'apports d'eau ayant transité dans les terrains argilo-sableux supérieurs.

Cet aquifère est très intéressant pour d'alimentation de pompes à chaleur pour les trois départements picards au nord d'une ligne allant de Senlis à Villers-Cotterêts. Pour une grande partie de la région, cette nappe représente le seul niveau aquifère superficiel exploitable hormis les nappes localement contenues dans les alluvions

e) Grand Système Multicouche du Crétacé inférieur (Albien à Néocomien) du Bassin de Paris

- **Sables verts de l'Albien inférieur**

Ce réservoir s'étend sur toute la région Picardie au sud d'une ligne reliant Berck à Hirson. L'Albien est représenté par des « sables verts » : ce sont des sables quartzeux, glauconieux et parfois argileux. Dans le Pays de Bray, les sables verts affleurent à la périphérie de la boutonnière d'une façon pratiquement continue sauf dans la partie septentrionale où, au nord d'une ligne Sainte-Geneviève – Grumesnil, ils disparaissent et semblent passer latéralement au faciès du Gault. Ils affleurent également en Thiérache dans l'Aisne, sur les contreforts des Ardennes. Ces sables sont reconnus dans toute la région et contiennent une nappe captive sous les Argiles du Gault.

L'aquifère est peu épais et peu profond au nord de l'Aisne mais sa puissance augmente vers le sud pour atteindre une profondeur de 700 m NGF et une épaisseur de 50 m à Château-Thierry.

Cette nappe est très peu exploitée du fait de l'ensablement rapide des ouvrages. En outre dans le sud du département, l'aquifère des *Sables verts de l'Albien* est classé en ZRE (Zone de Répartition des Eaux), ce qui lui confère un statut particulier assorti

d'une réglementation stricte qui interdit tout nouveau forage captant la nappe. Une grande partie de l'aquifère des Sables verts de l'Albien est en effet considérée comme une ressource stratégique à préserver quantitativement et qualitativement pour l'alimentation en eau potable de la ville de Paris.

A 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 ($< 10 \text{ m}^3/\text{h}$). Les sables verts de l'Albien constitueraient une ressource plus intéressante dans le cas de forages profonds ($> 100 \text{ m}$) lorsqu'ils sont captifs. L'épaisseur utile du réservoir ne dépasse jamais 30 m.

Dans le sud de l'Aisne, les eaux géothermales offrent des températures comprises entre 15 et 35°C. Il est à signaler que les eaux sont ferrugineuses dans la nappe captive. Dans le nord de l'Aisne, ces eaux sont fortement minéralisées (équivalent NaCl de 3 à 8,5 g/l) et présentent un faciès géochimique chloruré-sodique. Plus au sud, la minéralisation diminue, les eaux deviennent bicarbonaté-sodiques.

Dans certaines zones, la perméabilité intrinsèque de la nappe peut atteindre 10^{-3} m/s . La nappe est fréquemment artésienne.

- **Sables et grés du Néocomien (et Calcaires du Tithonien)**

Cette formation ("Faciès Wealdien"), de nature argilo-sableuse à faciès deltaïque continental, est comprise entre les argiles du Kimméridgien à la base et les argiles panachées du Barrémien au sommet. Les formations sablo-calcaires du Néocomien, et notamment des étages du Valanginien et Hauterivien, ainsi que du Tithonien supérieur (ou Portlandien supérieur) constituent un aquifère multicouche mal connu, les informations relatives à son sujet étant peu nombreuses.

Elle affleure suivant une auréole continue autour du "noyau Jurassique" de l'anticlinal du Pays de Bray. La nature du milieu de sédimentation de ce faciès ne permet d'y faire de subdivisions lithostratigraphiques fines. Cependant d'après certaines coupes il est possible de distinguer deux ensembles séparés par ravinement : un ensemble inférieur constitué de sables fins à moyens à lits humifères ou ligniteux et un ensemble supérieur constitué de sables grossiers avec lentilles d'argiles.

Le réservoir captif du Néocomien s'étend sur la région Picardie au sud d'une ligne reliant Amiens à Reims. Son toit est atteint à - 800 m NGF dans le sud de l'Aisne. L'épaisseur utile de ce réservoir ne dépasse pas 15 m de puissance.

Les températures attendues sont supérieures de 2 à 4°C par rapport à celles de l'Albien. Ces eaux sont peu minéralisées : de l'ordre de 0,5 à 2,5 g/l équivalent NaCl.

Le Néocomien semble fournir les débits les plus intéressants par rapport à l'Albien, supérieurs à $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

f) Synthèse

En conclusion, plusieurs nappes « superficielles » sont susceptibles d'alimenter des systèmes de pompes à chaleur. Il s'agit des aquifères de la craie, des sables de Cuise (Yprésien) et des calcaires du Lutétien, dont les eaux sont essentiellement de très basse température : de l'ordre de 11°C.

L'aquifère de la craie représente la principale ressource exploitable dans le département de la Somme, le nord et l'ouest de l'Oise et la partie septentrionale de l'Aisne.

Le sud de l'Oise et de l'Aisne peut être alimenté par les nappes du Tertiaire. En effet, même si la craie peut localement y être très productive, les nappes du Cuisien et du Lutétien, plus proches de la surface et donc plus accessibles sont plus intéressantes sur le plan économique.

Les aquifères du Crétacé inférieur sont peu profonds et constituent des réservoirs médiocres sous le département de la Somme mais s'épaississent et s'enfoncent vers le sud, sous les départements de l'Oise et de l'Aisne. Ils deviennent ainsi des réservoirs "tièdes" intéressants pour un captage géothermal. Cependant les données peu nombreuses sur ces aquifères font qu'une étude hydrogéologique en préalable à chaque projet est nécessaire.

2.3.2. Description des « principales » entités hydrogéologiques profondes

Les caractéristiques des aquifères dits « profonds » permettent généralement un échange direct de la chaleur sans utiliser de pompes à chaleur.

La géologie profonde du Bassin Parisien ne peut être approchée que par l'étude de nombreux sondages pétroliers réalisés dans cette zone géographiques qui doivent, dans tous les cas, être réinterprétés. Les coupes géologiques montrent le pendage des couches vers le centre du bassin ainsi que l'augmentation de l'épaisseur des niveaux du nord et de l'est vers le sud. Cet aspect est ainsi bien souligné par la terminaison de ces couches en biseau vers la périphérie du bassin et, particulièrement au droit de la région Picardie.

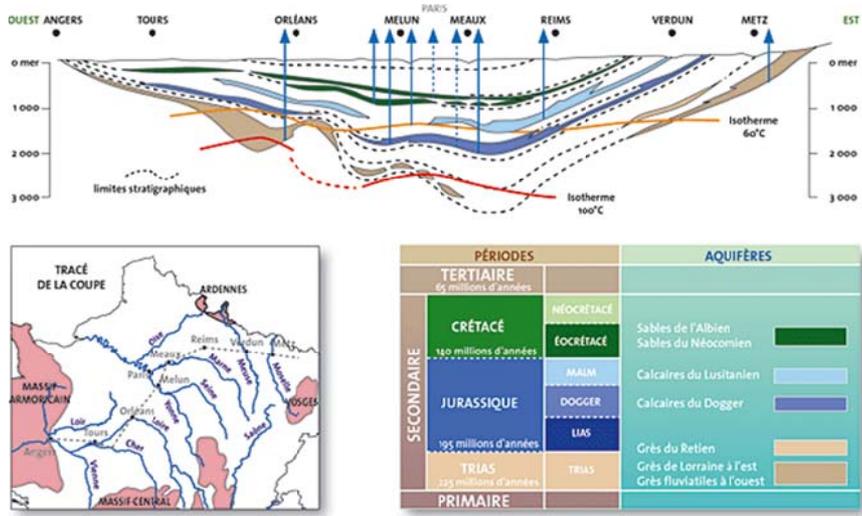


Figure 6 - Coupe géologique transversale du Bassin Parisien et les grands aquifères profonds (©BRGM)

Cinq grands réservoirs aquifères géothermaux y ont été recensés, dans différentes couches de sédiments. Pour la région Picardie, le grand Système Multicouche du Crétacé inférieur (Albien à Néocomien) a été considéré comme aquifère intermédiaire car affleurent dans le Pays de Bray et sur les contreforts des Ardennes (cf. paragraphe précédent).

a) Grand Système Aquifère du Kimmeridgien à l'Oxfordien sup. du Bassin de Paris

- **Calcaires du Kimmériidgien inf. et Oxfordien sup.**
ou *Jurassique supérieur (Malm) – Oxfordien supérieur et moyen (Séquanien, Rauracien et Argovien) : calcaires du Lusitanien*

Les formations du Tithonien et du Kimmériidgien supérieur (Jurassique supérieur) affleurent au cœur du Pays de Bray, à la faveur de son anticlinal érodé sur une très petite surface. Les formations plus anciennes ont été reconnues uniquement par sondages. Cette formation se rencontre à la cote - 1 300 m NGF de profondeur au sud ; plus au nord à proximité des Ardennes, la profondeur passe + 100 m NGF (- 300 m par rapport au sol), d'où la rareté des forages la discriminant. La progression de l'enfoncement de ces formations du nord vers le sud est dérangée par l'anticlinal du Pays de Bray où passe une faille en profondeur, leur rejet pouvant atteindre 150 mètres.

L'Oxfordien supérieur et moyen est composé des sous-étages du Séquanien, Rauracien et Argovien, également rassemblés sous le nom de Lusitanien. Nous avons conservé dans cette étude le terme de Lusitanien défini par HAUG en 1906. L'aquifère multicouche du Lusitanien est formé de calcaires, limités au toit par les marnes du Kimmériidgien et au mur par celles de l'Oxfordien inférieur. Ce réservoir est présent sur une grande partie de la Picardie. Le Lusitanien et le Crétacé inférieur sont peu

profonds et peu aquifères sous le département de la Somme ; ils s'épaississent et s'enfoncent vers le sud, sous les départements de l'Oise et de l'Aisne. Sa puissance est de quelques mètres au nord et plus de 650 m au sud de l'Aisne. La nappe est alors captive sur une majeure partie de la région, mais le Lusitanien est absent au nord d'une ligne reliant Saint-Valérie-sur-Somme à Guise.

Au droit du Bassin Parisien, le Lusitanien est constitué des trois réservoirs superposés :

- Le Séquanien : le réservoir supérieur est développé au sud du Bassin de Paris mais on le rencontre localement au centre et au nord-ouest. Il est formé d'un banc peu épais de calcaires oolithiques et de calcaires récifaux. Il s'épaissit au sud en prenant un aspect crayeux. Ce réservoir n'est cependant pas présent en Picardie ;
- Le Rauracien : le réservoir principal, qui constitue l'unité aquifère la plus importante du Lusitanien, est formé par des calcaires oolithiques et graveleux au centre du Bassin Parisien. Au nord-ouest vers le Pays de Bray, on observe principalement des niveaux détritiques grossiers (sables, grès) ;
- L'Argovien : le réservoir inférieur se rencontre uniquement au nord du Bassin de Paris. Il est composé au nord-ouest par des calcaires oolithiques avec des passages récifaux. Entre les rivières de l'Oise et de la Marne, le réservoir est formé d'une épaisse série crayeuse qui passe, au sud de l'Oise, à des calcaires oolithiques. La formation est alors en continuité avec le réservoir principal. Cet horizon devient marneux au sud de la Marne.

b) Grand Système Multicouche du Jurassique moyen du Callovien à l'Aalénien (Dogger) du Bassin de Paris

- **Calcaires du Bathonien - Callovien inférieur et Calcaires du Bajocien**
ou Jurassique moyen (Dogger) – Bathonien et Bajocien : calcaires du Dogger

Les calcaires du Dogger (calcaire du Bathonien) sont présents sur toute la Picardie et affleurent dans la partie nord de l'Aisne. Dans la région d'Hirson, le Dogger contient une nappe libre dont le mur imperméable est constitué par les faciès marneux du Lias. Ce réservoir est très fracturé, parfois karstique localement (secteur de la Vallée du Thon), permettant d'assurer des débits intéressants.

Le Dogger se rencontre à l'affleurement à plus de 100 m NGF d'altitude à Hirson et s'enfonce progressivement sous les couches pour atteindre la cote - 1 750 m NGF dans le sud de l'Aisne. Plusieurs forages pétroliers ou à des fins géothermiques ont permis de localiser ce réservoir à 1 060 m de profondeur pour une épaisseur de 185 m à Saint-Just-en-Chaussée et à 1 700 m de profondeur dans la région de Creil.

La faille du Pays de Bray s'accroît en profondeur et le rejet peut atteindre 300 m.

Le mur de cet aquifère est constitué des argiles et marnes du Toarcien (Lias), tandis que le toit est formé par les marnes callovo-oxfordiennes.

Il est formé de trois réservoirs :

- Le Callovien (bioclastres et oolithes ferrugineuses) peu puissant,
- le Bathonien (calcaires oolithiques et graveleux), avec des épaisseurs allant de 50 à 200 m du nord au sud, est le réservoir principal,
- la base du Bajocien (calcaires cristallins) avec des épaisseurs allant de 100 à 150 m du nord au sud qui peut exceptionnellement constituer un réservoir annexe.

Il s'agit d'un aquifère multicouche calcaire dont la perméabilité est assurée par les nombreuses diaclases qui le fissurent. Les forages géothermiques réalisés dans le Bassin Parisien montrent que le réservoir susceptible de fournir la meilleure productivité est celui du Bathonien et en particulier son sommet, non loin de son contact avec le Callovien.

De nombreux forages géothermiques exploitent l'aquifère du Dogger en région parisienne.

c) Grand Domaine du Jurassique inf. (Lias) du Bassin de Paris

- **Jurassique inférieur (Lias)**

Le Jurassique inférieur affleurant qu'au Nord-Est du département de l'Aisne, est représenté par des bancs de calcaires souvent disposés au sein des argiles. On y distingue ainsi des niveaux gréseux et carbonatés à la base (Hettangien-Sinémurien), cédant la place à des niveaux argileux du Lias supérieur (Pliensbachien-Domérien-Toarcien). Ces formations s'arrêtent au sud d'une ligne Le Tréport-Amiens-Saint Quentin. La puissance du Lias va de moins de 100 m au nord de l'Aisne à plus de 600 m près de Château-Thierry

Limité au toit par le Dogger (Jurassique moyen) et au mur par le Rhétien (Trias), le Lias ne s'étend en zone profonde que sur deux domaines restreints dans le Bassin Parisien : un ensemble au nord-ouest et un ensemble au sud. En comparaison des aquifères sus-jacents, les épaisseurs des réservoirs essentiellement calcaires du Lias sont réduites. Seule la zone nord-ouest de la Picardie présente des épaisseurs supérieures à 30 m.

d) Grand Système Multicouche du Trias

- **Sables et Grès du Trias moyen à supérieur**

Il n'y a pas d'affleurement du Trias en Picardie. Toutefois il est présent au sud de la région. Il n'existe plus au nord d'une ligne reliant Amiens à Vervins.

Les formations détritiques du Trias constituent des aquifères argilo-sableux. Dans le Bassin Parisien, ces formations sont réparties en trois niveaux aquifères d'épaisseur et d'extensions inégales et séparés par des niveaux argileux : le corps fluviatile du Keuper supérieur (Trias supérieur), le prisme détritique du Trias moyen et le réservoir du Trias inférieur.

L'épaisseur de ces niveaux supérieure à 300 mètres au sud diminue progressivement vers le nord. Ce sont les termes de base (Trias moyen et inférieur) qui disparaissent peu à peu. Les niveaux triasiques se biseautent rapidement vers le nord, le toit des argiles est à la cote - 500 m NGF dans la région de Vervins. Vers le sud, les niveaux s'enfoncent graduellement pour atteindre la cote - 2 700m NGF au sud de Château Thierry

Les formations détritiques (sables, grès, conglomérats) du Keuper supérieur présentent à leur sommet un caractère lagunaire qui a pu entraîner une cimentation des faciès réservoirs dans les zones les plus externes. Cependant, on observe, sur les deux-tiers de leur puissance, des grès moyens à grossiers (Grès du Chaunoy) qui forment généralement un excellent réservoir.

2.3.3. Entités hydrogéologiques BDLISA

Les données cartographiques de base utilisées dans l'atlas correspondent aux contours des aquifères de la Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères dite « BDLISA ». La délimitation des entités hydrogéologiques est réalisée au niveau régional (NV2) et national (NV1).

Une entité hydrogéologique est une partie de l'espace géologique délimitée en fonction de ses potentialités aquifères. Suivant l'échelle d'identification de l'entité (niveau national, régional ou local) et selon que l'entité est aquifère ou peu aquifère, l'approche méthodologique mise en œuvre établit la classification suivante :

	Aquifère		Peu ou pas aquifère
Niveau National (NV1)	Grand Système Aquifère (GSA)		Grand Domaine Hydrogéologique (GDH)
Niveau Régional (NV2)	Système Aquifère (SA)		Domaine Hydrogéologique (DH)
Niveau Local (NV3)	Unité aquifère (UA)	Unité semi-perméable (USP)	Unité imperméable (UI)

Tableau 2 - Types d'entités hydrogéologiques

- **Le grand système aquifère (NV1)**

Le grand système aquifère est un système physique composé d'un ou plusieurs systèmes aquifères et circonscrit par des limites litho-stratigraphiques et/ou structurales.

- **Le grand domaine hydrogéologique (NV1)**

Le grand domaine hydrogéologique est un système physique peu ou pas aquifère. Il peut contenir des formations aquifères mais sans grande extension latérale et isolées dans la formation peu perméable.

- **Le système aquifère (NV2)**

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

- **Le domaine hydrogéologique (NV2)**

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

Un pseudo-log stratigraphique valable pour l'ensemble du secteur étudié a été élaboré. Ce document permet de réfléchir à l'ordonnancement vertical et à l'équivalence latérale des formations les unes par rapport aux autres. Toutes ces formations, issues de la carte géologique harmonisée au 1/50 000, sont listées et classées dans le tableau multi-échelles où les regroupements se font selon les deux niveaux d'identification (NV1 et NV2). Ce dernier comprend l'ensemble des formations depuis les alluvions récentes (Quaternaire) jusqu'au socle.

Le tableau multi-échelles établit des correspondances entre les formations géologiques et des entités hydrogéologiques d'après leur âge, leur lithologie et leur perméabilité (aquifère/semi-perméable/imperméable).

Le tableau multi-échelles complet de la région Picardie est présenté dans le Tableau 3..

Un tableau de synthèse (Tableau 4) complémentaire permet de voir de façon plus visuelle l'organisation des entités de niveau 2 les unes par rapport aux autres suivant un découpage géographique extrêmement schématique (est et ouest du sud du Bassin et est et ouest du nord du Bassin Parisien en Picardie).

La codification et la cartographie BDLISA des entités hydrogéologiques ont été principalement utilisées pour la délimitation des aquifères superficiels et intermédiaires

Code	Entité NV1 de rattachement dans le bassin parisien (BP)	Code	Entité NV2 Picardie
107	GSM de l'Oligo-Miocène du BP	107C	Sables et Grès de Fontainebleau
		107G	Calcaires de Brie
110	GDH de l'Oligocène inf. à l'Eocène sup. (Sannoisien au Ludien) du BP	110A	Marnes vertes et supra-gypseuses
113	GSM de l'Eocène du BP	113A	Calcaires de Champigny
		113E	Masses et Marnes du Gypse
		113K	Sables et Grès de Beauchamp, Sables d'Auvers du Bartonien
		113P	Marnes et Caillasses du Lutétien supérieur
		113R	Calcaires du Lutétien
		113T	Argiles de Laon de l'Yprésien sup.
		113V	Sables de Cuise de l'Yprésien sup.
116	GDH des Argiles de l'Yprésien inf. (Sparnacien) du BP	116B	Argiles de l'Yprésien inf. (Sparnacien)
119	GSM du Paléocène du BP	119B	Sables du Thanétien (Paléocène)
121	GSM du Campanien au Turonien du BP	121A	Craie blanche du Turonien sup. au Campanien (Séno-Turonien)
		121E	Craie marneuse du Turonien
		121G	Dièves du Turonien (Thierache-Vermandois-Noyonnais)
122	GSM du Cénomaniens à l'Albien sup. du BP	122E	Craie marneuse et glauconieuse du Cénomaniens
125	GDH des Argiles, Marnes et Gaizes du Cénomaniens inf. et de l'Albien sup.	125A	Argiles du Gault, Marnes et Gaizes de l'Albien sup.
128	GSM du Crétacé inf. du BP	128A	Sables verts de l'Albien
		128C	Argiles de l'Aptien-Barrémien
		128E	Sables et Grès du Néocomien
131	GSA du Tithonien du BP	131A	Calcaires du Tithonien
134	GDH des Marnes du Kimmeridgien du BP	134A	Marnes du Kimmériidgien
137	GSA du Kimmeridgien à l'Oxfordien sup. du BP	137A	Calcaires du Kimmériidgien
140	GDH des Marnes du Kimmeridgien du BP	140A	Marnes du Callovo-Oxfordien
143	GSM du Jurassique moyen (Dogger)	143A	Calcaires du Bathonien et Callovien inférieur (Dogger)
		143B	Marnes du Bajocien
		143C	Calcaires du Bajocien
146	GDH du Jurassique inf. (Lias)	146A	Marnes et Argiles du Toarcien (Lias sup.)
		146G	Argiles du Sinémurien-Hettangien (Lias inf.)
149	GSM du Trias	149A	Sables et Grès du Trias moyen à supérieur
151	Sédimentaire ancien du bassin de Paris	151I	Socle des Ardennes (Schistes, Schistes et quartzites, Grès d'Anor)

Tableau 3 - Tableau multi-échelles des entités hydrogéologiques du Bassin parisien en Picardie (en bleu les systèmes aquifères et en vert les domaines hydrogéologiques)

Nord		Sud	
Ouest	Est	Ouest	Est
Surcouche: Placages			
Surcouche: Buttes Témoins			
Surcouche : Formations superficielles			
Surcouche : Formations superficielles alluviales			
Système alluvial			
		Sables et grès de Fontainebleau	
		Calcaires de Brie	
		Marnes vertes et supra-gypseuses	
		Calcaires de Champigny et faciès gypseux associés	
		Marnes et Calcaires de l'Eocène inférieur	
		Marnes et caillasses du Lutétien supérieur	
		Calcaires du Lutétien	
		Argiles de Laon - Yprésien supérieur	
		Sables de Cuise la Motte - Yprésien supérieur	
		Argiles du Sparnacien - Yprésien inférieur	
		Sables du Thanétien - Paléocène	
Craie blanche Turonien Sup-Campanien			
Craie marneuse du Turonien			
		Dièves du Turonien	
		Craie marneuse et glauconieuse du Cénomanién	
Argiles du Gault, marnes et gaizes de l'Albien supérieur			
Sables verts de l'Albien inférieur			
		Argiles sableuses de l'Aptien-Barrémien	
		Sables, grès et argiles du Néocomien-Barrémien	
		Calcaires et marnes du Tithonien	
		Marnes du Kimméridgien	
		Calcaire et sables du Rauracien - Séquanien	
		Marnes callovo-oxfordiennes	
		Calcaires du Bathonien et Callovien inférieur	
Marnes du Bajocien		Marnes du Bajocien	
Calcaires du Bajocien			
		Marnes et argiles du Toarcien	
		Argiles du Lias	

Tableau 4 - Vue synthétique de l'organisation spatiale des entités sédimentaires de niveau 2 en Picardie

3. Cartographie du potentiel géothermique très basse énergie

3.1. PRINCIPE DE L'ELABORATION DES CARTES DU POTENTIEL

Le principe général de conception de l'atlas repose sur une méthode basée sur la combinaison pondérée de cartes de paramètres (dites cartes unicritères) intervenant dans l'évaluation d'une propriété régionale (ici, le potentiel géothermique des aquifères).

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

La cartographie et la combinaison des cartes se font au moyen de logiciels de traitement cartographique (SIG) ; les données sont traitées sous forme de polygones correspondant au contour des aquifères BD Lisa, puis intégrées dans une grille avec des mailles de 500 m de côté. Toutes les cartes produites sont géo-référencées.

La Figure 7 synthétise la méthodologie de cartographie du potentiel géothermique régional proposée.

3.2. CRITERES DE POTENTIALITE GEOTHERMIQUE

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

- Productivité de l'aquifère ou débit exploitable ;
- Température de la ressource ;
- Profondeur d'accès à la ressource.

Les deux premiers sont représentatifs du potentiel énergétique de l'aquifère pour un usage géothermique ; le troisième est dit « économique » car il impacte directement le coût d'investissement et le coût d'exploitation d'un projet.

Leur analyse simultanée permet de rendre compte de l'intérêt d'une opération de géothermie.

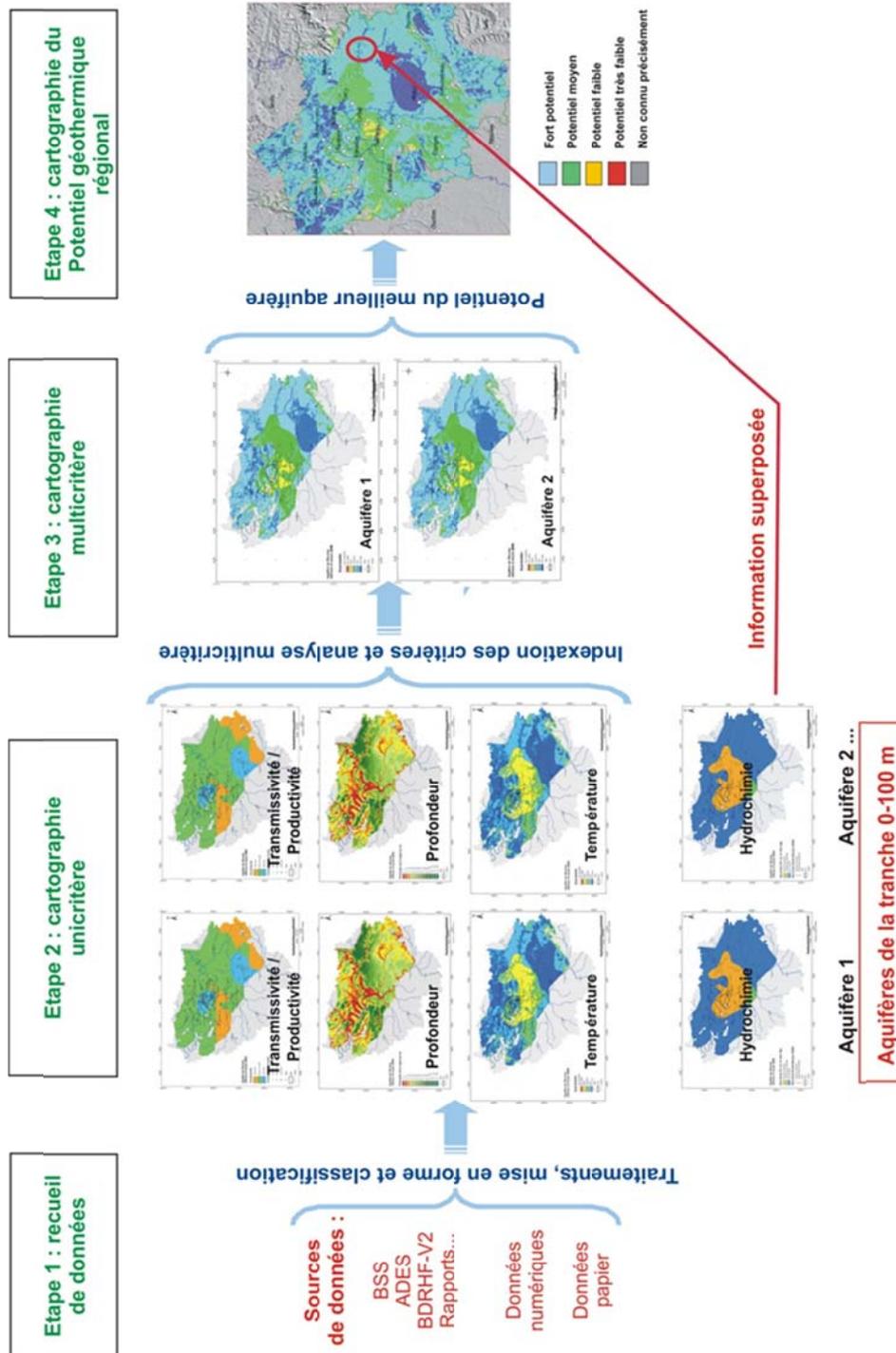


Figure 7 - Principe de l'élaboration des cartes du potentiel géothermique régional

3.3. TRAITEMENT DES DONNEES

L'atlas du potentiel géothermique est constitué de l'ensemble des cartes unicritères de chaque aquifère, d'une carte multicritères ou carte du potentiel géothermique par aquifère superficiel d'intérêt régional et une carte de synthèse générale, dite carte du potentiel géothermique régional, qui correspond à la compilation des meilleures potentialités par aquifère.

Sa réalisation repose sur quatre étapes :

3.3.1. Etape 1 : Recueil de données relatives à chaque critère

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

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

Les sources de données utilisées pour l'atlas de Picardie 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 : Base de données des Limites des Systèmes Aquifères fournissant les contours des entités hydrogéologiques françaises à 3 échelles de précision (N1 : nationale, N2 : régionale et N3 : locale) ;
- Cartes géologiques au 1/50 000 ;
- Atlas hydrogéologiques départementaux ;
- Base bibliographique du BRGM et données complémentaires fournies par les bureaux d'études.

3.3.2. Etape 2 : Cartographie par critère – classification, spatialisation et indexation des critères

a) Classification des données :

Pour rendre lisibles les cartes de chaque critère, les données utilisées pour leur élaboration sont triées par classes.

b) Spatialisation des données :

L'objectif de la spatialisation est de passer de données ponctuelles échantillonnées de manière aléatoire (données disponibles relatives à des ouvrages ponctuels) à une couverture régulière de valeurs estimées du critère considéré, et ce pour l'ensemble de la surface de chaque aquifère. La Figure 8 ci-dessous explicite le principe de spatialisation des données.

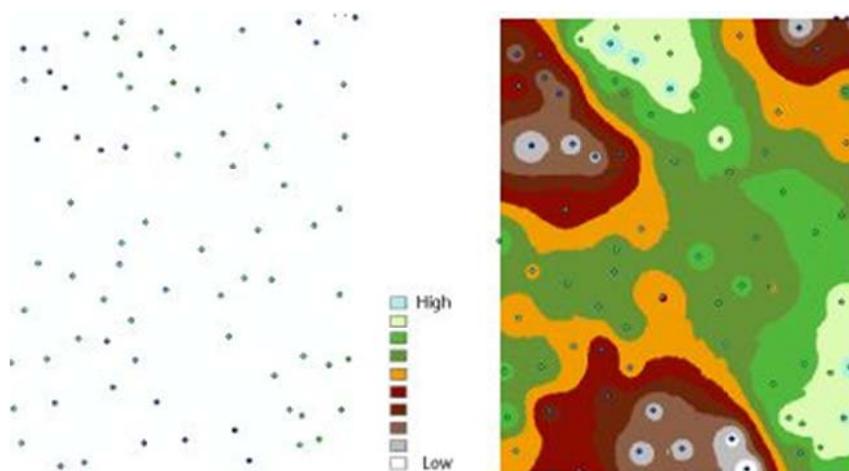


Figure 8 - Principe de la spatialisation des données (source ArcGis Desktop)

En d'autres termes, cela revient à estimer des valeurs de surface en des points non échantillonnés, sur la base d'une formule mathématique utilisant des valeurs de surface connues des points environnants. Plusieurs approches existent, chaque approche utilisant une formule mathématique différente.

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

Ainsi, plusieurs types de traitement ont été réalisés, faisant appel soit à une interpolation mathématique, soit à une approche statistique. Les principaux cas de figure rencontrés sont les suivants :

- **Approche statistique**

Dans les cas où une interpolation mathématique n'était pas envisageable par manque de données, une analyse statistique a été réalisée. Lorsque les données disponibles ne présentaient pas une variabilité trop grande, la valeur moyenne a été attribuée au critère, pour l'ensemble de l'aquifère considéré.

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

Lorsque les données ponctuelles pour un critère et un aquifère donné présentaient une forte variabilité selon la position géographique, une sectorisation de l'aquifère a été réalisée, à l'aide des contours (hydro)géologiques, des isopièzes existantes, etc... L'interpolation mathématique ou l'approche statistique a ensuite été réalisée pour chacun des secteurs définis au sein de l'aquifère.

- **Autre cas : Trop peu de données disponibles**

A l'échelle d'un aquifère (ou d'un secteur d'aquifère) et d'un critère considéré, lorsque trop peu de données ponctuelles étaient disponibles pour réaliser une spatialisation satisfaisante, il a été affecté à ce critère la valeur « non connu précisément », sur tout ou partie de la surface de l'aquifère.

c) Indexation des classes :

On affecte à chaque classe un index (ou note) représentatif du potentiel géothermique associé (note faible pour le potentiel le moins bon, note élevée pour le meilleur potentiel). Les index varient de 1 à 4, de la situation la moins favorable à la géothermie, à la situation la plus favorable ; ils sont présentés en Figure 9.

d) Cartographie de chaque critère :

Des cartes sont réalisées par critère, afin de rendre compte du potentiel de l'aquifère vis-à-vis de chaque critère ; la classification et l'indexation des critères y est représentée.

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

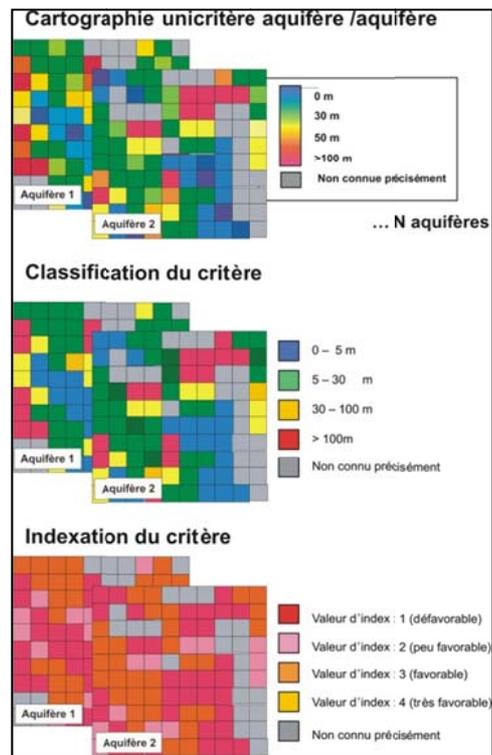


Figure 9 - Démarche de cartographie unicritère (classification et indexation)

3.3.3. Etape 3 : Analyse multicritère : calcul du potentiel géothermique de chaque aquifère

g) Pondération des critères :

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

h) Cartographie du potentiel géothermique par aquifère :

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

Le principe du calcul multicritère est présenté en Figure 10, ci-après.

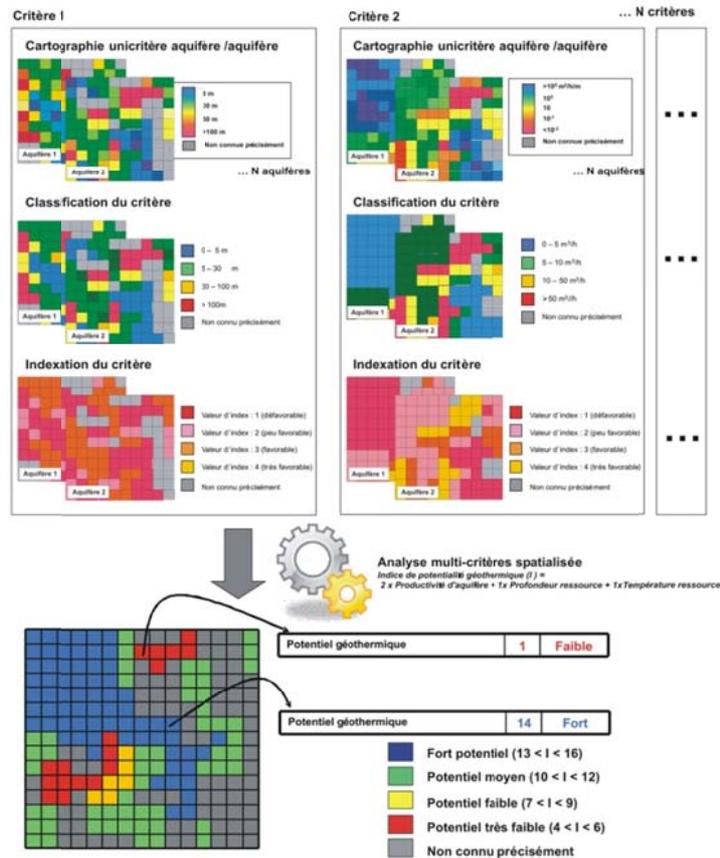


Figure 10 - Principe de l'analyse multicritères

3.3.4. Etape 4 : Elaboration de la carte du potentiel géothermique régional présentant les secteurs favorables à l'implantation de pompes à chaleur sur nappe.

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

L'obtention d'une carte unique du potentiel géothermique régional passe par la sélection, pour chaque maille de la grille cartographique, des meilleurs indices de potentialité géothermique parmi ceux calculés pour chaque aquifère.

3.4. CARTOGRAPHIE DES DIFFERENTS CRITERES DE POTENTIALITE GEOTHERMIQUE

3.4.1. Profondeur d'accès à la ressource

a) Définition

La profondeur d'accès à la ressource en eau correspond à la profondeur minimale du forage d'eau pour atteindre la ressource. La profondeur réelle du forage doit tenir compte du fait que le forage doit pénétrer d'environ 5 m l'aquifère au moins (cas d'une nappe captive), ou être 10 m sous le niveau statique de l'eau (en l'absence de pompage) pour tenir compte du rabattement induit par le pompage (5 m), l'encombrement de la pompe et une marge de sécurité (environ 5 m).

La profondeur d'accès à la ressource dans le cas d'un aquifère libre correspond à la piézométrie de la nappe. Dans le cas d'un aquifère captif, elle correspond à la profondeur du toit de l'aquifère considéré (Figure 11).

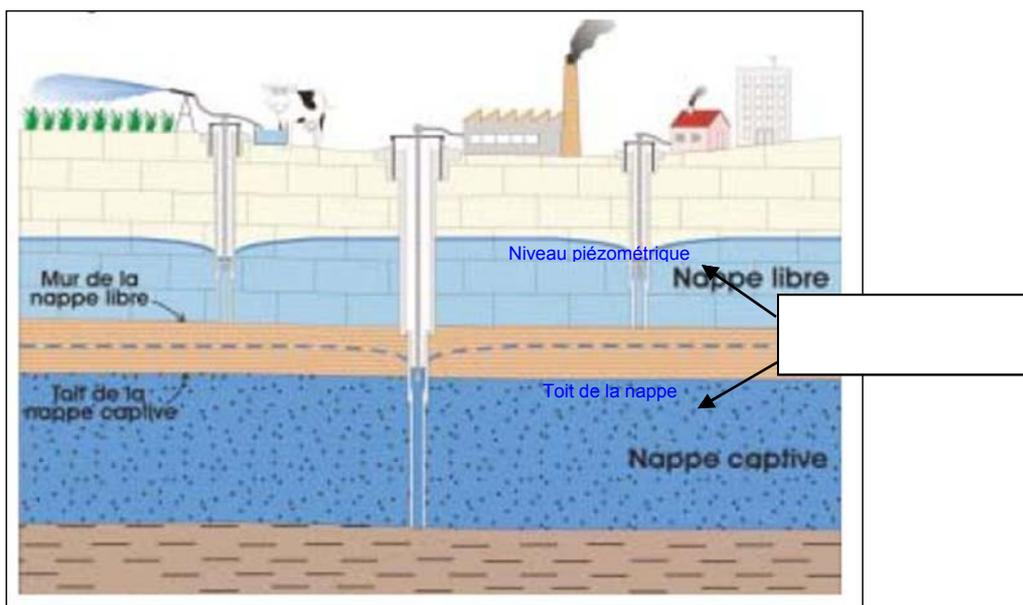


Figure 11 - Schéma explicitant les différents régimes de nappe (source BRGM)

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

- Le coût de l'opération : coûts de foration (directement lié à la profondeur des forages), coûts d'équipement (type et puissance de pompe liée à la hauteur de refoulement) et coûts de fonctionnement (consommation électrique de la pompe) ;

- Le risque que la surcôte piézométrique provoquée par l'injection, dans le même aquifère, de l'eau prélevée, soit défavorable au projet.

b) Sources de données

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

- Les valeurs ponctuelles de piézométrie et d'altitude du toit des aquifères disponibles en BSS, dans ADES, et dans divers rapports ;
- Les cartes piézométriques existantes ;
- Les cartes d'altitude du toit des aquifères disponibles sous forme numérique provenant :
 - o des atlas géologiques de l'Aisne et de l'Oise ;
 - o du modèle hydrogéologique Marthe des hautes eaux de la Somme pour l'aquifère de la Craie dans la partie non couverte par les atlas sus-cités.

c) Données disponibles

Au total, 3 135 valeurs de profondeur d'accès à la ressource ont été utilisées. Le nombre de données disponibles par aquifère est variable. Pour mener une analyse comparative de cette information, il faut examiner la densité de points utilisés pour chaque entité BD-LISA aquifère (Tableau 5).

Code BD_LISA de l'aquifère	Libellé de l'entité BD_LISA de l'aquifère	Surface de l'entité aquifère (km ²)	Nb. de valeurs profondeur d'accès à la ressource	Densité de point pour 100 km ²
107C	Sables et Grès de Fontainebleau	41	1	2,44
107G	Calcaires de Brie	289	0	0,00
113A	Calcaires de Champigny et faciès gypseux associés	407	13	3,19
113K	Sables et Grès de Beauchamp, sables d'Auvers	2 014	16	0,79
113R	Calcaires du Lutétien	3 666	166	4,53
113V	Sables de Cuise de l'Yprésien sup.	4 611	261	5,66
119B	Sables du Thanétien (Paléocène)	6 743	128	1,90
121A	Craie blanche du Turonien sup. au Campanien (Sénonien)	17 613	2 219	12,60
121E	Craie marneuse du Turonien	18 814	128	0,68
122E	Craie marneuse et glauconieuse du Cénomanién	19 067	10	0,05
128A	Sables verts de l'Albien	19 011	18	0,09
128E	Sables et Grès du Néocomien	8 400	2	0,02
131 A	Calcaires Tithonien	14 409	2	0,01
143 A	Calcaires du Bathonien	18 841	19	0,10
F	Alluvions	1 257	152	12,09
Total général		135 183	3 135	

Tableau 5 - Nombre de données des profondeurs d'accès par aquifère

Cette densité est calculée en ramenant le nombre de points utilisés pour 100 km² d'entité aquifère traité. D'une manière générale, les aquifères les plus étendus à

l'affleurement et les plus sollicités sont les mieux renseignés pour ce critère. Les nappes alluviales, les aquifères de la craie, des sables de Cuise et du Lutétien présentent des densités de points élevées. A l'inverse, les aquifères qui possèdent un intérêt hydrogéologique plus limité (contrainte d'exploitation, ressource limitée...) constituent les aquifères les moins renseignés pour ce critère « profondeur d'accès à la ressource ».

d) Résultats statistiques

Les données des profondeurs d'accès à la ressource ont été traitées par la méthode statistique des « boîtes à moustaches » de Tukey permettant de représenter schématiquement une distribution. Cette représentation est très intéressante pour visualiser rapidement les points aberrants qui doivent faire l'objet d'une attention particulière. Plusieurs paramètres sont indiqués sur une boîte à moustaches :

- le premier quartile Q1 (25 % des effectifs) correspondant au trait inférieur de la boîte ;
- la valeur du deuxième quartile Q2 (50 % des effectifs) ou médiane, représentée par un trait vertical à l'intérieur de la boîte ;
- le troisième quartile Q3 (75 % des effectifs) correspondant au trait supérieur de la boîte ;
- les deux « moustaches » inférieure et supérieure représentées par les segments horizontaux de part et d'autre de la boîte. Ces deux moustaches délimitent les valeurs dites adjacentes qui sont déterminées à partir de l'écart interquartile ($Q3 - Q1$) où la limite inférieure = $Q1 - 1,5 (Q3 - Q1)$ et la limite supérieure = $Q1 + 1,5 (Q3 - Q1)$. Au-delà de ces limites, on peut considérer que les valeurs sont anormales;
- la valeur de la moyenne, représentée par une croix rouge.

La répartition des débits spécifiques de chaque aquifère par les boîtes à moustaches est présentée en Figure 12.

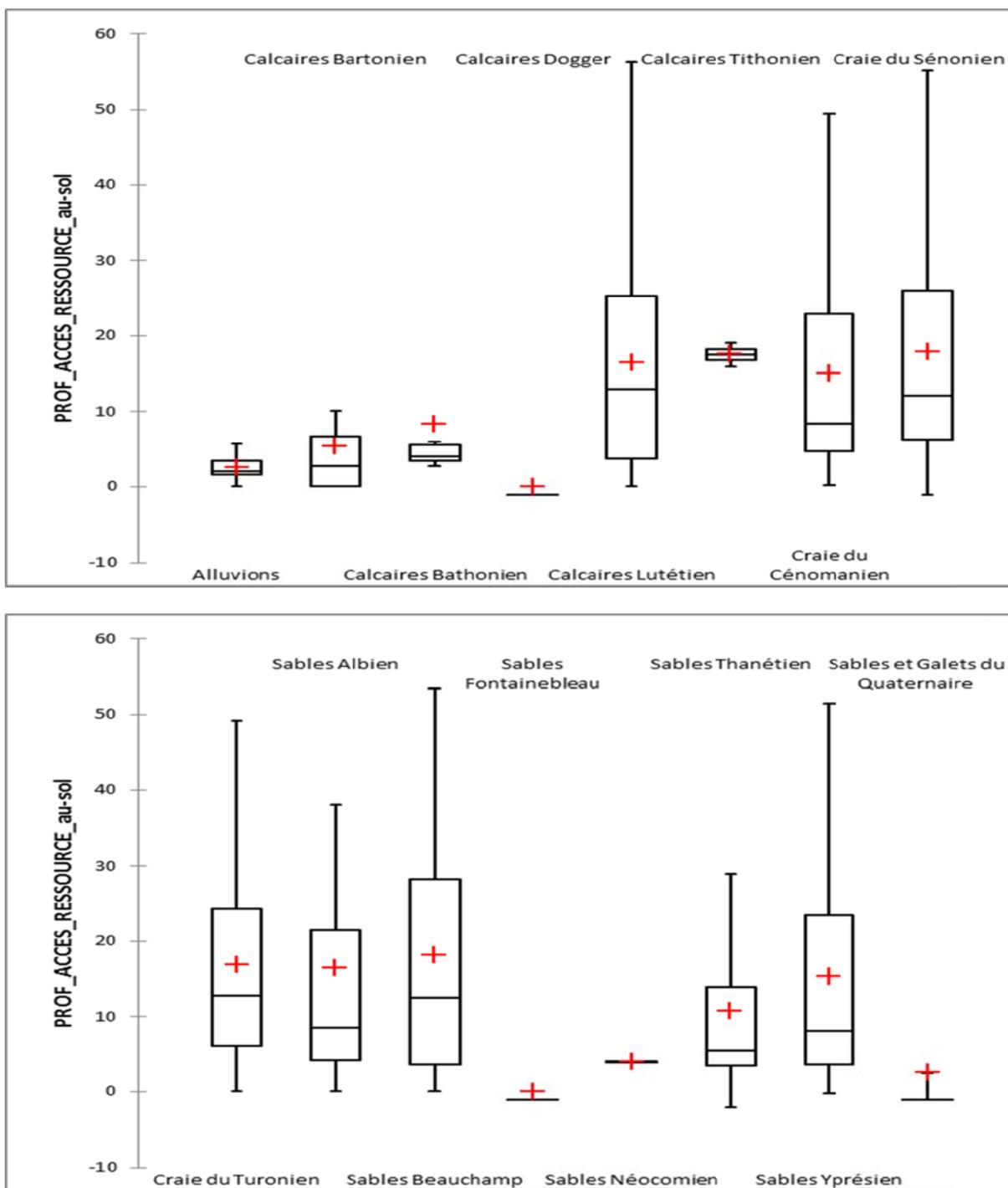


Figure 12 - Représentation en boîte à moustaches des profondeurs d'accès par aquifère

e) Classification

En fonction des données disponibles à l'échelle de la région Picardie, la classification retenue pour le critère d'accès à la ressource est la suivante (Tableau 6) :

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

Tableau 6 - Classes de profondeur d'accès à la ressource prises en compte

f) Méthode de spatialisation des données

Les données disponibles de profondeur d'accès à la ressource par aquifère présentent une faible variabilité en regard des classes définies pour ce critère (Figure 13).

60 % des données se répartissent au sein des deux premières classes, soit une profondeur d'accès à la ressource inférieure à 15 mètres. Il faut noter que 25 % de ces valeurs sont inférieures à 5 mètres, renvoyant à une classe défavorable pour l'installation d'une PAC pour ce critère. Les autres données se situent dans les classes « 15 à 30 m » et « 30 à 100 m », respectivement à hauteur de 22 % et 18 %.

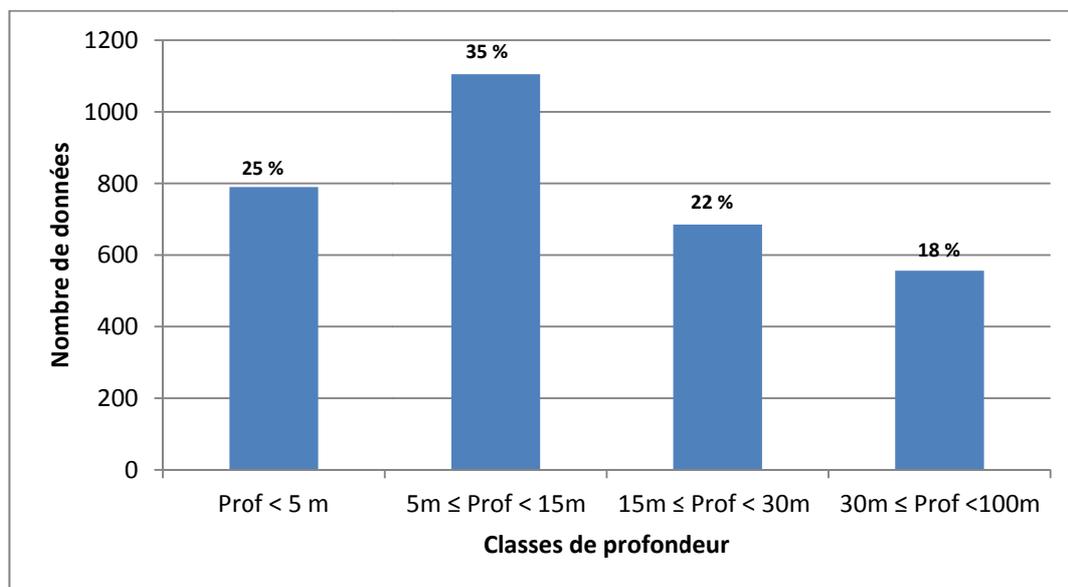


Figure 13 - Distribution du nombre de données "profondeur d'accès à la ressource"

La Figure 14 illustre la distribution géographique des données des profondeurs d'accès à la ressource en Picardie.

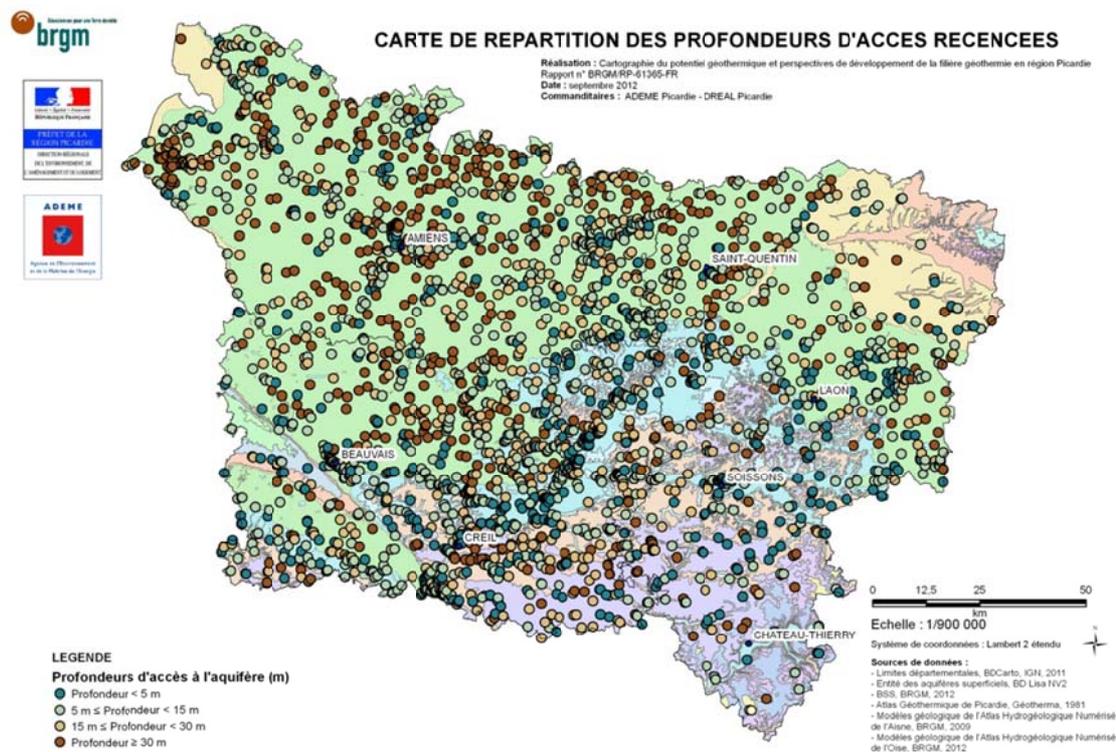


Figure 14 - Carte des données ponctuelles des profondeurs d'accès à la ressource

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

La carte régionale des profondeurs d'accès de l'aquifère de la craie figure en annexe (Annexe 2).

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

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

3.4.2. Productivité ou débit exploitable des aquifères

a) Définition

La productivité d'un aquifère correspond à l'évaluation de la ressource en eau extractible du réservoir aquifère.

La puissance thermique et donc la rentabilité géothermique sont directement déduites du débit d'exploitation par forage. Ce débit d'exploitation par forage permet de définir la superficie qui va être chauffée ou climatisée grâce à la PAC. En effet, le volume d'eau qui transite dans la PAC est proportionnelle à la quantité de chaleur ou de froid produit par cette même PAC.

Plus le débit de production du forage est élevé, plus la zone est favorable à la géothermie sur nappe.

Les données de base utilisées pour l'évaluer sont :

- Transmissivité (notée T) et Perméabilité (notée k) : paramètres intrinsèques à l'aquifère (représentant sa capacité de production), très représentatifs de la ressource.

Les données de perméabilité doivent être couplées aux données d'épaisseur mouillée d'aquifère (notée e) pour reconstituer les données de transmissivité ($T = k \times e$).

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

Les données de base pour T et k sont issues des rapports de pompages d'essai (souvent archivés en BSS). La densité de ces données intrinsèques est

faible, ce qui rend difficile leur exploitation pour une cartographie régionale. Pour l'épaisseur mouillée, les données proviennent des coupes lithologiques des ouvrages, archivées en BSS.

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

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

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

- Débits de production de forage : ce paramètre correspond à des débits exploitables, mais est surtout représentatif des propriétés techniques des ouvrages de captage et des besoins associés aux usages de la ressource. Il est peu représentatif de la capacité de production de la ressource proprement dite.

b) Sources de données

Les données prises en compte pour la cartographie de ce critère sont issues de la BSS et des différents rapports archivés au BRGM. Il a été choisi de ne retenir que les valeurs de débits spécifiques. En effet la relation liant le débit spécifique à la transmissivité a montré une trop grande dispersion et est difficilement applicable. Les débits de production sont quant à eux trop tributaires des caractéristiques du forage pour décrire convenablement l'aquifère capté.

La définition du débit exploitable à partir du débit spécifique nécessite de déterminer le rabattement acceptable tel que

$$Q_{\text{exploitable}} = Q_{\text{spécifique}} \times S_{\text{acceptable.}}$$

$$\text{Avec } S_{\text{acceptable.}} = (1/3) \times e_{\text{mouillée}} \text{ avec un maximum de 5 m}$$

La valeur d'un rabattement de 5 m a été retenue comme hypothèse de travail pour avoir un traitement homogène sur l'ensemble de la zone étudiée. Il peut être possible de créer un rabattement supérieur à 5 m dans l'ouvrage de production, le débit exploitable correspondant s'en déduisant par simple multiplication.

c) Estimation des débits exploitables

La productivité de l'aquifère est exprimée à l'aide du **débit exploitable**. L'obtention de ce paramètre nécessite le traitement des données de productivité (débit spécifique et épaisseur mouillée d'aquifère) et leur interprétation. L'approche prise en compte est la suivante, à partir des données de débit spécifique (Q_s) et selon le rabattement (s) :

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

Afin d'éviter les disparités entre les différents atlas régionaux et afin de standardiser la méthode, l'expression du rabattement acceptable est définie nationalement.

Le rabattement acceptable est limité à un tiers de l'épaisseur mouillée de l'aquifère (noté e), avec un maximum de 5 m.

Ainsi, la relation permettant d'exprimer le débit exploitable est la suivante :

$$Q_{\text{exploitable}} = Q_s \times \frac{1}{3} \times e \quad \text{où} \quad \frac{1}{3} \times e \leq 5 \text{ m}$$

Cette méthode se base sur des données qui ne sont pas toujours très représentatives des caractéristiques de l'aquifère, mais où les approximations introduites pour l'évaluation des débits exploitables sont limitées.

Pour les nappes captives avec un rabattement maximum fixé à 10m.

d) Données disponibles

Le Tableau 7 présente les données ponctuelles de **débit spécifique** disponibles pour chaque aquifère. Un total de 2 105 données ponctuelles a été recueilli.

Au regard des variations de la densité de données disponibles pour chaque aquifère concernant ce critère, le constat est semblable à celui du critère profondeur. Ainsi, les aquifères les plus sollicités sont les mieux caractérisés (nappe de la craie, des sable de Cuise et des calcaires du Lutétien, certaines entités alluviales) par rapport à ceux présentant un intérêt hydrogéologique plus restreint.

Code BD_LISA de l'aquifère	Libellé de l'entité BD_LISA de l'aquifère	Surface de l'entité aquifère (km ²)	Nb. Débit spécifique (m3/h/m)	Densité de point pour 100 km ²
107C	Sables et Grès de Fontainebleau	41	0	0,00
107G	Calcaires de Brie	289	0	0,00
113A	Calcaires de Champigny et faciès gypseux associés	407	1	0,25
113K	Sables et Grès de Beauchamp, sables d'Auvers	2 014	13	0,65
113R	Calcaires du Lutétien	3 666	110	3,00
113V	Sables de Cuise de l'Yprésien sup.	4 611	178	3,86
119B	Sables du Thanétien (Paléocène)	6 743	60	0,89
121A	Craie blanche du Turonien sup. au Campanien (Sénonien)	17 613	1 570	8,91
121E	Craie marneuse du Turonien	18 814	69	0,37
122E	Craie marneuse et glauconieuse du Cénomanién	19 067	10	0,05
128A	Sables verts de l'Albien	19 011	12	0,06
128E	Sables et Grès du Néocomien	8 400	2	0,02
131 A	Calcaires Tithonien	14 409	2	0,01
143 A	Calcaires du Bathonien	18 841	9	0,05
F	Alluvions	1 257	69	5,49
Total général		135 183	2 105	

Tableau 7 - Nombre de données de débit exploitable par aquifère

e) Résultats statistiques

La répartition des débits spécifiques de chaque aquifère par les boîtes à moustaches est présentée en Figure 15.

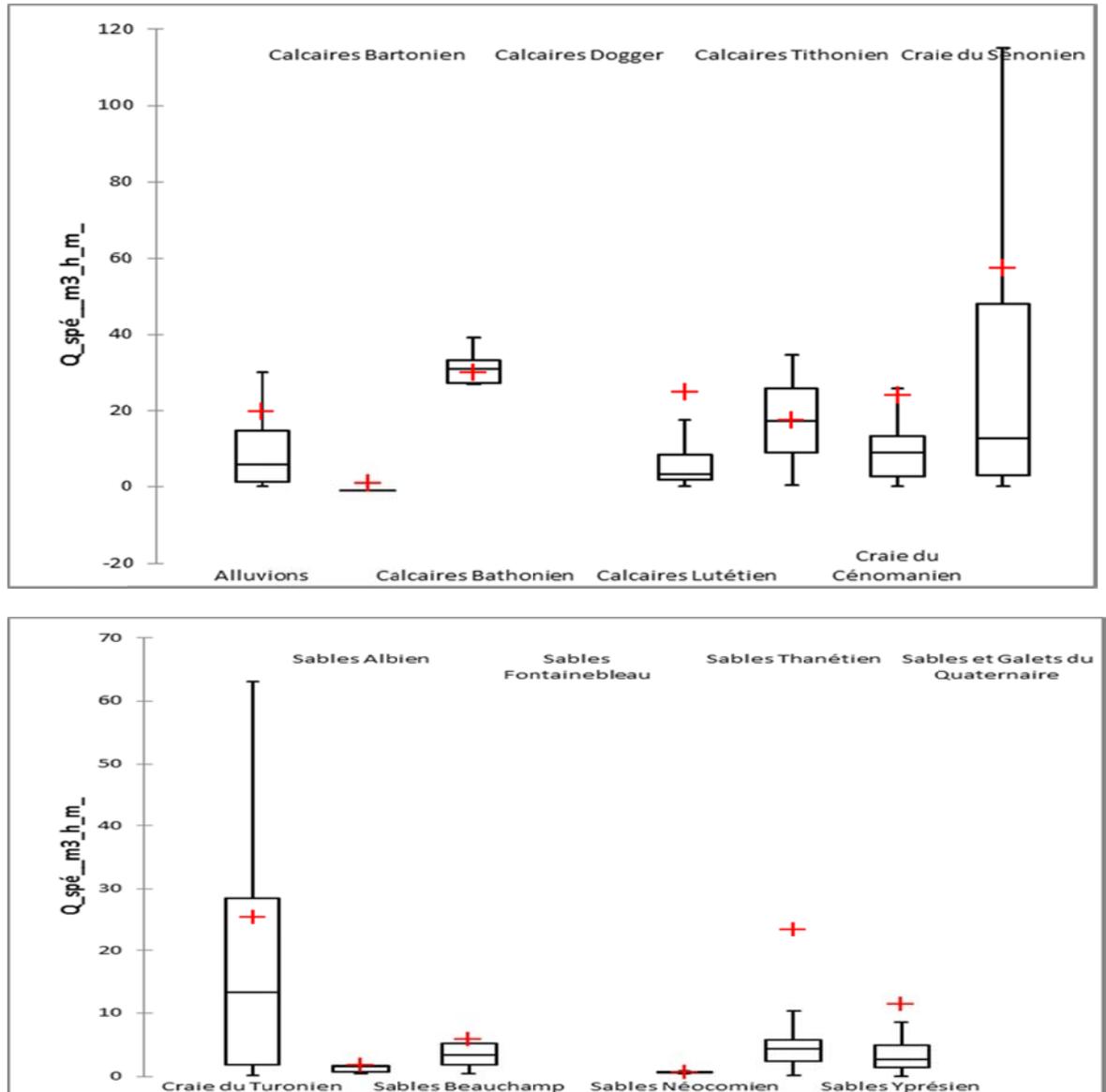


Figure 15 - Représentation en boîte à moustaches des débits spécifiques par aquifère

f) Classification

La classification retenue pour le critère « productivité de l'aquifère » est la suivante par rapport au débit exploitable (Tableau 8) :

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

Tableau 8 - Classes de productivité prises en compte

La distribution des valeurs au sein des classes de productivité prises en compte est hétérogène.

Pour un rabattement théorique de la nappe de 5 m, 14 % des valeurs de débits exploitables recueillis sont inférieures à 5 m³/h et 8 % se trouvent dans la gamme 5 à 10 m³/h.

Pratiquement un tiers des données collectées correspond à la classe de productivité 10 à 50 m³/h et près de la moitié des valeurs (47 %) sont supérieures à 50 m³/h (Figure 16).

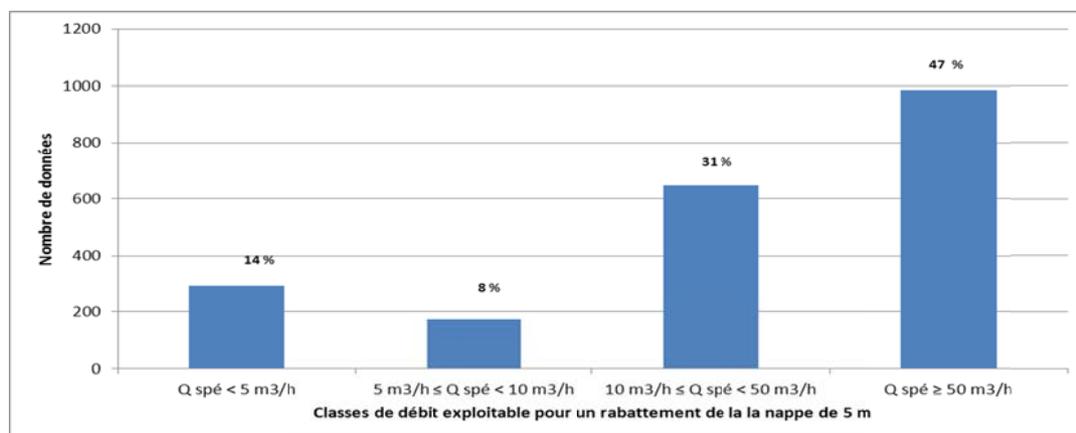


Figure 16 - Distribution des données de débit exploitable collectées au sein des classes de productivité

La Figure 17 illustre la distribution géographique des données de débit spécifique utilisées en Picardie.

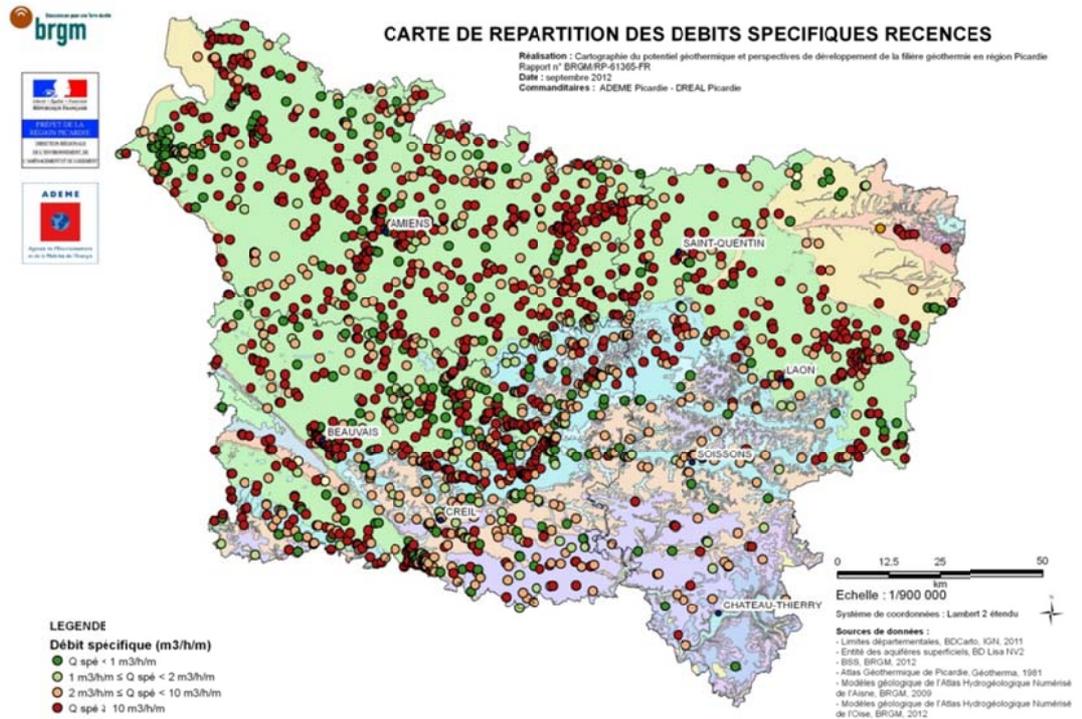


Figure 17 - Carte des données ponctuelles des débits spécifiques

g) Méthodes de spatialisation des données

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

L'approche géologique a été privilégiée lorsqu'une influence se vérifiait sur les données ponctuelles. Cette méthode s'est révélée particulièrement pertinente dans le cas des aquifères multicouches. La distinction des zones libres et captives (présence d'un recouvrement) a parfois expliqué la distribution des valeurs de débits, et/ou a permis de discerner les zones renseignées de celles où l'information manquait (par exemple, les valeurs de débit exploitable utilisées sont plus abondantes dans les zones affleurantes).

Pour les entités du Séno-Turonien, les zones de vallées - où la craie est plus fracturée - sont globalement plus productives que les zones de plateaux. La topographie a été utilisée pour délimiter les vallées.

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

h) Carte de productivité de la ressource du meilleur aquifère

La carte régionale de productivité de l'aquifère de la craie figure en annexe (Annexe 2).

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

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

3.4.3. Température de la ressource

a) Définition

Le critère « température de la ressource » est comme le critère « productivité de la ressource » représentatif du rendement de l'exploitation de l'aquifère pour un usage géothermique. En effet l'eau de la nappe est utilisée comme fluide caloporteur. L'énergie qu'elle contient sous forme de « chaleur sensible » (c'est-à-dire sans changement de phase, l'eau restant à l'état liquide) est exploitée pour un usage géothermique notamment pour les propriétés suivantes : forte capacité calorifique de l'eau (transfert rapide de la chaleur entre le réservoir et la surface) et température quasi constante au cours de l'année. Compte-tenu des basses températures des nappes superficielles (10 à 13°C), les calories destinées au chauffage sont extraites par pompe à chaleur (PAC) qui prélève l'énergie de la nappe aquifère pour augmenter la température d'un fluide secondaire jusqu'à une température compatible avec l'usage. Ce delta de température est directement proportionnel au rendement de l'installation.

b) Sources de données

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

En région Picardie, la température de l'eau contenue dans les nappes superficielles ne varie que de quelques degrés au cours d'une année autour d'une valeur moyenne qui

varie de 10 à 13°C, suivant les secteurs géographiques. Les faibles valeurs se situent dans les régions les plus élevées en altitude ; les fortes valeurs se rencontrent dans les zones urbaines.

La profondeur de la nappe captée intervient aussi sur la température de l'eau ; on compte en moyenne un accroissement de 1°C tous les 30 mètres.

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

Les valeurs de température représentées dans les deux graphiques suivants n'indiquent pas de corrélations perceptibles entre la température de l'eau et la profondeur de l'ouvrage d'une part (Figure 18) et le niveau piézométrique d'autre part (Figure 19) du fait de la trop faible profondeur des aquifères captés et de l'imprécision des mesures de température ($\pm 1^\circ\text{C}$). Les valeurs sont comprises entre 10 et 13°C entre 0 à 100 m. Ce n'est qu'au-delà de 100 m que la température semble augmenter régulièrement avec la profondeur.

Les valeurs extrêmes devront être écartées en raison de doutes sur la qualité des mesures. Il s'agit de températures inférieures à 8 °C ou supérieures à 15 °C.

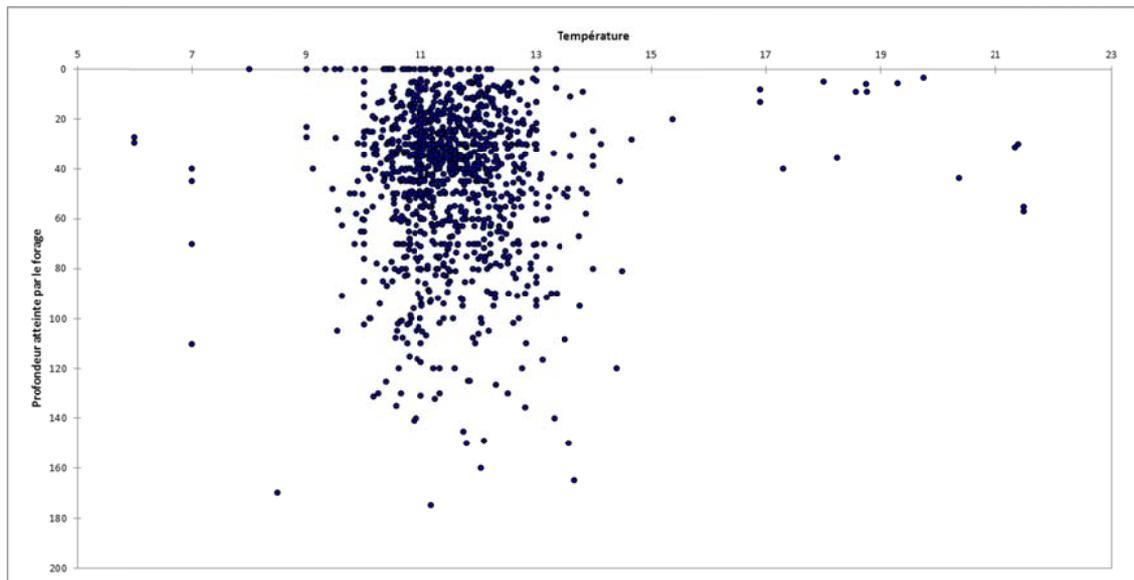


Figure 18 - Corrélation entre les températures des eaux souterraines et les profondeurs des ouvrages

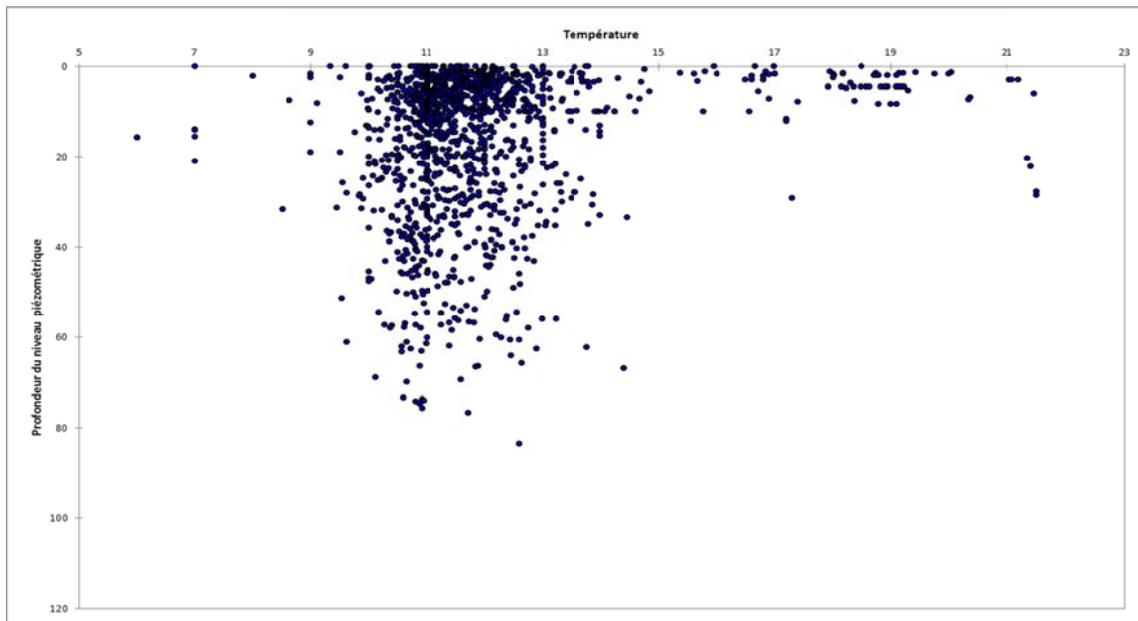


Figure 19 - Corrélation entre les températures des eaux souterraines et les profondeurs des niveaux piézométriques (ou niveau d'eau dans les ouvrages)

c) Données disponibles

1 435 valeurs de température ont permis la caractérisation de la ressource en Picardie pour ce critère (Tableau 9).

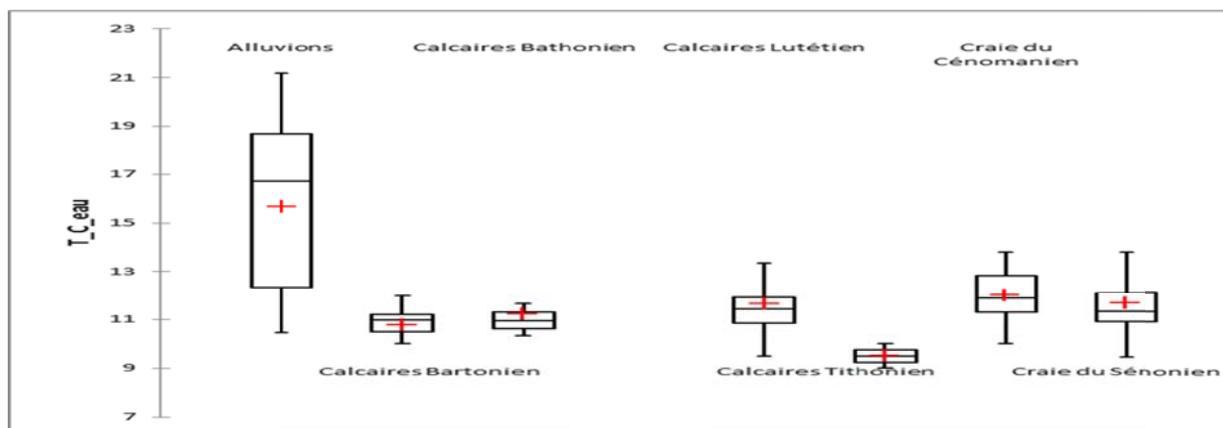
Les densités de points se révèlent très variables d'une entité aquifère à l'autre. La majorité des données de températures (72%) est disponible pour les entités crayeuses (121A et 121E). Cependant, cette variabilité de la densité de points et le nombre de valeurs relativement restreint ne constitue pas une forte contrainte au regard de la faible dispersion des valeurs autour de la classe moyenne.

Code BD_LISA de l'aquifère	Libellé de l'entité BD_LISA de l'aquifère	Surface de l'entité aquifère (km ²)	Nb. de valeurs profondeur d'accès à la ressource	Densité de point pour 100 km ²
107C	Sables et Grès de Fontainebleau	41	2	4,88
107G	Calcaires de Brie	289	0	0,00
113A	Calcaires de Champigny et faciès gypseux associés	407	17	4,18
113K	Sables et Grès de Beauchamp, sables d'Auvers	2 014	5	0,25
113R	Calcaires du Lutétien	3 666	99	2,70
113V	Sables de Cuise de l'Yprésien sup.	4 611	95	2,06
119B	Sables du Thanétien (Paléocène)	6 743	52	0,77
121A	Craie blanche du Turonien sup. au Campanien (Sénonien)	17 613	978	5,55
121E	Craie marneuse du Turonien	18 814	56	0,30
122E	Craie marneuse et glauconieuse du Cénomanién	19 067	7	0,04
128A	Sables verts de l'Albien	19 011	5	0,03
128E	Sables et Grès du Néocomien	8 400	1	0,01
131 A	Calcaires Tithonien	14 409	2	0,01
143 A	Calcaires du Bathonien	18 841	16	0,08
F	Alluvions	1 257	100	7,96
Total général		135 183	1 435	

Tableau 9 - Nombre de données de température par aquifère

d) Résultats statistiques

La répartition des débits spécifiques de chaque aquifère par les boîtes à moustaches est présentée en Figure 21.



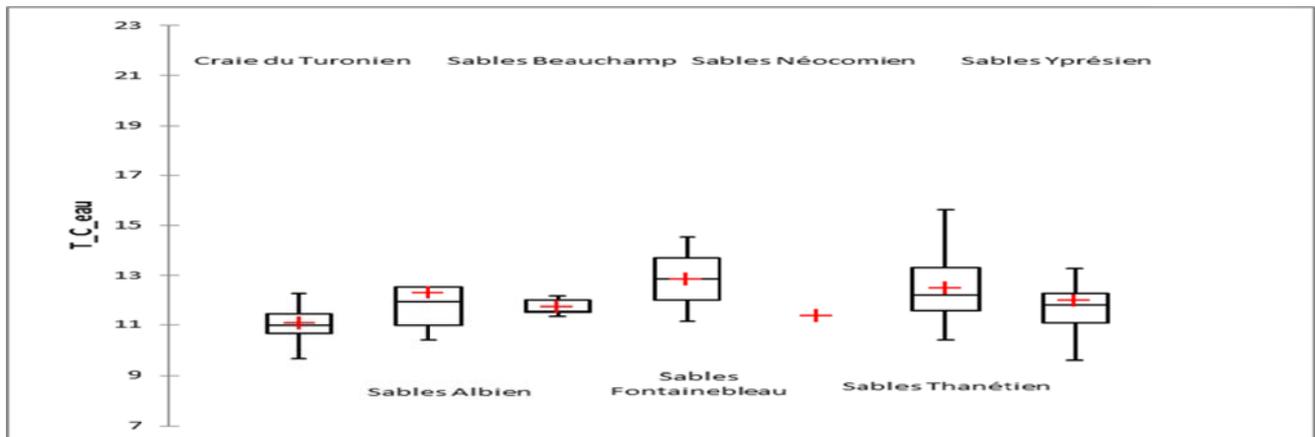


Figure 20 - Représentation en boîte à moustaches des températures par aquifère

e) Classification

La classification retenue pour le critère « température de la ressource » est basée sur l'évolution du degré d'efficacité d'une PAC utilisée en mode chauffage en fonction de la température de la ressource (Tableau 10).

Classe de température	Commentaire
Température < 10°C	Peu favorable car difficultés pour le fonctionnement d'une PAC en mode chauffage.
10°C ≤ Température < 15°C	Favorable au fonctionnement d'une PAC en mode chauffage et climatisation et au free-cooling.
T ≥ 15°C	Très favorable mais difficulté pour le fonctionnement d'une PAC en mode climatisation.

Tableau 10 - Classes de température d'aquifère prises en compte

Sur les 1 435 valeurs disponibles, la classe moyenne regroupe 91 % des valeurs : presque la totalité des températures sont comprises entre 10°C et 15°C.

3 % des données de l'échantillon sont inférieures à 10°C et 7 % sont supérieures à 15°C (Figure 21).

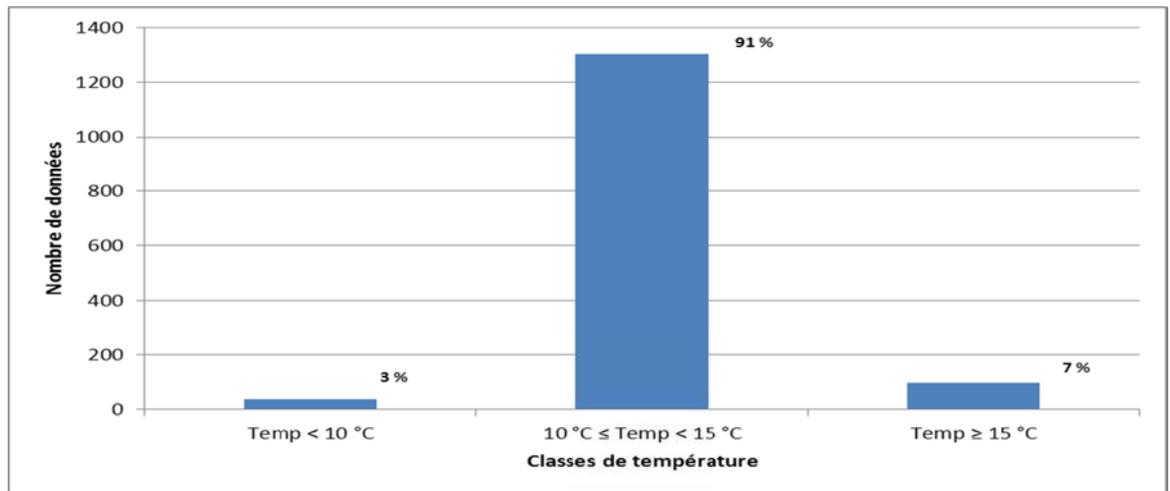


Figure 21 - Nombre de données par classes de température

La Figure 22 illustre la distribution géographique des données de « température de la ressource » utilisées en Picardie.

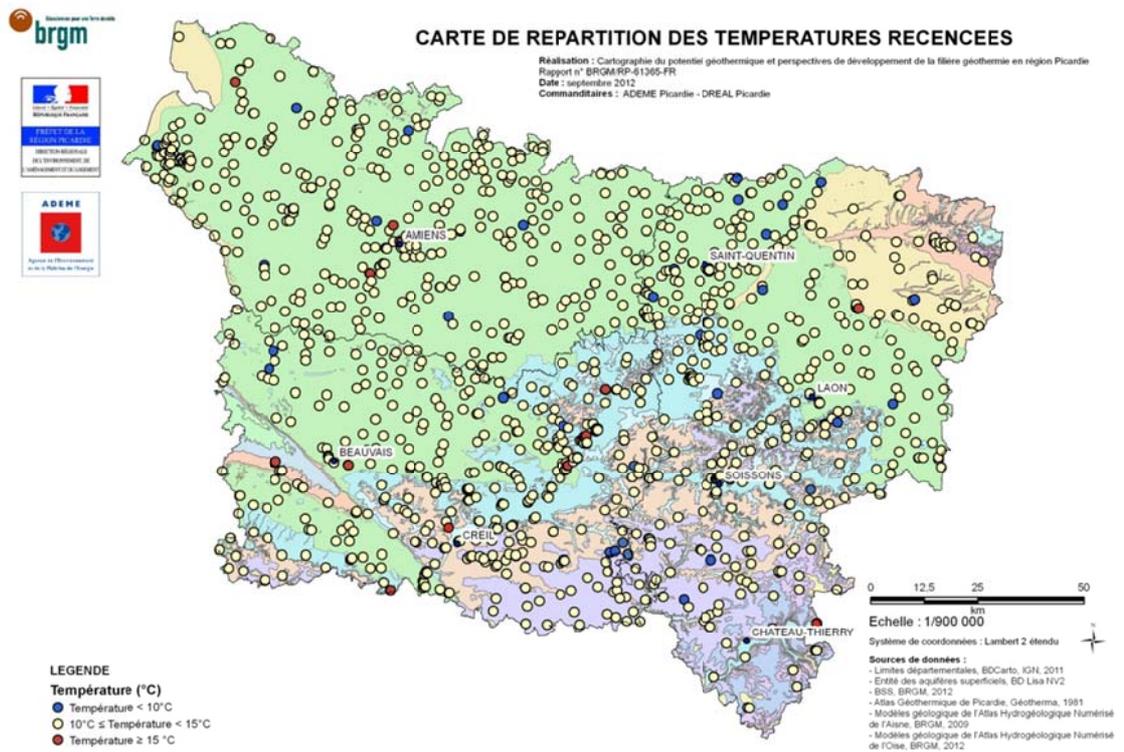


Figure 22 - Carte des données ponctuelles de température

f) Méthode de spatialisation des données

Les valeurs de températures disponibles par aquifère présentent une faible variabilité en regard des classes définies pour ce critère (Figure 21). L'approche statistique a été privilégiée, avec attribution d'une classe de température unique (15 – 20°C) à l'ensemble des aquifères.

3.4.4. Qualité de la ressource

Dans le cadre de l'évaluation du potentiel géothermique, le critère qualité de la ressource rend compte du caractère corrosif, encroûtant ou colmatant d'une eau souterraine. Il joue un rôle sur l'évaluation économique d'un projet car la typologie des matériels utilisés doit être adaptée à la chimie des eaux.

Les phénomènes mis en jeu sont complexes (réactions chimiques de précipitation, dissolution) et font intervenir une gamme importante de paramètres du milieu qui ne sont pas toujours disponibles pour tous les aquifères (une forte hétérogénéité existe d'un aquifère à l'autre). Le nombre de données qualitatives de la ressource étant insuffisant, ce paramètre n'a pas été pris en compte dans le calcul du potentiel géothermique des aquifères.

A titre informatif, une gamme de paramètres d'évaluation des contraintes d'exploitation liées à la qualité des eaux ainsi que leur classification est définie dans le SEQ Eaux souterraines² (les seuils proposés proviennent d'avis d'experts basés sur la thermodynamique des équilibres électrochimiques et/ou la bibliographie jugée comme faisant référence en ce domaine).

Les paramètres retenus pour évaluer la qualité des eaux souterraines dans le cadre de la géothermie sur nappe très basse énergie sont présentés ci-après. Les valeurs présentées dans ce chapitre restent indicatives, seule une analyse complète et locale permettra de caractériser avec précision l'impact de la nappe sur les installations de forage et de pompage.

a) Paramètres de caractérisation du pouvoir corrosif des eaux souterraines

➤ CO₂ dissous

- [CO₂ dissous] < 50 mg/l : aptitude à satisfaire l'usage bonne ;
- 50 mg/l < [CO₂ dissous] < 120 mg/l : aptitude à satisfaire l'usage passable ;
- 120 mg/l < [CO₂ dissous] < 200 mg/l : aptitude à satisfaire l'usage mauvaise ;

² SEQ-Eaux souterraines : grille d'évaluation de l'aptitude des eaux souterraines à différents usages et fonctions établie dans le cadre d'une étude inter-agences de l'eau et en collaboration entre Agences de l'Eau, MATE et BRGM en 2001.

- $[\text{CO}_2 \text{ dissous}] > 200 \text{ mg/l}$: eau brute inapte à satisfaire l'usage → traitement ou équipement adapté nécessaire.

➤ **Conductivité**

- $C < 1300 \mu\text{S/cm}$: aptitude à satisfaire l'usage bonne ;
- $1300 \mu\text{S/cm} < C \leq 3000 \mu\text{S/cm}$: aptitude à satisfaire l'usage passable ;
- $3000 \mu\text{S/cm} < C \leq 6000 \mu\text{S/cm}$: aptitude à satisfaire l'usage mauvaise ;
- $C > 6000 \mu\text{S/cm}$: eau brute inapte à satisfaire l'usage → traitement ou équipement adapté nécessaire.

➤ **pH**

Le potentiel en hydrogène mesure l'activité de protons en solution. On en déduit le caractère acide ou basique d'une solution. Le pH des eaux a une influence sur :

- les phénomènes de corrosion (corrosion plus rapide à $\text{pH} < 6,5$)
- les phénomènes d'entartrage (carbonate de calcium moins solubles à pH élevé)

➤ **Chlorures**

Les ions chlorures sont susceptibles de réagir avec l'eau en produisant de l'acide chlorhydrique. Il s'ensuit localement des zones à pH très faibles qui accélèrent la corrosion du métal. Ainsi, par exemple, l'eau en contact avec du cuivre dans un circuit de pompe à chaleur risque de provoquer des corrosions dès l'instant où la teneur en chlorures est supérieure à 150 mg/l (valeur guide à ne pas dépasser).

- $[\text{Cl}^-] < 150 \text{ mg/l}$: aptitude à satisfaire l'usage bonne ;
- $150 \text{ mg/l} < [\text{Cl}^-] < 400 \text{ mg/l}$: aptitude à satisfaire l'usage passable ;
- $400 \text{ mg/l} < [\text{Cl}^-] < 1000 \text{ mg/l}$: aptitude à satisfaire l'usage mauvaise ;
- $[\text{Cl}^-] > 1000 \text{ mg/l}$: eau brute inapte à satisfaire l'usage → traitement ou équipement adapté nécessaire.

➤ **Sulfates**

- $[\text{SO}_4] < 250 \text{ mg/l}$: aptitude à satisfaire l'usage bonne ;
- $250 \text{ mg/l} < [\text{SO}_4] < 500 \text{ mg/l}$: aptitude à satisfaire l'usage passable ;
- $500 \text{ mg/l} < [\text{SO}_4] \leq 1500 \text{ mg/l}$: aptitude à satisfaire l'usage mauvaise ;
- $[\text{SO}_4] > 1500 \text{ mg/l}$: eau brute inapte à satisfaire l'usage → traitement ou équipement adapté nécessaire.

➤ **Sulfures**

- $[\text{HS}^-] < 0,1 \text{ mg/l}$: aptitude à satisfaire l'usage bonne ;

- 0,1 mg/l < [HS⁻] < 8 mg/l : aptitude à satisfaire l'usage passable ;
- 8 mg/l < [HS⁻] < 50 mg/l : aptitude à satisfaire l'usage mauvaise ;
- [HS⁻] > 50 mg/l : eau brute inapte à satisfaire l'usage → traitement ou équipement adapté nécessaire.

b) Paramètre de caractérisation du pouvoir encroûtant ou colmatant des eaux souterraines : le titre hydrométrique (TH)

Le titre hydrométrique est le seul paramètre de caractérisation du pouvoir encroûtant ou colmatant des eaux souterraines disponible dans les bases de données ADES et BSS en quantité suffisante pour réaliser une analyse de la distribution des valeurs. Le titre hydrométrique (TH), ou dureté de l'eau, est une mesure de la concentration en ions alcalins terreux, calcium et magnésium essentiellement. Il traduit le pouvoir entartrant de l'eau. Ainsi 1°f (degré français) de TH correspond à une concentration de 10 mg/l de carbonate de calcium.

- TH < 10°f : eau douce
- 10 < TH < 20°f : eau moyennement dure
- 20 < TH < 30°f : eau dure
- TH > 30°f : eau très dure

c) Qualité naturelle des nappes superficielles en Picardie

D'après les atlas hydrogéologiques départementaux en Picardie, en régime libre comme en régime captif, les eaux de la nappe de la craie ont un faciès nettement bicarbonaté-calcique. Leur dureté (TH) est forte (> 30°) pour un pH légèrement basique (6,9 à 7,8). Leur minéralisation est moyenne (Résidu sec compris entre 300 et 600 mg/l ; résistivité de l'ordre de 400 à 500 µS/cm à 20° C) mais celle-ci augmente généralement à l'approche du recouvrement tertiaire. Hormis le calcium et les bicarbonates, les ions majeurs rencontrés sont les chlorures (15 mg/l), les sulfates (10 mg/l), les nitrates (25 mg/l), le magnésium (5 mg/l), le sodium (7 mg/l) et le potassium (3 mg/l).

En zone captive les teneurs en sulfates, magnésium et potassium ont tendance à augmenter, tandis que celles des nitrates diminuent. Par contre, d'autres éléments comme le fer, le fluor, le manganèse apparaissent en liaison avec la nature lithologique des terrains sus-jacents (argiles notamment).

En zone de recouvrement alluvial (tourbe, argiles organiques), le milieu aquifère devenant réducteur, outre le fer et le manganèse, apparaît également l'ammoniaque dont une part provient de la réduction des nitrates.

Hormis la nappe des Sables de Fontainebleau (Stampien) dont le faciès est plutôt chloruré sodique ou sulfaté-calcique et magnésien, avec une faible minéralisation (résistivité de l'ordre de 100 µS/cm) et un pH acide (entre 5 et 6), les autres nappes

décrites dans le chapitre précédent présentent toutes des caractéristiques physico-chimiques assez voisines de celle de la craie. Celles-ci montrent des évolutions semblables dans l'espace et dans le temps. Ainsi observe-t-on une augmentation progressive de leur minéralisation dès qu'elles passent d'un régime libre à un régime captif et l'apparition de certains éléments comme le fluor, le magnésium, le potassium, le fer, le manganèse et les sulfates, en proportions variables selon la nature des terrains encaissants. Dans les secteurs à milieu fortement réducteur (zones sous-alluviales par exemple), on dénote également presque toujours des teneurs élevées en fer ferreux.

Globalement, les caractéristiques chimiques des eaux des nappes superficielles en Picardie ne sont pas rédhibitoires à la mise en œuvre d'un dispositif géothermique sur nappe, néanmoins une attention particulière devra être apportée sur le risque de dépôt de tartre dans les tuyaux et la pompe en particulier lors de captage des eaux de la nappe de la craie présentant des valeurs relativement élevées de TH, d'où la nécessité de prévoir des traitements pour lutter contre l'entartrage afin de préserver la pérennité des installations géothermiques.

3.4.5. Indexation des critères

Les classifications retenues pour les différents critères de potentialité géothermique très basse énergie et basse énergie ainsi que leurs indexations sont respectivement présentées en Tableau 11 ci-après.

Critère de potentialité géothermique	Classification de critères	Indexation des classes	Potentialité très basse énergie
Profondeur d'accès à la ressource	Prof < 5m	1	Défavorable
	5 m ≤ Prof < 15 m	4	Très favorable
	15 m ≤ Prof < 30 m	3	Favorable
	30 m ≤ Prof < 100 m	2	Peu favorable
	Prof ≥ 100 m	1	Défavorable
	Non connue précisément	- 9999	
Productivité de l'aquifère	Q < 5 m ³ /h	1	Défavorable
	5 m ³ /h ≤ Q < 10 m ³ /h	2	Peu favorable
	10 m ³ /h ≤ Q < 50 m ³ /h	3	Favorable
	Q ≥ 50 m ³ /h	4	Très favorable
	Non connu précisément	- 9999	
Température de la ressource	T < 10°C	2	Peu favorable
	10°C ≤ T < 15°C	3	Favorable
	T ≥ 15°C	4	Très favorable
	Non connu précisément	- 9999	

Tableau 11 - Classification et indexation des critères de potentialité géothermique des aquifères très basse énergie

3.4.6. Evaluation du potentiel géothermique : pondération des différents critères

Après avoir procédé au recueil des données de base, réalisé des cartes spatialisées par critère et par aquifère (à partir des données de base ponctuelles), il a été procédé à une analyse simultanée de ces cartes par le biais d'un calcul automatisé multicritère,

mené sous SIG. Ce calcul aboutit à une carte du potentiel géothermique pour chaque aquifère.

La méthode de calcul employée a été fixée nationalement, afin d'homogénéiser les rendus des atlas des différentes régions.

Cette méthode revient à évaluer la potentialité géothermique uniquement sur la base des critères productivité, température et profondeur d'accès.

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

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

4 classes de potentiel ressortent de ce calcul :

	Potentiel Fort	$10 < \text{note finale} \leq 16$
	Potentiel Moyen	$6 < \text{note finale} \leq 10$
	Potentiel Faible	$4 < \text{note finale} \leq 6$
	Potentiel non connu précisément	Au moins un des 3 critères est manquant

3.4.7. Représentation : Echelle de restitution des cartes

L'échelle de cartographie du potentiel géothermique est de 500 m (ce qui correspond à une précision au 1/50 000).

Malgré cela et du fait des différentes approximations réalisées (approximations liées au zonage des critères et aux calculs de productivité), l'échelle de restitution des informations aux utilisateurs ne doit pas excéder le 1/100 000 et doit éventuellement se limiter à l'échelle de la commune.

3.4.8. Cartes du potentiel géothermique des aquifères superficiels

Les cartes du potentiel géothermique pour chaque aquifère figurent en Annexe 3.

La proportion de territoire concerné par un potentiel géothermique fort, moyen ou faible est donnée dans le Tableau 12. Dans le cas d'une superposition d'aquifères, c'est le meilleur potentiel qui a été retenu. La surface de territoire où le potentiel géothermique n'a pas pu être estimé (potentiel non connu précisément) est évaluée à 2,3 %.

Potentiel géothermique du meilleur aquifère	% du territoire concerné
Fort	85,7 %
Moyen	11,8 %
Faible	0,2 %
Non connu précisément	2,3 %

Tableau 12 - Pourcentage du territoire concerné, en fonction du potentiel géothermique attribué

La carte régionale du potentiel géothermique du meilleur aquifère (Annexe 5) montre qu'environ 97,7 % de la superficie de la région Picardie disposent de données pour le calcul du potentiel (Figure 25). Reste que 2,5 % de la région ne sont pas favorables à l'installation d'une PAC sur aquifère. Ces secteurs correspondent aux zones où les ressources en eau sont très limitées voire inexistantes (formations peu ou pas aquifères : socle des Ardennes, formations argileuses du Pays de Bray, Bas-Champs,...). Dans ces zones où les ressources en eau sont très limitées voire inexistantes le maître d'ouvrage pourra envisager une opération géothermique sur sondes sèche.

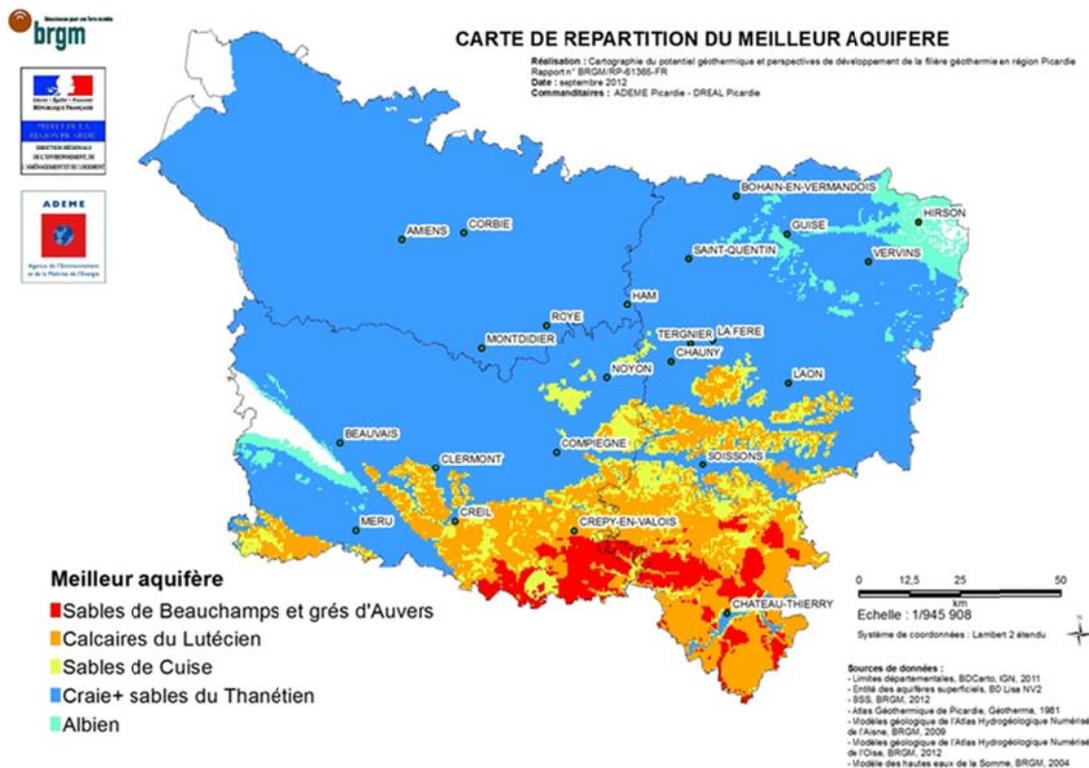


Figure 23 - Carte de répartition du meilleur aquifère superficiel

Le détail pour les principaux aquifères superficiels exploitables est donné dans le Tableau 13.

Potentiel géothermique de l'aquifère	Sables de Beauchamp et grès d'Auvers (présent sur 9,4 % du territoire régional)	Calcaires du Lutécien (présent sur 19,8 % du territoire régional)	Sables de Cuise (présent sur 21,5 % du territoire régional)	Craie + sables du Thanétien (présent sur 96,6 % du territoire régional)	Albien (présent sur 13,6 % du territoire régional)
Fort	43,5	78,7	74,7	68,0	3,8
Moyen	51,3	21,2	24,9	15,3	94,6
Faible	5,2	0,1	0,4	15,5	1,6
Non connu précisément	0	0	0	1,2	0

Tableau 13 - Répartition du potentiel par aquifère

La répartition du meilleur aquifère en fonction du pourcentage de territoire concerné est présentée dans le Tableau 14. L'aquifère de la craie est le meilleur aquifère sur 70 % du territoire, principalement sur la majeure partie du département de la Somme, la partie septentrionale de l'Aisne, le sud et l'ouest de l'Oise. Les nappes de l'Éocène sont les plus intéressantes dans le sud des départements de l'Oise et de l'Aisne. La nappe de l'Albien présente un intérêt local là où elle est affleurante ou sub-affleurante en pourtour de l'anticlinal du Pays de Bray, et dans le nord-est du département de l'Aisne

Meilleur aquifère	% du territoire concerné
Sables de Beauchamp et grès d'Auvers	3,3 %
Calcaires du Lutécien	9,2 %
Sables de Cuise	11,9 %
Craie + sables du Thanétien	70,3 %
Albien	3,1 %

Tableau 14 - Répartition des meilleurs aquifères en fonction de la proportion du territoire concerné

Par ailleurs, la répartition du nombre d'aquifères en fonction du pourcentage de territoire concerné est présentée dans le Tableau 15. A l'échelle de la région Picardie, 98,3 % du territoire possèdent dans son proche sous-sol des ressources en eau susceptibles d'être exploitées. 24,2 % de la superficie régionale sont concernés par une superposition de 2 à 4 aquifères, qui se situe principalement dans la partie sud-est

de la région avec la stratification des nappes de l'Eocène au-dessus de la celle de la craie. Pour près des $\frac{3}{4}$ de la région, un seul aquifère situé à une profondeur inférieure de 100 m est présent.

Nombre d'aquifère(s)	% du territoire concerné
1 aquifère	74,1 %
2 aquifères	10,0 %
3 aquifères	7,6 %
3 aquifères	6,6 %
Pas d'aquifère	1,7 %

Tableau 15 - Proportions du territoire concerné par une superposition des entités aquifères définies dans cette étude

4. Cartographies du potentiel géothermique basse énergie

4.1. METHODOLOGIE

Les aquifères profonds de la région Picardie permettent d'envisager le développement d'opérations de géothermie « Basse Energie ». Ces aquifères sont représentés principalement par deux niveaux perméables du Jurassique (Aquifères du Lusitanien d'âge Oxfordien Supérieur et du Dogger) et par l'aquifère du Trias. A ces deux aquifères principaux ont été ajoutés les aquifères du Lias inférieur (le Sinémurien et l'Hettangien) et du Rhétien. Pour ce faire, une caractérisation de ces aquifères a été menée.

Le potentiel géothermique basse énergie des aquifères profonds se définit principalement à partir des paramètres que sont la température, la transmissivité (qui permettra in fine de déterminer un débit de production) et la profondeur d'accès à la ressource.

Dans un premier temps, des valeurs ponctuelles et mesurées des paramètres pouvant être utiles à la détermination du potentiel ont été récupérées. Pour cela, il a été nécessaire d'analyser les données issues d'anciens forages (pétroliers ou géothermiques) qui ont atteint les aquifères ciblés.

Dans un second temps, les données ponctuelles ont fait l'objet d'interpolation en complétant des synthèses existantes pour produire des cartes à l'échelle de la région Picardie. Les cartographies correspondent tout d'abord à des cartes uni-critère (principalement, profondeur, température, épaisseur, perméabilité) dont les données ont été ensuite croisées pour déterminer le potentiel géothermique (épaisseur utile, c'est à dire productrice, et perméabilité permettant de déterminer la transmissivité).

4.1.1. Analyse des Rapports de Fin de Sondage (RFS)

La région Picardie a fait l'objet de nombreuses campagnes de prospections pétrolières et de très peu de prospections géothermiques. Les données de ces forages sont à la base de la connaissance de la ressource en eau des aquifères profonds.

L'analyse des rapports de fin de sondage réalisés dans le cadre de la recherche pétrolière, du stockage souterrain de gaz, et de la géothermie avait pour but la récupération d'un certain nombre de paramètres descriptifs des forages sélectionnés. Ce travail a permis de recenser et de situer les données pertinentes géographiquement dans un Système d'Information Géologique (SIG). L'analyse des rapports de fin de sondage a été sous-traitée à la société GeoGreen qui est un bureau d'études spécialisé dans l'interprétation des données géologiques profondes.

Les données sur les aquifères ont été collectées en cohérence avec le cadre hydrogéologique existant (référentiel BD LISA du BRGM), afin de conserver la

nomenclature de la base de données existante sur les eaux souterraines de la région Picardie. A partir des rapports de fin de sondage, il a été extrait et collecter les données (profondeur, débit, température probable, données géochimiques des eaux des réservoirs, porosité, perméabilité (horizontales et verticales), épaisseurs totales et utiles) de forages pour l'acquisition des éléments destinés à la réalisation des cartes correspondantes.

La Figure 24 ci-après présente la méthodologie de travail du bureau d'études GeoGreen pour la récupération des données ponctuelles et la mise en correspondance avec la BD Lisa.

Les données suivantes ont été recherchées pour chaque puits :

- coordonnées XY en Lambert 2 étendu ;
- code BSS, nom forage, codification forage, lithologie simplifiée ;
- cotes foreurs et toit/mur niveaux cibles, hauteurs totales et utiles ;
- valeurs de porosité (issues de carottes ou de diagraphies), perméabilité (et/ou transmissivité), salinité, débits température et pression.

L'ensemble de ces données a été rassemblé dans un fichier Excel® (Figure 25) pour mettre le traitement SIG.

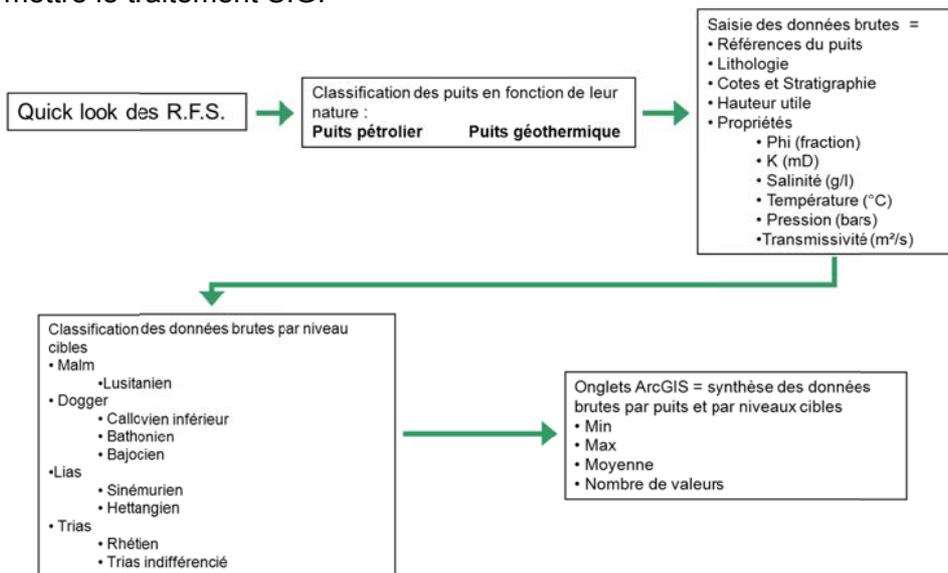


Figure 24 - Méthodologie employée par GeoGreen pour l'analyse des RFS

INDICE	EN_BSS	BEPH	Noms	DESIGNATION	LIEN	COUPE_GEOL	LOG_GEOLOG	LOG_GEOLOG_V	DPT	COM	COMMUNE	LIEU_DIT	NATURE	K_LZE	Y_LZE	X_Lamb_1	Y_Lamb_1	X_Lamb_93	Y_Lamb_93	
X	0061X0002	1972	14-1515	Belleuse 101	BE101	Presente	Present		80	211	CONTY	BELLEUSE 101	SONDAGE	584956	2524281	584976	223.956	637085	6957695	
	0061X0002	1972	14-1515	Belleuse 101	BE101	Presente	Present		80	211	CONTY	BELLEUSE 101	SONDAGE	584956	2524281	584976	223.956	637085	6957695	
	0061X0002	1972	14-1515	Belleuse 101	BE101	Presente	Present		80	211	CONTY	BELLEUSE 101	SONDAGE	584956	2524281	584976	223.956	637085	6957695	
	0061X0002	1972	14-1515	Belleuse 101	BE101	Presente	Present		80	211	CONTY	BELLEUSE 101	SONDAGE	584956	2524281	584976	223.956	637085	6957695	
	0061X0002	1972	14-1515	Belleuse 101	BE101	Presente	Present		80	211	CONTY	BELLEUSE 101	SONDAGE	584956	2524281	584976	223.956	637085	6957695	
X	0032X0007	1976	14-1137	Nibas 101	NI 101	Presente	Present		80	597	NBAS	NBAS	SONDAGE	548954	2564494	547.04	264.12	599441	6990202	
	0032X0007	1976	14-1137	Nibas 101	NI 101	Presente	Present		80	597	NBAS	NBAS	SONDAGE	548954	2564494	547.04	264.12	599441	6990202	
	0032X0007	1976	14-1137	Nibas 101	NI 101	Presente	Present		80	597	NBAS	NBAS	SONDAGE	548954	2564494	547.04	264.12	599441	6990202	
	0032X0007	1976	14-1137	Nibas 101	NI 101	Presente	Present		80	597	NBAS	NBAS	SONDAGE	548954	2564494	547.04	264.12	599441	6990202	
	0032X0007	1976	14-1137	Nibas 101	NI 101	Presente	Present		80	597	NBAS	NBAS	SONDAGE	548954	2564494	547.04	264.12	599441	6990202	
LONGITUDE	LATITUDE	Z_tube	Z_SOL	PREC_Z_SOL	PROF_EAU_5	DATE_EAU	PROF_TRAVA	DATE_TRAVA	DIAM_TUBAG	NBR_OBSERV	RESEAU	Z_COUPE	PREC_Z_COUP	PROPRIETAI	EXPLOITANT	MAITRE_OU	ENTREPRENE	ETAT	UTILISATION	
2.12815	49.7152	142.25	139	RNG	0	1031.15	21400	0	0	0	139	RNG								
2.12815	49.7152	142.25	139	RNG	0	1031.15	21400	0	0	0	139	RNG								
2.12815	49.7152	142.25	139	RNG	0	1031.15	21400	0	0	0	139	RNG								
2.12815	49.7152	142.25	139	RNG	0	1031.15	21400	0	0	0	139	RNG								
2.12815	49.7152	142.25	139	RNG	0	1031.15	21400	0	0	0	139	RNG								
1.59661	50.0741	88.7	87.2	RNG	0	966	20852	0	0	0	87.2	RNG								
1.59661	50.0741	88.7	87.2	RNG	0	966	20852	0	0	0	87.2	RNG								
1.59661	50.0741	88.7	87.2	RNG	0	966	20852	0	0	0	87.2	RNG								
RECHERCHE	EXPLOITATIO	RECONNAISS	Nv	Niveau cible	Commentaires	Niveau cible -	Niveau cible -	Niveau cible -	Niveau cible -	Lithologie	Phi_min	Phi_max	Phi_moy	libre de	Type_Phi	Phi_min	Phi_max	Phi_moy	Nbre de	
HYDROCARBURE		ANCE	Geologique	LUSTANEN		483	880	-340.75	-537.75	Sables de Glac	11	12.2	11.6	2	Carotte					
HYDROCARBURE				BATHONEN		769	856	-626.75	-713.75	Calcaire	1.2	15.9	8.55	2	Carotte					
HYDROCARBURE				BAJOCIEN		856	872	-713.75	-729.75	Marne										
HYDROCARBURE				BAJOCIEN		872	902.5	-729.75	-760.25	Calcaire	5.1	13.5	9.3	2	Carotte					
HYDROCARBURE				SNEURBENHETTANGEN		957	975.5	-814.75	-833.25	Marnes argilo-calcaires griseuses										
HYDROCARBURE				TRIAS		975.5	1010	-833.25	-867.75	Conglomérat C0	8.6	12.5	10.55	2	Carotte					
HYDROCARBURE				PERMIEN	LUSTANEN	275	370	-186.3	-281.3	Calcaire										
HYDROCARBURE				PERMIEN	BATHONEN	489	562.5	-400.3	-473.5	Calcaire	0	24	11.375	16	Carotte					
HYDROCARBURE				PERMIEN	BAJOCIEN	562.5	590	-473.5	-501.5	Calcaire	10	23	16	4	Carotte					
HYDROCARBURE				PERMIEN	SNEURBENHETTANGEN	590	615.5	-501.5	-529.5	Marne argileuse	7	21	14.83333333	6	Carotte					

Figure 25 - Structure type de la feuille Excel synthétisant les données disponibles.

4.1.2. Forages étudiés

L'étude portait sur 62 puits classés de la façon suivante :

- Puits pétroliers = 54
- Puits géothermiques = 8

Ces puits sont situés principalement en région Picardie (Figure 26 et Annexe 8) :

- Oise = 37
- Aisne = 20
- Somme = 2

Trois puits sont en limite de la région Picardie :

- Nord-ouest de la Marne = 1
- Nord du Val d'Oise = 2

Les 62 puits ont atteint ou traversé le Lusitanien, le Dogger et le Lias inférieur (Figure 26 et Annexe 5) dont :

- 32 qui s'arrêtent dans le Bathonien (Dogger)
- 1 qui s'arrête dans le Bajocien (Dogger)
- 2 qui s'arrêtent dans le Lias
- 8 qui s'arrêtent dans le Trias
- 19 qui s'arrêtent dans le socle

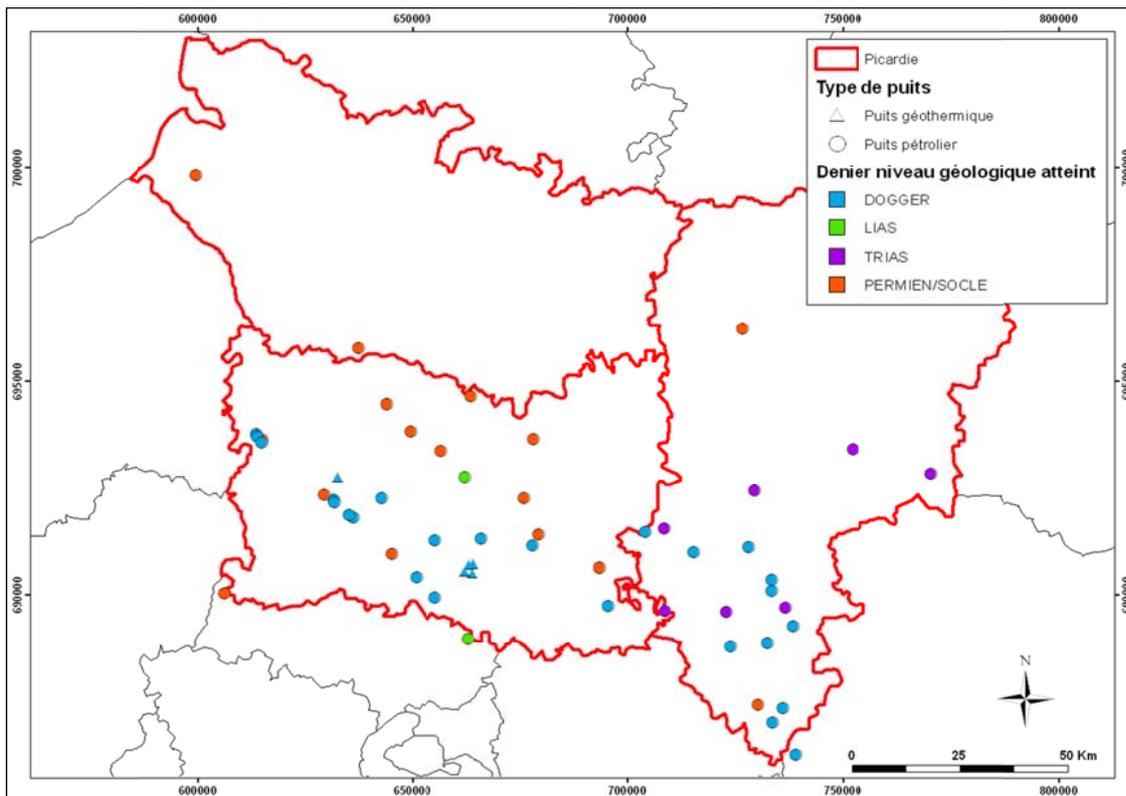


Figure 26 - Répartition des puits par niveau géologique final

Pour plus de détails sur la méthodologie, le BRGM dispose d'un rapport technique détaillé qu'il peut mettre à disposition sur simple demande à l'un des auteurs du présent rapport.

4.1.3. Méthodologie d'étude et limites des données utilisées

Lorsqu'elles étaient disponibles, quelques débits exploitables (18 des 62 forages étudiés) des aquifères traversés ont pu être recueillis. Cette difficulté résulte du type d'objectifs que se fixe un opérateur de forage. L'opérateur pétrolier recherche la présence d'hydrocarbures dans la cible qu'il s'est fixée, tandis que l'opérateur en géothermie recherche la productivité de l'aquifère, c'est-à-dire le débit d'exploitation qu'il pourra en tirer, lequel, avec la température, détermine la puissance thermique de l'opération

Des difficultés ont été rencontrées, notamment dans la mise en correspondance entre les données contenues dans les RFS et le découpage hydrogéologique, mais aussi, et surtout, lors de la synthèse des données de perméabilité et leur interpolation à l'ensemble du territoire régional. Cette dernière difficulté résulte du fait que l'opérateur pétrolier procède systématiquement pas prélèvement de carottes des formations cibles qu'il a identifiées en vue d'y rechercher des traces d'hydrocarbures et que la mesure de perméabilité sur carotte ne rend compte que de la perméabilité matricielles de la roche réservoir sans permettre d'apprécier la perméabilité générée par la présence de

fissures dans celle-ci. Le test de l'aquifère intègre l'ensemble de ces perméabilités. Le problème, qui reste encore à résoudre au titre de la recherche fondamentale en géologie et hydrogéologie, consiste à établir une correspondance fiable entre les deux valeurs de perméabilité, en fonction de la nature lithologique des formations considérées. L'élaboration d'une telle solution de correspondance permettrait de disposer de données plus importantes dans la mesure où il existe généralement dans les bassins sédimentaires un grand nombre de puits pétroliers et un petit nombre de puits géothermiques, ce qui conduirait à une extrapolation plus fiable des modèles.

De ce fait, la finalité de l'analyse des rapports de fin de sondage qui était la collecte de paramètres géolocalisés permettant d'évaluer ou de calculer le potentiel géothermique des aquifères profonds du Lusitanien, du Dogger, du Lias et du Trias de la région Picardie et qui devait se faire à partir d'un maillage de points (forages) par interpolation des valeurs de perméabilité, salinité, température et de perméabilité, n'a pas atteint cet objectif du fait de l'impossibilité de calculer les valeurs de transmissivité à partir des valeurs de perméabilité et d'épaisseurs utiles relevées dans les RFS pétroliers.

Cet objectif s'est heurté de plus à deux difficultés supplémentaires difficiles à contourner :

- nous disposons, d'une part, de peu de données pour les niveaux réservoirs du Lias et du Trias ; d'autre part, la distribution spatiale du jeu de données n'est pas homogène : la plupart des valeurs se trouve dans la partie sud de la région, en bordure de la région Île-de-France. Dans les parties nord de la région Picardie, nous ne disposons que de quelques forages, probablement du fait qu'arrivant en limite du bassin sédimentaire, on peut penser que les cibles pétrolières n'ont pas été jugées potentiellement productives au nord de la région ;

- en plus de la mauvaise répartition géographique du jeu de données, il existe une forte variabilité spatiale des paramètres utilisés et donc peu de tendances permettant une interpolation précise. Par exemple, des forages très proches peuvent avoir des valeurs de perméabilité très différentes.

Ce phénomène concerne notamment la nature géologique d'un aquifère productif au sein de la même formation géologique. On pourrait penser que la perméabilité, mesurée en cours de forage, d'une même formation pourrait être étendue à une formation de même faciès dont la perméabilité n'a pas été mesurée. Cependant, les faciès peuvent changer radicalement dans un faible espace correspondant pourtant à une formation d'âge équivalent. Dans un tel contexte, l'épaisseur utile des aquifères étudiés souffre de la même variabilité que les perméabilités évoquées ci-dessus. Ces travaux, qui relèvent d'une discipline géologique dénommée « Stratigraphie séquentielle », sont actuellement en cours de développement au BRGM.

Également, l'objectif principal est d'estimer le potentiel de ces aquifères, c'est-à-dire la productivité potentielle qui peut être attendue d'un forage captant l'une ou l'autre de ces formations. Pour estimer le potentiel d'un aquifère, il s'agit d'en estimer la transmissivité des aquifères, qui correspond au produit de la perméabilité par l'épaisseur utile de l'aquifère. Or, comme il a été précisé ci-avant, les nombreuses

valeurs de perméabilité obtenues fournissent in fine des données trop variables et sans doute pessimistes qui ne peuvent être exploitées pour estimer le potentiel aquifère.

Pour compléter ce commentaire, il importe de considérer que nous avons pris la décision, sinon de rejeter les perméabilités mesurées sur carottes, de les ajuster sur des zonages de proximité avec un coefficient de sécurité optimisé pour ne pas risquer de fournir des informations par trop erronées.

4.1.3. Données complémentaires

Pour pallier ce manque de données exploitables, nous avons décidé de compiler d'autres sources d'information afin d'améliorer la compréhension de ces réservoirs.

Deux rapports de la fin des années 1970 ont principalement été consultés (Housse, B., Maget, Ph., Potentiel Géothermique du bassin de Paris, BRGM, ELF Aquitaine, BRGM/RR-29146-FR, Mai 1976 et le rapport Géotherma, Inventaire géothermique de la région Picardie, 1981). Ces rapports synthétisent plusieurs années d'études sur différents aquifères profonds.

4.1.4. Réalisation de cartes uni-critère

La plupart des données de porosité ayant été mesurées sur carottes (valeurs obtenues sur des échantillons restreints de roches prélevés au moyen d'outils spécialisés à l'intérieur du forage, qui sont généralement considérées comme peu fiables du fait de la forte variabilité des mesures et de la non prise en compte du paramètre de viscosité).

Les grilles de transmissivité ne peuvent être réalisées étant donné la variété et les incohérences des données ponctuelles. En effet, les seules données de transmissivité interprétées obtenues à partir des Rapports de Fin de Sondage (RFS) sont insuffisantes pour compléter les travaux réalisés en fin des années 70. Les cartes de transmissivité réalisées au cours de cette étude sont donc une synthèse des valeurs ponctuellement relevées (RFS des forages géothermiques) et des courbes d'isotransmissivités déduites des travaux des années 1970 (rapport sur le Potentiel Géothermique du bassin de Paris, 1976).

Au final, seules les grilles d'épaisseur totale, d'épaisseur utile, de profondeur au toit des formations, de salinité et de températures des réservoirs ont été générées et ont permis la réalisation de cartes.

Ainsi, les cartes concernant les critères suivants, et pour les deux aquifères retenus sont présentées en annexe 8 :

- les profondeurs (toits des aquifères) ;

- La grille du toit du **Dogger** provient de la synthèse de plusieurs études menées par le BRGM : des données numériques d'altitude de plusieurs surfaces géologiques (toit du repère K, toit du Dogger calcaire et toit du Trias), élaborées au cours de travaux antérieurs. Des données mises à jour dans le cadre d'une étude plus récente grâce à l'intégration d'un plus grand nombre de forages profonds, et de données structurales de synthèse, dont : des données de forages provenant de la base des logs validés du BRGM, des données structurales de synthèse, issues de la réinterprétation de profils sismiques, le long de transects dans le bassin de Paris, les données issues des cartes géologiques à 1/50 000 vectorisées qui matérialisent les lieux où la surface vient recouper la topographie actuelle.
- La grille du toit du **Lusitanien** a fait l'objet d'un travail spécifique car cet aquifère est encore peu étudié. Elle a été générée par interpolation à partir des forages analysés au cours de cette étude, des données structurales affectant cet aquifère et des isobathes du rapport Géotherma (Inventaire géothermique de la région Picardie, 1981). Cette interpolation a été effectuée avec le logiciel GDM, par krigeage avec un variogramme composé de deux modèles combinés (linéaire et gaussien) sans dérive.

- les températures :

- Les données brutes de température sont limitées et souvent de nature très diverse (profondeur de mesure, prise en compte d'une correction en fonction de l'état du forage lors de la mesure, tel que présence de boues de forage, mesure avant ou après développement du puits, etc.).
- de ce fait, la cartographie des températures a été réalisée en prenant en compte les courbes isothermes du rapport sur le Potentiel Géothermique du bassin parisien de 1976 et le quelques valeurs retenues des RFS analysés (puits géothermiques). Seules des grilles de tendance ont pu être générées afin de mettre en évidence des zones où les températures sont potentiellement plus élevées dans la région.

- les épaisseurs totales :

- Pour évaluer les épaisseurs totales des aquifères (Dogger et Lusitanien), il était nécessaire de connaître les murs de chaque réservoir. La grille du mur du Dogger provient de la même étude que celle du toit du Dogger. Elle est très bien contrainte par de nombreux paramètres, cet aquifère ayant fait l'objet de nombreux travaux. Par contre, la grille du mur du Lusitanien a été, à l'instar de la grille du toit de cet aquifère, générée au cours de cette étude à partir des forages

analysés. Cette interpolation a été effectuée avec le logiciel GDM, par krigeage avec un variogramme composé de deux modèles combinés (linéaire et gaussien) sans dérive. Cette grille est moins contrainte mais permet d'avoir un premier aperçu global tenant compte des valeurs issues des RFS analysés et des données structurales. Les grilles d'épaisseurs totales ont été obtenues par soustraction des grilles de toit et de mur de chaque réservoir.

- les épaisseurs utiles :

- Pour l'aquifère du **Dogger**, à dire d'expert à partir de l'expérience accumulée sur cet aquifère en Ile-de-France, nous avons considéré que l'épaisseur utile de ce réservoir était de l'ordre de 20 % de l'épaisseur totale du réservoir. Pour valider cette démarche, nous avons donc calculé les valeurs d'épaisseur utile avec des pourcentages. Puis nous avons confronté ces valeurs avec celles des forages géothermiques saisies dans le fichier Excel issu du dépouillement des RFS. Nous nous sommes rendu compte de l'inadéquation des valeurs déduites de notre premier calcul par rapport aux données issues des RFS. Cette inadéquation est due à la forte variabilité des valeurs de hauteurs utiles indiquées par les foreurs (Exemple pour le forage géothermique de Creil : Indice 01274X0387 : HT = 178, HU = 79 soit 44 % (Bathonien). Exemple pour le forage géothermique de Beauvais : Indice 01024X0108 : HT = 207, HU = 25 soit 12 %).

Au vu de ces résultats, nous avons donc décidé de nuancer notre approche et nous avons défini un zonage de la région selon lequel les hauteurs utiles seraient plus ou moins importantes (en fonction de la connaissance géologique du réservoir et des contraintes structurales).

- Le **Lusitanien** étant encore peu étudié, nous n'avons pas ou peu d'informations sur son potentiel aquifère et aucune indication sur la valeur de pourcentage à retenir pour le calcul de l'épaisseur utile. De plus, après consultation du fichier contenant les données recueillies à partir des RFS, nous nous sommes rendu compte que celui-ci ne serait d'aucun secours (aucune valeur de hauteur utile avait été relevée sur cet aquifère lors des forages le traversant). Le zonage permettant d'évaluer ces hauteurs utiles se base donc essentiellement sur la nature géologique et l'épaisseur du réservoir (avec une épaisseur totale assez faible au nord de la ligne Beauvais-Laon).

Les grilles d'épaisseur utile ont été générées à partir des grilles d'épaisseur totale, sous ArcGis, via la calculatrice raster de Spatial Analyst.

- la salinité

- La salinité est un paramètre régissant les conditions d'exploitation de l'opération géothermique et tout particulièrement les risques de corrosion et de dépôts des équipements d'exploitation de la boucle géothermale.
- La cartographie de la salinité des deux aquifères étudiés a été réalisée en prenant en compte les courbes d'iso salinité du rapport sur le Potentiel Géothermique du bassin parisien de 1976 et des quelques valeurs issues des RFS analysés. Seules des grilles de tendance ont pu être générées afin de mettre en évidence des zones où la salinité est potentiellement plus élevée dans la région.

- les transmissivités (produit de la perméabilité par l'épaisseur utile de l'aquifère) :

- la transmissivité est un paramètre régissant le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur de la zone saturée d'un aquifère continu, et par unité de gradient hydraulique. Ce paramètre représente le potentiel productif pouvant être attendu :
- d'un forage exploitant une formation aquifère ;
- comme indiqué précédemment, seules quelques valeurs ponctuelles de transmissivité à l'échelle de la région Picardie ont été mesurées lors de la réalisation des forages (essentiellement sur les forages géothermiques);
- à défaut de pouvoir générer une grille avec des valeurs de transmissivité pour la région Picardie, faute de données suffisantes et pertinentes en entrée, nous avons généré des cartes, pour chacun des deux aquifères, permettant de représenter les valeurs brutes de transmissivité (courbes d'iso-transmissivité) issues des rapports de la fin des années 1970. Sur ces cartes, nous avons également reporté les valeurs mesurées sur les forages géothermiques de Beauvais et de Creil.
- Les courbes d'isotransmissivité et les valeurs ponctuelles issues des deux forages géothermiques ne concernant que le sud de la région Picardie, il n'était pas envisageable d'extrapoler une grille sur l'ensemble de la région, en l'absence de paramètres contraignants.

L'absence de connaissance régionale du paramètre « transmissivité », qui constitue avec la température du fluide exploitable dans l'aquifère, les deux critères fondamentaux d'estimation de sa productivité, ne permet donc pas une interpolation cartographique du potentiel géothermique.

4.1.5. Premiers résultats et conclusions sur le potentiel des aquifères profonds en région Picardie

Compte-tenu de ce qui a été mentionné ci-avant, on comprendra qu'il reste délicat, du fait de l'absence de forages instrumentés en quantité suffisante, de déterminer un potentiel géothermique des aquifères profonds.

L'échelle de restitution n'est en aucun cas comparable avec l'échelle des travaux réalisés sur l'atlas des aquifères superficiels.

En première analyse, les données recueillies dans le cadre de la présente étude montrent que le réservoir du Dogger est a priori le plus intéressant avec localement de fortes perméabilités.

Cette situation tient à l'absence de travaux de développement de la géothermie basse énergie en région Picardie depuis 30 ans, du fait sans doute de l'impact de l'abandon des opérations de Creil et Beauvais et des effets négatifs du contre-choc pétrolier des années 90 sur le recours aux énergies renouvelables dont la géothermie.

Il apparaît évident que la relance de la géothermie profonde en région Picardie pourrait être initiée par :

- d'une part, une meilleure connaissance du potentiel des deux aquifères les plus intéressants, le Lusitanien et le Dogger. A cette fin, des contacts avec des sociétés pétrolières et gazières qui opèrent sur le territoire régional seraient utiles afin de parvenir à terme à affiner les connaissances sur les aquifères profonds en région Picardie. Cette approche réciproque de connaissances doit être consolidée et amplifiée afin de disposer, notamment, d'informations supplémentaires susceptibles de permettre une interpolation régionale de la productivité de ces aquifères ;
- d'autre part, la mise en œuvre d'opérations industrielles, couplées à des programmes de recherche et développement soutenus par des fonds publics.

A ce titre, il apparaît que les travaux géologiques et hydrogéologiques menés dans le cadre de la présente étude, ainsi que dans d'autres études réalisées par le BRGM incitent à considérer que l'aquifère du Permien, situé à la limite entre les formations sédimentaires et le socle, pourrait être un aquifère prometteur, a contrario avec le Trias qui ne semble pas de bonne qualité en Picardie.

4.2. APPROCHE DU POTENTIEL GEOTHERMIQUE DES AQUIFERES PROFONDS

4.2.1. Aquifère des calcaires du Lusitanien

Dans l'étude de dépouillement des RFS, 19 puits ont présenté des données dans le niveau Lusitanien. Cet aquifère n'est que peu exploité en région Picardie.

a) Réservoirs et extension géographique

Le Lusitanien est séparé en trois réservoirs (cf chapitre 2.3.3) :

- le Séquanien : le réservoir supérieur. Il est composé de calcaire oolithique et récifal,
- le Rauracien : le réservoir principal. Il est composé de calcaire oolithique et graveleux. Le nord-ouest du bassin Parisien de ce réservoir est dominé par des niveaux détritiques grossiers formés de sable et de grès,
- l'Argovien : le réservoir inférieur. Au nord-ouest du bassin Parisien, il est composé de calcaire oolithique avec des passées récifales. Entre l'Oise et la Marne on rencontre un calcaire plus crayeux.

Dans la zone d'étude, la région Picardie, les réservoirs « principal » et « inférieur » dominant (Figure 27). Le réservoir « supérieur » peut être présent localement.

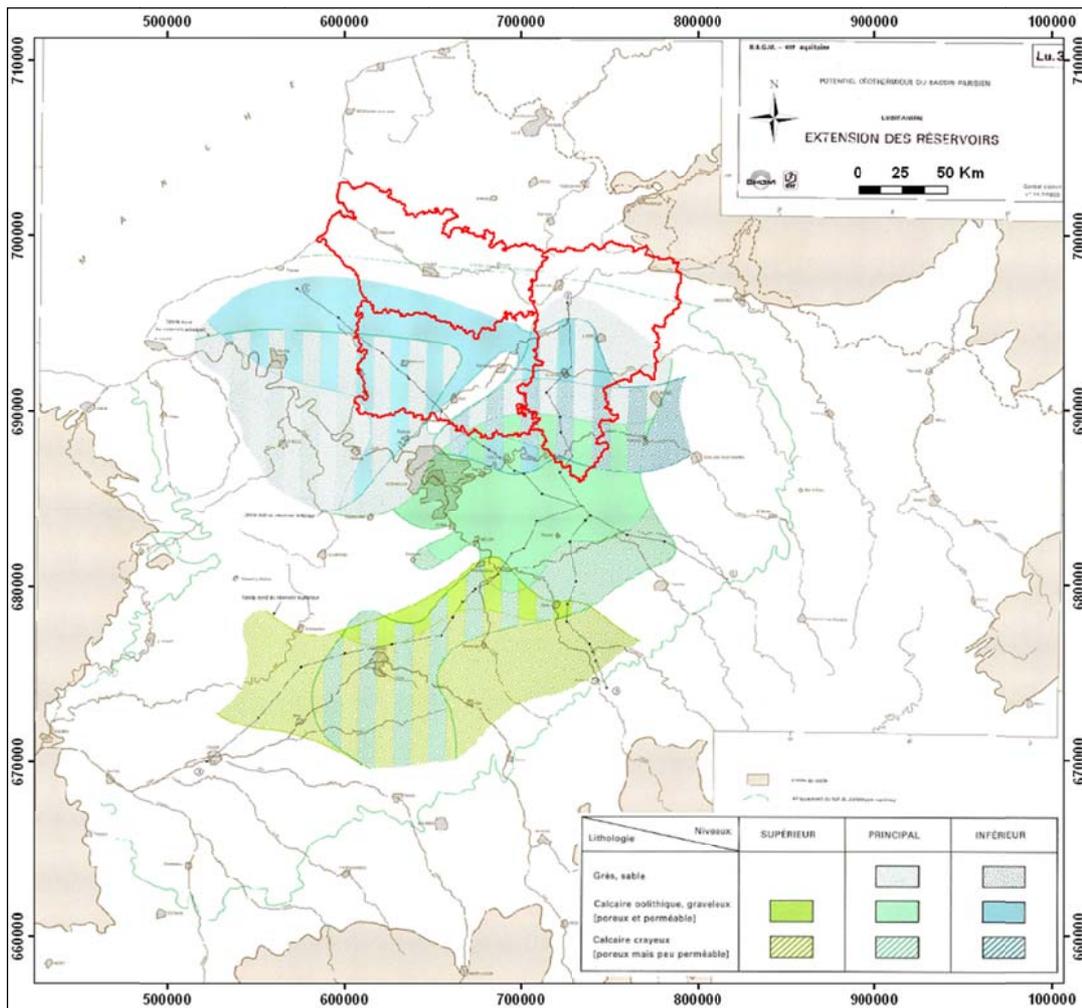
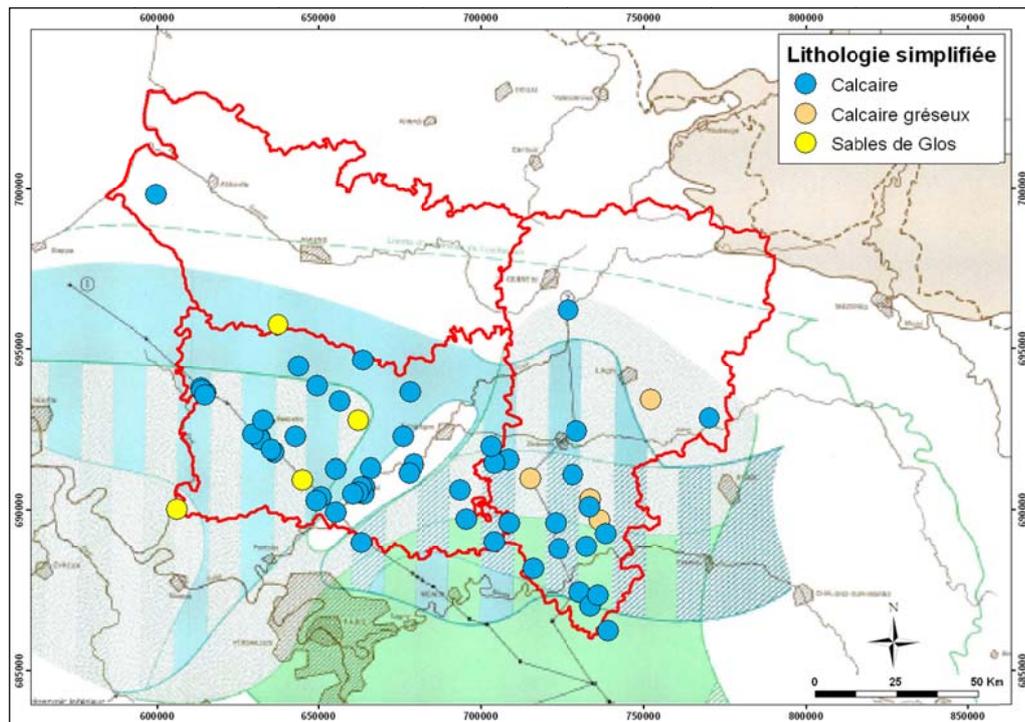


Figure 27 - Extension des réservoirs du Lusitanien

Les formations calcaires du Lusitanien s'étendent sous la majeure partie de la région mais sont absentes au Nord de la Somme et de l'Aisne. La planche 1 dans l'annexe 6 présente la localisation du Lusitanien en Picardie.

b) Lithologie des réservoirs

Dans l'ensemble, les faciès déterminés dans cette étude sont en cohérence avec la carte du BRGM de 1976. Quelques petites différences existent mais cela peut être dû à la mise en cohérence de la lithologie que nous avons suivie pour la présente étude.



Lithologie \ Niveaux	SUPÉRIEUR	PRINCIPAL	INFÉRIEUR
Grès, sable			
Calcaire oolithique, graveleux [poreux et perméable]			
Calcaire crayeux [poreux mais peu perméable]			

Figure 28 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Lusitanien) : Comparaison avec la carte d'extension des faciès réservoirs du Lusitanien (carte BRGM, 1976)

c) Profondeur des réservoirs

La planche 2 dans l'annexe 6 présente la grille des isobathes du toit du Lusitanien en Picardie.

L'interpolation des profondeurs a été réalisée à partir des données ponctuelles mentionnées dans les RFS et des isobathes issues du rapport de Geotherma (Inventaire géothermique de la région Picardie, 1981).

La profondeur du toit augmente graduellement du nord-est et du nord-ouest vers le sud de la région. Présente à + 100 m NGF, à proximité des Ardennes, les couches s'enfoncent jusqu'à - 1200 m NGF dans le sud de l'Aisne. Cette disposition est dérangée par l'anticlinal du Pays de Bray qui est traversé par une faille en profondeur. Son rejet peut atteindre 150 m.

d) Épaisseur des réservoirs

Les planches 3 et 4 dans l'annexe 6 présentent une carte des épaisseurs totales et une carte des épaisseurs « utiles » des réservoirs du Lusitanien en Picardie.

Nous n'avons retenu que les formations poreuses et perméables. Les zones compactes sont donc exclues, mais également celles où le réservoir est entièrement crayeux peu perméable.

Pour une puissance approximative du Lusitanien de 280 m (thèse de Bougnol, 1985) on distingue trois niveaux producteurs avec des perméabilités correctes et des épaisseurs de haut en bas d'environ 25 m, 5 m, 23 m. Ce qui fait un total de 53 m environ d'épaisseur utile. Pour la région picarde, une valeur de 20 % pour toute la zone située au-dessous de la ligne Beauvais-Laon a donc été utilisée, puis ce pourcentage a été amorti en partie nord de cette ligne, qui se situe en limite nord du bassin parisien avec une remontée des formations vers l'affleurement.

Compte tenu de la connaissance partielle de la porosité des réservoirs, la carte d'interpolation des épaisseurs « utiles » est à utiliser avec précaution.

e) Porosité

Dans cette étude 15 puits ont présenté des valeurs de porosité dans le Lusitanien (Figure 29). Les valeurs moyennes sont comprises entre 5 % et 24,8 %. Les valeurs extrêmes sont comprises entre 1,2 % et 35 %.

La superposition entre les porosités moyennes et les extensions des réservoirs du Lusitanien montre que majoritairement les valeurs de porosité les plus élevées sont associées au calcaire oolithique/graveleux ou au calcaire crayeux du réservoir « inférieur » (Figure 30). Ce résultat de porosités plus élevées est cohérent sachant que les calcaires oolithiques ont une porosité matricielle. Hormis à l'extrême est de la Picardie, les niveaux sablo-gréseux du réservoir « inférieur » semblent présenter des porosités plus faibles.

Aucun point ne tombe dans le réservoir « principal » donc celui-ci n'a pas pu être caractérisé en termes de porosité.

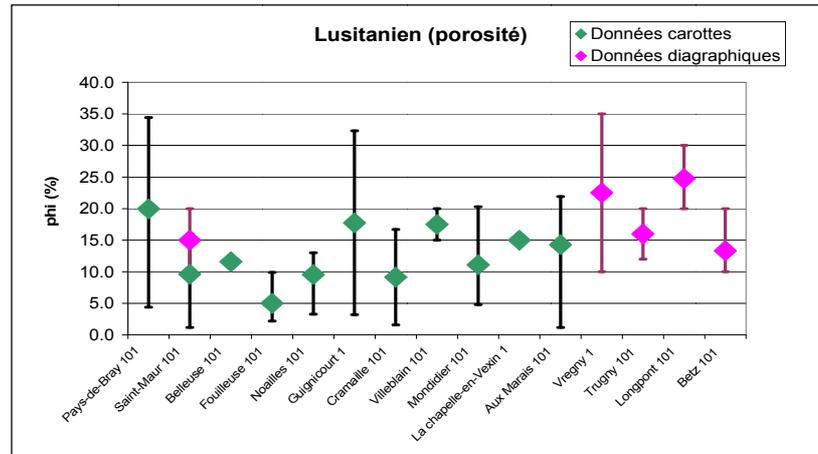


Figure 29 - Porosité du Lusitanien

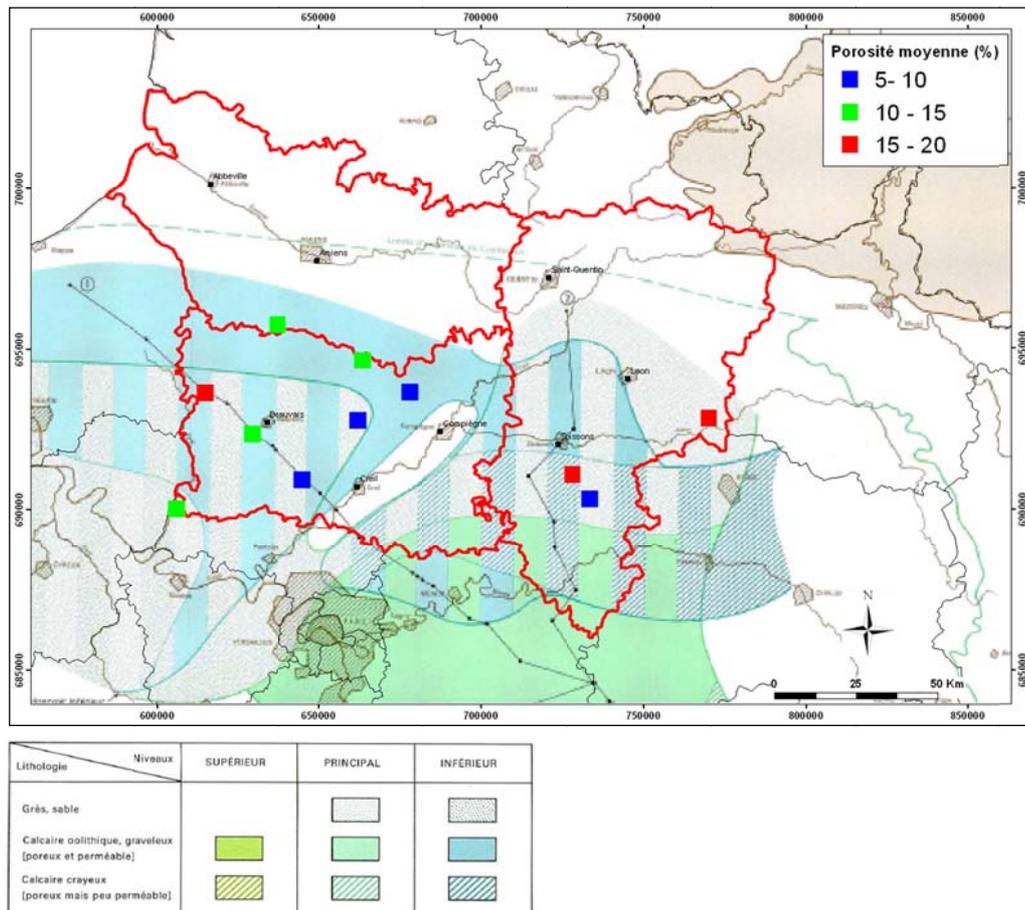


Figure 30 - Répartition géographique de la porosité moyenne du Lusitanien. Comparaison avec l'extension des réservoirs du Lusitanien (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976)

f) Perméabilités et transmissivités

Les valeurs de perméabilité du Lusitanien ont été calculées sur 10 puits (Figure 31).

Les valeurs moyennes sont comprises entre 0,5 mD et 65 mD.

Les valeurs extrêmes sont comprises entre 0,01 mD et 1010 mD.

Le Lusitanien étant composé de faciès calcaires, les fortes valeurs de perméabilité correspondent principalement à de la perméabilité de fracture.

A l'exception d'une valeur dans les sables/grès, les valeurs de perméabilité comprises entre 1 mD et 10 mD se répartissent au niveau du faciès calcaire oolithique/graveleux du réservoir « inférieur » du Lusitanien (Figure 32).

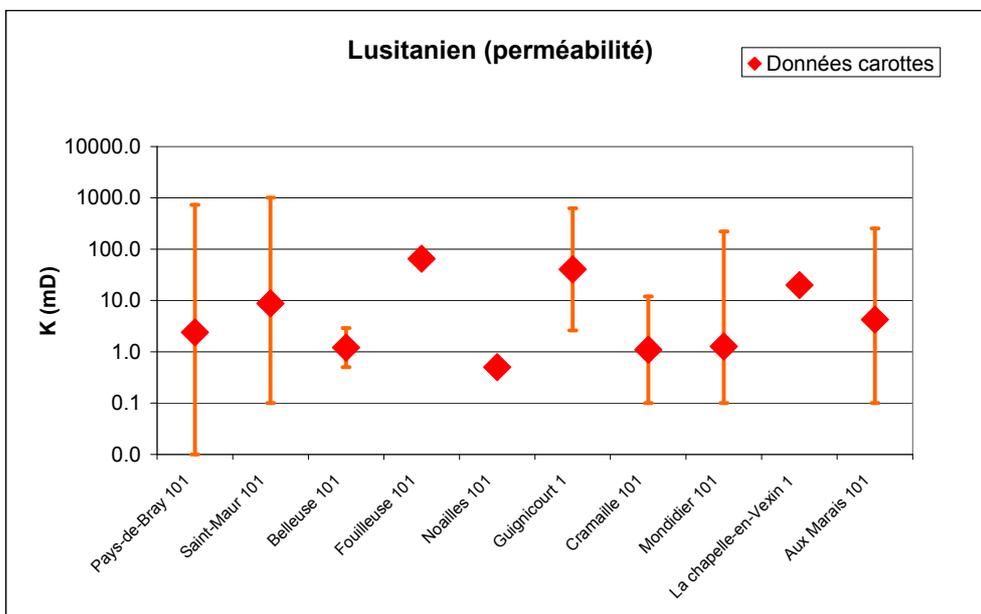
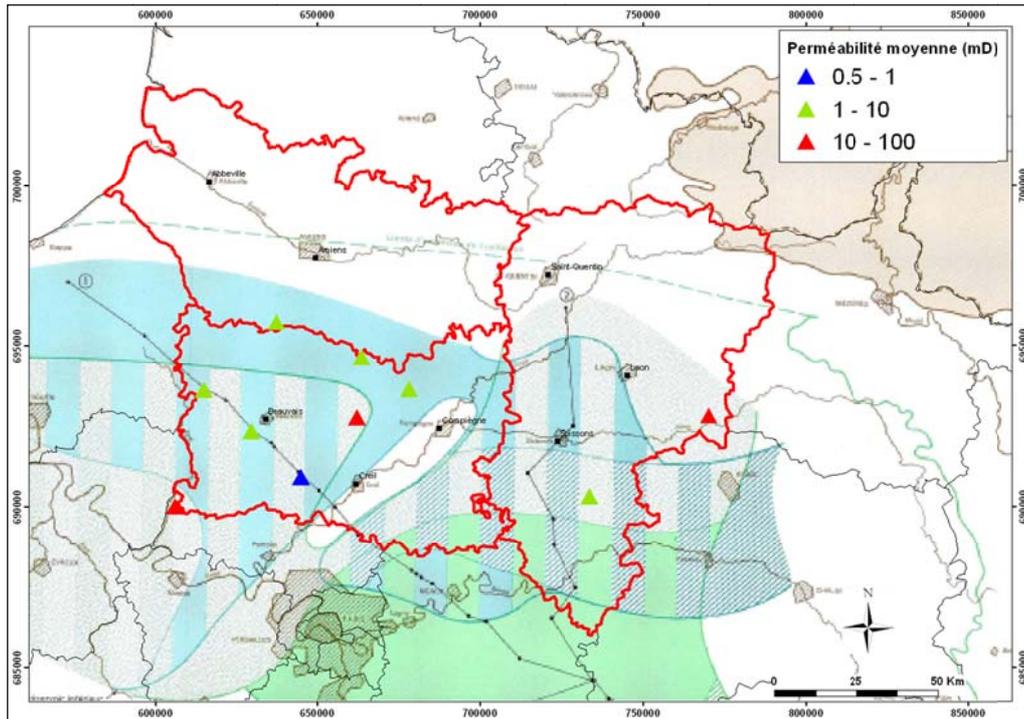


Figure 31 - Perméabilité du Lusitanien

La planche 5 dans l'annexe 6 présente une carte des transmissivités du Lusitanien. Les courbes d'isotransmissivité sont issues du rapport sur le Potentiel Géothermique du Bassin Parisien de 1976.



Lithologie \ Niveaux	Niveaux		
	SUPÉRIEUR	PRINCIPAL	INFÉRIEUR
Grès, sable			
Calcaire oolithique, graveleux [poreux et perméable]			
Calcaire crayeux [poreux mais peu perméable]			

Figure 32 - Répartition géographique de la perméabilité du Lusitanien. Comparaison avec l'extension des réservoirs du Lusitanien (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976)

g) Salinité

La salinité du Lusitanien a pu être déterminée au niveau de 16 puits. (Figure 33).

Les valeurs moyennes sont comprises entre 0,2 et 7,5 g/l. Les valeurs extrêmes sont comprises entre 0,2 et 11 g/l. Sur la Figure 34 il n'est pas possible de déterminer un gradient de salinité en fonction de la profondeur du Lusitanien. De même, la répartition géographique (Figure 35) ne présente pas de tendance particulière. Les valeurs plus élevées ont toutefois été relevées dans la partie ouest. Cette observation se retrouve également dans les travaux de House et Maget, même si quelques points issus des puits de l'étude Géogreen ne sont pas en cohérence avec la carte de 1976 (Figure 35).

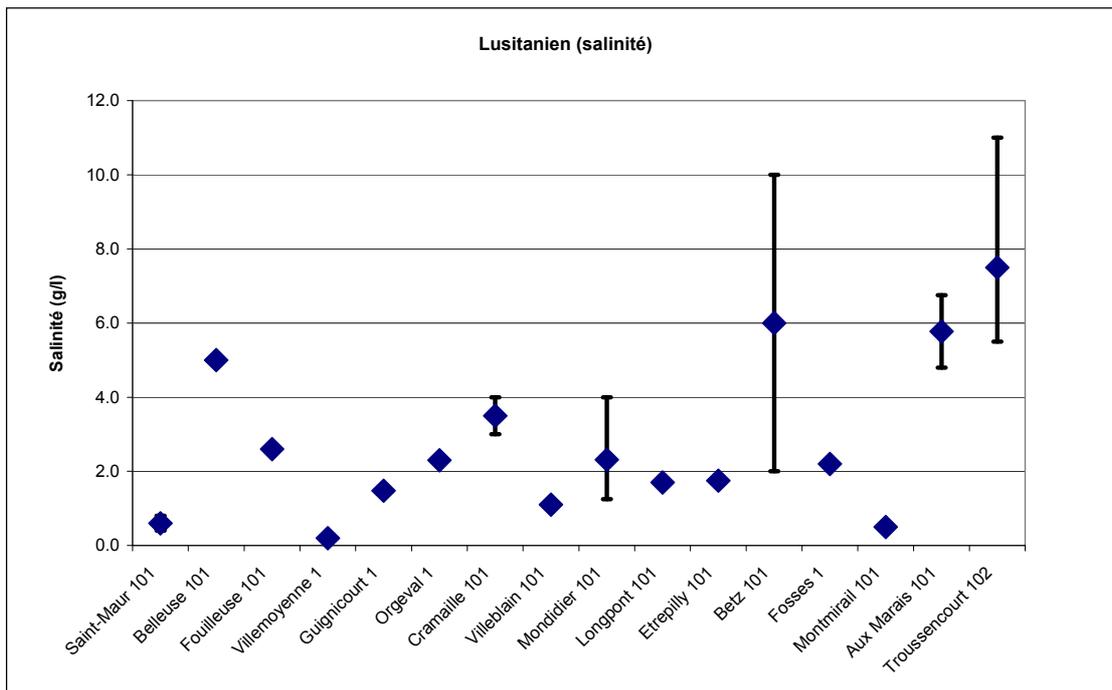


Figure 33 - Salinité du Lusitanien

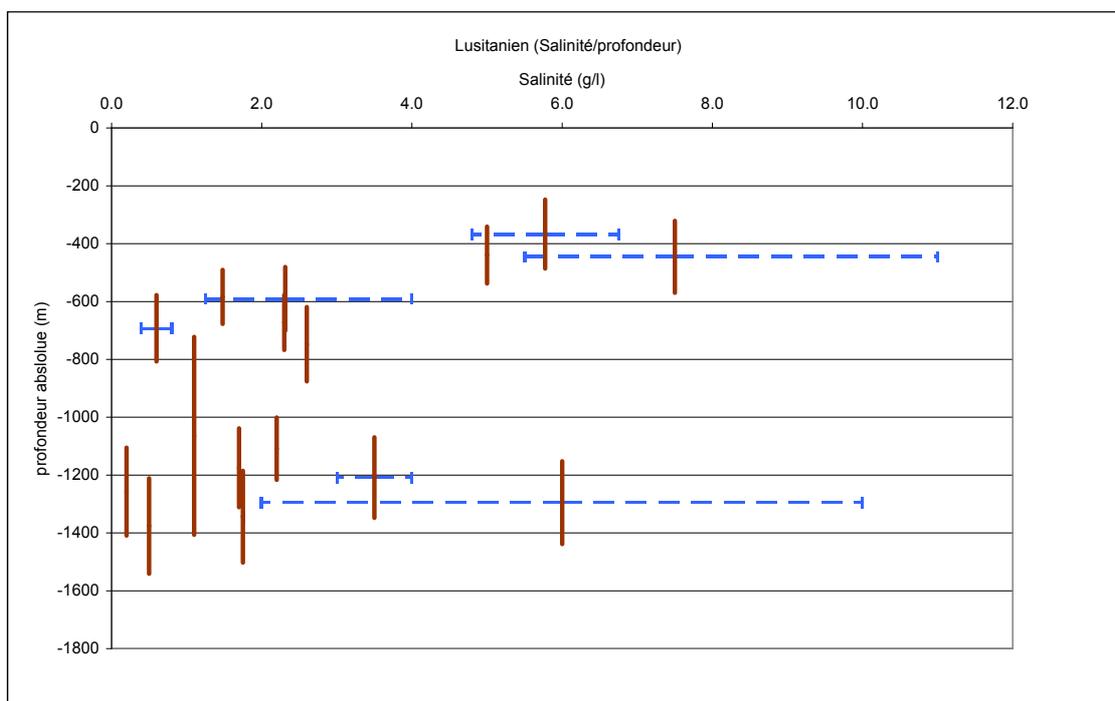


Figure 34 - Salinité du Lusitanien en fonction de la profondeur absolue

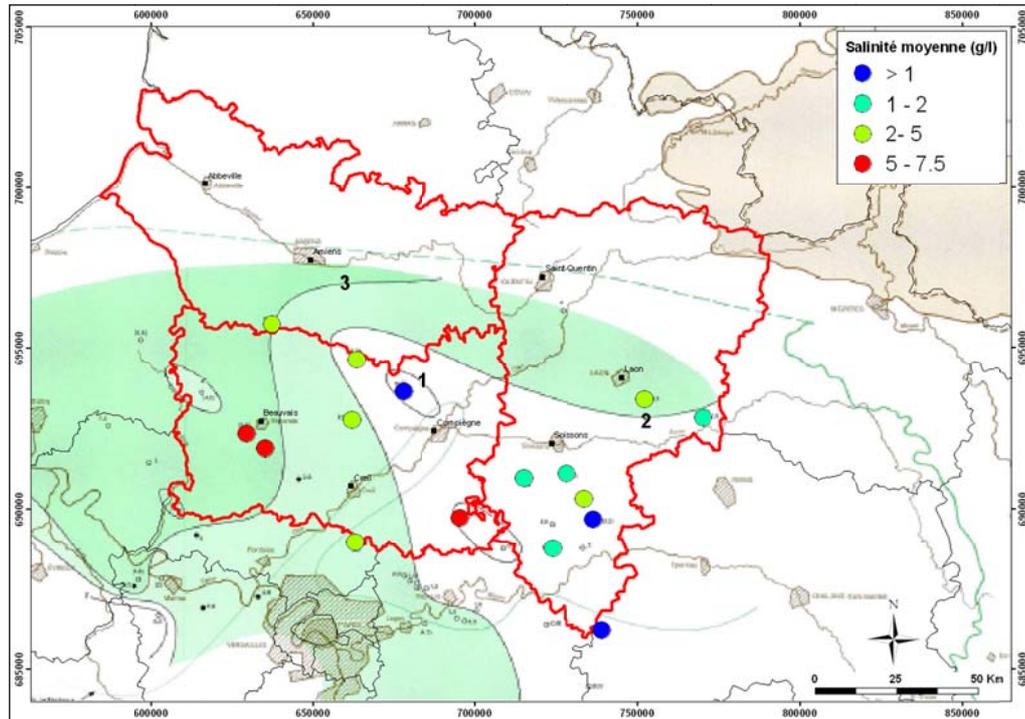


Figure 35 - Répartition géographique de la salinité du Lusitanien. Comparaison avec la carte hydrochimie du Lusitanien (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976)

La planche 6 dans l'annexe 6 présente une carte de tendance de la salinité des réservoirs du Lusitanien en Picardie.

Les valeurs et les courbes d'iso-salinité sont exprimées par la teneur en chlorure de sodium. Le caractère dominant est la faible salinité dans la partie sud-est de cet aquifère. De l'ordre de 2 à 3 g/l, celle-ci s'accroît graduellement lorsque l'on se dirige vers le nord-ouest pour atteindre plus de 5 g/l dans la région de Beauvais.

Dans la partie est de la Picardie, les eaux sont essentiellement sulfatée-sodiques. Au nord-ouest les eaux deviennent chlorées sodiques, l'augmentation de sa salinité se traduit par une teneur plus importantes en chlorures, celle en sulfates restant à peu près invariable.

h) Pression

Des valeurs de pression absolue ont pu être collectées dans 7 puits au niveau du Lusitanien (Figure 36).

Les valeurs sont comprises entre 49,8 bars et 123,8 bars.

Un gradient de pression de 8,8 bars/100m a pu être déterminé dans le niveau Lusitanien.

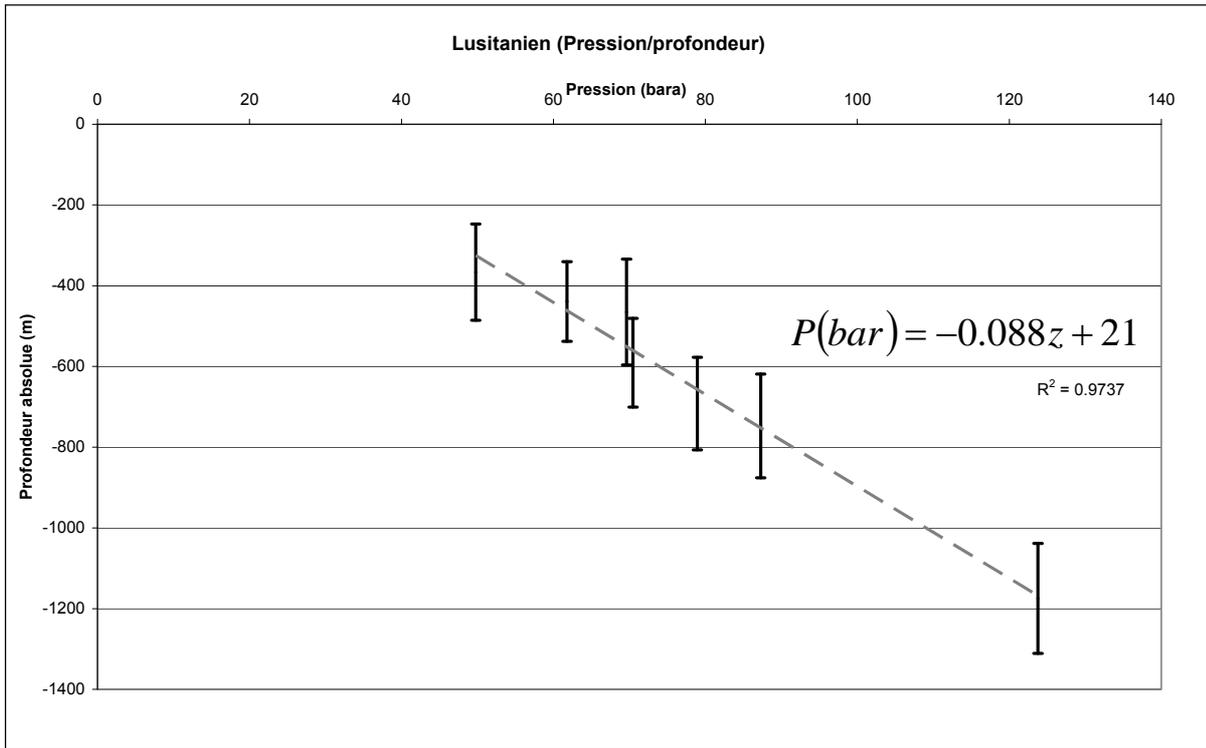


Figure 36 - Pression absolue du Lusitanien en fonction de la profondeur absolue

La nappe est artésienne ou en limite de l'artésianisme en Picardie. Les niveaux piézométriques calculés à partir des mesures de pression dans des études antérieures indiquent un écoulement de la nappe s'effectuant vers la Manche

i) Température

Seulement 3 puits mentionnent des températures pour le niveau Lusitanien (Figure 37). Les valeurs sont comprises entre 20°C et 26 °C.

Aucun gradient de température en fonction de la profondeur n'a pu être déterminé dans le Lusitanien avec les données de l'étude Geogreen. Sur la Figure 38, les valeurs de 23°C et 26 °C sont inférieures à la carte d'Housse et Maget.

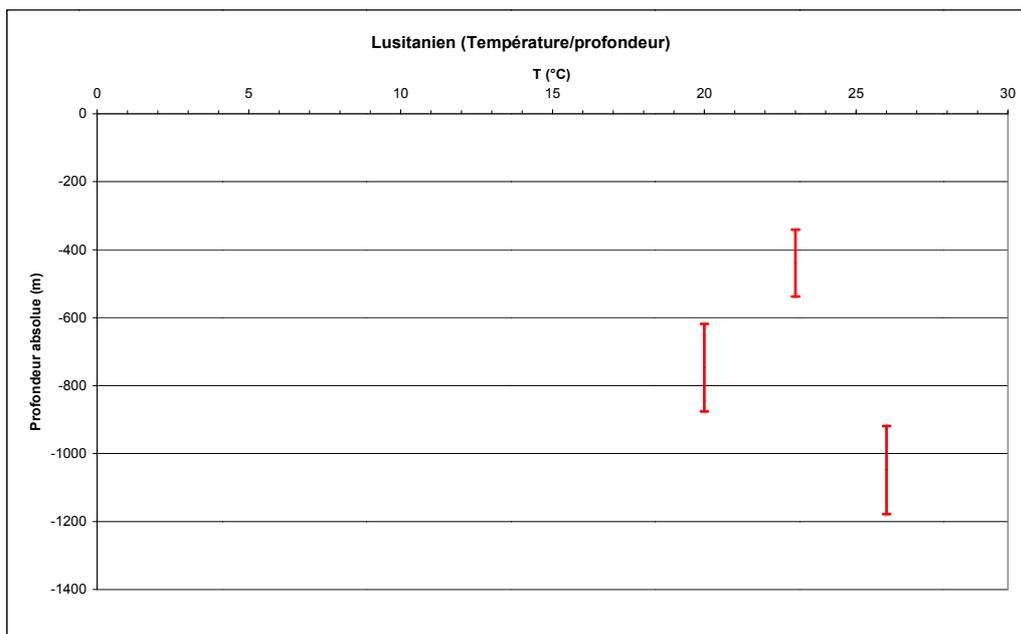


Figure 37 - Température du Lusitanien en fonction de la profondeur absolue

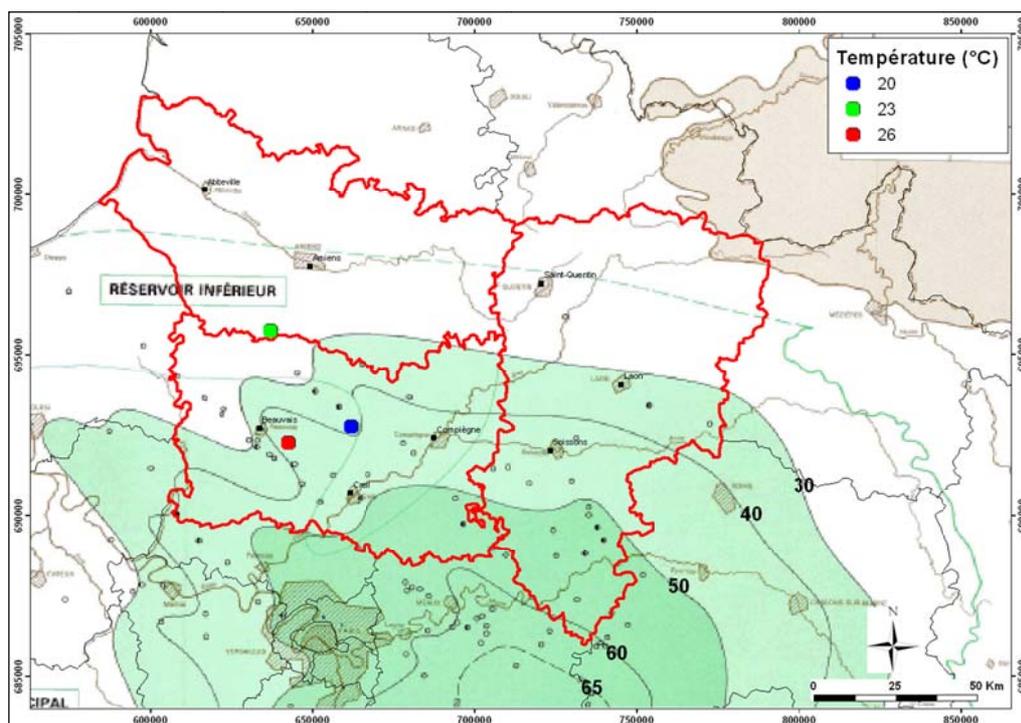


Figure 38 - Répartition géographique de la température du Lusitanien. Comparaison avec la carte température du Lusitanien (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976)

La planche 7 dans l'annexe 6 présente une carte de tendance des températures des réservoirs du Lusitanien en Picardie. Les courbes isothermes indiquées sont issues de

la cartographie du rapport de Geotherma, calées avec les quelques valeurs disponibles. Les quelques valeurs de températures issues des RFS ont également été reportées sur la carte pour mettre en évidence les zones sur lesquelles nous avons une information ponctuelle. En fonction du gradient et de la profondeur du toit des formations, les températures prévisionnelles s'étalent de 20 °C dans la région de Beauvais à plus de 60°C dans le sud de l'Aisne.

j) Débit

Seulement 4 puits mentionnent des valeurs de débit pour le Lusitanien (Figure 39).

Les valeurs moyennes sont comprises entre 2,2 m³/h et 8 m³/h.

Les valeurs extrêmes sont comprises entre 0,8 m³/h et 8 m³/h.

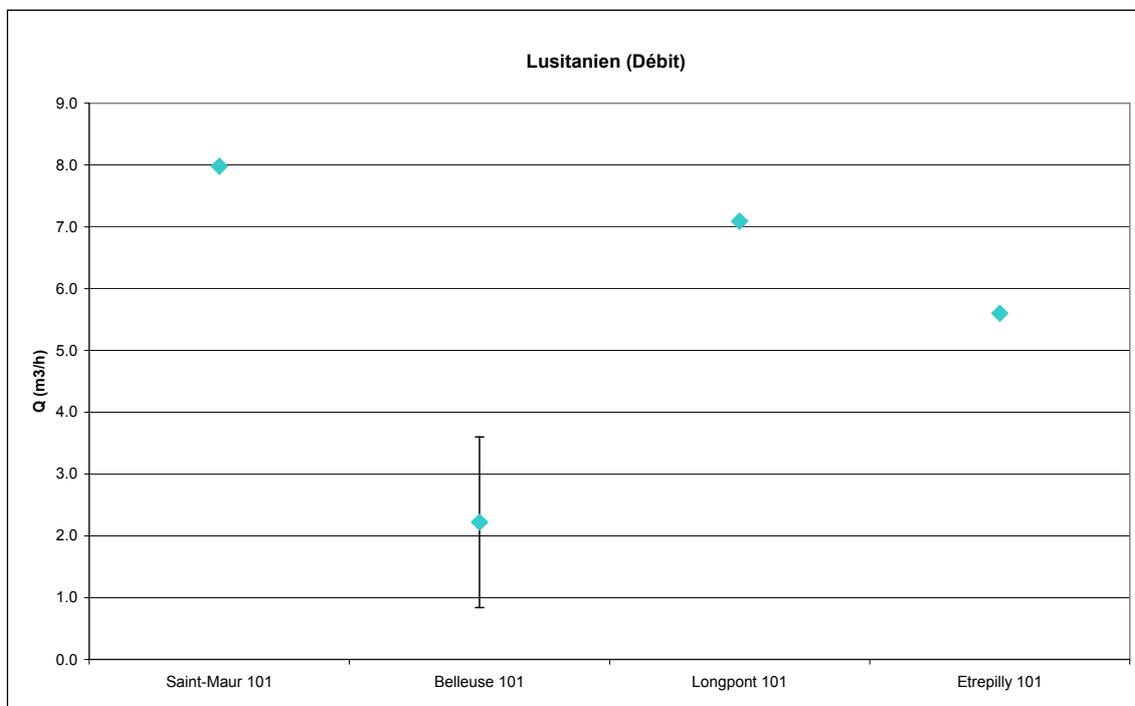


Figure 39 - Débit du Lusitanien

k) Conclusions : propriétés du Lusitanien

Les principaux résultats pour cet aquifère sont les suivants :

- Les porosités s'étendent de 1,2 % à 35 % avec une majorité de points ayant une valeur proche de la moyenne, soit 15%. Aucune tendance d'organisation géographique n'apparaît.

- Les perméabilités sont comprises entre 0,01 mD et 1010 mD avec une concentration des valeurs comprises entre 1 mD et 100 mD. Aucune tendance d'organisation géographique n'apparaît.
- Les salinités se situent entre 0,2 g/l et 11 g/l. Ni organisation géographique ni gradient n'ont pu être déterminés dans le cadre de l'étude Géogreen.
- Les valeurs de température issues de l'analyse des RFS dans l'étude Géogreen sont comprises entre 20°C et 26 °C, ce qui est inférieur aux travaux de Housse et Maget.
- Un gradient de pression de 8,8 bars/100m a pu être calculé. Dans la plupart des cas, lorsque la cote altimétrique du sol n'est pas trop élevée, les eaux géothermales seront artésiennes ou subartésiennes.
- Les débits sont compris entre 0,8 m³/h et 8 m³/h
- Les valeurs de porosité et de perméabilité du Lusitanien sont caractéristiques d'un environnement calcaire, à savoir une bonne porosité moyenne, ici 15% et des perméabilités faibles à moyennes.

La zone la plus favorable du point de vue de la géothermie semblerait être celle du sud de l'Aisne en termes de température et d'épaisseurs utiles.

4.2.2. Aquifère des calcaires du Dogger

Dans l'étude de dépouillement des RFS, tous les puits de l'étude (62) atteignent ou traversent le Dogger. Cet aquifère a été exploité pour la géothermie dans l'Oise (Creil, Beauvais). Il est connu par de nombreux forages pétroliers réalisés dans le sud de la région.

a) Réservoirs et extension géographique

Le Dogger s'étend du toit du Callovien calcaire au mur du Bajocien, et lorsque le Callovien calcaire est absent, du toit du Bathonien au mur du Bajocien (cf. chapitre 2.3.3).

Trois réservoirs principaux ont à ce jour été reconnus (de haut en bas) :

- Les calcaires oolithiques du Callovien Inférieur, aussi connus sous le nom de "Dalle Nacrée".
- Les calcaires du Comblanchien, compacts, montrent néanmoins quelques intervalles poreux (possibilité de porosité de fracture).

- L'Oolithe et les calcaires bioclastiques d'Oolithe Blanche font un excellent réservoir. Il est généralement aquifère et est considéré comme un réservoir géothermique important.

Unités				Formations
Systèmes	Epoques	Etages	Sous-étages	
Jurassique	Dogger	Callovien inférieur		Dalle Nacrée
		Bathonien		Calcaire du Comblanchien
				Oolithe blanche
		Bajocien		Calcaire oolithique ("Grande Oolithe")
				Marnes à Ostrea Acuminata
				Calcaire

Tableau 16 - Description lithostratigraphique du Dogger

Le Dogger est présent sous toute la Picardie. Il affleure dans la région d'Hirson (02). La planche 8 dans l'annexe 6 présente la localisation du Dogger en Picardie.

b) Lithologie des réservoirs

Comme décrit plus haut, le Dogger est constitué de faciès calcaire.

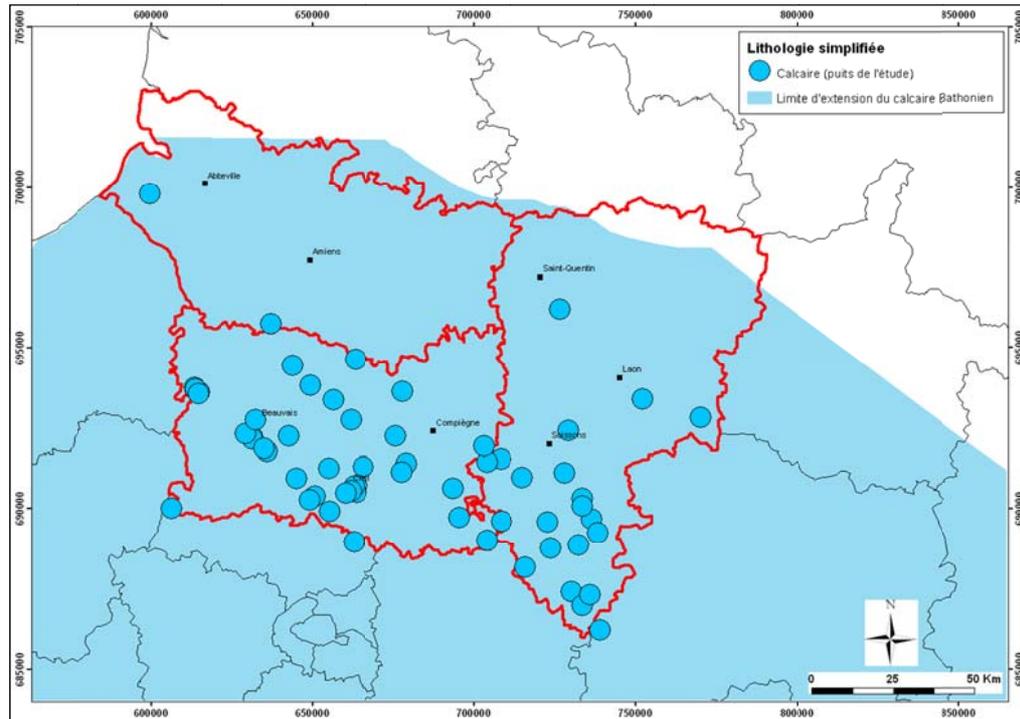


Figure 40 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Bathonien). Comparaison avec les faciès du Bathonien (à partir de la carte IFPEN, 2002)

c) Profondeur des réservoirs

La planche 9 dans l'annexe 6 présente la grille du toit du Dogger en Picardie. Les valeurs de profondeur du toit de la formation ont été reportées sur la carte pour chaque forage, afin de faciliter la lecture de la grille.

La grille du toit du Dogger provient de la synthèse de plusieurs études menées par le BRGM : des données numériques d'altitude de plusieurs surfaces géologiques (toit du repère K, toit du Dogger calcaire et toit du Trias), élaborées au cours de travaux antérieurs. Des données mises à jour dans le cadre d'une étude plus récente grâce à l'intégration d'un plus grand nombre de forages profonds, et de données structurales de synthèse, dont :

- des données de forages provenant de la base des logs validés du BRGM, des données structurales de synthèse, issues de la réinterprétation de profils sismiques, le long de transects dans le bassin de Paris,
- les données issues des cartes géologiques au 1/50 000 vectorisées qui matérialisent les lieux où la surface vient recouper la topographie actuelle.

Il est absent dans le Nord-Ouest de l'Aisne. Le toit du réservoir passe de + 100 m NGF au Nord-Ouest et atteint -1 300 m au Sud. La faille du Pays de Bray s'accroît en profondeur et le rejet peut atteindre 300m.

d) Épaisseur des réservoirs

Les planches 10 et 11 dans l'annexe 6 présentent une carte des épaisseurs totales et une carte des épaisseurs « utiles » des réservoirs du Dogger en Picardie. Les valeurs d'épaisseur de l'ensemble des forages ont été reportées sur la carte pour faciliter la lecture de la grille.

Les nombreux forages géothermiques réalisés dans le Bassin Parisien montrent que le réservoir susceptible de fournir la meilleure productivité est celui du Bathonien et en particulier le sommet du Bathonien, non loin de son contact avec le Callovien. Les niveaux compatibles sont constitués soient :

- de calcaires graveleux bioclastiques,
- des calcaires oolithiques,
- des calcarénites bioclastiques ou oolithiques.

Mais, compte tenu du développement éventuel d'une fracturation dans les calcaires du Bathonien et de la connaissance insuffisante des effets de diagenèse qui ont pu affecter postérieurement au dépôt le réseau poreux (cimentation ou dissolution), la carte d'interpolation des épaisseurs « utiles » est à utiliser avec précaution. Il est admis que ces épaisseurs « utiles » dépassent rarement 20 à 25 mètres.

e) Porosité

Les données de porosité dans le Dogger calcaire sont réparties de la façon suivante (Figure 41) :

- Bathonien :
 - Données carottes : 45
 - Données diagraphiques : 14
- Bajocien :
 - Données carottes : 6
 - Données diagraphiques : 2

Les valeurs moyennes sont comprises entre 3,7% et 20.2 %.

Les valeurs extrêmes sont comprises entre 0% et 30,8 %.

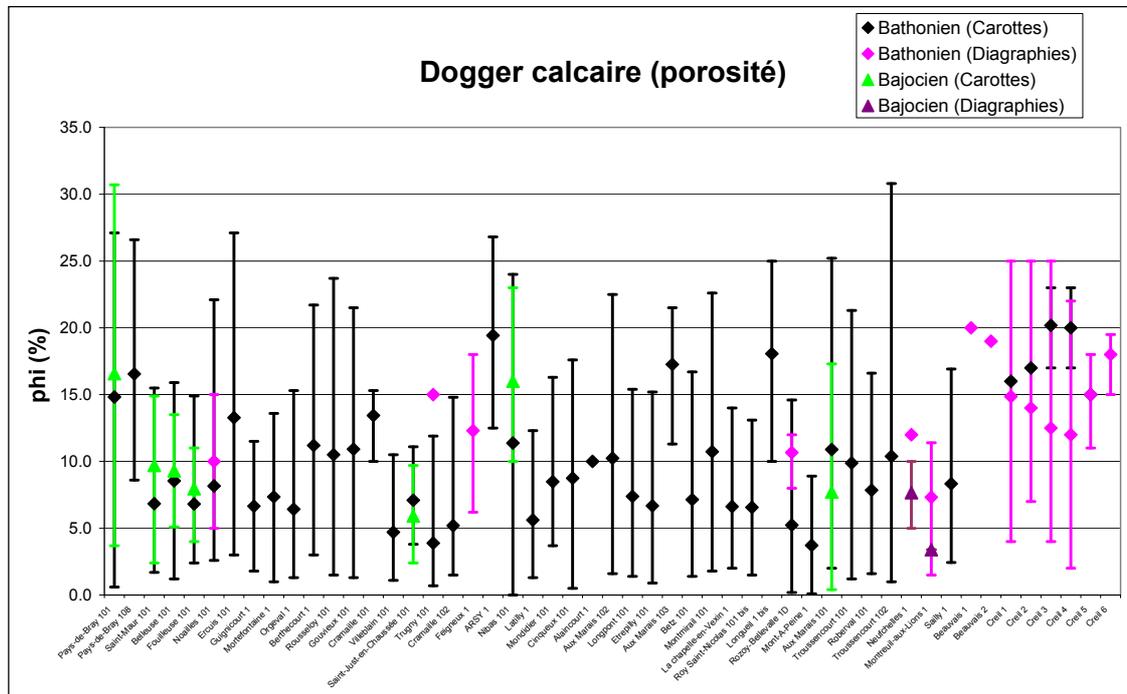


Figure 41 - Porosité du Dogger calcaire

En superposant les valeurs de porosité issues des puits de l'étude et la carte de l'écorché au toit du Bathonien issue des travaux de Rojas *et al*, on peut voir un lien entre la répartition des porosités et les différents faciès calcaire du Bathonien. En effet les valeurs plus fortes se répartissent au niveau des calcarénites oolithiques qui possèdent une porosité matricielle (Figure 42).

Sur la Figure 43, un possible gradient de porosité orienté nord-est - sud-ouest peut être mis en évidence, avec cependant quelques points anomaux.

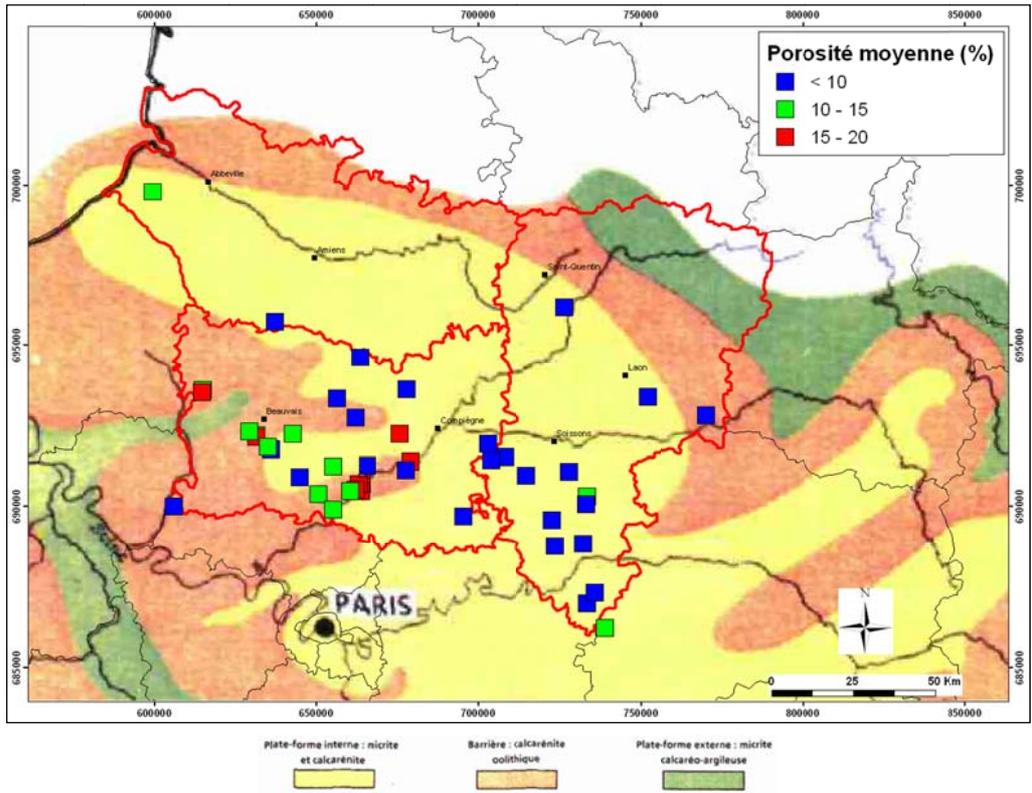


Figure 42 - Répartition géographique des porosités moyennes du Bathonien

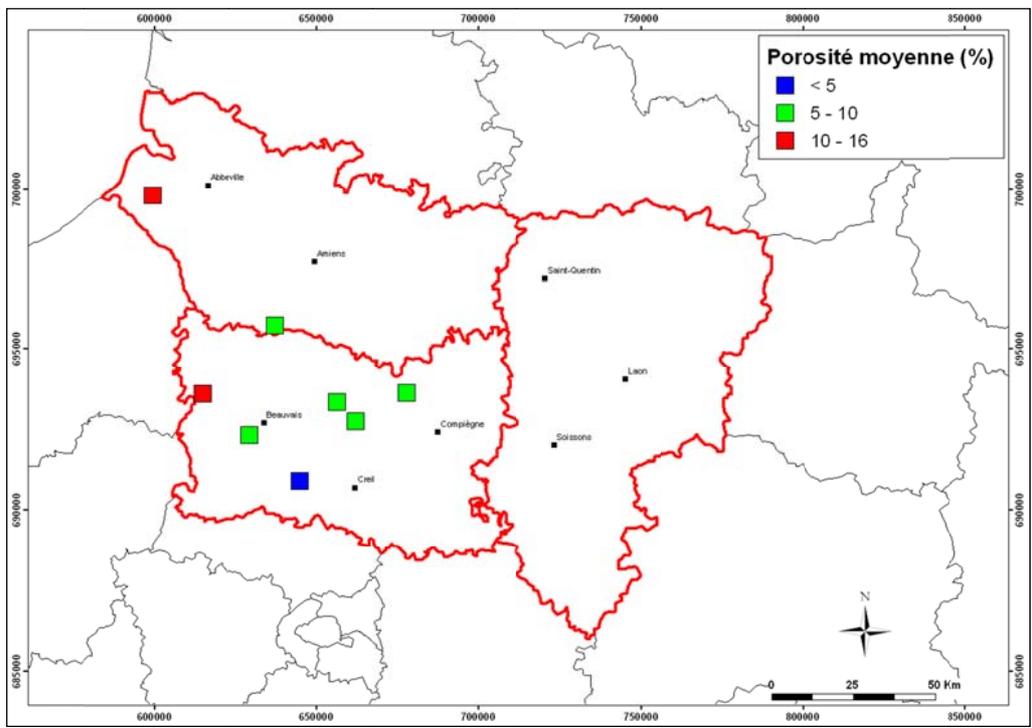


Figure 43 - Répartition géographique porosités moyennes du Bajocien

f) Perméabilités et transmissivités

Les données de perméabilité dans le Dogger calcaire sont réparties de la façon suivante (Figure 44) :

- Bathonien : 46
- Bajocien : 6

Les valeurs moyennes sont comprises entre 0,1 mD et 1617,5 mD.

Les valeurs extrêmes sont comprises entre 0,01 mD et 5000 mD.

Le Dogger calcaire étant composé de faciès calcaires, les fortes valeurs de perméabilité correspondent principalement à de la perméabilité de fracture.

Les valeurs des puits Beauvais 1 et 2 et de Creil 1 à 6, comprises entre 310 mD et 1780 mD, sont des valeurs ponctuelles de transmissivité converties en perméabilité. Elles ne représentent pas la tendance générale de la perméabilité du Dogger calcaire.

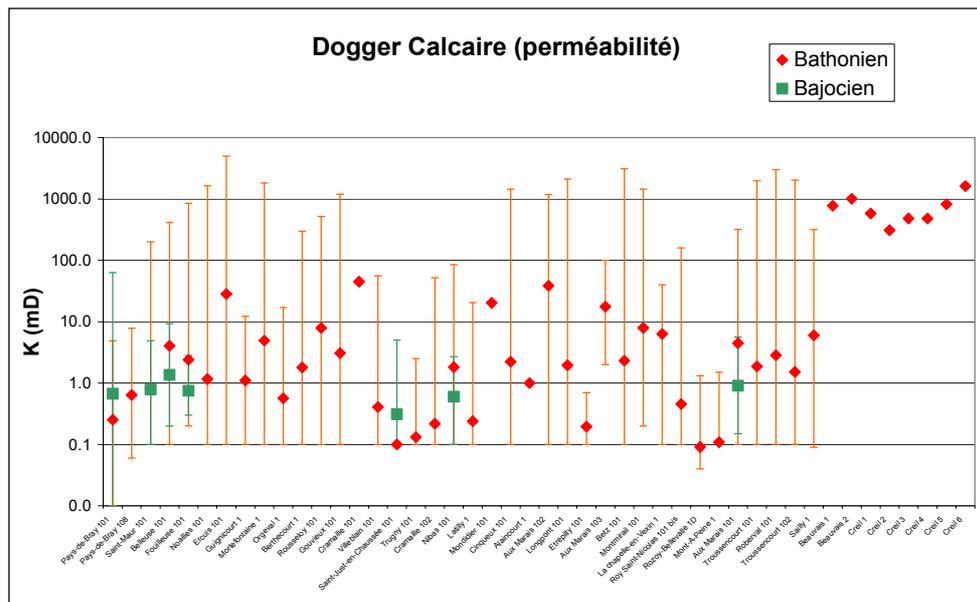


Figure 44 - Perméabilité du Dogger calcaire

De même qu'il n'existe généralement pas de relation directe entre la porosité et la perméabilité dans les milieux calcaires, le parallèle porosité/faciès déterminé ci-dessus, dans le Bathonien, ne se retrouve pas avec les perméabilités (Figure 45).

La faible quantité de valeurs dans le Bajocien ne permet pas de conclure sur une tendance géographique relative à ce niveau (Figure 46).

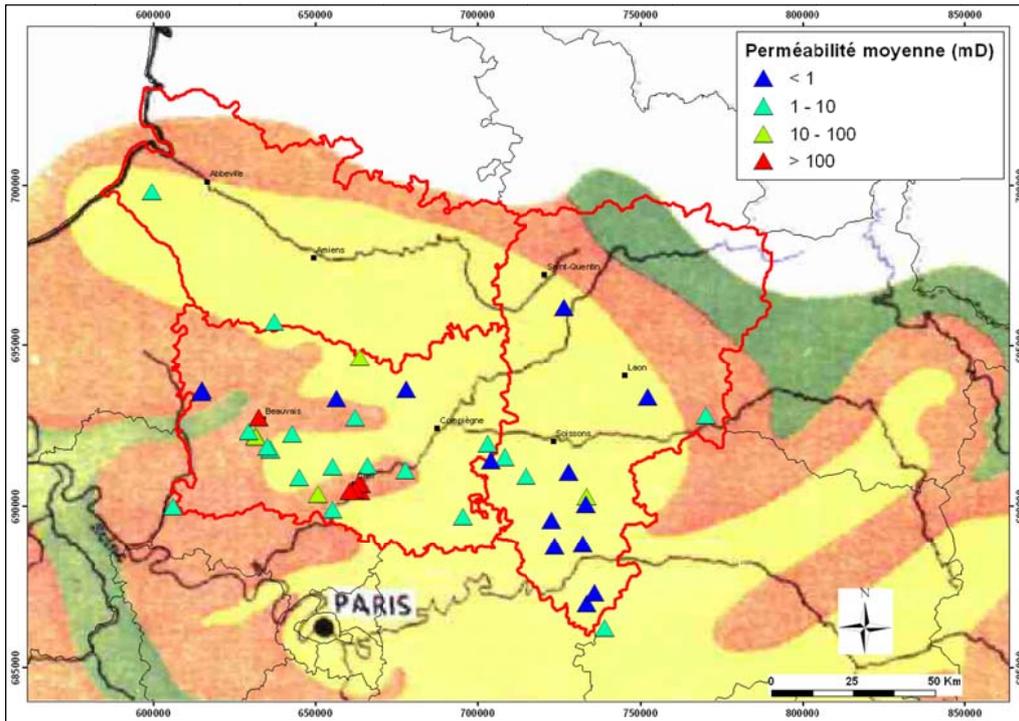


Figure 45 - Répartition géographique des perméabilités moyennes Bathonien

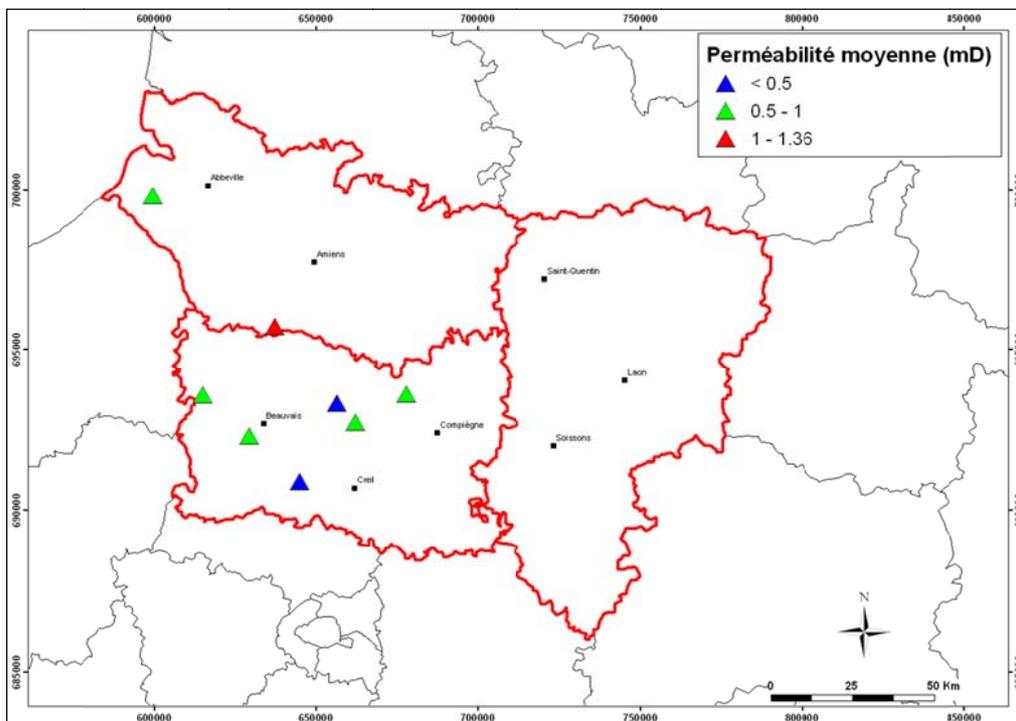


Figure 46 - Répartition géographique des perméabilités moyennes du Bajocien

La planche 12 dans l'annexe 6 présente une carte des transmissivités du Dogger constatées au droit des forages géothermiques de Creil et Beauvais. Celles-ci varient entre 15,9 à 45,8 D.m dans le secteur de Creil et entre 25,8 et 31,4 D.m dans celui de Beauvais. Les courbes d'isotransmissivité sont issues du rapport sur le Potentiel Géothermique du Bassin Parisien de 1976. Les valeurs de transmissivité issues ponctuellement des rapports RFS ont également été reportées sur la carte.

g) Salinité

Les données de salinité dans le Dogger calcaire sont réparties de la façon suivante :

- Bathonien : 41
- Bajocien : 6

Les valeurs moyennes sont comprises entre 0,5 g/l et 31 g/l.

Les valeurs extrêmes sont comprises entre 0,3 g/l et 35 g/l.

Aucun gradient de salinité en fonction de la profondeur ne peut être mis en évidence dans le Bathonien ou dans le Bajocien (Figure 48 et Figure 49).

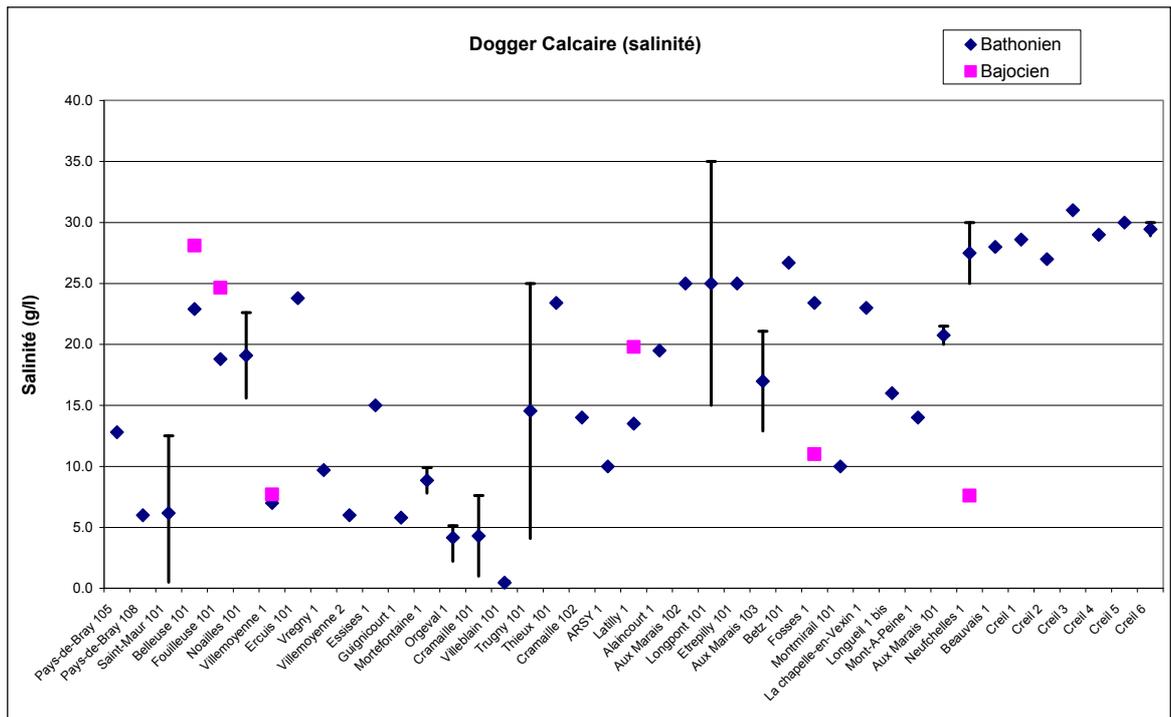


Figure 47 - Salinité du Dogger calcaire

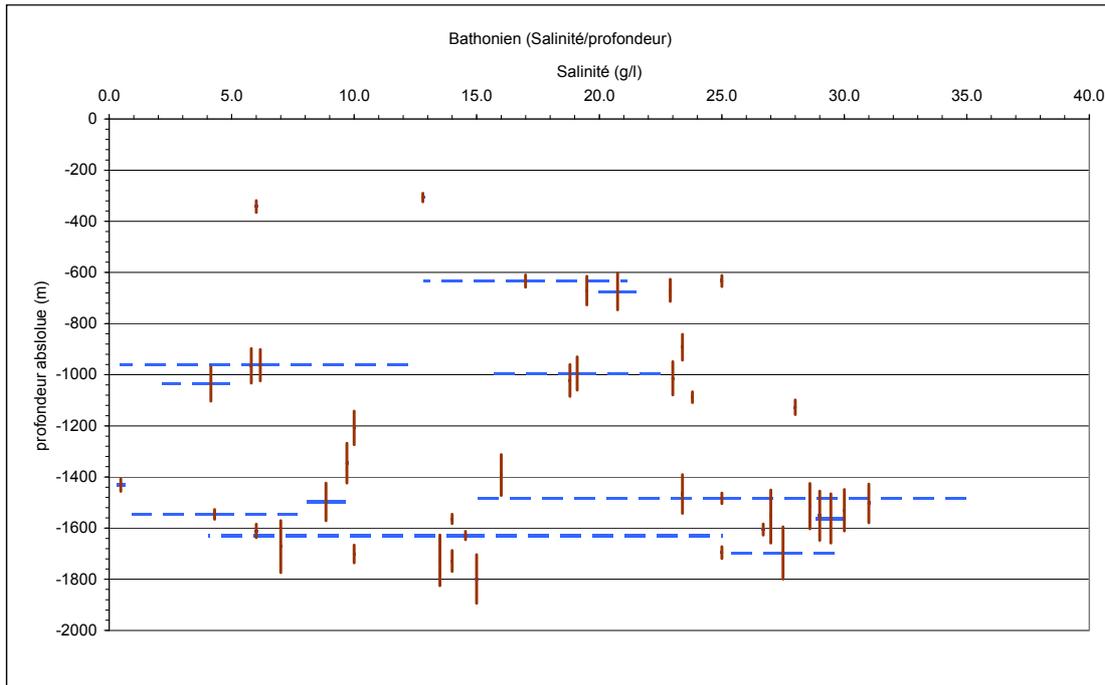


Figure 48 - Salinité du Bathonien en fonction de la profondeur absolue

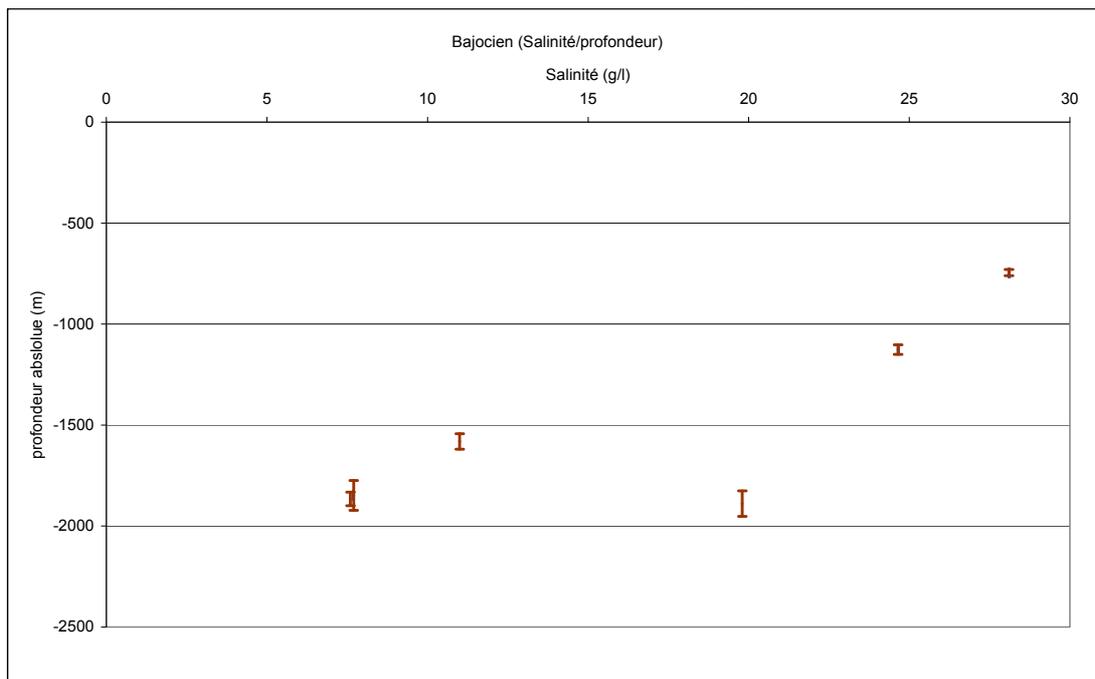


Figure 49 - Salinité du Bajocien en fonction de la profondeur absolue

Sur la Figure 50, un possible gradient de salinité orienté nord-est – sud-ouest peut être interprété dans le Bathonien. Les valeurs relevées dans les puits de l'étude s'accordent avec la carte de 1976 réalisée par Housse et Maget.

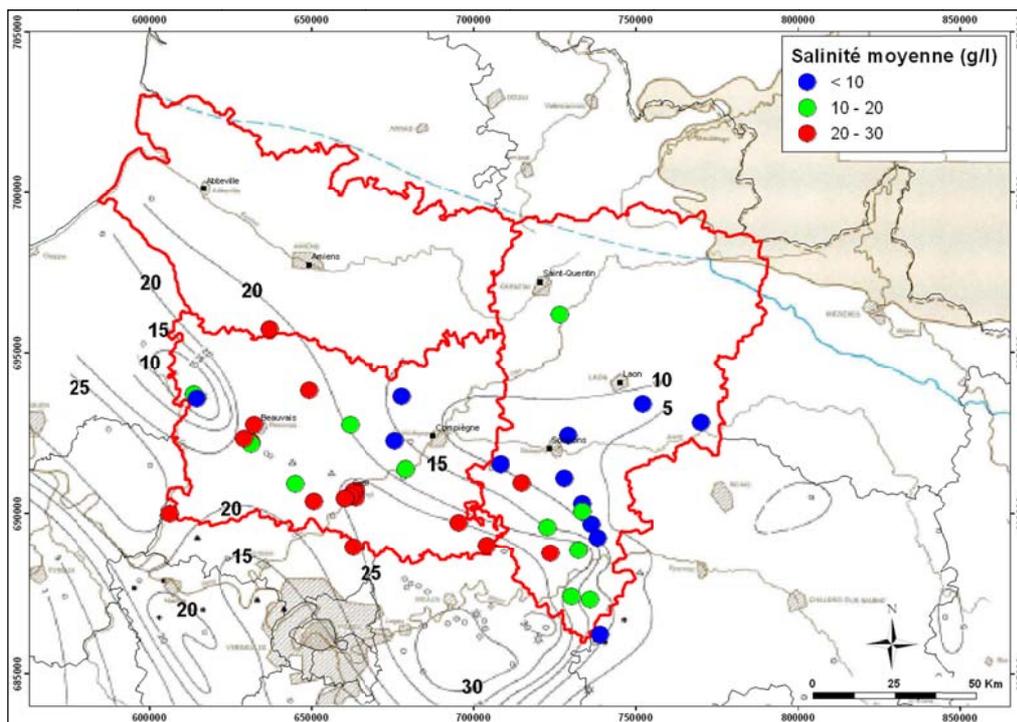


Figure 50 - Répartition géographique des salinités moyennes du Bathonien. Comparaison avec la carte hydrochimie du Dogger (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976)

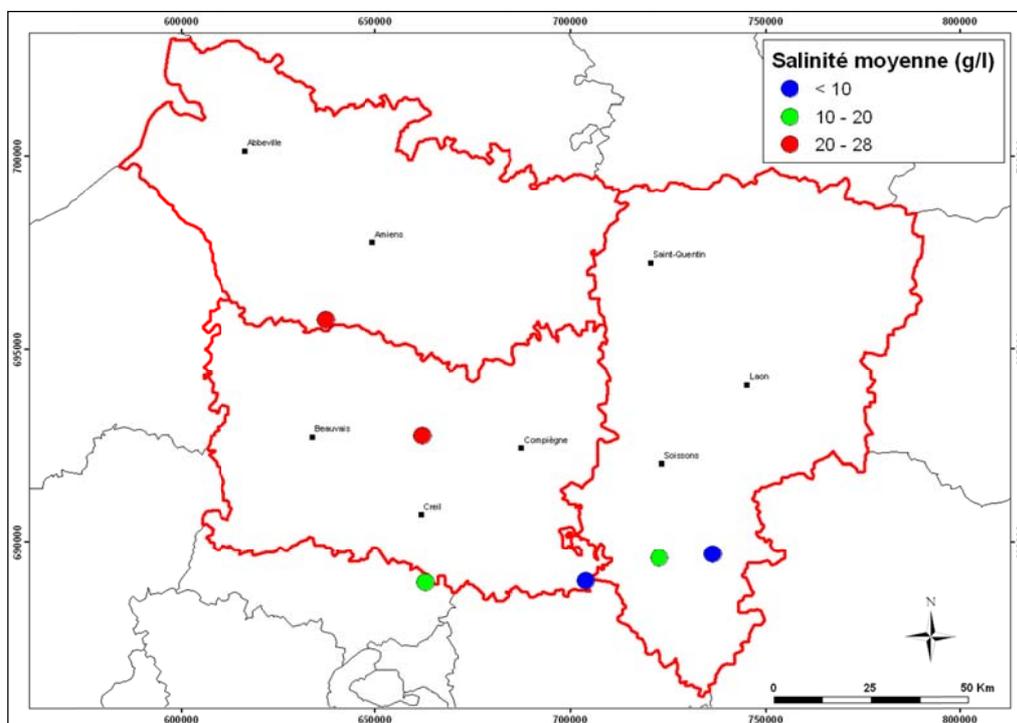


Figure 51 - Répartition géographique des salinités moyennes du Bajocien

La planche 13 dans l'annexe 6 présente une carte de tendance de la salinité des réservoirs du Dogger en Picardie. Cette carte a été réalisée à partir des données des RFS et des courbes d'isosalinité du rapport Geotherma. Les valeurs de salinité issues ponctuellement des rapports RFS ont également été reportées sur la carte.

La carte de salinité témoigne de la forte minéralisation de cet aquifère ; les plus fortes teneurs mesurées dépassent 30 g/l dans le secteur de Creil et vers le centre du Bassin Parisien. Vers l'est de la Picardie, la salinité semble diminuée à des valeurs d'environ 10 g/l. Les eaux du Dogger sont essentiellement chlorurées-sodiques dans toutes la région Picardie.

L'hydrogène sulfuré, qui peut être avec les chlorures à l'origine de la corrosion des équipements de puits est signalé dans de nombreux forages, surtout dans l'Oise. Des indices d'huile ont également été mis en évidence dans plusieurs ouvrages de reconnaissance pétrolière.

h) Pression

Les données de pression dans le Dogger calcaire sont réparties de la façon suivante :

- Bathonien : 16
- Bajocien : 2

Un gradient de pression de 10 bars/100 m a pu être calculé dans le Bathonien (Figure 52). En revanche avec seulement deux points de pression dans le Bajocien le calcul d'un gradient n'a pas de sens (Figure 53).

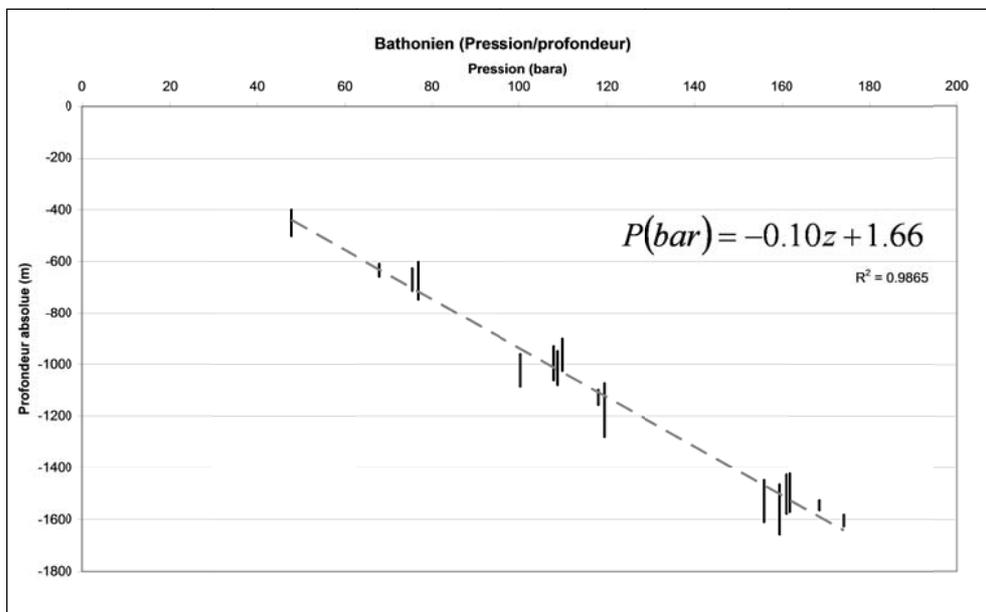


Figure 52 - Pression du Bathonien en fonction de la profondeur absolue

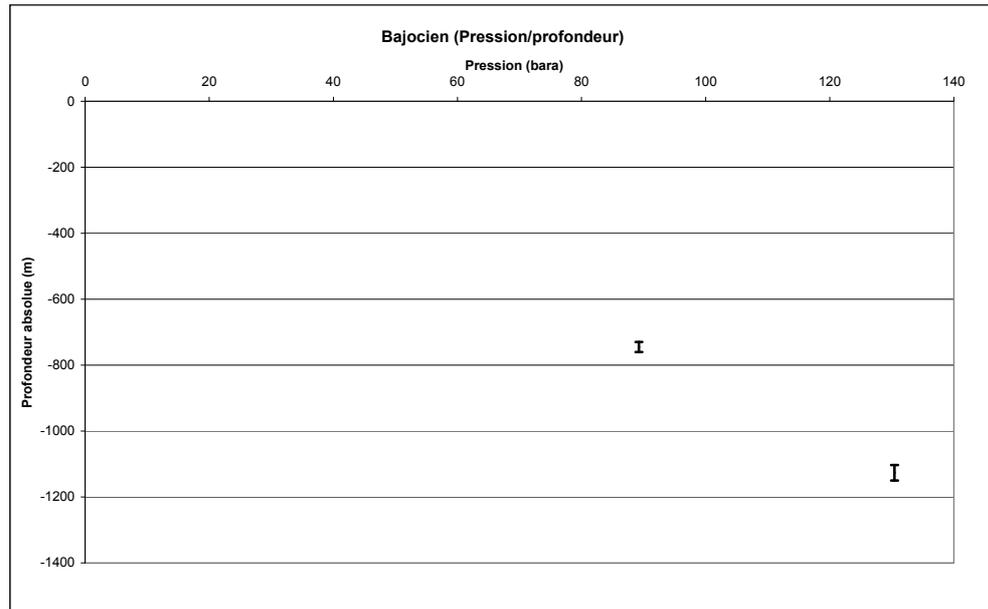


Figure 53 - Pression du Bajocien en fonction de la profondeur absolue

Des forages témoignent que la nappe est artésienne dans les vallées de l'Oise et dans la région de Beauvais.

Les niveaux piézométriques calculés à partir des mesures de pression dans des études antérieures indiquent un écoulement de la nappe s'effectuant vers le nord-ouest.

i) Température

Les données de température dans le Dogger calcaire sont réparties de la façon suivante :

- Bathonien : 14
- Bajocien : 2

Les valeurs moyennes sont comprises entre

- 20°C et 70 °C dans le Bathonien.
- 19,5°C et 26 °C dans le Bajocien.

Aucun gradient de température n'a pu être déterminé dans le Dogger à partir des données de l'étude (Figure 54 et Figure 55).

Les valeurs collectées dans les rapports de fin de sondage sont en accord avec les travaux d'Housse et Maget (Figure 56) hormis deux points au Sud-Ouest.

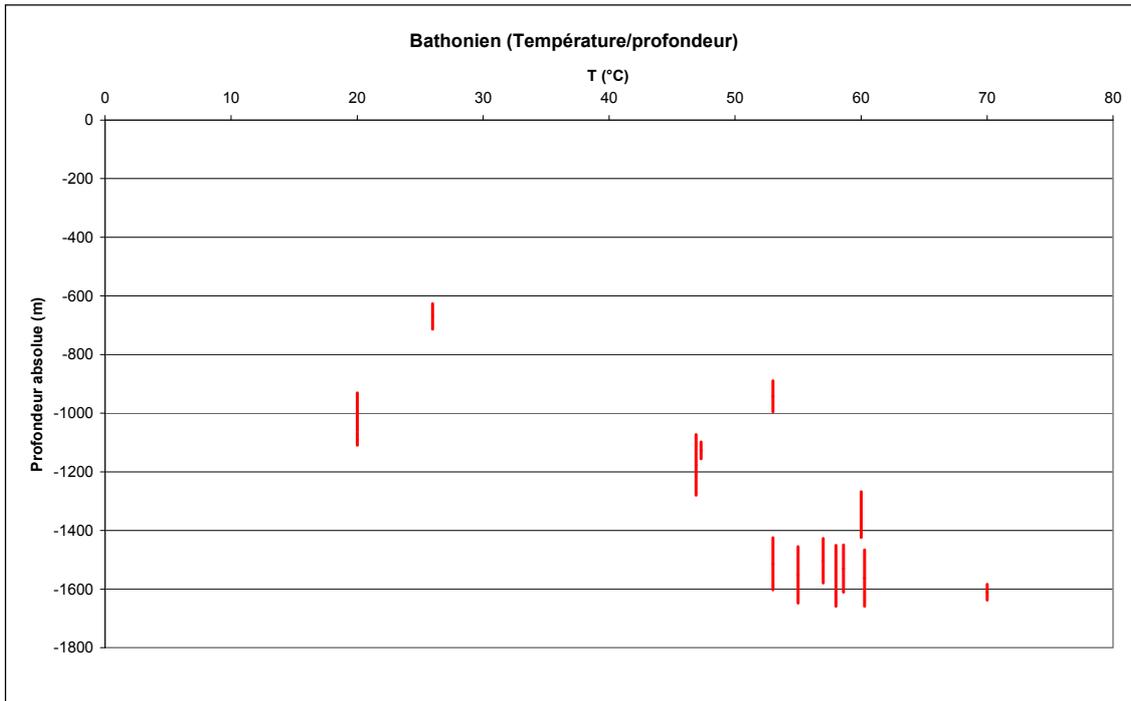


Figure 54 - Température du Bathonien en fonction de la profondeur absolue

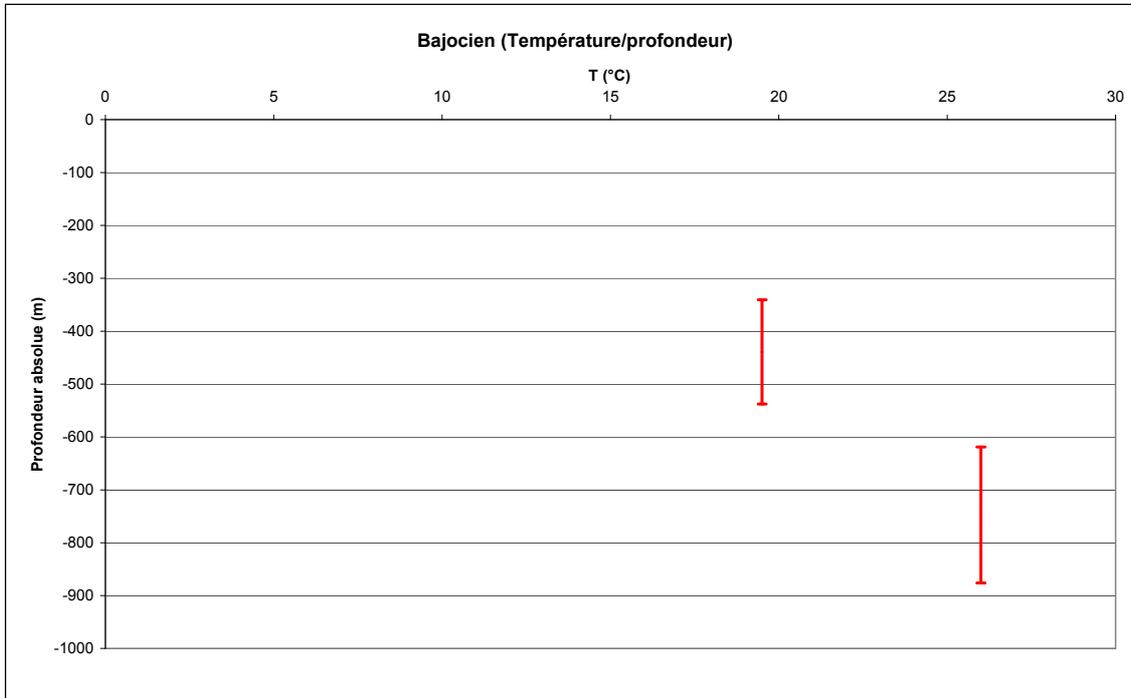


Figure 55 - Température du Bajocien en fonction de la profondeur absolue

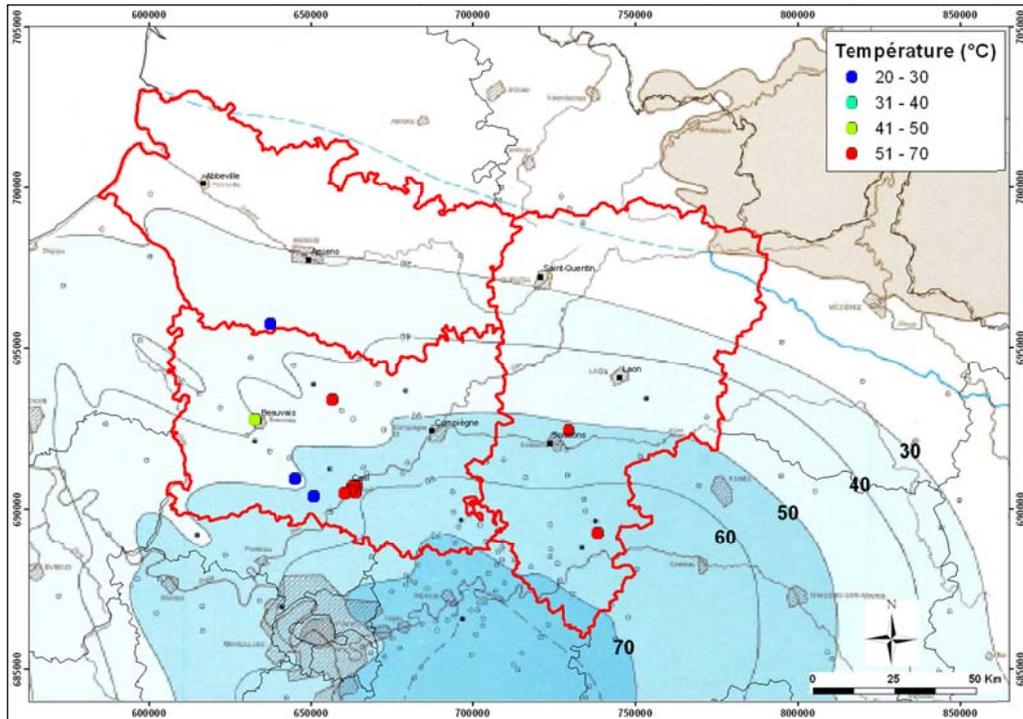


Figure 56 - Répartition géographique de la température du Bathonien. Comparaison avec la carte température du Dogger (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976)

La planche 14 dans l'annexe 6 présente une carte de tendance des températures des réservoirs du Dogger en Picardie. Les courbes isothermes indiquées sont issues de la cartographie du rapport Geotherma, calées avec les valeurs disponibles. Les quelques valeurs de température issues des RFS ont également été reportées sur la carte pour mettre en évidence les zones sur lesquelles nous avons une information ponctuelle. En fonction du gradient et de la profondeur du toit des formations, les températures prévisionnelles s'étalent de 40°C dans la région de Beauvais à plus de 70°C dans le sud de l'Aisne.

j) Débit

Les données de température dans le Dogger calcaire sont réparties de la façon suivante :

- Bathonien : 16
- Bajocien : 1

Dans le Bathonien (Figure 57) :

- Les valeurs moyennes sont comprises entre 0,036 m³/h et 119,2 m³/h.
- Les valeurs extrêmes sont comprises entre 0,03 m³/h et 150 m³/h.

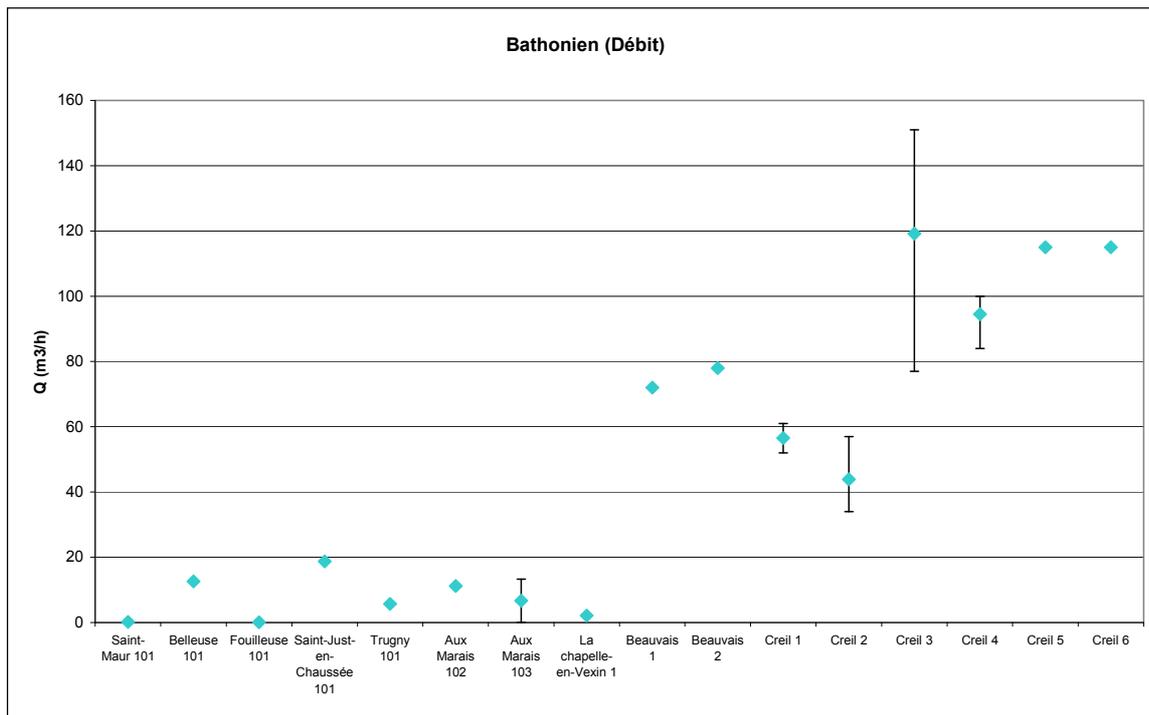


Figure 57 - Débit du Bathonien

Dans le Bajocien seul le puits Belleuse 101 a permis de collecter des valeurs de débit. Le débit est compris entre 0,42 m³/h et 2,1 m³/h pour une moyenne de 1,3 m³/h.

La planche 15 dans l'annexe 6 présente une carte de la productivité du Dogger en Picardie. Les forages ayant testé cet aquifère permettent de définir les zones où la transmissivité des réservoirs semble être suffisante pour permettre une bonne circulation du fluide géothermique. La cartographie établie dans le cadre d'études antérieures fait apparaître une productivité favorable dans le sud de la région malgré que les valeurs mesurées puissent être relativement inégales pour un niveau homogène.

k) Conclusions : propriétés des niveaux Dogger calcaire

Les principaux résultats pour ce niveau sont les suivants :

- Les porosités sont comprises entre 0% et 30 %. Dans le Bathonien et le Bajocien calcaire un gradient orienté nord-est - sud-ouest a pu être déterminé.
- Les perméabilités sont comprises entre 0,01 mD et 5000 mD. Dans le Bathonien un gradient orienté nord-est - sud-ouest a pu être déterminé.
- Les salinités se situent entre 0,3 g/l et 35 g/l. Aucun gradient géographique ou en profondeur n'a pu être déterminé.
- Un gradient de pression de 10 bars/100m a pu être calculé dans le Bathonien.

- Pour la température les valeurs sont comprises entre :
 - 20°C et 70 °C dans le Bathonien.
 - 19,5°C et 26 °C dans le Bajocien.
- Les débits sont compris entre 0,03 m³/h et 150 m³/h

Les différentes propriétés analysées dans le Dogger calcaire sont en cohérence avec les résultats du Dogger calcaire du bassin de Paris en région Centre. Les ordres de grandeurs sont les mêmes.

Les calcaires oolithiques et graveleux du réservoir du Dogger, présent au sommet du Bathonien, constituent un objectif important en géothermie. Le domaine couvert par les eaux à plus de 50°C est étendu au sud de la Picardie et coïncide à peu près avec les zones de plus forte transmissivité.

L'eau du Dogger est cependant très salée ; c'est une eau corrosive d'une part parce qu'elle est essentiellement chlorurée, d'autre part, et surtout, à cause de la présence d'hydrogène sulfuré.

4.2.3. Aquifère du Lias inférieur

Dans l'étude de dépouillement des RFS, 16 puits ont présenté des données dans le niveau Lias inférieur.

a) Réservoirs et extension géographique

Le Lias correspond à un cycle sédimentaire amorcé à la fin du Trias. On y distingue des niveaux gréseux et carbonatés à la base (Rhétien-Hettangien-Sinemurien), cédant la place à des niveaux argileux au Lias Supérieur (Pliensbachien-Domérien-Toarcién) (cf chapitre 2.3.3).

- **Le Sinémurien-Lotharingien**

Ce faciès correspond à une alternance de boues argilo-carbonatées et de sables carbonatés dont l'épaisseur est pluridécimétrique.

- **L'Hettangien**

Ce faciès correspond à des formations marno-argileuses témoins d'une histoire marine. Viennent ensuite les calcaires d'Hugleville faisant partie des réservoirs liasiques.

Ces formations s'arrêtent au sud d'une ligne Le Tréport-Amiens-Saint Quentin. Un réservoir au nord- est du Bassin Parisien s'étend entre le cours aval de la Seine et l'Oise. Dans la région de Beauvais, il est essentiellement formé par des calcaires oolithiques (Figure 58).

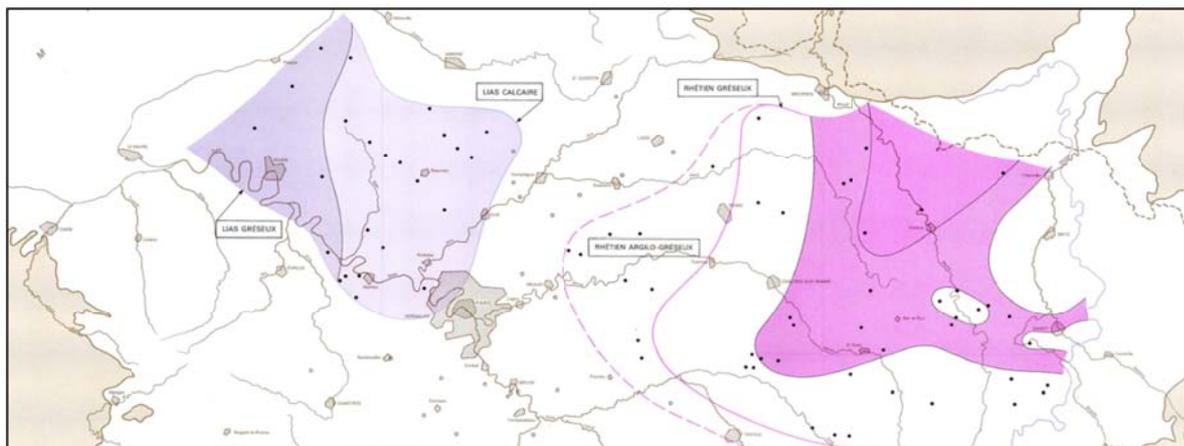


Figure 58 - Zone d'extension des réservoirs du Sinémurien-Hettangien et du Rhétien (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976)

b) Lithologie des réservoirs

En termes de faciès dans l'étude Géogreen :

- Le Sinémurien a été caractérisé dans 16 puits.
- L'Hettangien a été caractérisé dans 16 puits.

Remarque : dans 11 puits, ces deux étages n'ont pas pu être séparés, un étage Sinémurien-Hettangien a donc été défini.

Le Lias inférieur, ou Sinémurien-Hettangien, est constitué par 3 faciès :

- Calcaire
- Grès
- Marne

Dans les puits de l'étude les faciès rencontrés pour les niveaux Sinémurien et Hettangien sont (Figure 59, et la Figure 60) :

- Argile
- Marne
- Calcaire
- Sable/Grès

Dans certains puits la différence entre Sinémurien et Hettangien n'a pas pu être faite.

On a donc :

- sur la Figure 59 : le Sinémurien et le Sinémurien-Hettangien

- Sur la Figure 60 : l'Hettangien et le Sinémurien-Hettangien

Les différences entre les faciès définis dans les puits de l'étude et la carte réalisée en 2002 par l'IFPEN viennent du fait que la carte de l'IFPEN ne fait pas de distinction entre le Sinémurien et l'Hettangien alors que dans notre étude ces deux étages sont parfois distincts et parfois confondus. Il peut y avoir également quelques différences liées aux hypothèses d'interprétation au moment de la création de la carte.

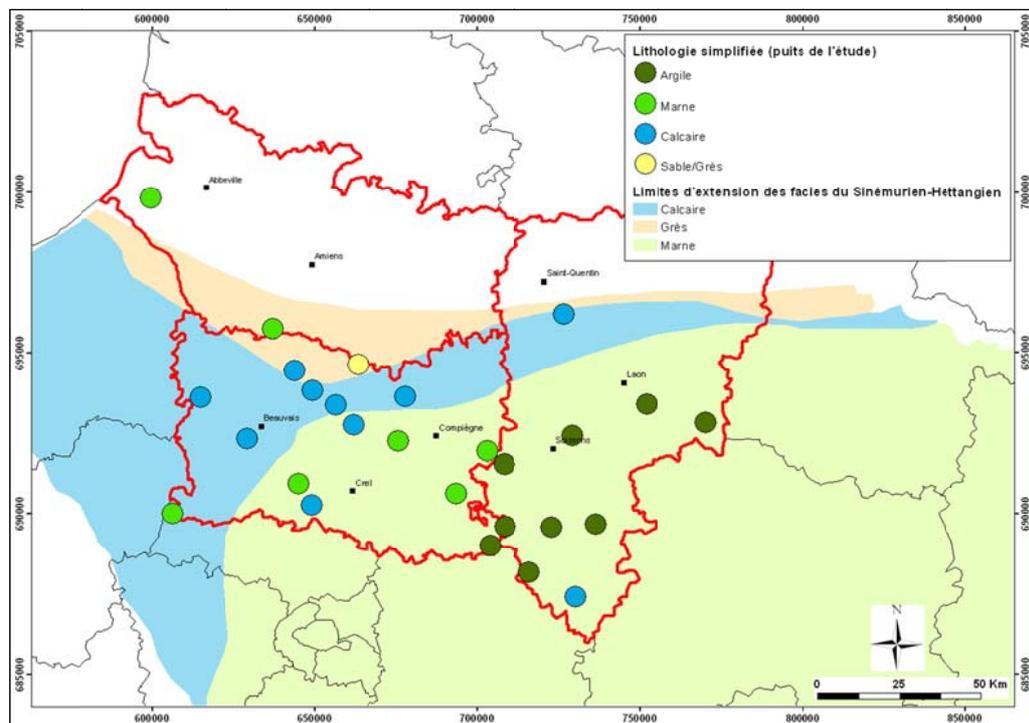


Figure 59 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Sinémurien). Comparaison avec les faciès du Sinémurien-Hettangien (à partir de la carte IFPEN 2002)

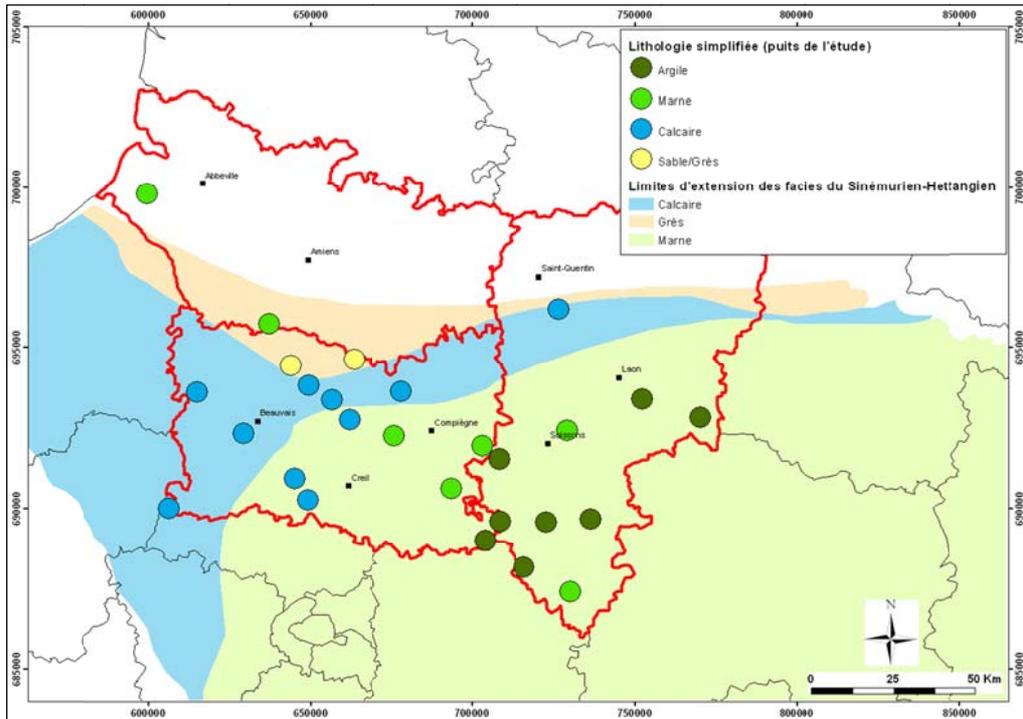


Figure 60 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Hettangien). Comparaison avec les faciès du Sinémurien-Hettangien (à partir de la carte IFPEN 2002)

c) Profondeur des réservoirs

Il n'a pas été établi de carte isobathe du toit du Lias inférieur en Picardie, cet aquifère n'ayant jamais été reconnu comme potentiellement intéressant en exploitation géothermique en Ile-de-France malgré quelques données ponctuelles intéressantes, comme indiqué dans les paragraphes suivants.

Le Lias inférieur se trouve à – 1000 m de profondeur dans la région de Beauvais et s'enfonce à – 2000 m et plus dans le sud de l'Aisne.

d) Épaisseur des réservoirs

L'épaisseur totale des roches calcaires susceptibles de constituer un réservoir est faible de l'ordre de 30 m.

En conséquence, il n'a pas été établi de cartes d'épaisseurs totales ou « utiles » de cet aquifère.

e) Porosité

Les données de porosité dans le Lias inférieur calcaire sont réparties de la façon suivante (Figure 61) :

- Sinémurien :
 - Données carottes : 6
 - Données diagraphiques : 0
- Hettangien :
 - Données carottes : 6
 - Données diagraphiques : 1

Les valeurs moyennes sont comprises entre 3,3% et 15,9 %.

Les valeurs extrêmes sont comprises entre 1,2% et 35,2 %.

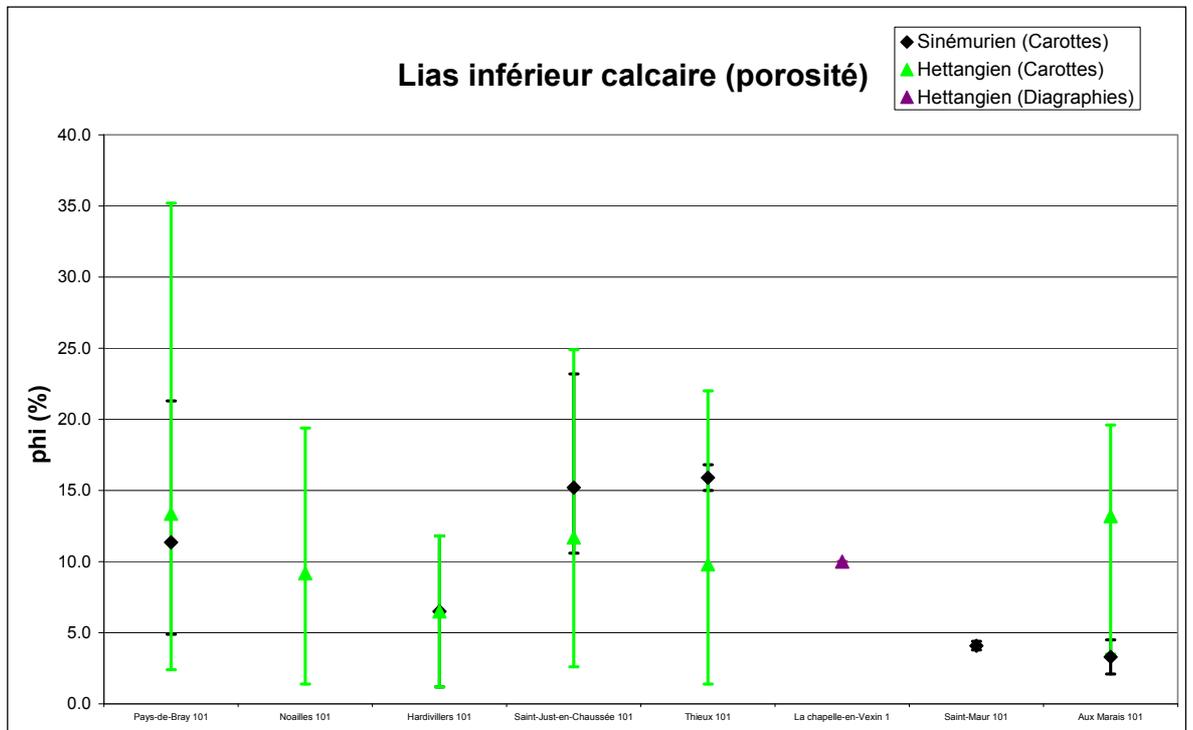


Figure 61 - Porosité du Lias inférieur calcaire

Il n'est pas possible de déterminer une tendance géographique dans les porosités du Lias inférieur calcaire (Figure 62 et Figure 63).

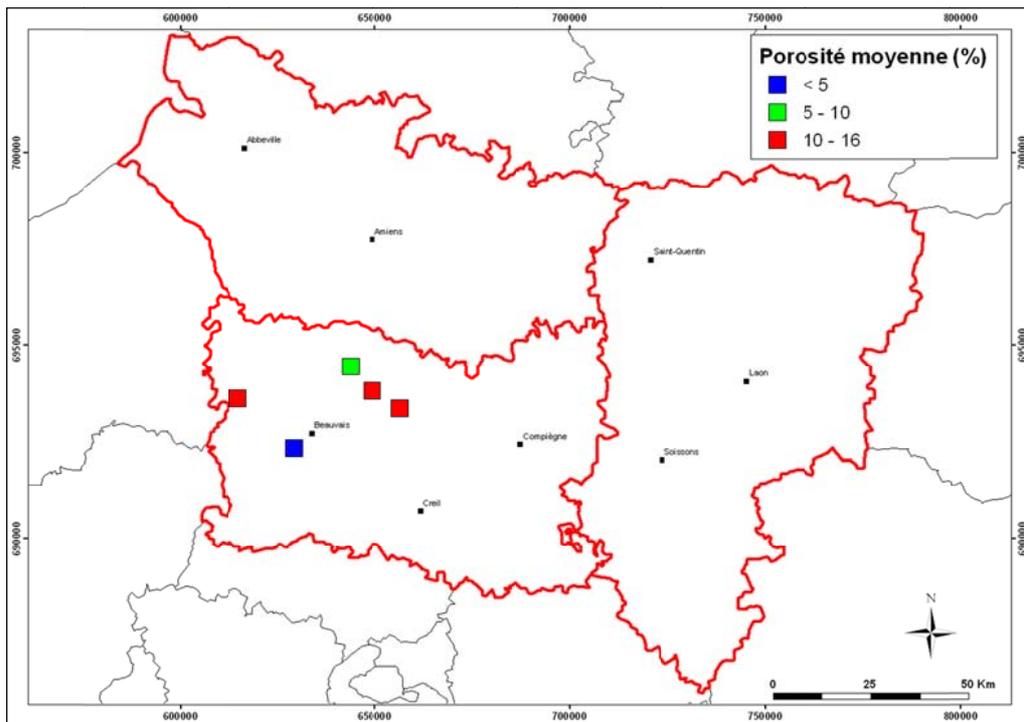


Figure 62 - Répartition géographique des porosités moyennes du Sinémurien calcaire

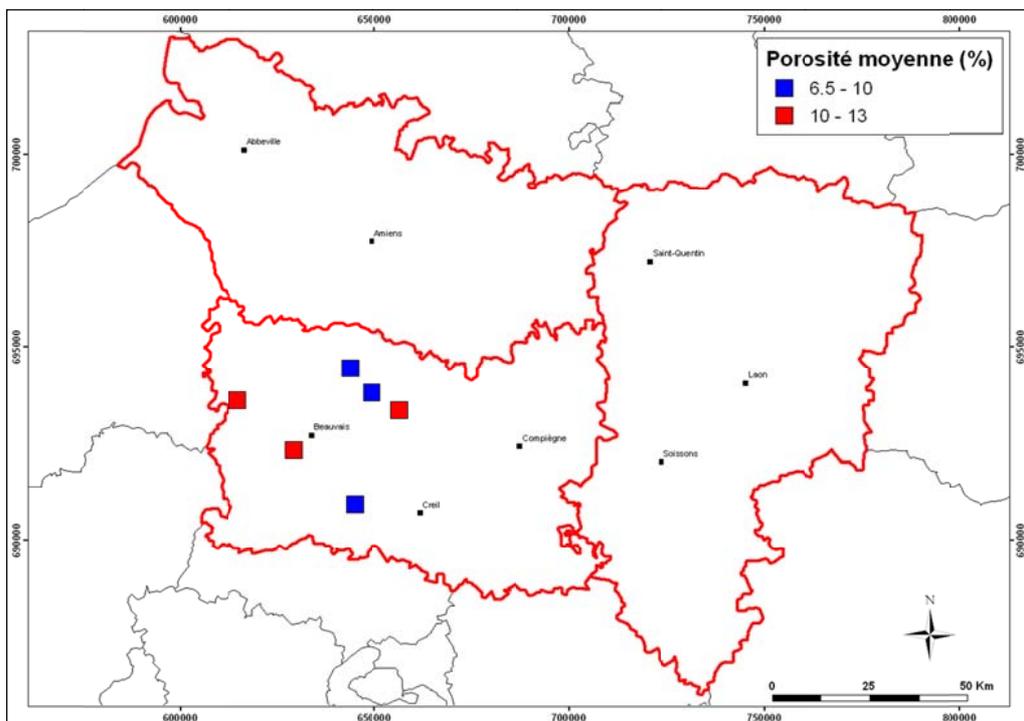


Figure 63 - Répartition géographique des porosités moyennes de l'Hettangien calcaire

f) Perméabilité

Les données de perméabilité dans le Lias inférieur calcaire sont réparties de la façon suivante (Figure 64) :

- Sinémurien : 4
- Hettangien : 7

Les valeurs moyennes sont comprises entre 0,1 mD et 2,8 mD.

Les valeurs extrêmes sont comprises entre 0,01 mD et 55,8 mD.

Il n'est pas possible de déterminer une tendance géographique pour les perméabilités du Lias inférieur calcaire (Figure 65 et Figure 66).

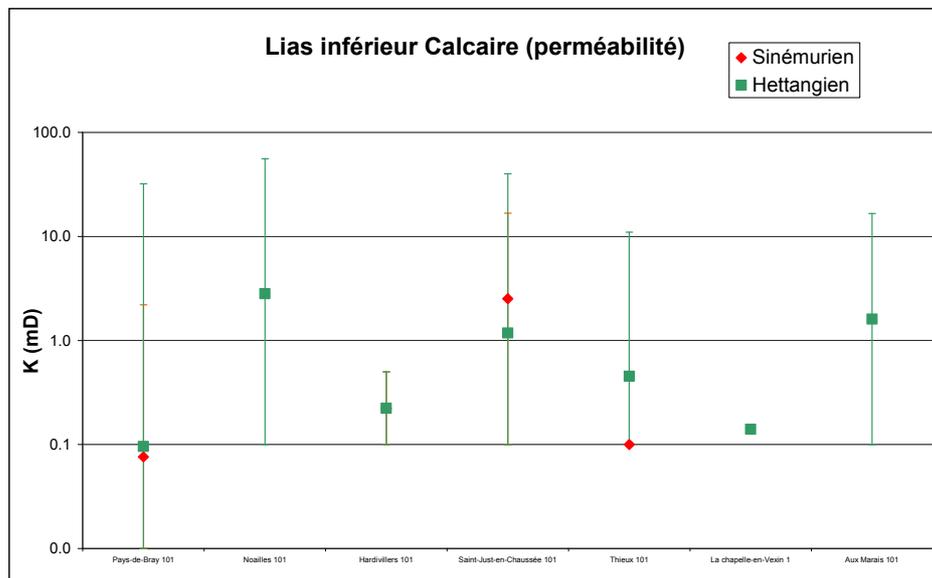


Figure 64 - Perméabilité du Lias inférieur calcaire

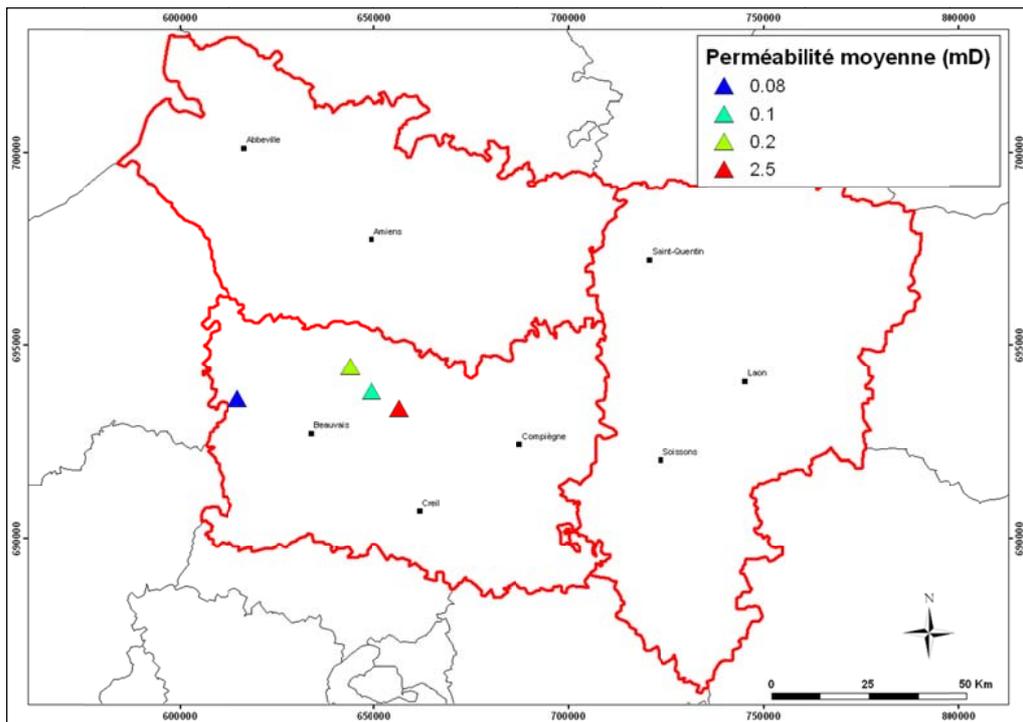


Figure 65 - Répartition géographique des perméabilités moyennes du Sinémurien calcaire

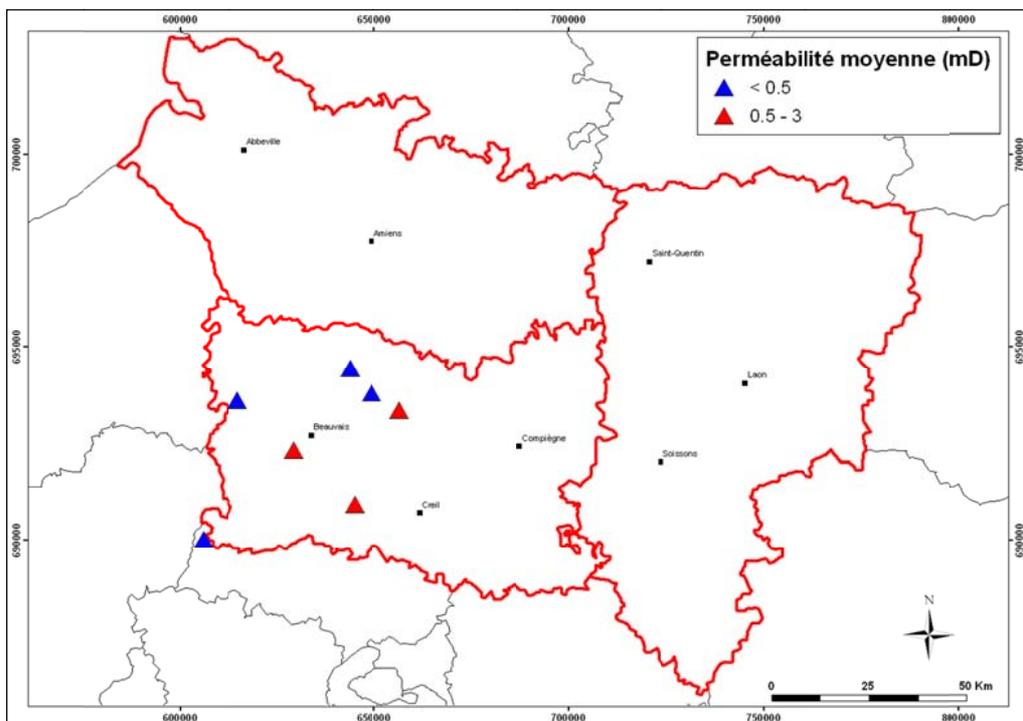


Figure 66 - Répartition géographique des perméabilités moyennes de l'Hettangien calcaire

g) Salinité

La salinité du Lias inférieur calcaire est représentée par les valeurs de l'Hettangien. En effet seulement 3 valeurs ont pu être collectées dans l'Hettangien et aucune n'était présente dans les puits de l'étude au niveau du Sinémurien (Figure 67).

Les valeurs sont comprises entre 39 g/l et 56 g/l.

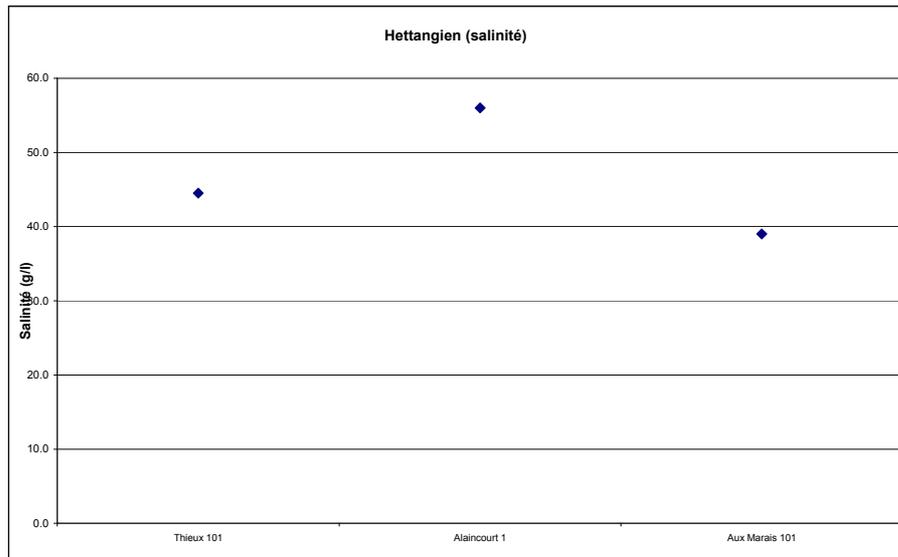


Figure 67 - Salinité de Lias inférieur calcaire

Avec seulement trois points, aucun gradient de salinité n'a pu être déterminé dans le Lias inférieur calcaire, que ça soit en fonction de la profondeur (Figure 68) ou géographique (Figure 69). Ces trois points sont parfaitement en accord avec la carte de 1976 réalisée par Housse et Maget.

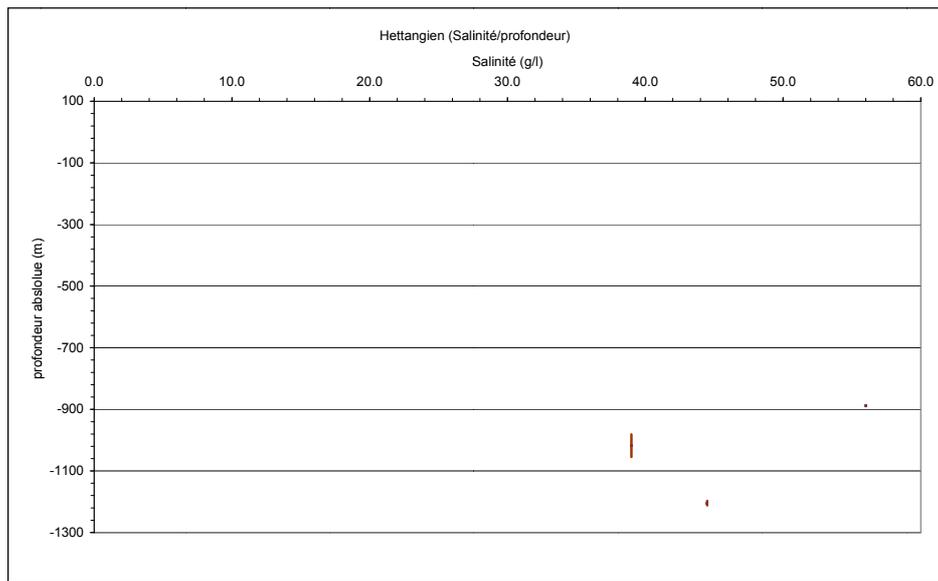


Figure 68 - Salinité du Lias inférieur calcaire en fonction de la profondeur absolue

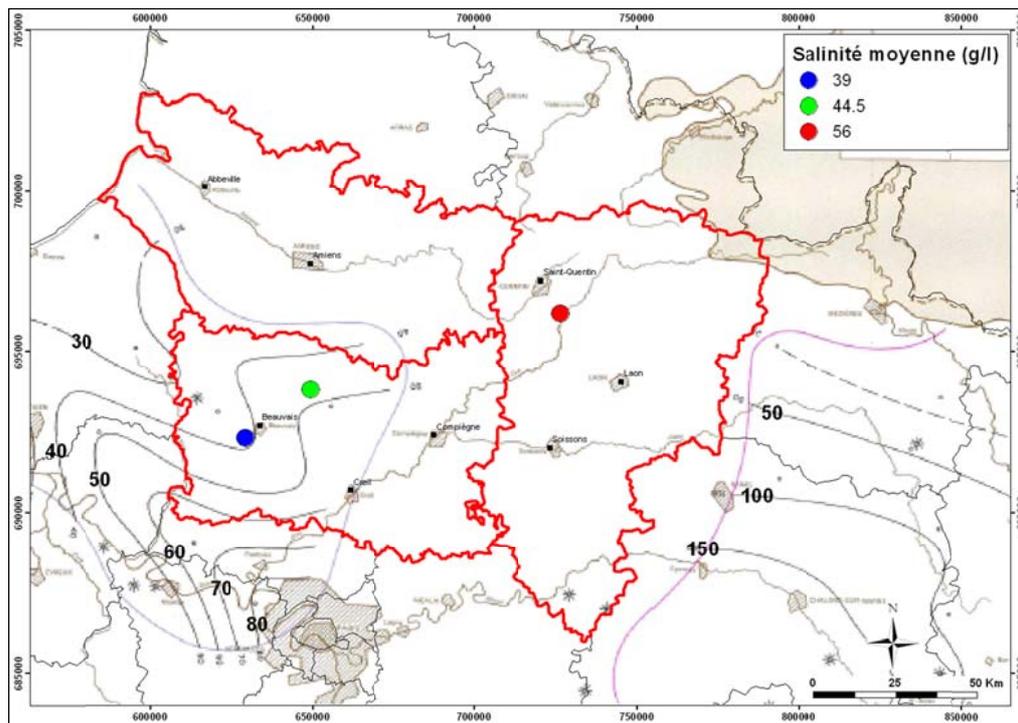


Figure 69 - Répartition géographique de la salinité moyenne de l'Hettangien . Comparaison avec la carte hydrochimie du Sinémurien-Hettangien (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976)

Les analyses font apparaître des eaux très fortement chlorurée sodiques.

h) Pression

La pression du Lias inférieur calcaire est représentée par les valeurs de l'Hettangien, aucune donnée de pression n'était présente dans les puits de l'étude au niveau du Sinémurien (Figure 70).

Un gradient de pression de 18 bar/100m a pu être déterminé dans l'Hettangien.

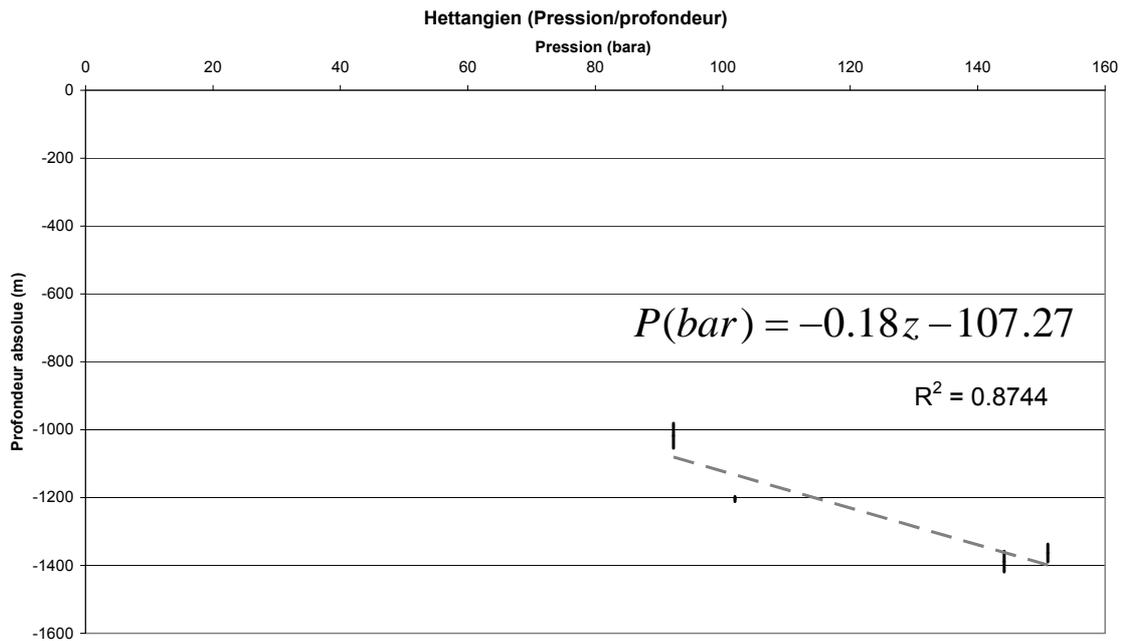


Figure 70 - Pression du Lias inférieur calcaire en fonction de la profondeur absolue

i) Température

Seule une température de 57,5 °C a pu être collectée pour le niveau Hettangien dans le puits Thieux 101.

j) Débits

Il n'y a pas de valeur de débit présente dans le Lias inférieur calcaire.

k) Conclusions : propriétés du Lias inférieur calcaire

Les principaux résultats pour ce niveau sont les suivants :

- Les porosités sont comprises entre 12% et 35,2 %.

- Les perméabilités sont comprises entre 0,01 mD et 55,8 mD.
- La salinité a été mesurée en 3 points seulement, exclusivement dans l'Hettangien. Celle-ci est comprise entre 39 g/l et 56 g/l.
- Un gradient de pression de 18 bars/100m a pu être calculé dans l'Hettangien.
- Une seule valeur représente la température du Lias inférieur calcaire. Celle-ci est de 57,5 °C.

Comme vu sur les figures Figure 59 et Figure 60, **une grande partie du Lias inférieur est composée d'argile ou de marne. Néanmoins les zones calcaires et gréseuses présentent de bonnes caractéristiques.**

4.2.4. Aquifère du Rhétien

Le Rhétien a été séparé du Trias afin de garder une cohérence avec la philosophie BDLISA dans l'éventualité d'une mise en correspondance future.

Au total, 16 puits ont rencontré les faciès du Rhétien.

a) Réservoirs et extension géographique

Au nord de Verdun, la formation est constituée essentiellement des grès, mais dès que l'on s'éloigne vers le sud ou l'ouest, les niveaux gréseux s'amincissent et il s'y intercale des bancs argileux de plus en plus épais. Cet étage est principalement constitué de niveaux argileux en région Picardie (Figure 58).

b) Lithologie des réservoirs

D'après la répartition des faciès définis au niveau des puits de l'étude et de l'étude IFPEN de 2002, il semblerait qu'il y ait une meilleure cohérence entre les données des puits et le Rhétien continental. Les faciès gréseux correspondraient aux grès de Boissy et les faciès argileux aux argiles de Chalain.

Les différences peuvent être dues au fait que l'étude IFPEN dont sont extraites les cartes ci-dessous sépare le Rhétien marin et le Rhétien continental ce qui n'est pas le cas dans la présente étude.

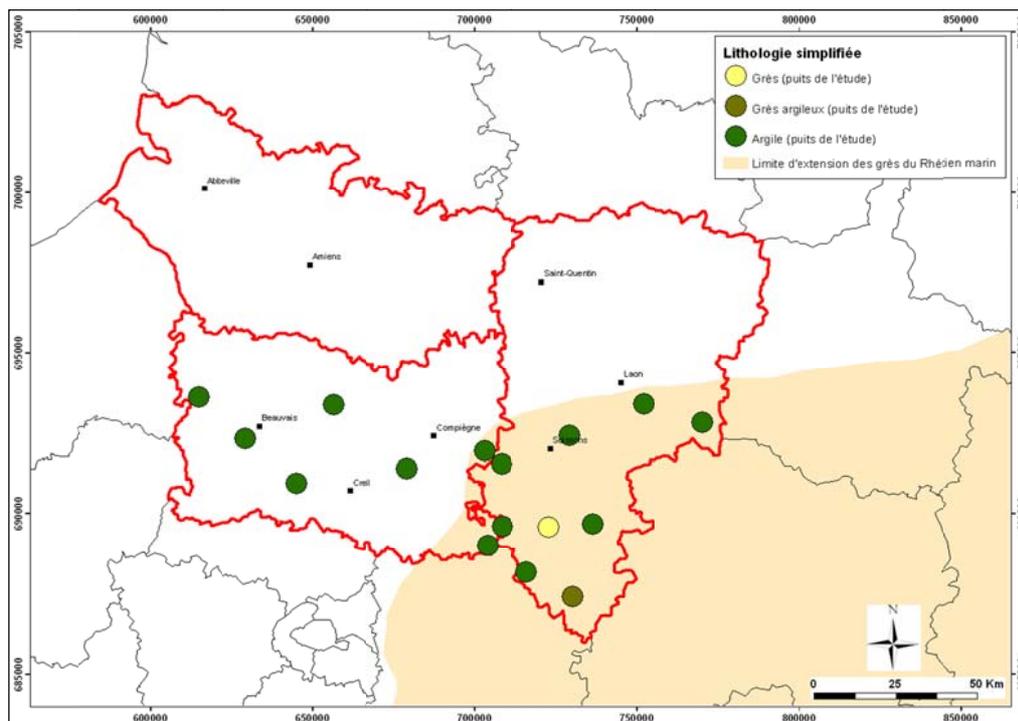


Figure 71 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Rhétien). Comparaison avec les faciès du Rhétien marin (à partir de la carte IFPEN 2002)

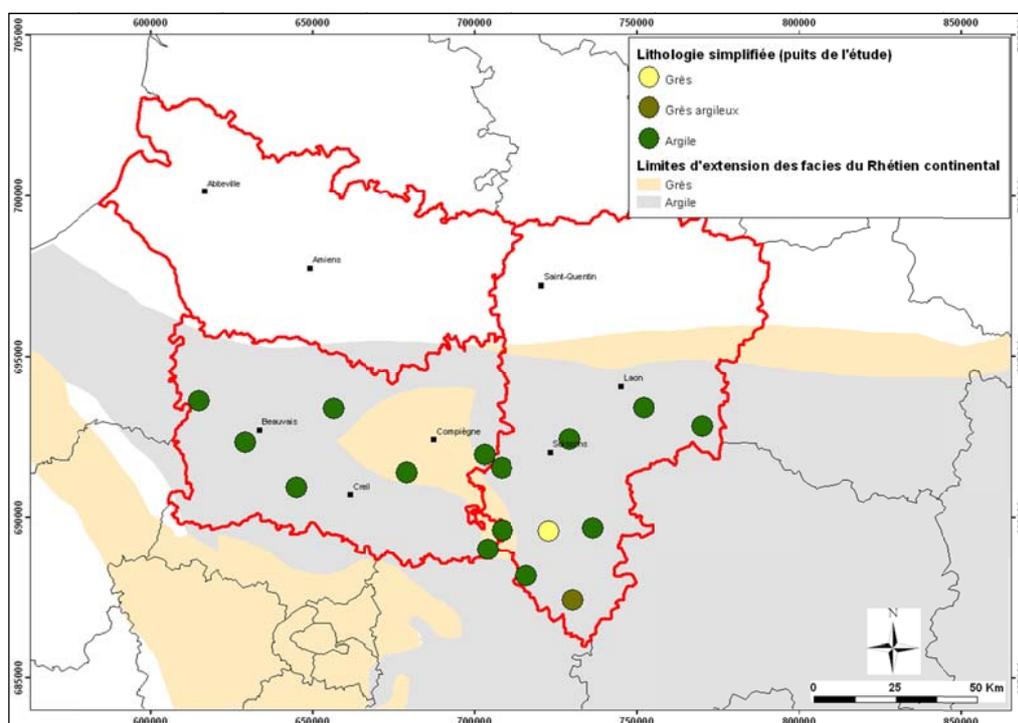


Figure 72 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Rhétien). Comparaison les avec les faciès du Rhétien continental (à partir de la carte IFPEN 2002)

c) Profondeur des réservoirs

Comme dans le cas du Lias inférieur, il n'a pas été établi de carte isobathe du toit du Rhétien en Picardie

Le Rhétien plonge plongeant vers le centre du Bassin Parisien en s'enfonçant à – 2500 m et plus dans le sud de l'Aisne.

d) Épaisseur des réservoirs

L'épaisseur des roches calcaires susceptibles de constituer un réservoir est extrêmement faible en Picardie.

e) Porosité

3 données de porosité ont pu être collectées dans le Rhétien (Figure 73) :

Les valeurs moyennes sont comprises entre 2,88% et 6,10 %.

Les valeurs extrêmes sont comprises entre 0,8% et 10 %.

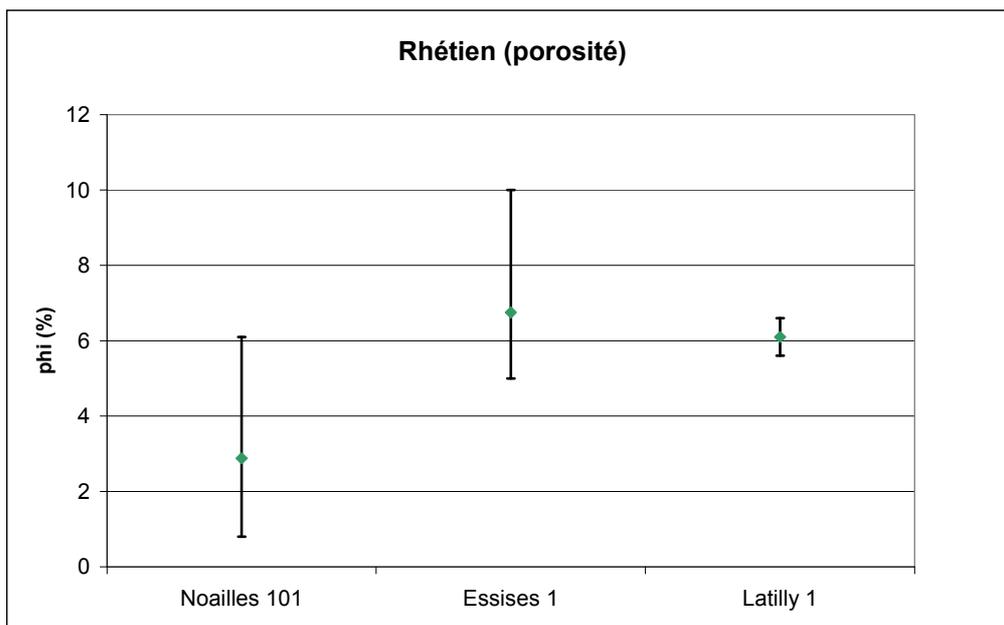


Figure 73 - Porosité du Rhétien

Il n'y a pas assez de points de porosité pour définir une organisation géographique dans la zone d'étude (Figure 74).

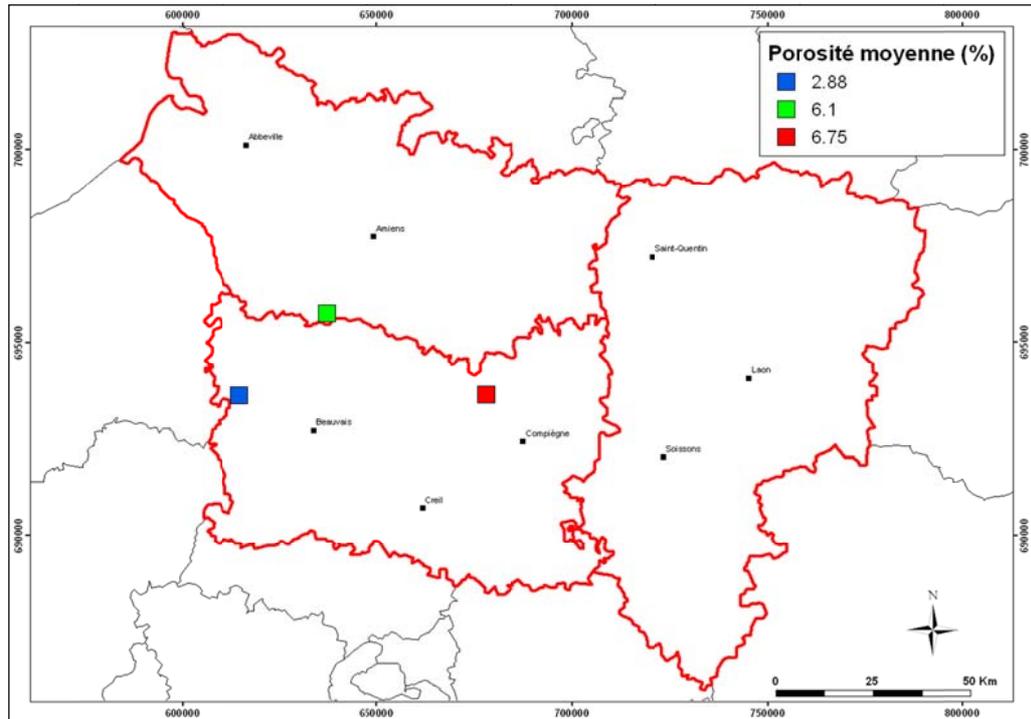


Figure 74 - Répartition géographique des porosités moyennes du Rhétien

f) Perméabilité

Seulement 3 données de perméabilité ont pu être collectées dans le Rhétien (Figure 73) :

Les valeurs moyennes sont comprises entre 0,1 mD et 1,5 mD.

Les valeurs extrêmes sont comprises entre 0,1 mD et 11 mD.

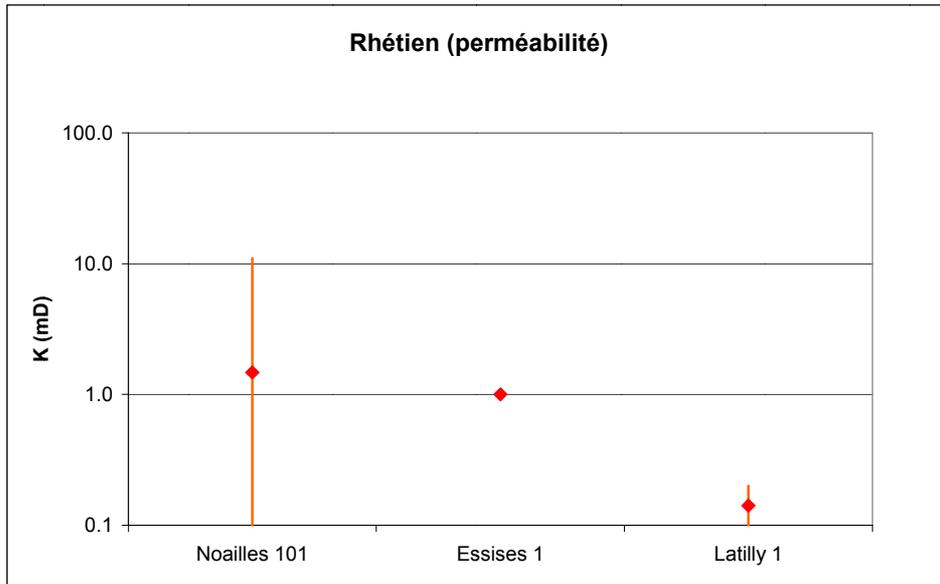


Figure 75 - Perméabilité du Rhétien

Il n'y a pas assez de points de perméabilité pour définir un gradient géographique dans le Rhétien (Figure 76).

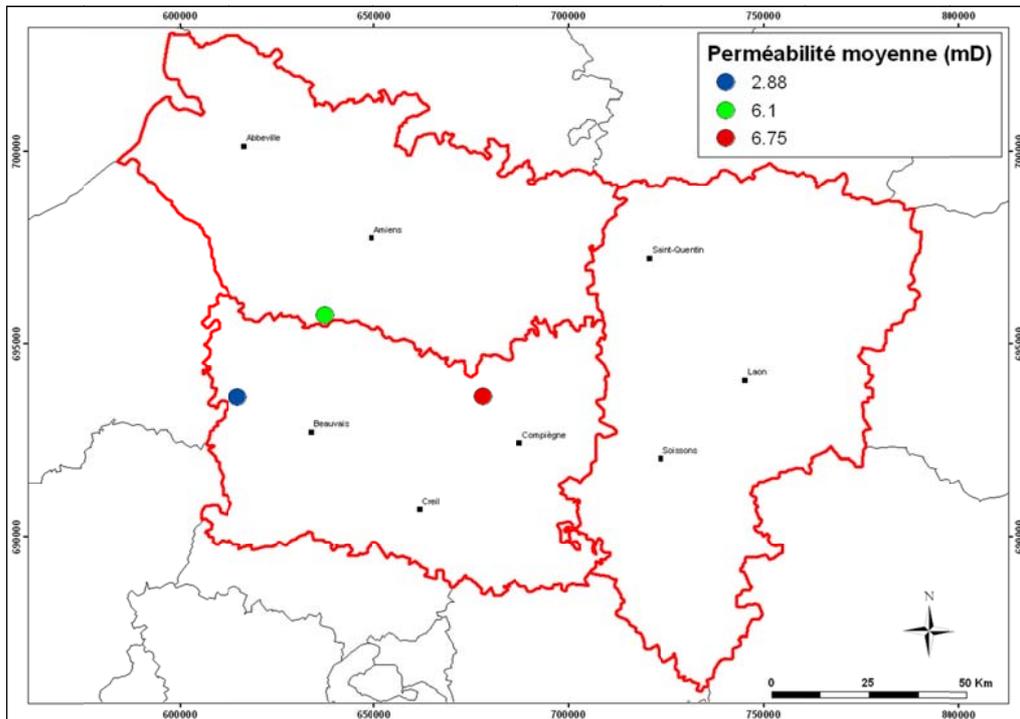


Figure 76 - Répartition géographique des perméabilités moyennes du Rhétien

Le nombre de points étant très faible il n'a pas été possible de vérifier si une loi k/ϕ existait dans le Rhétien au niveau de la Picardie

g) Salinité

Pas de valeur de salinité dans le Rhétien. Une analyse connue (Mailly-le-Camp) indique une eau très fortement minéralisée, essentiellement chlorurée sodique.

h) Pression

Pas de valeur de pression dans le Rhétien.

i) Température

Pas de valeur de température dans le Rhétien.

j) Débit

Pas de valeur de débit dans le Rhétien

k) Conclusions propriétés du Rhétien

Le Rhétien étant très argileux dans la région d'étude très peu de valeurs ont pu être collectées dans ce niveau.

Les principaux résultats pour ce niveau sont les suivants :

- Les porosités, représentées par 3 points, sont comprises entre 0,8% et 10 %.
- Les perméabilités, représentées par 3 points, sont comprises entre 0,1 mD et 11 mD.
- Aucune donnée de salinité, pression, température ou débit n'a été collectée dans le Rhétien.

Le Rhétien n'a pu être caractérisé qu'en termes de porosité et perméabilité. De plus, la très faible quantité de données ne permet pas de caractériser ce niveau avec fiabilité.

En revanche, sa nature très argileuse permet de dire que le Rhétien n'est pas pertinent pour une exploitation géothermale dans la région Picardie.

4.2.5. Aquifère du Trias

L'aquifère du Trias, le plus profond en Picardie, y est très mal connu. Dans l'étude de dépouillement des RFS, 25 puits atteignent ou traversent le niveau Trias.

a) Réservoirs et extension géographique

Le Trias est absent au nord d'une ligne reliant Amiens à Vervins. Dans le sud de l'Aisne, il est constitué de la base vers le sommet par des grès moyens (50-80 m), des formations argilo-anhydritiques (10-20 m), des grès supérieurs (90 m) et est couronné par des argiles sombres (40-50 m). L'épaisseur de ces niveaux diminue progressivement du sud vers le nord jusqu'à ne plus former qu'une mince semelle détritique (cf chapitre 2.3.3).

b) Lithologie des réservoirs

Au vu des extensions des faciès du Chaunoy (Figure 77) et du Donnemarie (Figure 78), ainsi que de la précision apportée dans les rapports de fin de sondage des puits Bourneville 1D, Montreuil-aux-Lions 1 et Saint-Jean 1 (entourés en bleu turquoise sur la Figure 77) , nous pouvons considérer que le Trias gréseux traversé dans cette étude correspond aux formations de Chaunoy.

Les huit points superposés au grès de Chaunoy et dont le faciès au puits a été déterminé comme argileux correspondent à des puits n'ayant pas atteint les grès de Chaunoy. Ces puits se sont arrêtés dans des couches d'argiles rouges sus-jacentes.

Le puits entouré en noir sur la Figure 77 correspond au puits Feigneux 1. Celui-ci a rencontré une formation gréseuse dite des « grès de Feigneux ». Celle-ci étant sous-jacente à une couche d'argile, et la couche triasique représentée sur la carte étant la couche supérieure ce puits apparaît comme argileux.

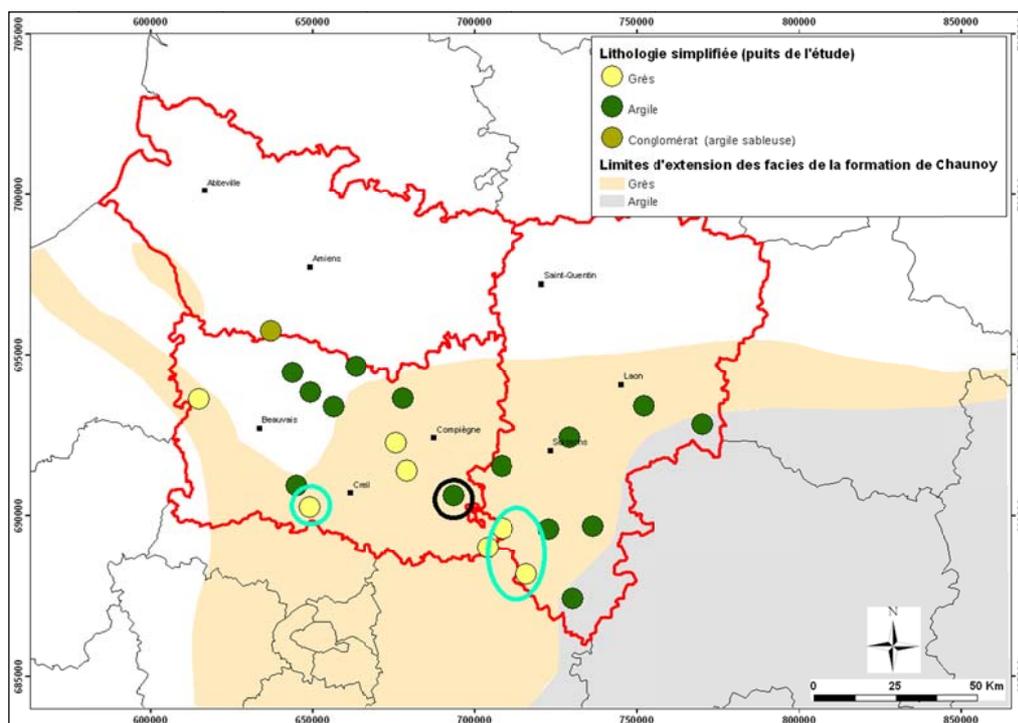


Figure 77 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Trias). Comparaison avec les faciès de la formation de Chaunoy (à partir de la carte IFPEN 2002)

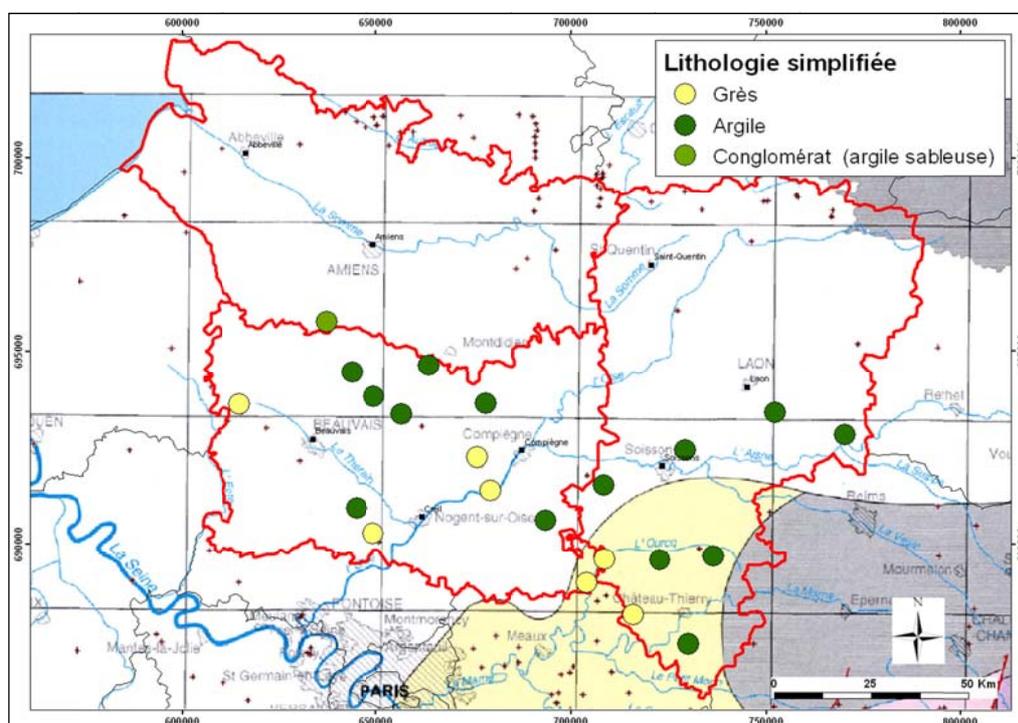


Figure 78 - Lithologie simplifiée des puits de l'étude (Trias). Comparaison avec faciès des grès de Donnemarie (carte IFPEN 2002)

c) Profondeur des réservoirs

Compte-tenu du trop faible nombre de données disponibles, il n'a pas été établi de carte isobathe du toit du Trias.

Le toit des argiles se trouve à la cote -800 m NGF au niveau de Vervins et s'enfonce jusqu'à -2 700 m au sud de Château Thierry.

d) Épaisseur des réservoirs

Les niveaux exploitables sont essentiellement contenus dans les formations détritiques (sables, grès, conglomérats). La puissance cumulée des niveaux détritiques est de plus d'une centaine de mètres dans la partie sud-est de la région.

Le trop faible nombre de données n'a pas été jugé suffisant pour établir une carte d'épaisseurs totales et surtout « utiles » représentatives des réservoirs détritiques du Trias.

e) Porosité

Les données de porosité dans le Trias sont réparties de la façon suivante (Figure 79) :

- Données carottes : 10
- Données diagraphiques : 4

Les valeurs moyennes sont comprises entre 2,4% et 22 %.

Les valeurs extrêmes sont comprises entre 0,4% et 28,9 %.

D'après les travaux de synthèse d'Etienne Brosse réalisé en 2007, la porosité moyenne des grès de la formation de Chaunoy est de 14,7 %. Les valeurs déterminées dans les puits de l'étude sont en accord avec cette moyenne.

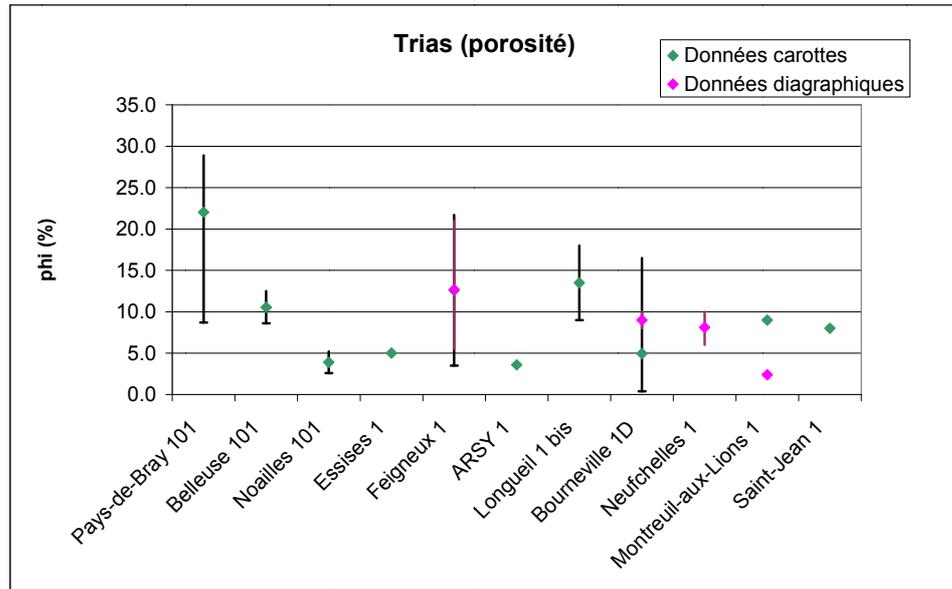


Figure 79 : Porosité du Trias gréseux

Aucune organisation géographique de la porosité au Trias ne peut être interprétée (Figure 80).

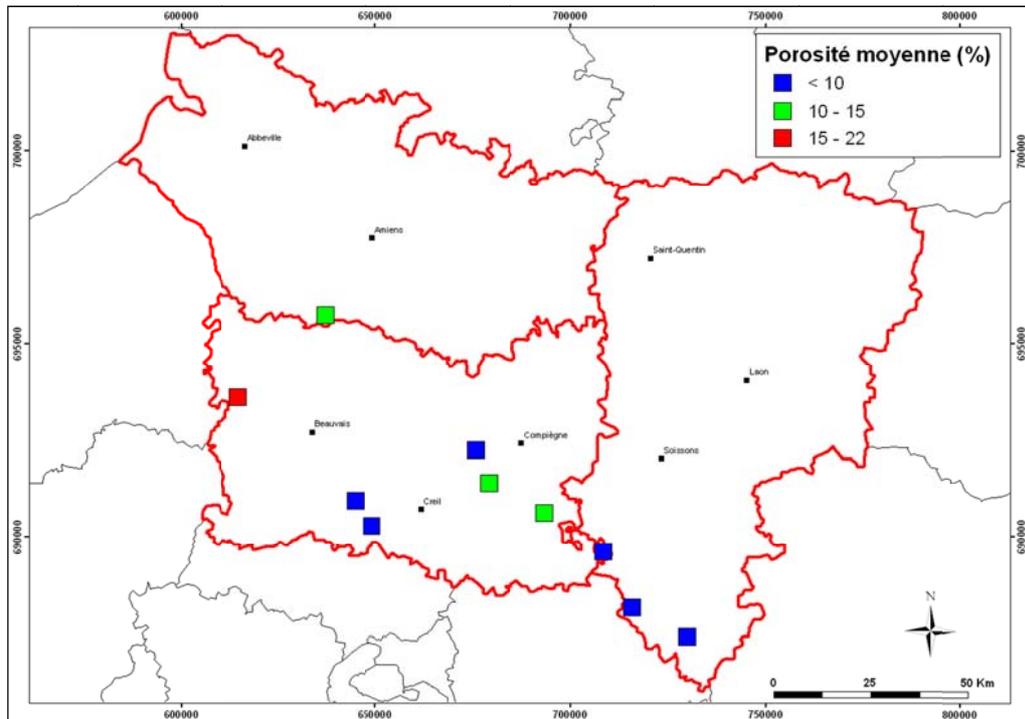


Figure 80 - Répartition géographique des porosités moyennes du Trias

f) Perméabilité

Les données de perméabilité dans le Trias sont réparties de la façon suivante (Figure 81) :

- Données carottes : 6

Les valeurs moyennes sont comprises entre 0,5 mD et 19,9 mD.

Les valeurs extrêmes sont comprises entre 0,1 mD et 1314 mD.

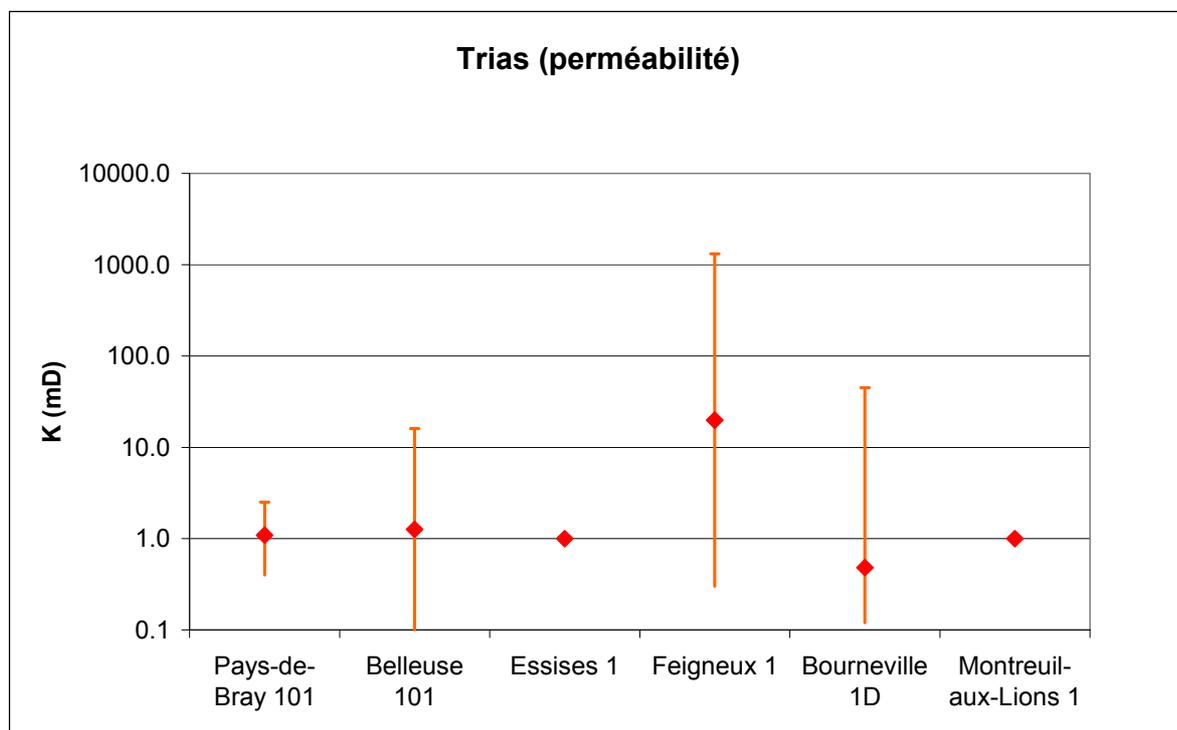


Figure 81 - Perméabilité du Trias gréseux

Aucune organisation géographique de perméabilité au Trias ne peut être mise en évidence (Figure 82).

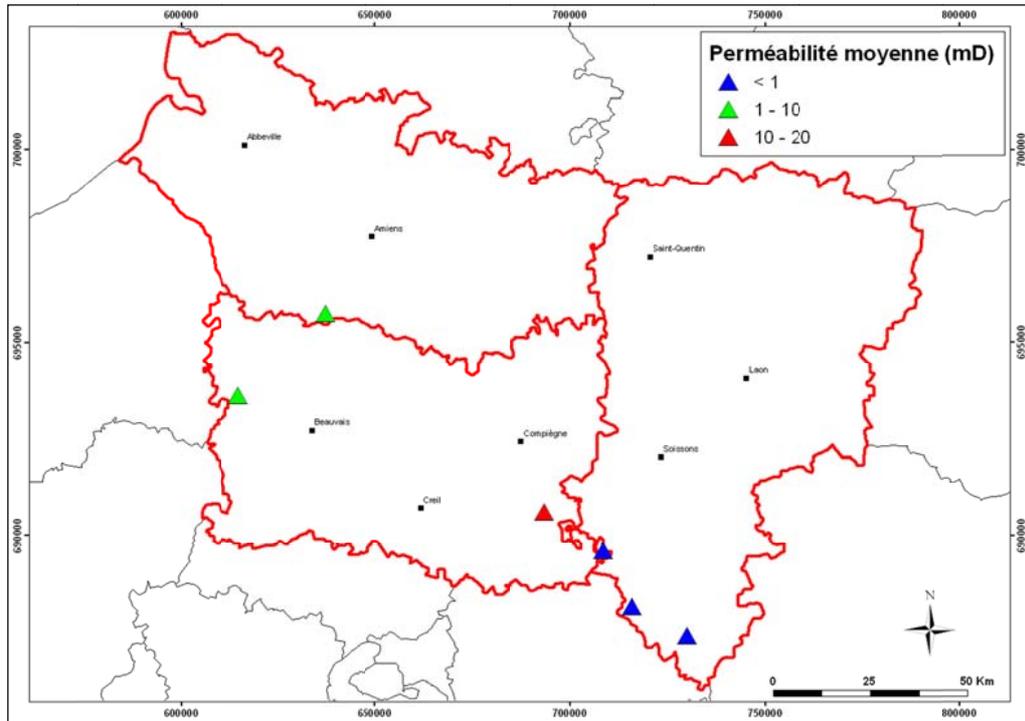


Figure 82 - Répartition géographique des perméabilités moyennes du Trias

La loi k/ϕ (perméabilité/porosité) a été calculée à partir de l'ensemble des données brutes prises dans le Trias à dominance gréseuse afin de couvrir l'ensemble des données collectées dans les RFS. La Figure 83 montre cette relation k/ϕ dont la dispersion est assez importante.

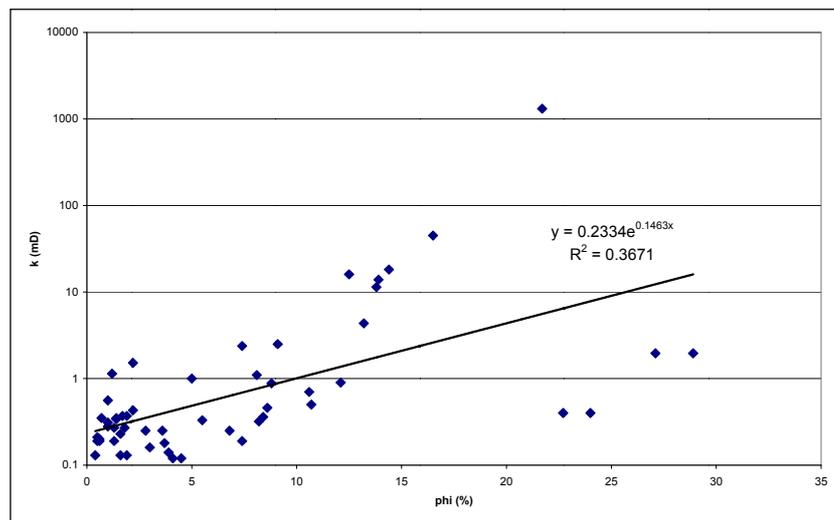


Figure 83 - Loi k/ϕ dans le Trias

g) Salinité

Au total, 5 données de salinité ont été collectées dans le Trias (Figure 84) :

Les valeurs extrêmes sont comprises entre 35 g/l et 100 g/l.

Aucun gradient n'a pu être déterminé dans le Trias (Figure 85 et Figure 86). Sur la carte de 1976 issue des travaux d'Housse et Maget les courbes de salinité n'ont pas été déterminées dans la zone d'étude. Les valeurs collectées dans les puits sont relativement en concordance, hormis les points au sud-est, dans les intervalles 50-80 g/l et 80-100 g/l qui se trouvent au-delà de la courbe de 150 g/l. Même si les valeurs présentées sont les valeurs moyennes au puits la valeur maximale trouvée dans les puits de l'étude ne dépasse pas 100 g/l au Trias.

Les eaux du Trias montrent les salinités les plus élevées avec faciès géochimique chloruré-sodique. La salinité augmente avec la profondeur.

La présence de gaz combustible a été signalée dans de nombreux forages.

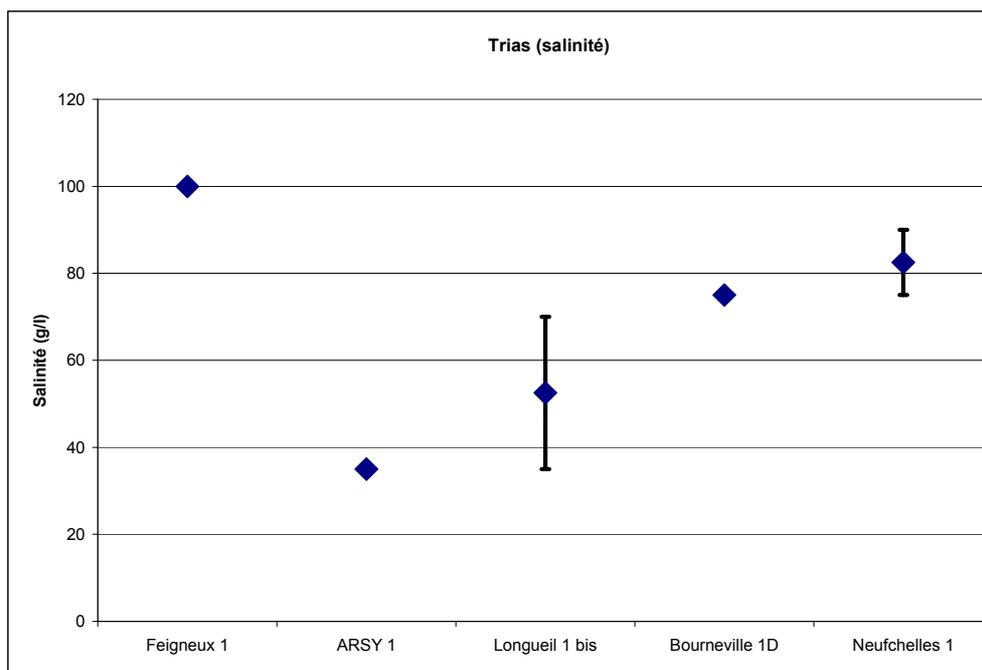


Figure 84 - Salinité du Trias gréseux

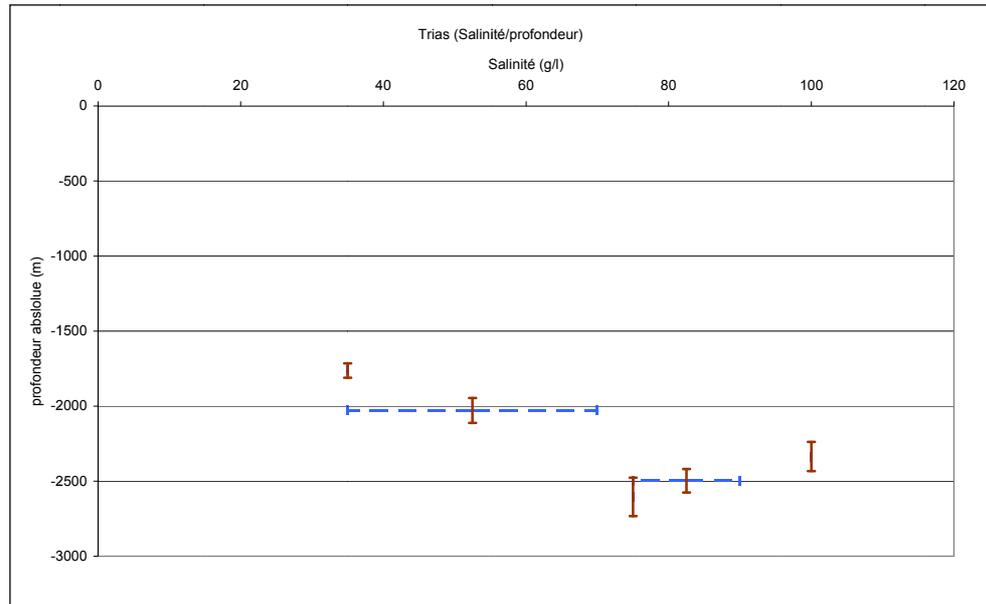


Figure 85 - Salinité du Trias en fonction de la profondeur absolue

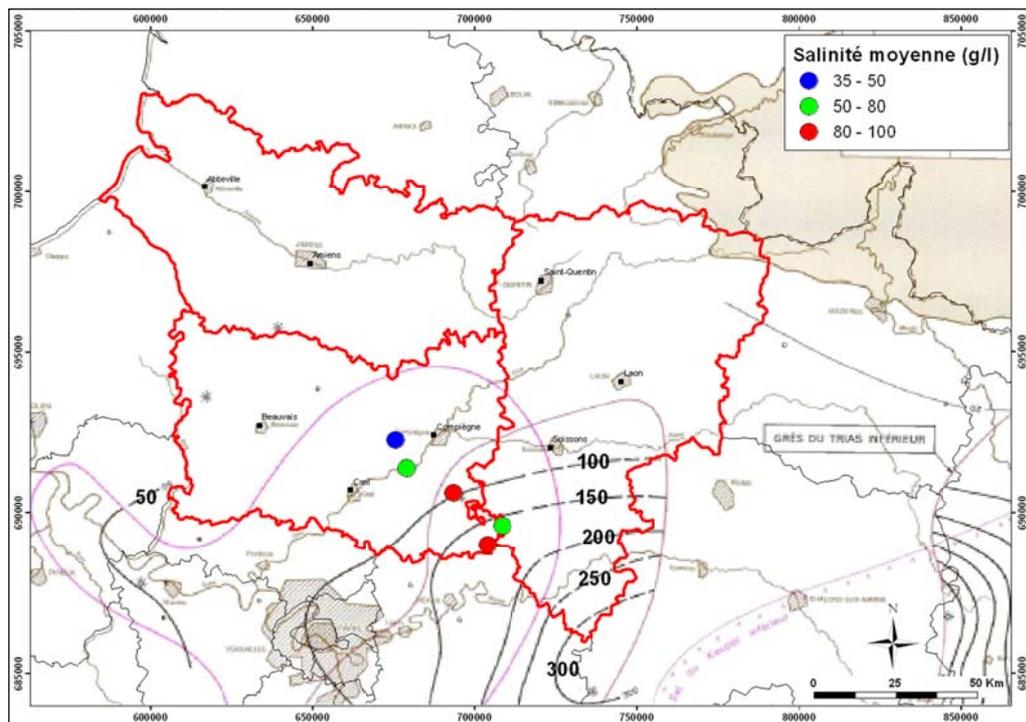


Figure 86 - Répartition géographique de la salinité du Trias. Comparaison avec la carte hydrochimie du Trias (carte BRGM, ELF Aquitaine, 1976)

h) Pression

Seule une valeur de pression a pu être collectée dans le Trias. Cette valeur est de 97,47 bars, sur une épaisseur de 34,5 m, dans le puits Belleuse 101.

i) Température

Seule une valeur de température a pu être collectée dans le Trias. Cette valeur est de 30 °C, sur une épaisseur de 34,5 m, dans le puits Belleuse 101. L'aquifère du Trias est le réservoir le plus profond. Des températures de l'ordre de 90°C devraient être atteintes dans le sud de l'Aisne compte tenu du gradient géothermiques mais l'imprécision est importante par manque de mesures directes sur ce réservoir.

j) Débit

Le débit dans le Trias n'a pu être déterminé qu'à partir du puits Belleuse 101. Il est compris entre 0,3 m³/h et 4,68 m³/h pour une moyenne de 1,71 m³/h, sur une épaisseur de 34,5 m.

k) Conclusions : propriétés des niveaux Trias gréseux

Les principaux résultats pour ce niveau sont les suivants :

- Les porosités sont comprises entre 0,4% et 28,9 %.
- Les perméabilités sont comprises entre 0,1 mD et 1314 mD (seulement 6 points).
- La salinité a été mesurée en 5 points seulement. Elle y est comprise entre 35 g/l et 100 g/l.
- Une seule valeur de pression au Trias (puits Belleuse 101) a été mesurée : 97,47 bars.
- Les débits mesurés dans le Trias (puits Belleuse 101) sont compris entre 0,3 m³/h et 4,68 m³/h pour une moyenne de 1,71 m³/h.

Les propriétés extraites pour le Trias montrent un aquifère de bonne qualité dans ses niveaux gréseux.

D'un point de vue général, les données du Trias de la région Picardie, bien que moins nombreuses, sont dans les mêmes ordres de grandeur que celles analysées pour la région Centre. Dans cette dernière le Trias avait été considéré comme un bon candidat à l'exploitation géothermique. En revanche, il est à noter, qu'une grande partie des puits de l'étude actuelle se sont arrêtés dans les niveaux argileux sus-jacents aux niveaux gréseux triasiques. Il est donc difficile dans cette étude de conclure sur les capacités réservoir du Trias gréseux.

5. Zones de contraintes

Tous projets géothermiques sur nappe ou par sondes géothermiques verticales doivent prendre en compte l'existence de certaines contraintes réglementaires ou naturelles. Les forages envisagés dans le cadre de la géothermie puis l'exploitation de l'ouvrage induisent la prise en compte de certaines précautions.

5.1. LA REGLEMENTATION NATIONALE

La géothermie est régie par le Code minier en vertu de son article L.112-2 (ancien article 3) qui donne une définition de la géothermie et du régime juridique qui lui est applicable. Ainsi, « *les gîtes renfermés dans le sein de la terre dont on peut extraire de l'énergie sous forme thermique, notamment par l'intermédiaire des eaux chaudes et des vapeurs souterraines qu'ils contiennent* », sont considérés comme des mines. Une substance minière appartient à l'État et non au propriétaire du sol. L'exploitation d'une ressource minière nécessite donc des autorisations accordées par l'État.

Outre le Code minier, les opérations de géothermie entrent dans le champ d'application du code de l'environnement pour les prélèvements et les réinjections en nappe, le code de la santé publique et le code général des collectivités territoriales qui peuvent s'appliquer dans certains cas particuliers. Les opérations géothermiques peuvent être soumises à différents régimes d'autorisation ou de déclaration qui supposent le montage de dossiers administratifs plus ou moins approfondis selon les cas et des circuits d'approbation administrative plus ou moins long. Les opérations de moins de 100 m de profondeur et de moins de 232 KW de puissance thermique sont considérées comme des opérations de minime importance et ne sont soumises qu'à déclaration au titre du code minier. Dans les autres cas, elles sont soumises à autorisation. Il est à noter que le ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie mène actuellement une réflexion visant à simplifier la réglementation en vigueur, par exemple en élargissant à 200 m de profondeur les opérations de minime importance, de façon et à l'adapter aux types d'opérations géothermiques qui se développent actuellement (très basse énergie, souvent faible profondeur et faible puissance).

5.2. LES REGLEMENTATIONS TERRITORIALISEES

Certaines portions du territoire, du fait de particularités naturelles, font l'objet de mesures de protection susceptibles d'impacter le dimensionnement d'un projet de géothermie, voire de l'interdire. Les dispositifs de protection les plus courants sont présentés ci-après.

5.2.1. Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE)

Le SDAGE est un document de planification décentralisé définissant pour une période de six ans (de 2010 à 2015) les grandes orientations pour une gestion équilibrée de la ressource en eau ainsi que les objectifs de qualité et quantité des eaux à atteindre à l'échelle des grands bassins hydrographiques. Il doit répondre à l'objectif de bon état des masses d'eau fixé par la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) du 23/10/2000.

La région Picardie est concernée par les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie.

Les SDAGE Artois-Picardie et Seine-Normandie 2010-2015 ont respectivement été approuvés le 20 novembre 2009.

Concernant le domaine de la géothermie, le SDAGE Seine-Normandie comporte spécifiquement une disposition :

« Disposition **130 : Maîtriser les impacts des sondages, des forages et des ouvrages géothermiques sur les milieux.**

Tout ouvrage dans le sous-sol, y compris les ouvrages de géothermie, quels que soient sa profondeur et son usage, doit être réalisé, exploité et abandonné dans les règles de l'art et répondre aux contraintes réglementaires existantes, afin de préserver la ressource en eau. L'objectif est de garantir l'absence d'introduction de polluants et de préserver l'isolation des nappes traversées entre elles et vis à- vis des inondations et des ruissellements de surface.

Pour respecter ces objectifs, en particulier pour la géothermie, il est fortement recommandé :

- *que le maître d'ouvrage évalue les impacts du ou des forages d'ordre physique, thermique, qualitatif ou quantitatif sur le sous-sol et les milieux aquatiques et terrestres concernés ;*
- *que l'autorité administrative recense les ouvrages et tienne compte de leurs impacts, notamment cumulés, dans le cadre de l'instruction administrative des dossiers ;*
- *que les eaux soient restituées à leur réservoir d'origine ou valorisées par un autre usage, pour les projets d'ouvrages à prélèvement en nappe. »*

5.2.2. Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)

Le SAGE est un document de planification qui fixe les objectifs généraux d'utilisation, de mise en valeur, de protection quantitative et qualitative de la ressource en eau.

Dans le prolongement du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

(SDAGE), il décline au niveau d'un bassin versant (eaux superficielles) ou d'une nappe d'eau souterraine, les actions et moyens à mettre en œuvre pour gérer et garantir au mieux les usages de l'eau.

Du point de vue de sa nature juridique, le SAGE, tout comme le SDAGE, est un acte réglementaire qui présente quatre caractéristiques :

- il est opposable à l'administration (État, collectivités locales, établissements publics...);
- depuis la nouvelle Loi sur l'eau adoptée le 30 décembre 2006, il est également opposable aux tiers. Cela signifie que les modes de gestion, les projets ou les installations d'un tiers doivent être conformes au règlement du SAGE. En cas de non-respect, les contrevenants pourront être verbalisés ;
- il ne crée pas de droit, mais fixe des objectifs généraux en terme de qualité des eaux, de gestion de la ressource (aspect quantitatifs), de préservation des milieux naturels et de gestion du risque d'inondation, ainsi que des priorités pour les atteindre ;
- ses objectifs généraux s'imposent à l'administration de manière plus ou moins forte selon que celle-ci intervient dans le domaine de l'eau et de l'aménagement du territoire ou non.

Lorsqu'il est situé à l'intérieur du périmètre d'un SAGE, un prélèvement d'eau à usage géothermique (qu'il soit par ailleurs soumis à déclaration ou à autorisation) doit être compatible avec les objectifs généraux et le règlement de celui-ci (art. L212-5-2 du Code de l'Environnement). Le règlement d'un SAGE peut limiter localement (voire interdire) l'usage géothermique des eaux souterraines.

On compte 8 SAGE en région Picardie en cours d'élaboration ou mise en œuvre :

- Authie
- Haute-Somme
- Somme-aval et fleuves côtiers
- Aisne-Vesle-Suippe
- Automne
- Bresle
- Nonette
- Oise-Aronde

Les documents en lien avec ces SAGE sont consultables sur le site internet <http://gesteau.eaufrance.fr>

5.2.3. Zone de répartition (ZRE).

On distingue les prélèvements en nappe selon que l'on se trouve ou non dans une zone de répartition (ZRE).

Les Zones de Répartition des Eaux, comprenant les bassins, sous-bassins, fractions de sous-bassins hydrographiques et systèmes aquifères, ont été instituées au niveau national par les décrets n° 94-354 du 29 avril 1994 et n° 2003-869 du 11 septembre 2003, pris en application des articles L.211-2 et L.211-3 du Code de l'Environnement.

Ce sont des zones où sont constatées une insuffisance, autre qu'exceptionnelle, des ressources par rapport aux besoins. Dans chaque département concerné, la liste des communes incluses dans une zone de répartition des eaux est constatée par arrêté préfectoral.

Dans les communes classées en ZRE, les seuils d'autorisation et de déclaration pour les prélèvements sont abaissés par le biais de l'application de la rubrique 1.3.1.0. de la nomenclature Eau (article R214-1 du Code de l'environnement). Tous les prélèvements d'eau superficielle ou souterraine, à l'exception de ceux inférieurs à 1 000 m³/an réputés domestiques, sont soumis à autorisation ou déclaration dans les conditions suivantes :

➤ pour les prélèvements :

- hors zone de répartition :

- entre 10 000 et 200 000 m³/an : déclaration,
- plus de 200 000 m³/an : autorisation ;

- en zone de répartition : au-delà de 8 m³/h, on passe en régime d'autorisation ;

➤ pour les réinjections (en ZRE ou non) :

- entre 8 et 80 m³/h : déclaration ;
- supérieure ou égale à 80 m³/h : autorisation.

Les prélèvements en eau réalisés à des fins géothermiques dans une Zone de Répartition des Eaux sont contraints par l'abaissement des seuils. Cette restriction ne s'applique pas aux installations fonctionnant en doublet, avec réinjection dans l'aquifère après prélèvement. Dans ce cas, on considère que les prélèvements sont nuls et par conséquent non concernés par les restrictions réglementaires.

En région Picardie, deux ZRE ont été identifiées :

- **la ZRE de l'Aronde** dans le département de l'Oise. La zone de répartition des eaux de l'Aronde correspond au bassin versant du même nom. Elle se caractérise par 41 communes définies par l'arrêté préfectoral du 4 novembre 2009. Il est stipulé que tout

prélèvement supérieur à 8 m³/h fera l'objet d'une procédure d'autorisation. En deçà et pour une capacité maximum de 1000 m³/an, les prélèvements seront soumis à déclaration. Les dispositions relatives à la répartition des eaux s'appliquent à la nappe de la craie dans le bassin de l'Aronde, de la surface du sol à toute l'épaisseur mouillée de la nappe de la craie et sa couverture tertiaire ;

- et **ZRE de l'Albien-Néocomien captif**. Cette zone de répartition des eaux traverse la région d'ouest en est en passant au sud de la ville d'Amiens et au nord de la ville de Laon. Elle s'étend ensuite sur l'ensemble de la partie sud de la région, excepté le Pays de Bray (Arrêté préfectoral du 30 janvier 2004).

5.2.4. Périmètres de protection des captages d'Alimentation en Eau Potable (AEP)

Les périmètres de protection des captages d'alimentation en eau potable, dans lesquels les activités sont susceptibles de polluer la ressource en eau souterraine (construction, mise en place d'une opération de géothermie...), sont soumis à prescription particulière. Leur objectif est de réduire les risques de pollutions ponctuelles et accidentelles de la ressource. Les périmètres de protection de captage sont définis par l'article L-1321-2 du Code de la Santé Publique et ont été rendus obligatoires pour tous les ouvrages de prélèvement d'eau d'alimentation depuis la loi sur l'eau du 3 janvier 1992.

Ils sont définis à trois échelles correspondant à trois niveaux de protection :

- le périmètre de protection immédiate : site de captage clôturé (sauf dérogation)= appartenant à une collectivité publique, dans la majorité des cas. Toutes les activités y sont interdites hormis celles relatives à l'exploitation et à l'entretien de l'ouvrage de prélèvement de l'eau et au périmètre lui-même. Son objectif est d'empêcher la détérioration des ouvrages et d'éviter le déversement de substances polluantes à proximité immédiate du captage ;

- le périmètre de protection rapprochée : secteur plus vaste (en général quelques hectares) pour lequel toute activité susceptible de provoquer une pollution y est interdite ou est soumise à prescription particulière (construction, dépôts, rejets...). Son objectif est de prévenir la migration des polluants vers l'ouvrage de captage ;

- le périmètre de protection éloignée : facultatif, ce périmètre est créé si certaines activités sont susceptibles d'être à l'origine de pollutions importantes. Ce secteur correspond généralement à la zone d'alimentation du point de captage, voire à l'ensemble du bassin versant.

L'arrêté préfectoral d'autorisation de prélèvement et d'institution des périmètres de protection fixe les servitudes de protection opposables au tiers par déclaration d'utilité publique (DUP). Il conviendra donc de se reporter aux arrêtés de mise en place des périmètres de protection de captage pour identifier d'éventuelles contraintes à la réalisation de dispositifs géothermiques.

La réalisation de forages est toujours interdite dans le périmètre de protection immédiat. Il est fréquent que les forages géothermiques soient interdits dans le périmètre de protection rapprochée.

Les localisations de ces contraintes en lien avec l'hydrogéologie ont été reportées sur une cartographie présentée en annexe 7.

5.2.5. Périmètres de protection des stockages souterrains de gaz

Selon le décret ministériel du 16 Septembre 1982, publié au Journal Officiel le 21 septembre 1982 modifié par le décret ministériel du 7 octobre 1987, publié au Journal Officiel du 10 octobre 1987, il a été défini les limites des périmètres de protection des stockages de Gournay-sur-Aronde (60), Saint-Clair-sur-Epte (95) et Germiny-sous-Coulombs (77). Celui-ci a été complété avec des fichiers SIG fournis par la DREAL Ile-de-France. Le périmètre de protection permet de délimiter une zone dans laquelle les travaux de forage ou de captage d'eau pourraient avoir une influence sur l'exploitation du stockage et vice versa. Il englobe le périmètre de stockage et une zone tampon.

Une autorisation du préfet est nécessaire pour tous travaux excédant 330 m de profondeur au niveau de Gournay-sur-Aronde, 300 m pour Saint-Clair-sur-Epte et 350 m pour Germiny-sous-Coulombs.

5.3. CONTRAINTES GEOLOGIQUES POUR LE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE SUR SONDES GEOTHERMIQUES VERTICALES (SGV)

Certains contextes géologiques sont peu favorables³ au développement de SGV, comme les terrains présentant une forte hétérogénéité, les zones structurales intensément fissurées, faillées ou bréchifiées, ou encore les zones présentant des cavités naturelles comme les karsts ou des cavités anthropiques. En effet, dans ces types de terrains la mise en œuvre de la cimentation du forage présentera d'importantes difficultés et il sera difficile d'obtenir un scellement des sondes efficaces et conforme à la norme.

De plus, des précautions particulières et le recours à l'avis d'un expert du sous-sol (géologue, hydrogéologue) sont vivement recommandés dans les zones où l'on rencontre des roches meubles instables ainsi que des roches présentant des risques de dissolution (évacorites) ou de retrait-gonflement (argiles).

Les zones de contraintes géologiques pour l'implantation de sondes géothermiques ont été identifiées en première approche sur la région Picardie en annexe 7.

³ Cf. Norme NF X 10-970 « Forage d'eau et de géothermie, Sonde géothermique verticale (échangeur géothermique vertical en U avec liquide caloporteur en circuit fermé), Réalisation, mise en œuvre, entretien, abandon. »

A noter qu'une vigilance particulière devra être portée au moment de la réalisation du forage pour éviter de mettre en connexion des aquifères superposés ainsi que de drainer de la pollution de la surface vers les aquifères.

5.3.1. Cavités anthropiques

La Picardie possède une importante quantité de cavités et de carrières sur l'ensemble de son territoire. A ce jour, 1 153 communes des 2 293 communes picardes ont recensé la présence d'au moins une cavité/une carrière sur leur territoire. Surtout d'origine anthropique (marnières, souterrains refuges, carrières, habitations troglodytiques, sapes de guerres,...), on peut les trouver majoritairement dans les zones densément peuplées, comme Amiens, Beauvais ou encore Laon. Les données des recensements réalisés sont disponibles sur le site internet www.bdcavite.net.

Les communes avec une forte densité de cavités mériteront une attention particulière.

5.3.2. Zones karstiques

La formation des Calcaires de Champigny (Bartonien supérieur) présente une certaine karstification. Elle se rencontre en rive gauche de la rivière Marne dans le département de l'Aisne. Des études complémentaires apparaissent nécessaires pour étudier le degré de karstification de cette formation et donc de l'impact que cela peut avoir pour le développement de sondes.

5.3.3. Zones avec présence de gypse

Les formations marno-gypseuse du Ludien (Bartonien supérieur) se situent principalement au sud de l'Aisne en rive droite de la rivière Marne et dans de plus faible proportion au sud-est du département de l'Oise. L'eau circulant dans le sous-sol peut créer des vides karstiques dans les couches de gypse, aux vues de sa solubilité dans l'eau.

Des études complémentaires apparaissent également nécessaires pour établir une cartographie spécifique afin d'identifier la présence de gypse localement et quantifier les impacts potentiels.

6. Diffusion de la cartographie sur internet

6.1. MISE A DISPOSITION DE LA CARTOGRAPHIE REGIONALE DES AQUIFERES SUPERFICIELS SOUS FORME D'UNE GRILLE

La cartographie des critères de potentialité géothermique s'est faite dans un premier temps **par aquifère ou entité hydrogéologique**. Ce sont les unités d'observation dont on connaît les propriétés.

Ensuite, pour intégrer la superposition des aquifères et faciliter la diffusion des données via le site <http://www.geothermie-perspectives.fr/>, les résultats ont été attribués à des portions de territoire correspondant à des **mailles carrées de 500 m de côté**. Un maillage régulier couvrant l'ensemble de la région Picardie a été créé afin d'attribuer à chacune des mailles les données utiles (débits exploitables, profondeur d'accès à la nappe, température, potentiel géothermique...).

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

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

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

1. L'attribut de la maille correspond à celui du polygone dont la surface est majoritaire (Figure 87) ;
2. Si au droit d'une maille sont superposés deux aquifères (occupant la même superficie), la maille regroupera les informations des deux aquifères. On déterminera ensuite le potentiel du meilleur aquifère (Figure 88).

Les exemples décrits ci-après permettent de montrer comment ont été appliquées ces règles.



Figure 87 - Transcription maillée des entités aquifères spatialisées et de leurs attributs associés sur le critère de surface

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

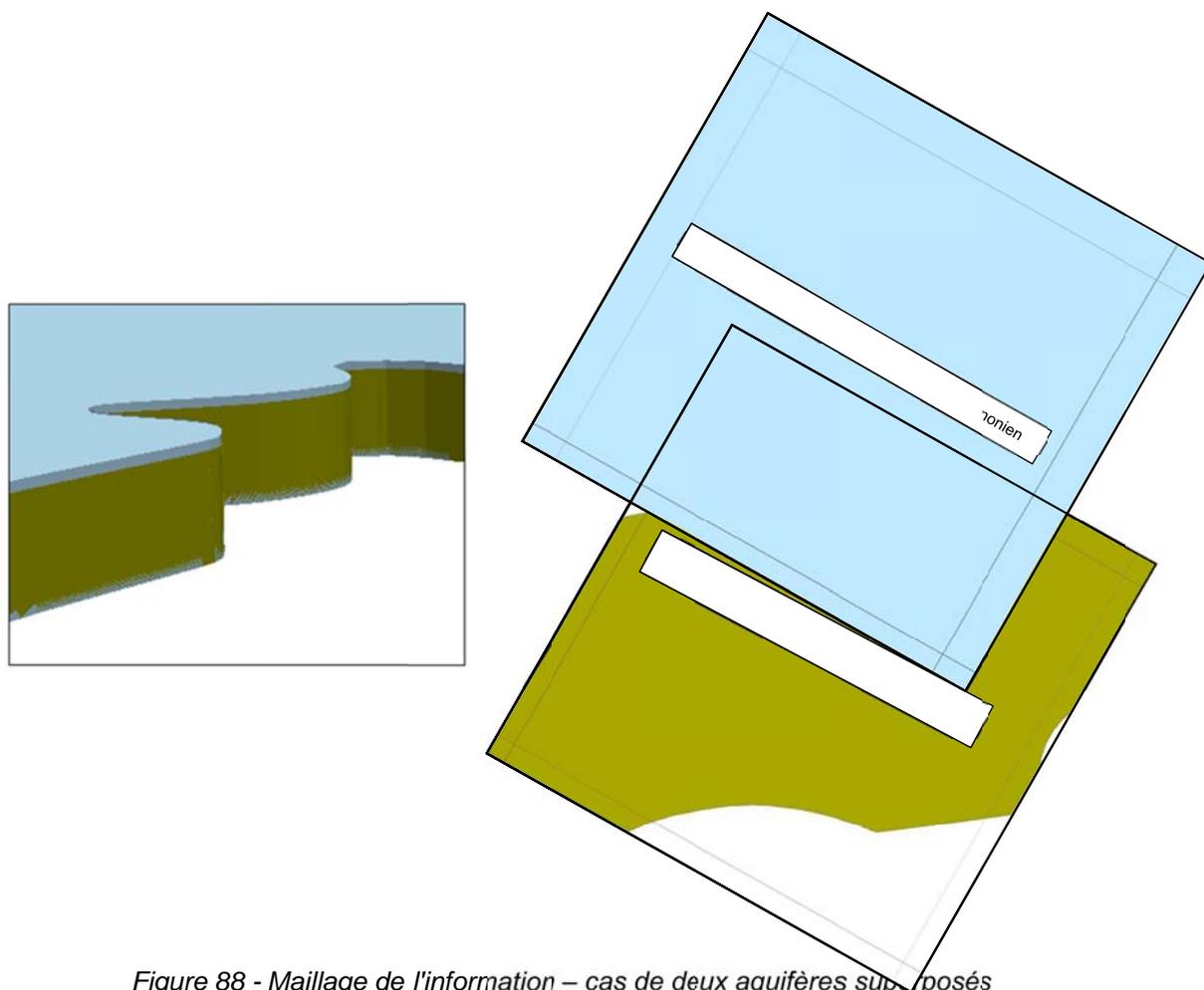


Figure 88 - Maillage de l'information – cas de deux aquifères superposés

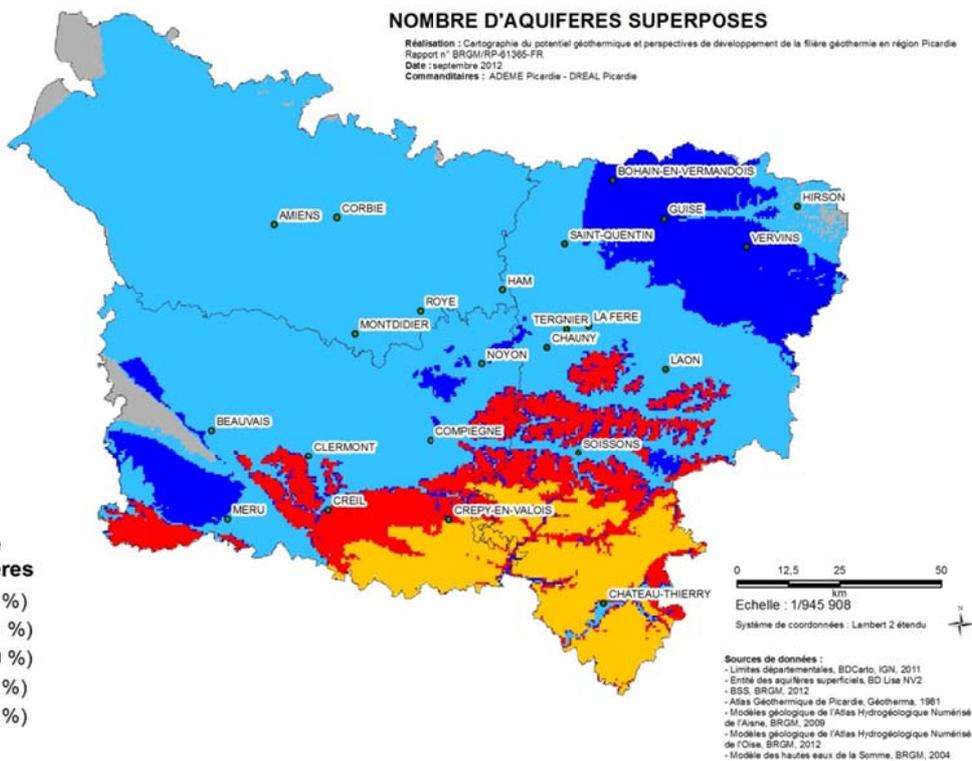
Sur cette maille, deux aquifères sont superposés avec au-dessus, la craie du Sénonien et plus profonds les sables de l'Albien. Dans les attributs de la maille, seront indiquées la présence de deux aquifères et toutes les informations relatives à chacun d'entre eux. Les superpositions peuvent atteindre 3 niveaux au maximum.

La carte de la Figure 89 représente à l'échelle régionale les mailles pour lesquelles des aquifères et des superpositions d'aquifères existent. Les superpositions se situent principalement au niveau des systèmes alluviaux.



NOMBRE D'AQUIFERES SUPERPOSES

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
 Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
 Date : septembre 2012
 Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie



Sources de données :
 - Limites départementales, SDCarto, IGN, 2011
 - Entité des aquifères superficiels, BD Lisa NV2
 - BSS, BRGM, 2012
 - Atlas Géothermique de Picardie, Géothermie, 1981
 - Modèles géologique de l'Atlas Hydrogéologique Numérisé de l'Aisne, BRGM, 2009
 - Modèles géologique de l'Atlas Hydrogéologique Numérisé de l'Oise, BRGM, 2012
 - Modèle des hautes eaux de la Somme, BRGM, 2004

Figure 89 - Carte de superposition des aquifères à l'échelle du territoire picard

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

L'atlas réalisé est mis en ligne sur le site Géothermie Perspectives <http://www.geothermie-perspectives.fr/> (Figure 90) qui regroupe **différentes rubriques d'ordre général** qui présentent la géothermie (notamment les différents types de géothermie profonde, haute énergie, basse et très basse énergie), les atouts, les techniques d'exploitation de la ressource et de production de chaleur (notamment les pompes à chaleurs ou PAC), les contraintes et les enjeux de la géothermie en France.

Un « **espace régional** » (Figure 91) permet l'accès direct à l'Atlas régional pour les régions de France qui en dispose et à des informations complémentaires en termes de réglementation, d'acteurs locaux, de normes applicables aux opérations techniques, de démarches qualité garantissant les prestations, d'exemples d'opérations déjà réalisées.

Figure 90 - Page d'accueil du site geothermie-perspectives

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

Bienvenue dans l'espace régional du site Géothermie Perspectives

La géothermie

Comment ça marche ?

La géothermie en France

Les enjeux

Recherche-Développement

Actualités/Presse

Médiathèque

FAQ/Glossaire

Les acteurs

Liens

La géothermie en région

Espace professionnel
S'inscrire à l'espace professionnel

● Accueil

● Plan du site

● Rechercher sur le site

● Contact

Cet espace met à disposition des informations spécifiques à la géothermie pour certaines régions. Il s'agit à la fois d'informations générales à l'attention des décideurs régionaux et pratiques dont vous avez besoin pour mener à bien la réalisation d'une opération de géothermie, que vous soyez un particulier, un maître d'ouvrage ou un bureau d'étude impliqué dans un projet industriel :

- Les mécanismes financiers d'aide des collectivités territoriales
- Les acteurs locaux
- Les documents thématiques sur la géothermie
- L'actualité en région

Cet espace présente également les outils d'aide à la décision développés par le BRGM en partenariat avec l'ADEME, les Conseils Régionaux, EDF et les DRIRE :

- Système d'Informations Géographiques sur le potentiel géothermique des aquifères superficiels
- Guide technique d'aide à la décision

Accès par région (* En cours de développement)					
Aquitaine	Centre	Champagne-Ardenne	Franche-Comté	Île-de-France	Languedoc-Roussillon
Lorraine	Midi-Pyrénées	Nord-Pas-de-Calais	Poitou-Charentes	Rhône-Alpes	PACA *
Picardie *	Auvergne	Basse-Normandie	Haute-Normandie		

© ADEME-BRGM Qui sommes-nous ? Informations légales

Figure 91 - Page d'accueil de l'espace régional sur le site geothermie-perspectives

6.2.1. Rubriques générales sur l'espace régional de Picardie

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

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

Page 1 : Le développement de la géothermie en région

Présentation du contexte local, des partenaires mobilisés en Picardie et de l'outil développé par le BRGM - ses objectifs et ses limites.

Page 2 : Les acteurs locaux

Liste et coordonnées des principaux acteurs locaux susceptibles d'être contactés pour des informations techniques ou des informations sur la réglementation et les démarches administratives. Cette liste pourra être mise à jour régulièrement.

Page 3 : La réglementation

Présentation des principaux textes réglementaires qui s'appliquent à l'exploitation des eaux souterraines par forage et à l'exploitation des calories souterraines, donc aux opérations de géothermie.

Page 3 : Les caractéristiques des aquifères

Description simplifiée des principaux aquifères de la région Picardie, pris en compte dans l'atlas du potentiel géothermique.

Page 5 : Les aides financières

Présentation des différents outils d'accompagnement financier selon la cible (« entreprises, les collectivités et les bailleurs sociaux » ou « particuliers »).

Ces dispositifs d'aides évoluant régulièrement, l'internaute est invité à vérifier auprès des professionnels que les informations soient à jour. Dans la mesure du possible, les partenaires veilleront à mettre à jour le plus régulièrement possible le site régional.

Page 6 : Les foreurs engagés dans des démarches qualité

Plusieurs entreprises de forage sont implantées en Picardie et dans les régions limitrophes. Elles sont spécialisées dans la réalisation de sondes géothermiques verticales ou de forage d'eau.

Les partenaires ont choisi de vous présenter dans ces pages les démarches d'engagement qualité qui existe à ce jour. En effet un foreur engagé dans une démarche qualité est la garantie pour le maître d'ouvrage de bénéficier de prestations professionnelles de qualité. On distingue les foreurs adhérant à QualiFORAGE et les foreurs adhérant à la Charte Qualité des Puits et Forage d'Eau créée à l'initiative du Syndicat des Foreurs d'Eau (SFE).

Page 7 : Les normes

Présentation des normes applicables pour le secteur de la géothermie très basse énergie. Une norme permet d'avoir une référence qui garantit que le travail exécuté respecte les règles de l'art en vigueur. Son application n'est pas obligatoire, contrairement à la réglementation. Lors de la mise en œuvre d'un projet, un prestataire qui respectent les normes en vigueur est donc un plus.

The image shows a screenshot of the 'Géothermie perspectives' website. The header includes the title 'Géothermie perspectives' and the tagline 'Toute l'information sur l'énergie de la Terre'. Logos for ADEME and BRGM are visible. The main navigation bar contains links: 'Je chauffe ma maison', 'Chauffer des bâtiments', 'Les réseaux de chaleur', and 'Autres Utilisations'. The left sidebar has a menu with categories like 'La géothermie', 'Comment ça marche?', 'La géothermie en France', 'Les enjeux', 'Recherche', 'Actualités/Presse', 'Médiathèque', 'FAQ/Glossaire', 'Les acteurs', and 'Liens'. The main content area features a map of Picardie with regions 80-Somme, 02-Aisne, and 60-Oise highlighted, and cities Amiens, Beauvais, and Laon marked. Text on the page describes the 'Atlas des potentialités géothermiques' and provides information on local context, partners, and access to the SIG database. A bottom section titled 'La géothermie en Picardie' lists key development points.

Figure 92 – Présentation de la page d'accueil et la page 1 « Le développement de la géothermie en région »

6.2.2. Outil de consultation de l'Atlas régional

L'outil de consultation en ligne constitué à l'échelle de la Picardie permet d'obtenir des informations utiles à l'analyse de la faisabilité d'un projet de géothermie très basse énergie, notamment :

- Potentiel géothermique du meilleur aquifère (fort, moyen, faible, non connu précisément) ;
- Données d'exploitabilité des aquifères en présence (profondeur d'accès à la ressource en eau souterraine, débit exploitable) et coupes hydrogéologiques types ;
- Données concernant la nature simplifiée des formations géologiques (aquifère),

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

- Données relatives aux dispositifs de protection de la ressource hydrogéologique : localisation des périmètres de Zones de Répartition des Eaux (ZRE) et périmètres éloignés des captages d'eau potable ;
- Informations concernant l'existence d'autres secteurs pour lesquels des restrictions existent (périmètre de sécurité de stockages de gaz souterrains notamment) ou une vigilance doit être portée pour l'implantation de forages destinés à la géothermie (présence de cavités souterraines, zones karstiques ou de présence gypse).

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

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

a) Accès aux données par une recherche cartographique

La recherche cartographique est accessible depuis la fenêtre d'accueil de l'espace régional Picardie (cf. Figure 92).

La Figure 93 ci-après montre la fenêtre d'interrogation de l'outil via la carte régionale.

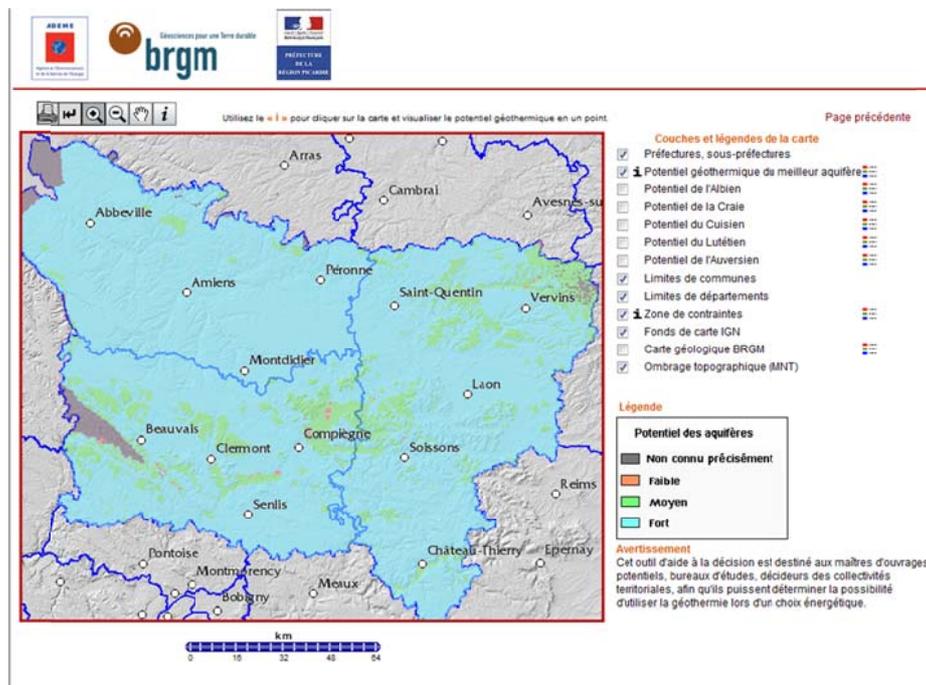


Figure 93 - Fenêtre d'interrogation de l'outil via la carte régionale

b) Accès aux données via une recherche par commune

Depuis la page d'accueil du site régional Picardie, il est possible d'accéder aux données à l'aide d'une recherche par commune, selon la Figure 94 ci-après.



Figure 94 - Fenêtre de recherche par commune

Après sélection de la commune, une fenêtre cartographique s'affiche à l'échelle communale, selon la Figure 95 ci-après. Elle affiche le potentiel du meilleur aquifère.

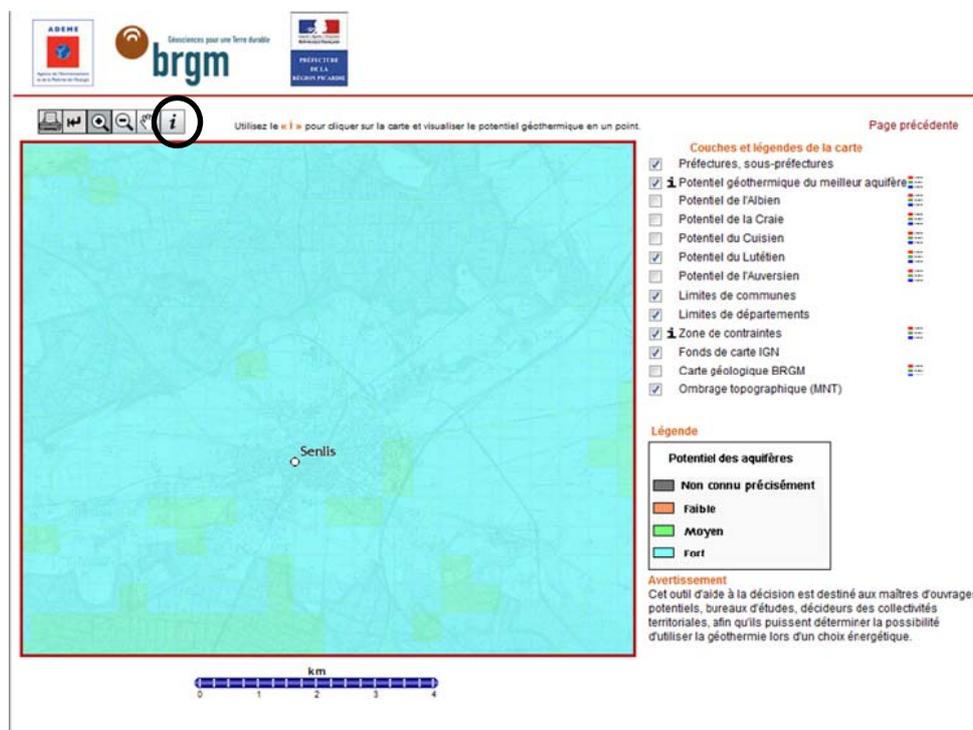


Figure 95 - Fenêtre cartographique à l'échelle communale

Une fois la fenêtre cartographique affichée, l'utilisateur peut cliquer sur une maille de son choix sur la carte, à l'aide de l'outil «  » de la barre d'outils située au-dessus de la carte. Chaque maille contient les informations soit d'un aquifère, soit de plusieurs aquifères.

c) Fiche de renseignements au droit d'une maille

Un exemple de fiche de renseignements pour une maille située au droit d'un aquifère est illustré Figure 96 ci-après.

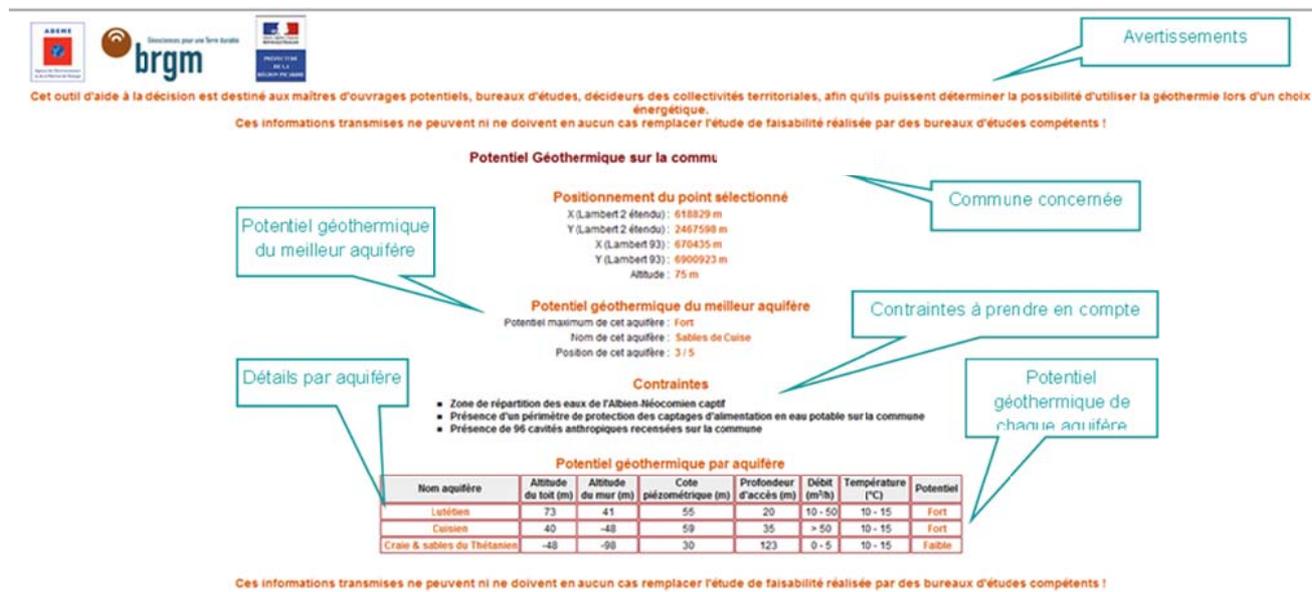


Figure 96 - Fiche de renseignements fournie pour une maille

6.3. AVERTISSEMENT

Le travail de synthèse de ce projet a été réalisé à l'échelle régionale. Les cartes réalisées sont issues de moyennes et d'interpolations régionales.

La région a été découpée en maille de 500 m sur 500 m, et chaque maille a été renseignée d'une valeur moyenne ou interpolée. Les cartographies régionales en annexe et sur le site internet www.geothermie-perspectives.fr résultent de l'assemblage de tous ces pixels. **C'est pourquoi l'échelle de restitution des informations ne doit pas excéder le 1/100 000 et doit éventuellement se limiter à l'échelle de la commune.**

Malgré tous les efforts mis en œuvre pour apporter des résultats les plus proches de la réalité, la présence d'inexactitudes reste inévitable. Elles sont liées d'une part à l'utilisation de données ponctuelles moyennes sur des mailles de 500 m de côté et d'autre part à la méthodologie retenue et au mode d'acquisition des données sur le terrain. Par exemple, les données de terrain (ADES, BSS, etc...) représentent plus ou moins la réalité :

- les forages d'eau sont préférentiellement implantés dans les zones productives, ce qui crée une surreprésentation dans l'échantillon ;
- les forages peu ou pas productifs ne sont pas toujours recensés, impliquant une mauvaise connaissance des zones improductives ;
- certains forages sont acidifiés pour augmenter leur productivité mais cette information n'est pas toujours recensée dans les bases de données. L'échantillon est donc constitué, par défaut, de forages acidifiés et de forages non acidifiés ;
- les conditions expérimentales des mesures de température de la nappe *in situ* sont mal connues (température de l'air, purge du forage...).

L'atlas constitue donc une première approche à destination des maîtres d'ouvrages potentiels, bureaux d'études, décideurs des collectivités territoriales, afin qu'ils puissent déterminer la possibilité d'utiliser la géothermie lors d'un choix énergétique. **Les informations transmises ne peuvent, ni ne doivent, en aucun cas remplacer l'étude de faisabilité réalisée par des bureaux d'études compétents à l'échelle parcellaire.**

Par ailleurs, l'existence de zones de restriction d'exploitation ou de travaux (périmètres de protection des captages d'alimentation en eau potable et des stockages souterrains de gaz) devra être prise en compte au stade de l'étude de faisabilité du projet. De même une forte densité communale de cavités, la présence de karsts (localement : calcaires de de Champigny), de nappe artésienne (sable de l'Albien,...), de formation de gypse (sud de l'Aisne),...nécessiteront des précautions pour la réalisation (cf. chapitre 5.)

Le pétitionnaire devra également s'assurer de la compatibilité de son projet avec la réglementation en vigueur (code Minier, code de l'Environnement, SDAGE...).

À l'échelle d'une maille de 500 m de côté, le sens d'écoulement n'est pas définissable à partir de données régionales car il peut exister des changements locaux de direction (fluctuations saisonnières, pompages situés à proximité, etc...). Le sens d'écoulement au niveau de l'installation devra donc être déduit d'une étude plus locale réalisée par un bureau d'études.

7. Conclusions

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

L'atlas permet d'afficher en tout point du territoire de la région Picardie (lorsque les données disponibles le permettent) le potentiel géothermique des aquifères. Il est accessible sur le site géothermie perspectives <http://www.geothermie-perspectives.fr/>.

Des informations complémentaires d'ordre hydrogéologique (aquifère concerné, gamme de débit exploitable, profondeur de l'aquifère) sont également fournies pour chaque maille d'interrogation (de taille 500 m x 500 m).

La recherche peut être initiée par département en fonction de la commune désirée, ou via un accès cartographique et la possibilité de zoomer sur un secteur géographique particulier.

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

A l'échelle de la Picardie, le potentiel géothermique des aquifères est fort pour 85,7 % de la surface, moyen pour 11,8 %, faible pour 0,2 % et non renseigné (faute de données disponibles en nombre suffisant) et *a priori* inexistant pour 2,3 % du territoire régional. La région Picardie bénéficie ainsi sur quasiment l'ensemble de son territoire de la présence de nappes superficielles productives accessibles à moins de 100 mètres de profondeur. L'aquifère de la craie représente la principale ressource exploitable dans le département de la Somme, le nord et l'ouest de l'Oise et la partie septentrionale de l'Aisne. Dans la partie sud de l'Aisne et de l'Oise, les aquifères de l'Éocène (sables de Cuise, calcaires du Lutétien, et partiellement sables de Beauchamp et d'Auvers) se substituent à la nappe de la craie, leur productivité étant meilleure et leur accessibilité plus proche de la surface.

Malgré l'important travail réalisé sur les données disponibles, une meilleure connaissance des paramètres hydrogéologique nécessaire à l'estimation du potentiel sur l'ensemble de la région (profondeur de la nappe, température et débit spécifique) permettrait sans doute à l'avenir d'améliorer les cartographies proposées notamment dans les secteurs « non connu précisément ».

En sus de l'atlas du potentiel géothermique très basse énergie de la région, de la description de la méthodologie mise en œuvre pour l'élaborer et d'informations

concernant le développement de la géothermie en Picardie fournis dans ce rapport, le site internet <http://www.geothermie-perspectives.fr/> reprend des éléments concernant la réglementation, les caractéristiques des aquifères, les acteurs locaux, les aides financières, les prestataires engagés dans les démarches qualité et les normes. Ces informations, à l'exception des caractéristiques des aquifères, ne sont pas reprises dans le rapport étant donné la forte probabilité de faire évoluer ces informations dans les années à venir (mise à jour à prévoir en fonction de l'évolution de la réglementation, des mécanismes d'aide ou des exemples d'opération notamment).

L'étude des ressources géothermales « profondes », que sont les aquifères du Lusitanien, du Dogger, du Lias inférieur, du Rhétien et du Trias a été conduite à travers l'analyse de 62 rapports de fin de sondage et de la bibliographie existante. Ces aquifères ont été peu exploités en région Picardie. L'absence de forages instrumentés en quantité suffisante n'a pas permis de déterminer de façon satisfaisante un potentiel géothermique des aquifères profonds du Lusitanien et du Dogger, reconnus comme potentiellement intéressants pour la production d'énergie géothermique associée à des réseaux de chaleur urbains dans la partie sud de la région. En conséquence, l'échelle de restitution n'est en aucun cas comparable à l'échelle des travaux réalisés sur l'atlas des aquifères superficiels.

En première analyse, les données recueillies dans le cadre de la présente étude montrent que le réservoir du Dogger est a priori le plus intéressant avec, localement, de fortes perméabilités. Les quatre autres aquifères paraissent recéler des ressources plus aléatoires du fait du faible nombre d'ouvrages ayant testé ces niveaux et de leur nature lithologique. Localement, ces aquifères pourraient néanmoins présenter des potentiels favorables, en particulier le Lusitanien, voire l'aquifère du Permien situé à la limite entre les formations sédimentaire et le socle.

8. Glossaire

Débit de production * : est la quantité d'eau produite par un captage (exprimé en m³/h).

Débit spécifique * : débit pompé dans un puits rapporté à la hauteur de rabattement dans le puits, dans des conditions définies (symbole usuel : Q_s ; exprimé en m³/h/m).

Isobathe ** : courbe joignant les points d'une surface situés à une même profondeur sous la terre ou sous l'eau.

Isohypse ** : courbe joignant, sur une carte, les points d'une surface situés à une même altitude.

Isopièze ** : courbe joignant, sur une carte, les points d'égale hauteur piézométrique d'une nappe d'eau souterraine donnée.

Perméabilité * : aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide sous l'effet d'un gradient de potentiel. Elle s'exprime quantitativement par la perméabilité intrinsèque et, pour l'eau, par le coefficient de perméabilité (de Darcy) ou perméabilité pris en abrégé dans ce sens quantitatif (symbole usuel : k ; exprimé en m/s).

Rabattement * : diminution de charge hydraulique déterminée en un point donné sous l'effet d'un prélèvement d'eau, traduite en pratique par l'abaissement du niveau piézométrique par rapport au niveau naturel. Sa signification est liée au débit prélevé, à la distance du point de prélèvement et en régime transitoire, au temps écoulé depuis le début du prélèvement (exprimé en m).

Réservoir ** (roche) : Roche suffisamment poreuse et perméable pour pouvoir contenir des fluides (eau, pétrole, gaz, etc).

Transmissivité * : paramètre régissant le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur de la zone saturée d'un aquifère continu (mesurée selon une direction orthogonale à celle de l'écoulement), et par unité de gradient hydraulique. Produit du coefficient de perméabilité (de Darcy) K par la puissance aquifère b , en milieu isotrope, ou produit de la composante du tenseur de perméabilité parallèle à la direction d'écoulement par la puissance aquifère (orthogonale à cette direction), en milieu anisotrope. (symbole usuel : T ; exprimé en m²/s).

Sources des définitions :

* G. CASTANY, J. MARGAT, 1987 – Dictionnaire français d'hydrogéologie. Éd. BRGM.

** A. FOUCAULT, J.-F. RAOULT, 1988 – Dictionnaire de géologie. Éd. Masson.

9. Bibliographie

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

Bault V., Borde J., Follet R., Laurent A., Tourlière B. avec la collaboration de Leveau E. et Willefert V. (2012) – Atlas hydrogéologique numérique de l'Oise. Phase 3 : Notice. Rapport final. BRGM/RP-61081-FR, 320 p., 81 ill., 55 tab., 2 ann., 1 cd-rom, 1 carte A0.

Brenot A., Gourcy L., Mascre C., Pons A., Blum A., Chery L. (2007) - Identification des zones à risque de fond géochimique élevé en éléments traces dans les cours d'eau et les eaux souterraines. Rapport BRGM/RP-55346-FR, 774 p. 5 vol., 200 ill., 35 ann., 34 pht. A3 coul.

Caous J-Y. et Comon D. (1987) – Notice de l'atlas hydrogéologique de l'Oise, 84 p., 17 fig., 9 tab..

Caous J.Y, Caudron M., Mercier E. (1983) – Notice de l'atlas hydrogéologique de l'Aisne – BRGM.

Chrétien P. avec la collaboration de M.J. Féret, P. Guionie, J.L. Izac, J.P. Jegou, F. Joublin, C. Kiefer, C. Nail et C. Robelin (2006) – Picardie – Nappe libre de la craie – Campagne et carte piézométriques « basses eaux » 2005. Rapport final. BRGM/RP-54285-FR, 63 pages, 7 annexes.

Chrétien P. avec la collaboration de V. Sallier (2007) – Picardie – Nappe de la craie – Cartes piézométriques hautes eaux 2001-2002 et moyennes eaux 1960-2007. Rapport final. BRGM/RP-55971-FR, 72 pages, 6 illustrations, 2 annexes

Delmas, J., Houel, P., Vially, R.. (2002) - Paris Basin, Petroleum Potential. Regional Report. IFPEN, 172p, March 2002.

Dufrénoy R. avec la collaboration de Chrétien 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 p., 18 ill., 3 tab., 4 ann.

Géotherma (1981) - Inventaire géothermique de la région Picardie

Géogreen (2012) – Caractérisation des ressources géothermiques des aquifères du Jurassique et du Trias de la région Picardie, 112p, juin 2012.

Housse, B., Maget, Ph. (1976) - Potentiel Géothermique du bassin de Paris, BRGM, ELF Aquitaine, BRGM/RR-29146-FR, Mai 1976

Mégnien C. (1980) – Synthèse géologique du Bassin de Paris. Volume I. Stratigraphie et paléogéographie. Mémoire BRGM n°101, 466 p.

Mégnien C. (1980) – Synthèse géologique du Bassin de Paris. Volume II. Atlas. Mémoire BRGM n°102, 50 cartes. 5 annexes

Brosse, E. (2007) - Propriétés hydrauliques des formations sédimentaire des formations du bassin de Paris. Projet PICOREF. Synthèse bibliographique, IFPEN.

Rojas, J., and al., (1989) - Caractérisation et modélisation du réservoir géothermique du Dogger, BRGM, A.F.M.E., 251p, Novembre 1989

Roux J.-C., Comon D. (1978) – Notice de l'atlas hydrogéologique de la Somme – BRGM.

Sites Internet utiles

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

Portail national d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines (ADES) : www.adeseaufrance.fr

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

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

Banques de données du sous-sol (BSS) – Infoterre : <http://www.infoterre.brgm.fr>

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

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

Annexe 1

Echelle stratigraphique du bassin de Paris

(M. Donsimoni – 1999-2001 – BRGM)

SYSTEMES PERIODES	SERIES EPOQUES	ETAGES	DUREE (M.a.)	AGE (M.a.)	SOUS-ETAGES ou AUTRES DENOMINATIONS	SOUS SOUS-ETAGES	FORMATIONS		
QUATERNAIRE	Holocène		10 300 a	10 300 a			Remblais		
	Pléistocène						Alluvions récentes Alluvions anciennes de basse terrasse Alluvions anciennes de moyenne et haute terrasse Limon des plateaux Limon de fond de vallées sèches Colluvions de versants Ebouls Sables à silex		
			1.629 700	1.64					
NEOGENE			14.66	16.3	Lacune d'émergence du Miocène et du Pliocène [formation des Argiles à silex, Argiles à meulière, Meulières de]				
	Miocène (basal)	<i>Burdigalien</i>	5.2	21.5			Sables de Lozère, Sables de Sologne		
		<i>Aquitainien</i>	1.8	23.3			Calcaire de Beauce		
PALEOGENE ou NUMMULITIQUE	Oligocène	<i>Stampien ou Rupélien</i>			<i>Stampien s.s.</i>		Calcaire d'Elampes Sables et Grès de Fontainebleau supérieur Sables et Grès de Fontainebleau inférieur Falun de Jeure, Arg. à Corbules, Marnes à Huitres, Calc. d'Etréchy		
					<i>Sannoisien</i>		Calcaire de Sannois Calcaire d'Ogemont Argile verte de Romainville Glaises à Cytènes		
		Eocène	<i>Priabonien</i>		12.1	35.4	<i>Ludien</i>	<i>Supérieur</i>	Marnes blanches de Pankin, Gypse Marabet Marnes bleues d'Argenteuil
				<i>Moyen</i>				Gypse 1 ^{er} masse Marnes d'élite deux masses Gypse 2 ^{ème} masse Marnes à Lucines Gypse 3 ^{ème} masse	
			<i>Bartonien (s.s.)</i>			3.2	38.6	<i>Inférieur</i>	Marnes à <i>Pholadonia ludensis</i>
								<i>Mainténois sup</i>	Gypse 4 ^{ème} masse = Calc. de Naisy-le-Sec ou Marnes à Paludines Sables de Monceau, Sables de Cresnes, Sables de Marines Calcaire de Saint-Ouen s.s.
								<i>Mainténois inf. et moy.</i>	Sables de Motefontaine, Calcaire de Ducy, Sables d'Ezanville
						3.5	42.1	<i>Auvernois sup</i>	Sables de Beauchamp, Sables d'Auvers
								<i>Auvernois inf.</i>	Calcaire de Montigny
			<i>Lutétien</i>					<i>Supérieur</i>	Marnes et calcaires, Calcaire à Cérithes
							<i>Moyen</i>	Calcaire grossier supérieur Calcaire grossier moyen	
							<i>Inférieur</i>	Calcaire grossier inférieur Glaucoune grossière	
			7.9	50					
	Paléocène	<i>Thanétien</i>	4	60.5				Sables et Conglomérats de Bracheux	
		<i>Dano - Montien</i>						Marnes de Meudon Calcaire pisolitique	
			4.5	65					
CRETACE	Supérieur	<i>Campanien</i>	18	83				Craie blanche à silex	
		<i>Santonien</i>	3.6	86.6				Craie blanche à silex	
		<i>Coniacien</i>	1.9	88.5				Craie blanche à silex	
		<i>Turonien</i>				<i>Supérieur</i>		Craie marneuse grise	
						<i>Moyen</i>		Craie marneuse blanche	
				1.9	90.4	<i>Inférieur</i>	Craie marneuse grisâtre		
	Inférieur	<i>Cénomannien</i>				<i>Supérieur</i>		Craie glauconieuse	
						<i>Inférieur</i>		Gaize sableuse ou <i>silexuse</i> (local)	
		<i>Albien</i>				<i>Supérieur</i>		Marne de Bièvre	
						<i>Moyen</i>		Argiles du Gault Sables de Fricambout Argiles Tégulines Sables de Dillons	
						<i>Inférieur</i>		Argiles de l'Amance Sables Verts (s.s.)	
		<i>Aptien</i>			15	112		Argile Sable	
					12.5	124.5			
<i>Barémien</i>						<i>Supérieur</i>	Argile Sable		
					<i>Inférieur</i>	Argile Sables de Perthes			
			7.3	131.8					
<i>Hauteriviien</i>							Argile Sables de Châteaurenard Argile Sables de Château-Landon		
							Argile Grès du Puisselet		
			3.2	135					
<i>Valanginien</i>						Argile Sables de Giselles			
			5.7	140.7			Argile		

JURASSIQUE	Malm	<i>Tithonien = Portlandien</i>			
		<i>Kimméridgien</i>	14	154.7	
		<i>Oxfordien</i>			<i>Séquanien</i>
	Dogger	<i>Callovien</i>	4.2	161.3	
		<i>Bathonien</i>	4.8	166.1	
		<i>Bajocien</i>	7.4	173.5	
		<i>Aalénien</i>	4.5	178	
	Lias	<i>Toarcién</i>	9	187	
		<i>Pliensbachien</i>			<i>Domézien</i>
			7.5	194.5	<i>Carixien</i>
		<i>Sinemurien</i>			<i>Lotharingien</i>
	TRIAS	Supérieur		9	203.5
<i>Hettangien</i>			4.5	208	
<i>Rhétien</i>			1.5	209.5	<i>Rhétien</i>
Moyen		<i>Norien</i>	13.9	223.4	<i>Keuper</i>
		<i>Carnien</i>	11.6	235	
		<i>Ladinien</i>	4.5	239.5	<i>Lettenkhole</i>
		<i>Anisien</i>	1.6	241.1	<i>Muschelkalk</i>
Inférieur	<i>Werfénien</i>	3.9	245	<i>Buntsandstein</i>	

Annexe 2

Carte des profondeurs d'accès et des débits exploitables de l'aquifère de la craie

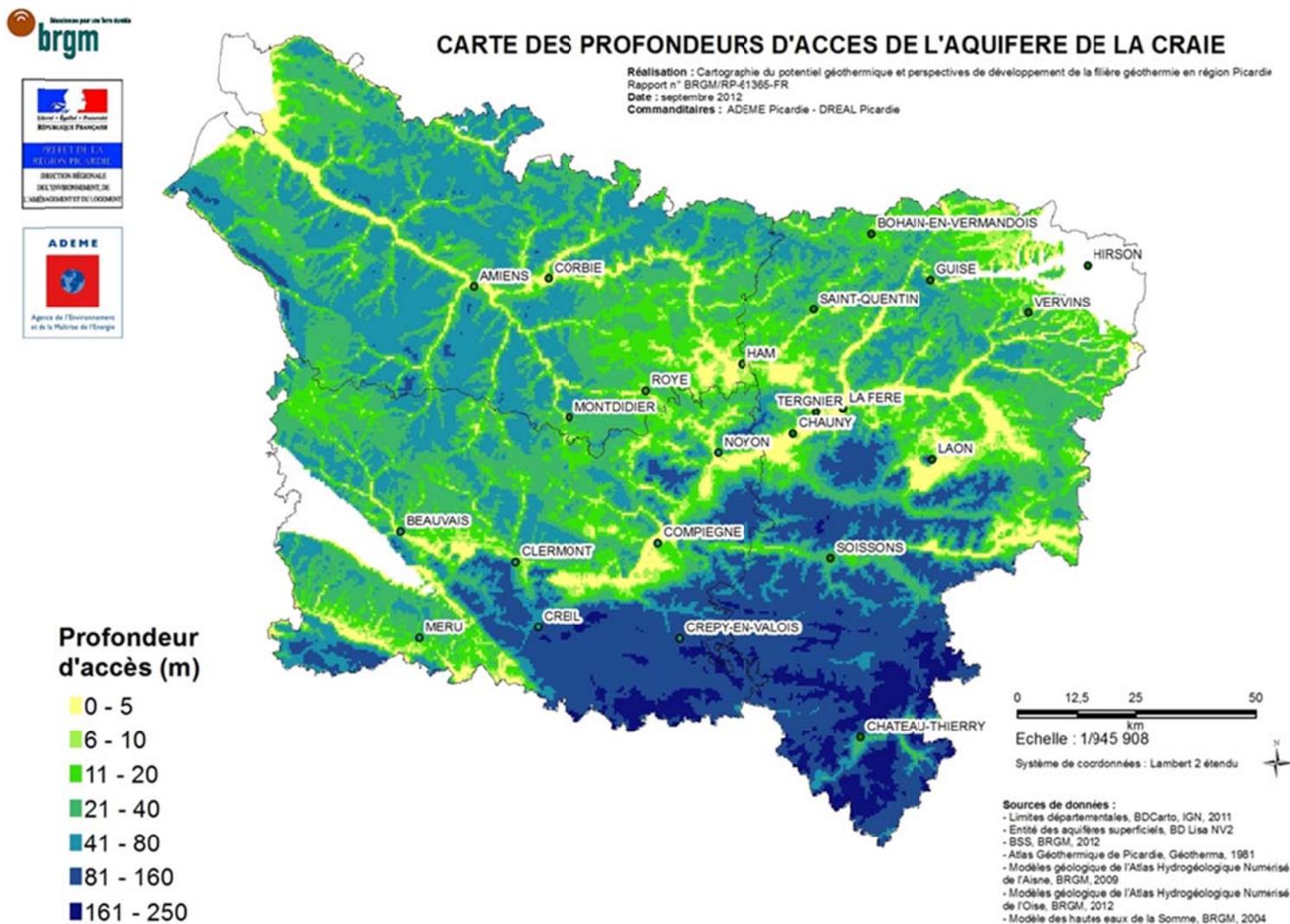
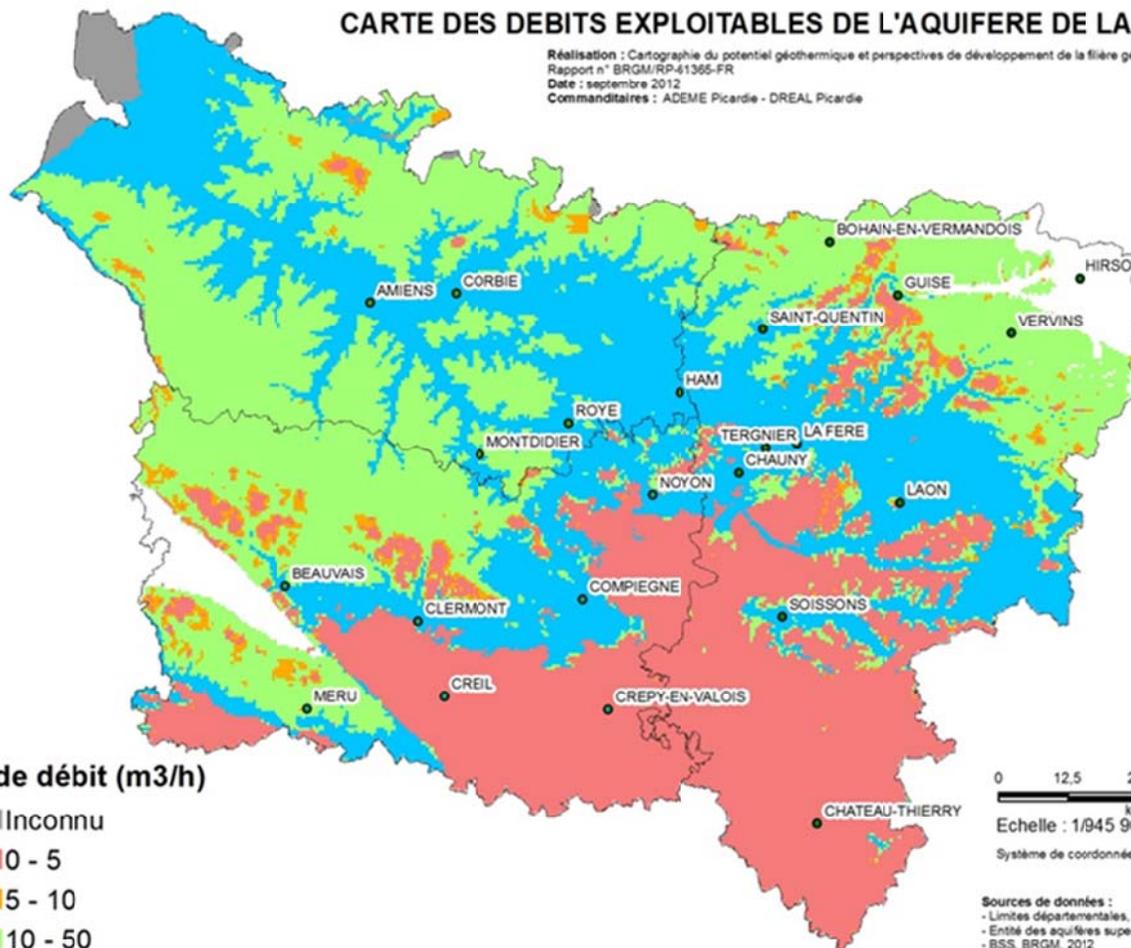


Planche A 2 - 1



CARTE DES DEBITS EXPLOITABLES DE L'AQUIFERE DE LA CRAIE

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
Date : septembre 2012
Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie



Classe de débit (m3/h)

- Inconnu
- 0 - 5
- 5 - 10
- 10 - 50
- > 50

0 12,5 25 50

km

Echelle : 1/945 908

Système de coordonnées : Lambert 2 étendu

Sources de données :
- Limites départementales, BDCarto, IGN, 2011
- Entité des aquifères superficiels, BD Lisa NV2
- BSS, BRGM, 2012
- Atlas Géothermique de Picardie, Géotherma, 1981
- Modèles géologique de l'Atlas Hydrogéologique Numérisé de l'Aisne, BRGM, 2009
- Modèles géologique de l'Atlas Hydrogéologique Numérisé de l'Oise, BRGM, 2012
- Modèle des hautes eaux de la Somme, BRGM, 2004

Planche A 2 - 2

Annexe 3

Carte régionale du potentiel géothermique régional des principaux aquifères superficiels

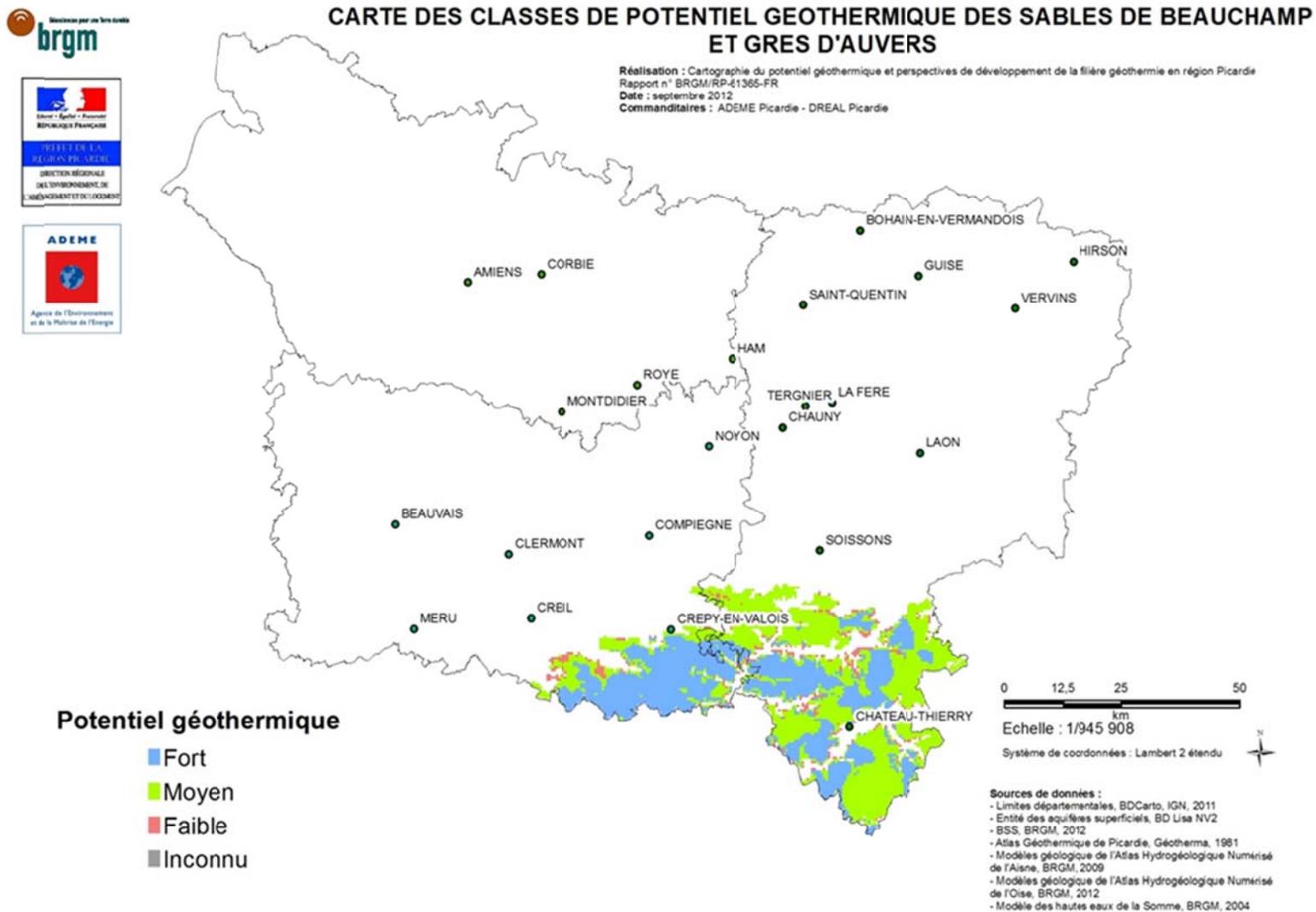


Planche A3 - 1



CARTE DES CLASSES DE POTENTIEL GEOTHERMIQUE DES CALCAIRES DU LUTECIEN

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
Date : septembre 2012
Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie

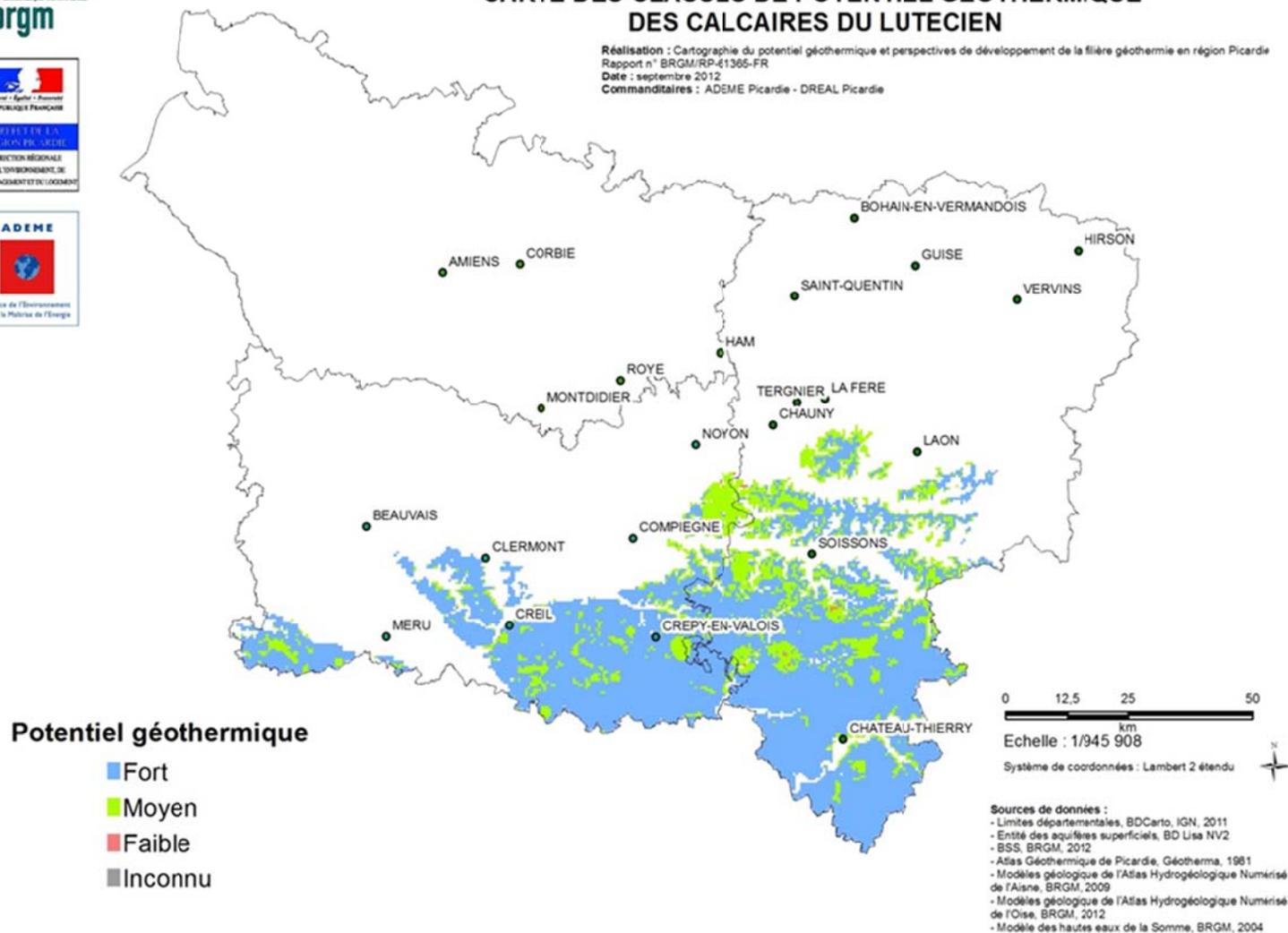


Planche A3 - 2

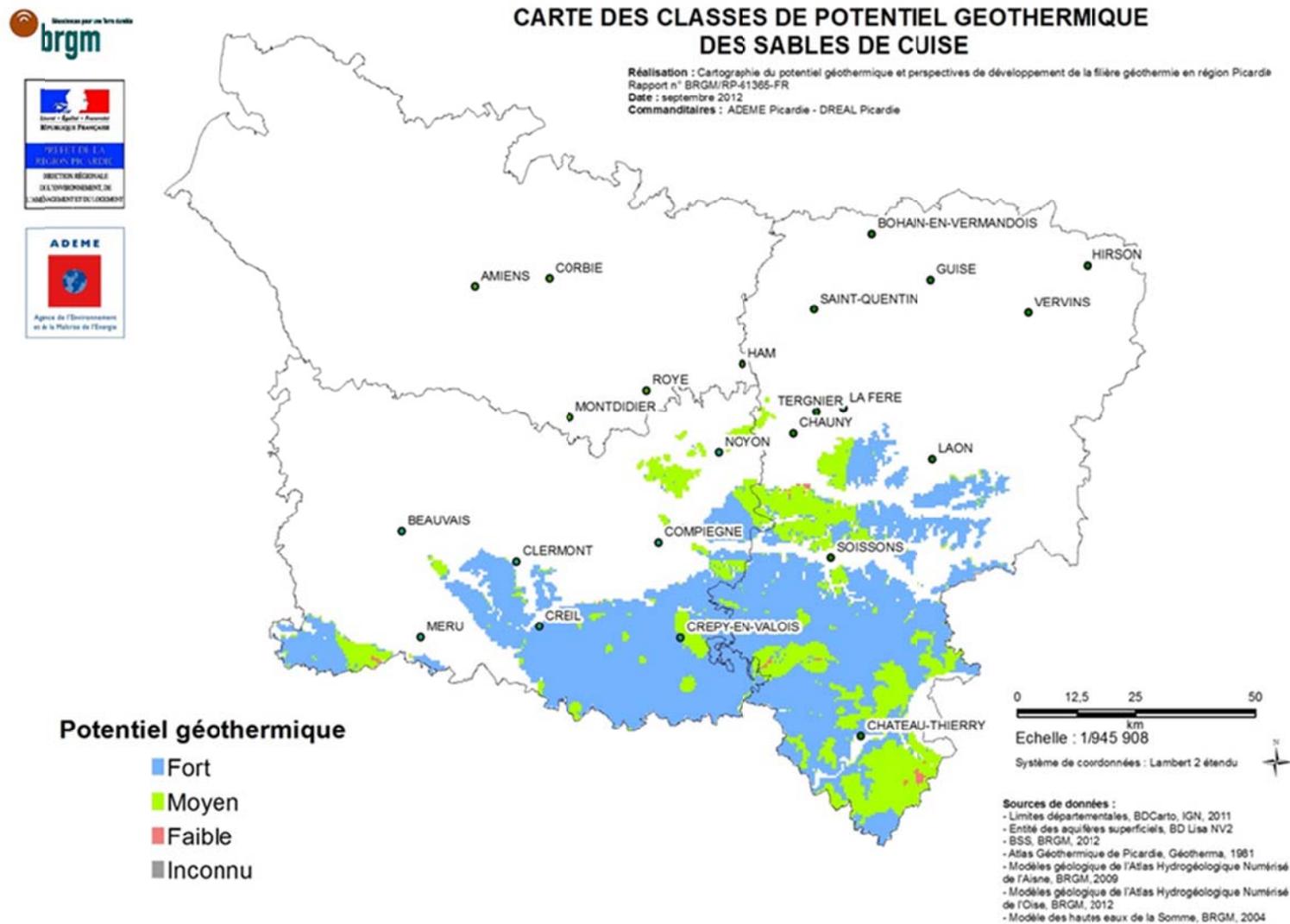


Planche A3 - 3



CARTE DES CLASSES DE POTENTIEL GEOTHERMIQUE DES SABLES DU THANETIEN ET DE LA CRAIE

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
Date : septembre 2012
Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie

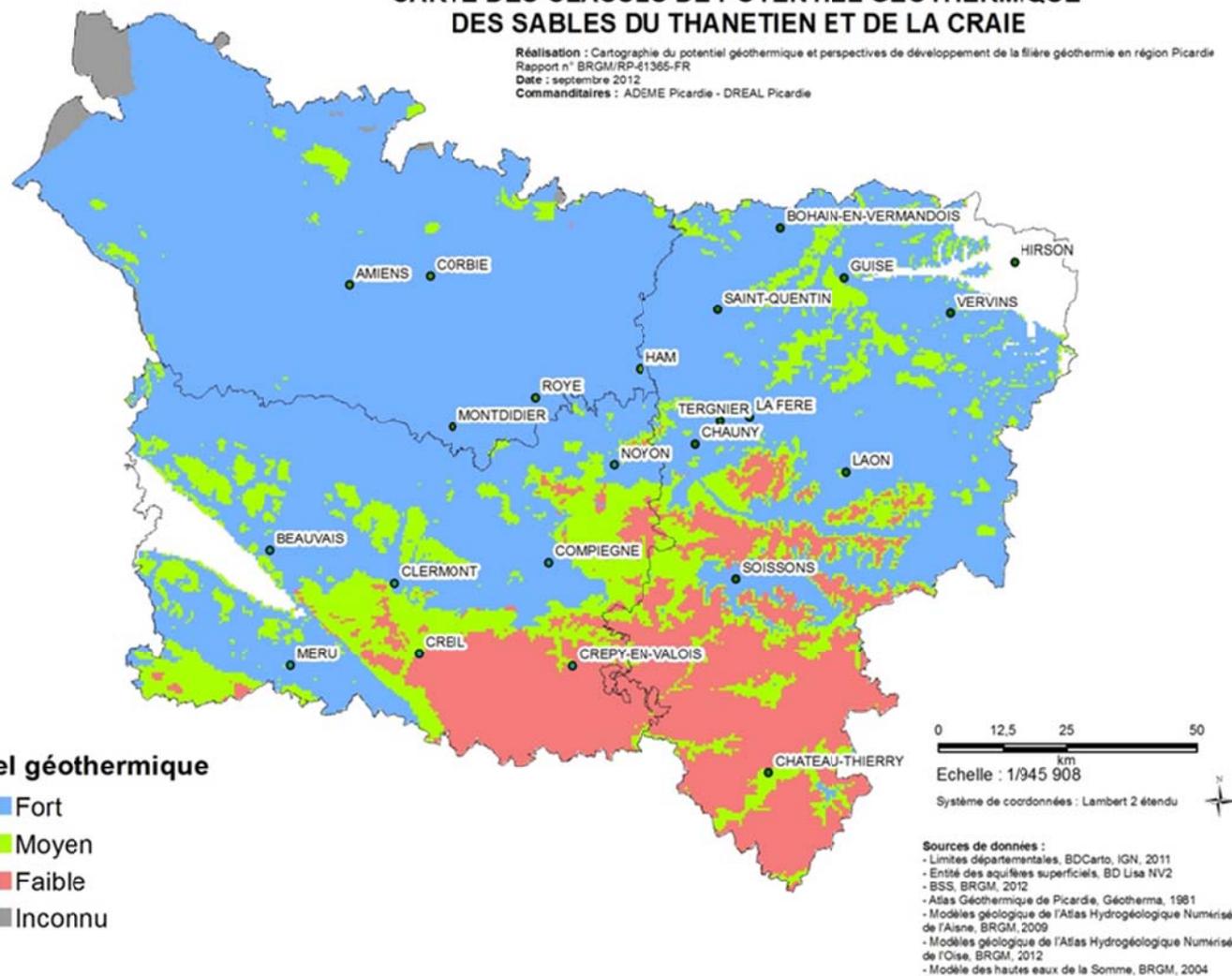
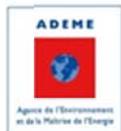


Planche A 3 - 4



CARTE DES CLASSES DE POTENTIEL GEOTHERMIQUE DES SABLES DE L'ALBIEN

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
 Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
 Date : septembre 2012
 Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie

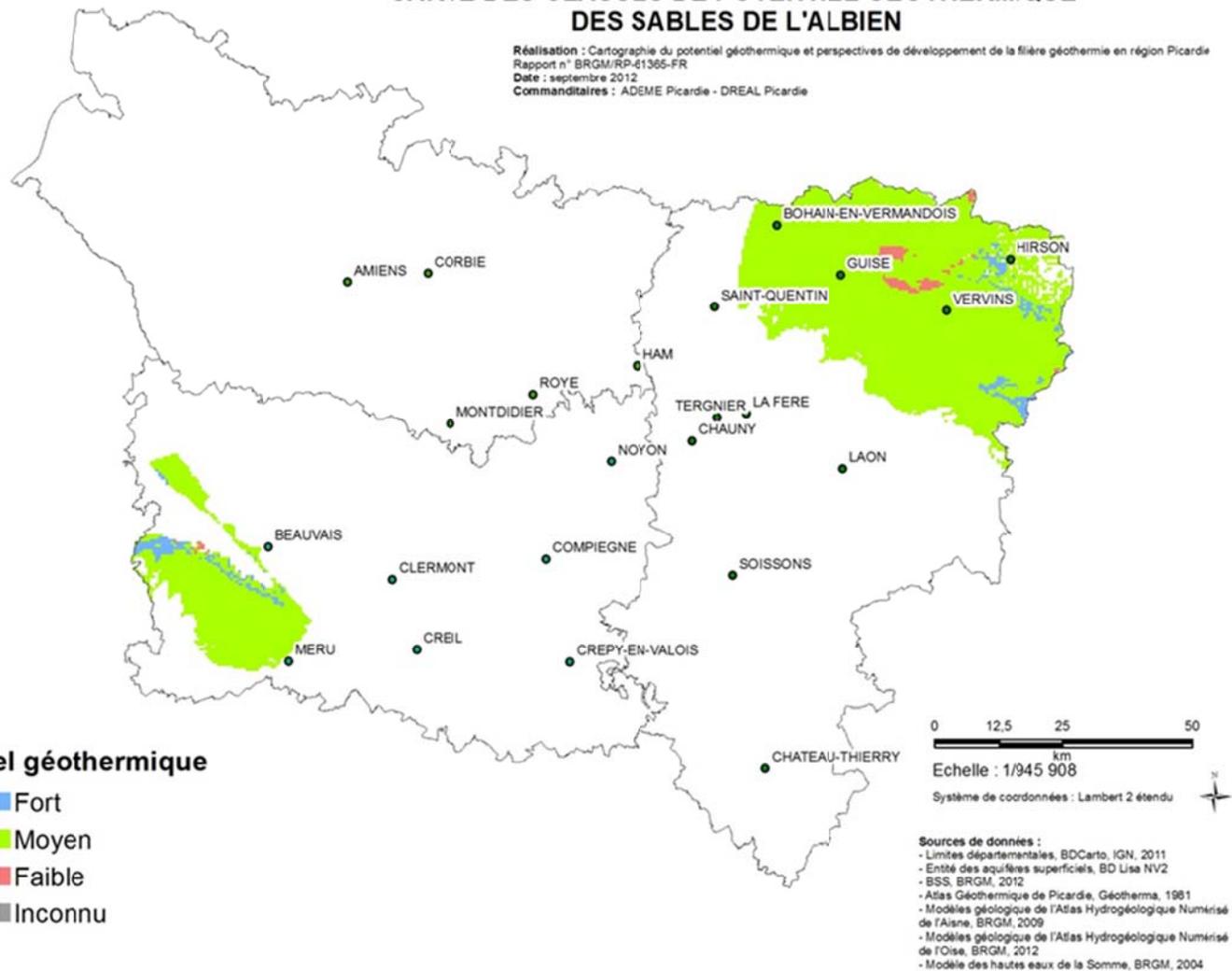


Planche A3 - 5

Annexe 4

Carte du potentiel géothermique régional du meilleur aquifère superficiel

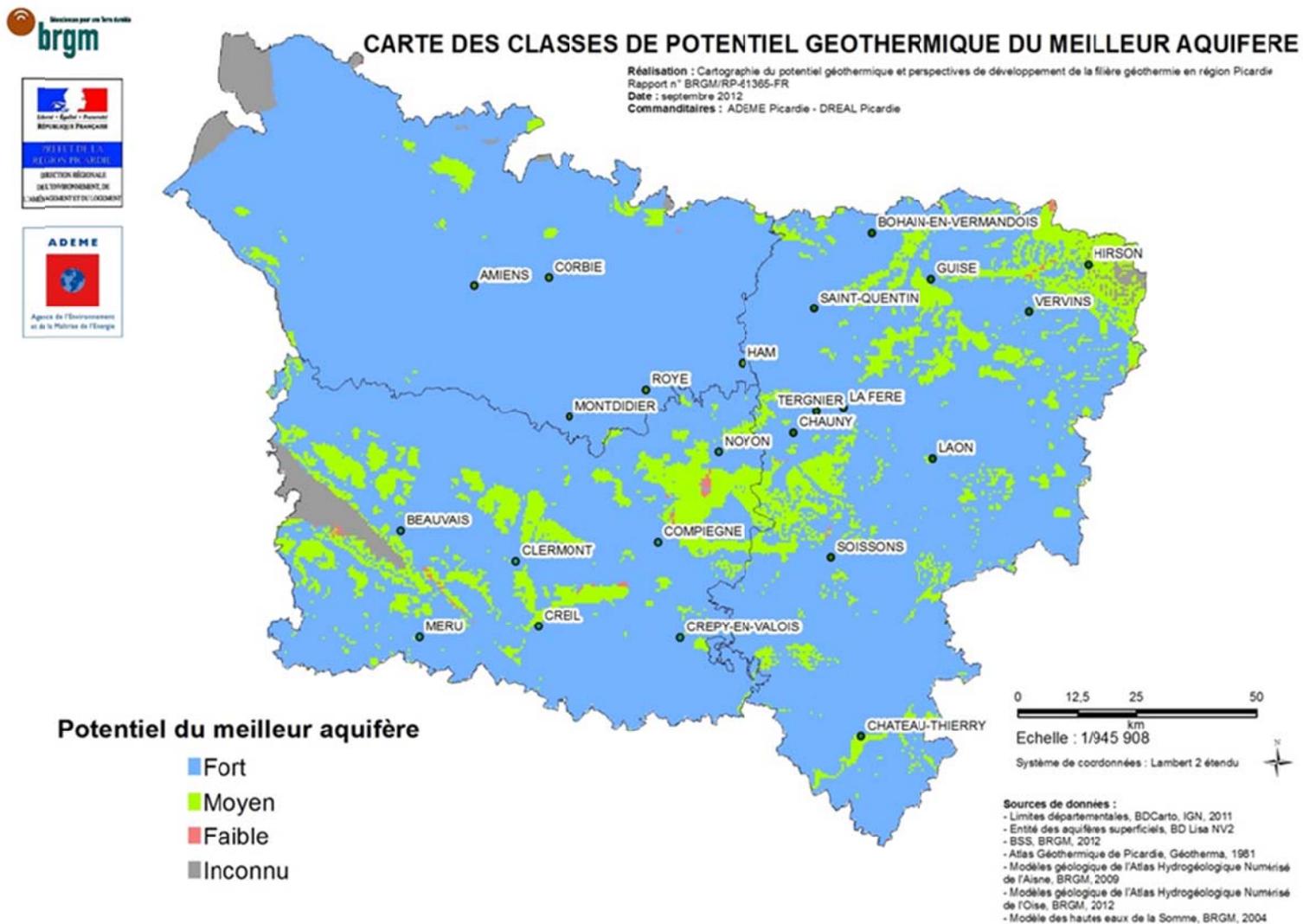


Planche A4 - 1

Annexe 5

Liste et carte de répartition des forages utilisés pour l'étude sur les aquifères profonds (Etude Geogreen, 2012)

INDICE	Nom	DESIGNATION	DPT	COMMUNE	LIEU_DIT	Niveau cible
00795X0042	Pays-de-Bray 101	PB101	60	HANNACHES	PAYS-DE-BRAY-101	TRIAS
00795X0008	Pays-de-Bray 104	PB104	60	HECOURT	PAYS-DE-BRAY-104	BATHONIEN
00795X0006	Pays-de-Bray 105	PB105	60	BUICOURT	PAYS-DE-BRAY-105	BATHONIEN
00795X0001	Pays-de-Bray 108	PB108	60	HANNACHES	PAYS-DE-BRAY-108	BATHONIEN
00816X0001	Saint-Maur 101	SR-101	60	GOURNAY-SUR-ARONDE	SAINT-MAUR-101	TRIAS
00618X0002	Belleuse 101	BE101	80	CONTY	BELLEUSE 101	TRIAS
01034X0001	Fouilleuse 101	FE101	60	CUIGNIERES	FOUILLEUSE	SINEMURIEN/HETTANGIEN
01271X0001	Noailles 101	NO-101	60	CAUVIGNY	NOAILLES-101	TRIAS
01307X0021	Villemoyenne 1	VIL1	2	FERE-EN-TARDENOIS	VILLEMoyENNE	TRIAS
01272X0001	Ercuis 101	ER-101	60	ERCUIS	ERCUIS-101 - CHAMPARTS-DE-BONQUEVAL--LES--	BATHONIEN
01062X0001	Vregny 1	VG1	2	CROUY	VREGNY	TRIAS
01564X0001	Villemoyenne 2	VM2	2	FERE-EN-TARDENOIS	SONDAGE VILLEMoyENNE N,2	BATHONIEN
01566X0002	Essises 1	EI-1	2	ESSISES	ESSISES 1 - EI 1	TRIAS
01081X0024	Guignicourt 1	AGU1	2	GUIGNICOURT	GUIGNICOURT-1	TRIAS
01057X0012	Mortefontaine 1	AMO1	2	LIME	AMO-1	TRIAS
00846X0003	Orgeval 1	AOR1	2	MONTCHALONS	ORGEVAL-1	TRIAS
01035X0001	Berthecourt 1	BT-101	60	BERTHECOURT	B-E-101	BATHONIEN
01273X0001	Rousseloy 101	RS-101	60	BURY	ROUSSELOY 101	BATHONIEN
01277X0002	Gouvieux 101	GV-101	60	GOUVIEUX	GOUVIEUX-101-	BATHONIEN
00801X0001	Hardivillers 101	HD101	60	MAISONCELLE-TUILERIE	H-D-101	TRIAS
01307X0025	Cramaille 101	ACR101	2	CRAMAILLE	CRAMAILLE, A, CR, 101-SNPA	BATHONIEN
01302X0009	Villeblain 101	AVB101	2	CHACRISE	VILLEBLAIN	BATHONIEN
00807X0003	Saint-Just-en-Chaussée 101	SJ101	60	SAINT-JUST-EN-CHAUSSEE	SAINT JUST EN CHAUSSÉE 101	TRIAS
01563X0007	Trugny 101	ATR101	2	EPIEDS	SONDAGE TRUGNY 101	BATHONIEN
00806X0003	Thieux 101	TH101	60	THIEUX	THIEUX-101	TRIAS
01307X0022	Cramaille 102	ACR102	2	BRUYERES-SUR-FERE	CRAMAILLE 102 A CR 102	BATHONIEN
01291X0140	Feigneux 1	FG1	60	FEIGNEUX	LA CROIX BLANCHE - FEIGNEUX 1	TRIAS
01046X0071	Arsy 1	ARSY1	60	ARSY	RECHERCHES D'HYDROCARBURES "LES CHAUDS FOURS"	TRIAS
00326X0007	Nibas 101	NI 101	80	NIBAS	NIBAS	SINEMURIEN/HETTANGIEN
01305X4001	Latilly 1	GT	2	LATILLY	LATILLY-1-TROU-DU-TONNERRE	TRIAS
00804X0001	Mondidier 101	MD 101	60	WELLES-PERENNES	MONTDIDIER-101	TRIAS
01281X0003	Cinqueux 101	CQ 101	60	CINQUEUX	CINQUEUX-101	BATHONIEN
00656X0097	Alaincourt 1	ATN 1	2	ALAINCOURT	ALAINCOURT	HETTANGIEN
01027X0003	Aux Marais 102	AM 102	60	SAINT-MARTIN-LE-NOEUD	AM 102	BATHONIEN
01294X0014	Longpont 101	A LO 101	2	LONGPONT	LONGPONT 101 (A, LO, 101)	BATHONIEN
01561X0008	Etrepilly 101	A ET101	2	ETREPILLY	ETREPILLY-101	BATHONIEN
01027X0011	Aux Marais 103	AM 103	60	SAINT-MARTIN-LE-NOEUD	AM 103	BATHONIEN
01295X0018	Betz 101	V BZ101	60	BETZ	BETZ-101	BATHONIEN
01534X0007	Fosses 1	FS 1	95	FOSSES	FOSSES	BAJOCIEN
01868X0005	Montmirail 101	MT 101	51	MECRINGES	MONTMIRAIL-101	BATHONIEN
01258X0002	La chapelle-en-Vexin 1	CV 1	95	BUHY	LA CHAPELLE-EN-VEXIN 1	HETTANGIEN
01056X0003	Roy Saint-Nicolas 101 bis	A RS 101b	2	MORTEFONTAINE	ARS 101 BIS	BATHONIEN
01047X0137	Longueil 1 bis	LG 1	60	LONGUEIL-SAINTE-MARIE	LES RUMINEES-LONGUEIL-1BIS	TRIAS

01863X0036	Rozoy-Belleville 1D	RZB 1D	2	ROZOY-BELLEVILLE	A PROXIMITE DU GOLF	BATHONIEN
01297X0108	Bourneville 1D	BNV 1C	2	FERTE-MILON(LA)	BOURNEVILLE	TRIAS
01863X0057	Mont-A-Peine 1	MAP 1	2	MONTLEVON	MONT A PEINE - LIEU-DIT "LE CLOS DES BOEUFs"	BATHONIEN
01027X0009	Aux Marais 101	AM101	60	SAINT-MARTIN-LE-NOEUD	AUX MARAIS 101	RHETIEN
01028X0003	Troussencourt 101	TR 101	60	SAINT-SULPICE	TROUSSENCOURT 101, LA VALLEE	BATHONIEN
01282X0007	Roberval 101	RB101	60	RHUIS	ROBERVAL	BATHONIEN
01028X0004	Troussencourt 102	TR 102	60	AUTEUIL	TROUSSENCOURT 102 (TR,102)	BATHONIEN
01552X0020	Neufchelles 1	NEL 1	60	NEUFHELLES	LES GRAVETTES NEUFHELLES 1	TRIAS
01558X1048	Montreuil-aux-Lions 1	MTL 1	2	MONTREUIL-AUX-LIONS	LES AULNETTES	TRIAS
01056X0160	Sailly 1	SAI 1	60	CUISE-LA-MOTTE	SAILLY	Trias indifférencié
01276X0053	Saint-Jean 1	STJ01	60	ERCUIS	LA CROIX SAINT-JEAN	TRIAS
01024X0107	Beauvais 1	GBVS1	60	BEAUVAIS	BEAUVAIS-GBVS1	BAJOCIEN
01024X0108	Beauvais 2	GBVS2	60	BEAUVAIS	BEAUVAIS-GBVS2	BATHONIEN
01274X0387	Creil 1	CRGTH1	60	CREIL	CREIL-CRGTH1	BATHONIEN
01274X0393	Creil 2	CRGTH2	60	CREIL	CREIL-CRGTH2	BATHONIEN
01274X0394	Creil 3	CRGTH3	60	CREIL	CREIL-CRGTH3	BATHONIEN
01274X0395	Creil 4	CRGTH4	60	CREIL	CREIL-CRGTH4	BATHONIEN
01274X0419	Creil 5	GCR5	60	CREIL	CREIL-LE-PLATEAU-GCR5	BATHONIEN
01274X0420	Creil 6	GCR6	60	CREIL	CREIL-LE-PLATEAU-GCR6	BATHONIEN

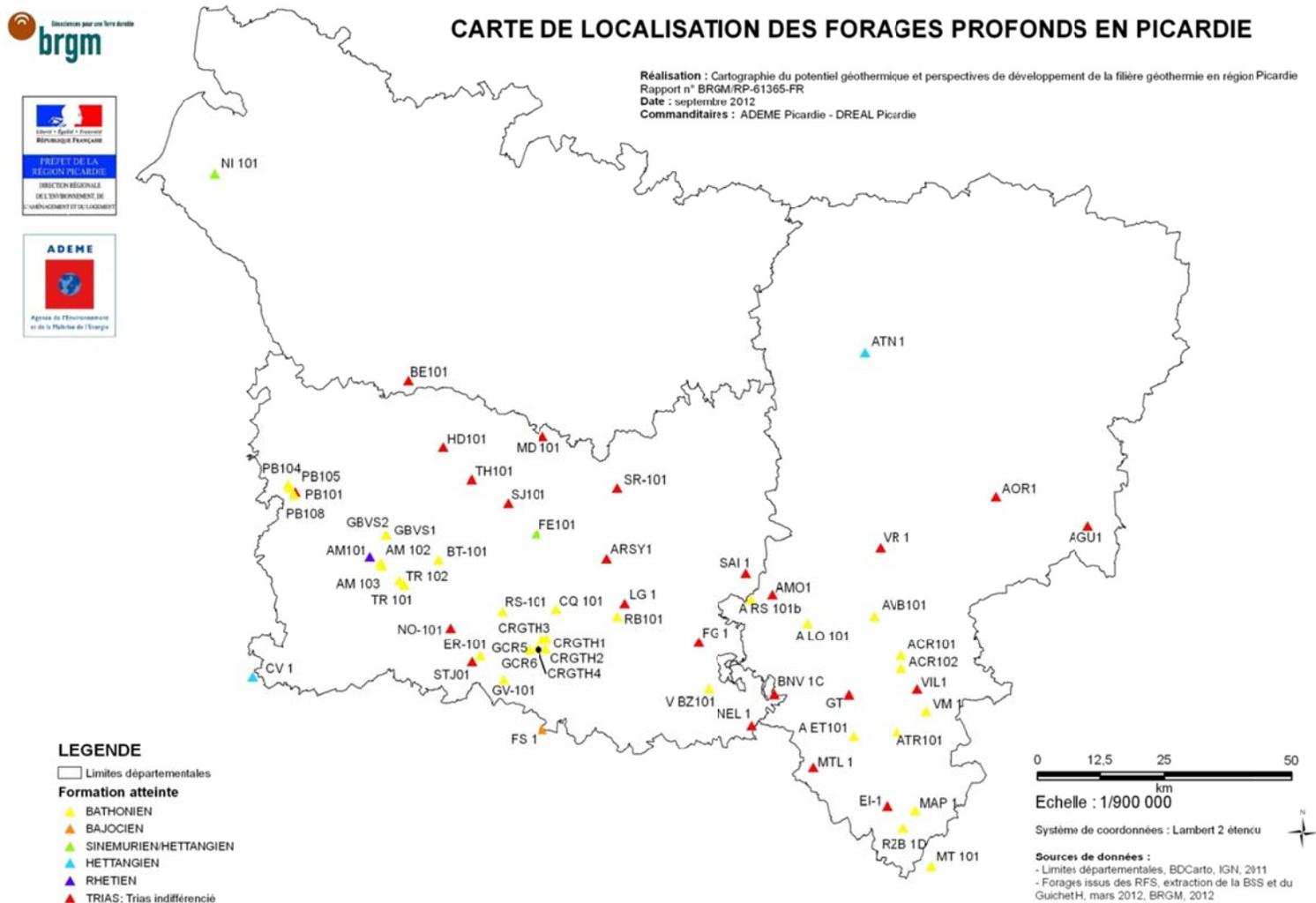


Planche A5 - 1

Annexe 6

Cartographies des potentiels géothermiques des aquifères profonds

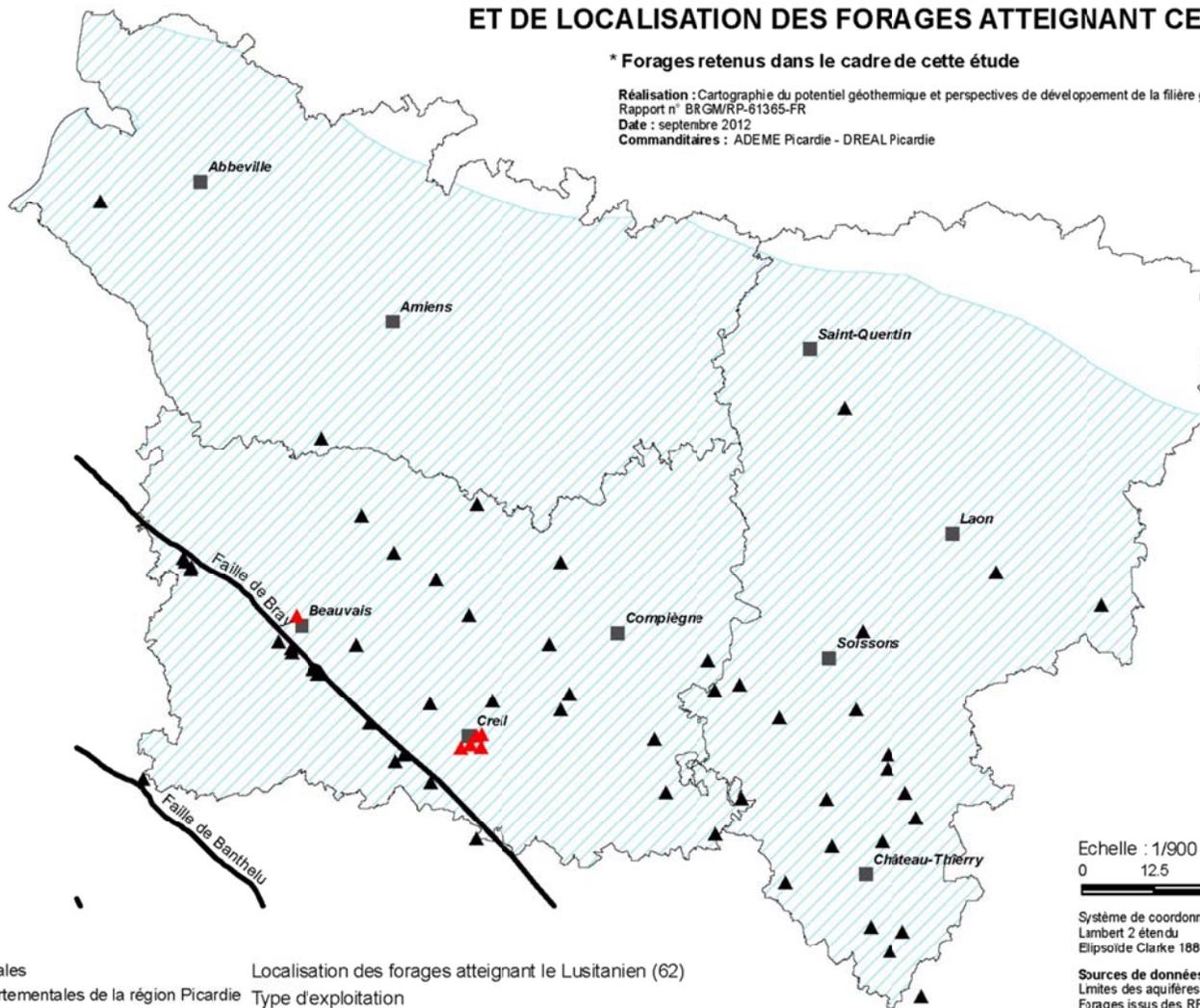
A6.1 - Aquifère du Lusitanien



CARTE D'EXTENSION DU LUSITANIEN ET DE LOCALISATION DES FORAGES ATTEIGNANT CET AQUIFÈRE

* Forages retenus dans le cadre de cette étude

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
 Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
 Date : septembre 2012
 Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie



LEGENDE

- Villes principales
- Limites départementales de la région Picardie
- Failles majeures
- ▨ Calcaires du Lusitanien (BdLisa 135AA)
- ▲ Localisation des forages atteignant le Lusitanien (62)
- ▲ Pétrolier, autre
- ▲ Géothermie-BE

Echelle : 1/900 000
 0 12.5 25 50
 km
 Système de coordonnées :
 Lambert 2 étendu
 Ellipsoïde Clarke 1880 NTF

Sources de données :
 Limites des aquifères, BDLisa, BRGM, 2012
 Forages issus des RFS, extraction de la BSS et du
 Guichet H, mars 2012, BRGM, 2012
 Chefs-lieux, BdTopo, IGN, 2011
 Limites départementales, BDCarto, IGN, 2011

Planche A6 – 1

CARTE DES PROFONDEURS AU TOIT DU LUSITANIEN

Pour les forages retenus dans le cadre de cette étude

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
 Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
 Date : septembre 2012
 Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie

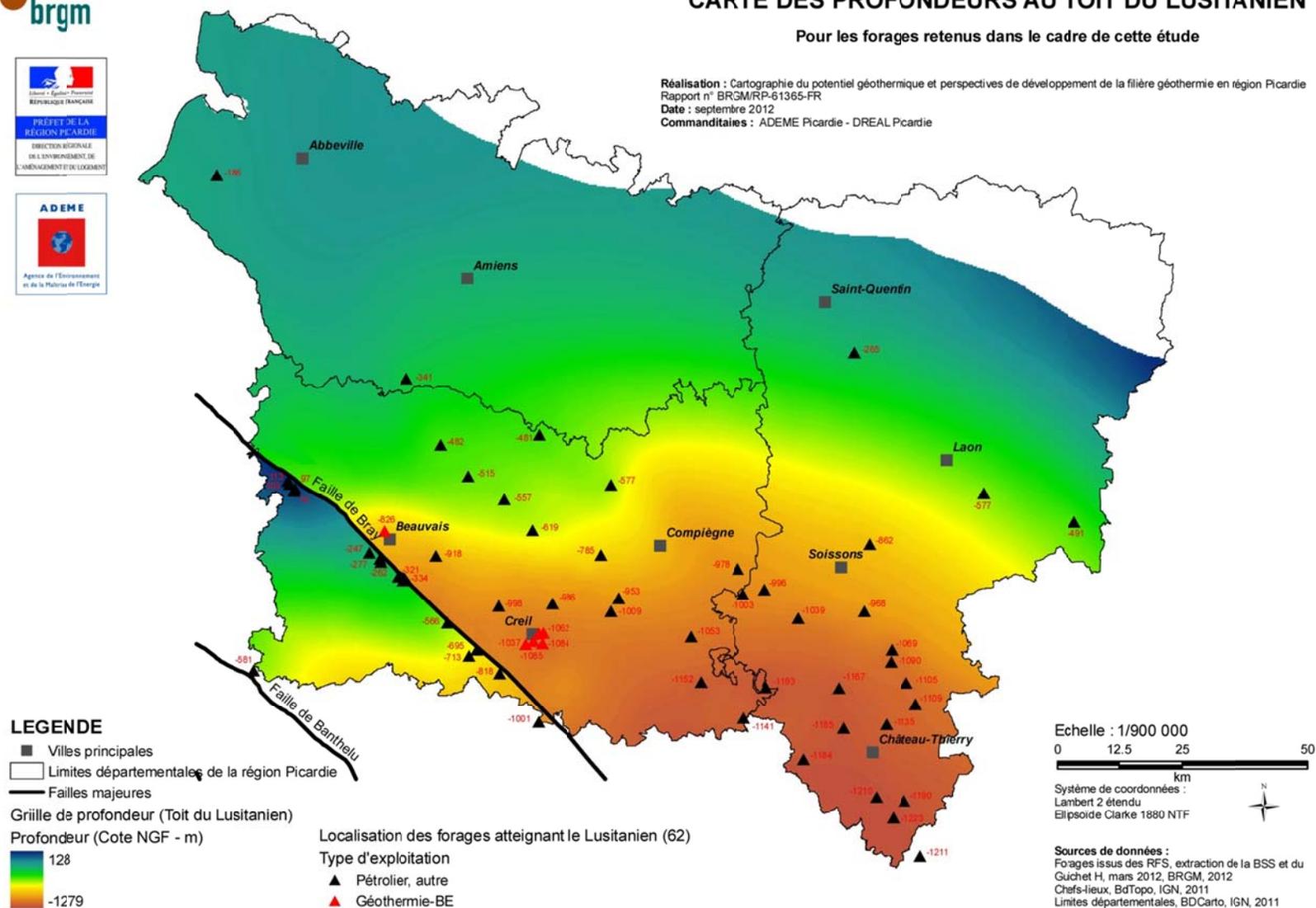


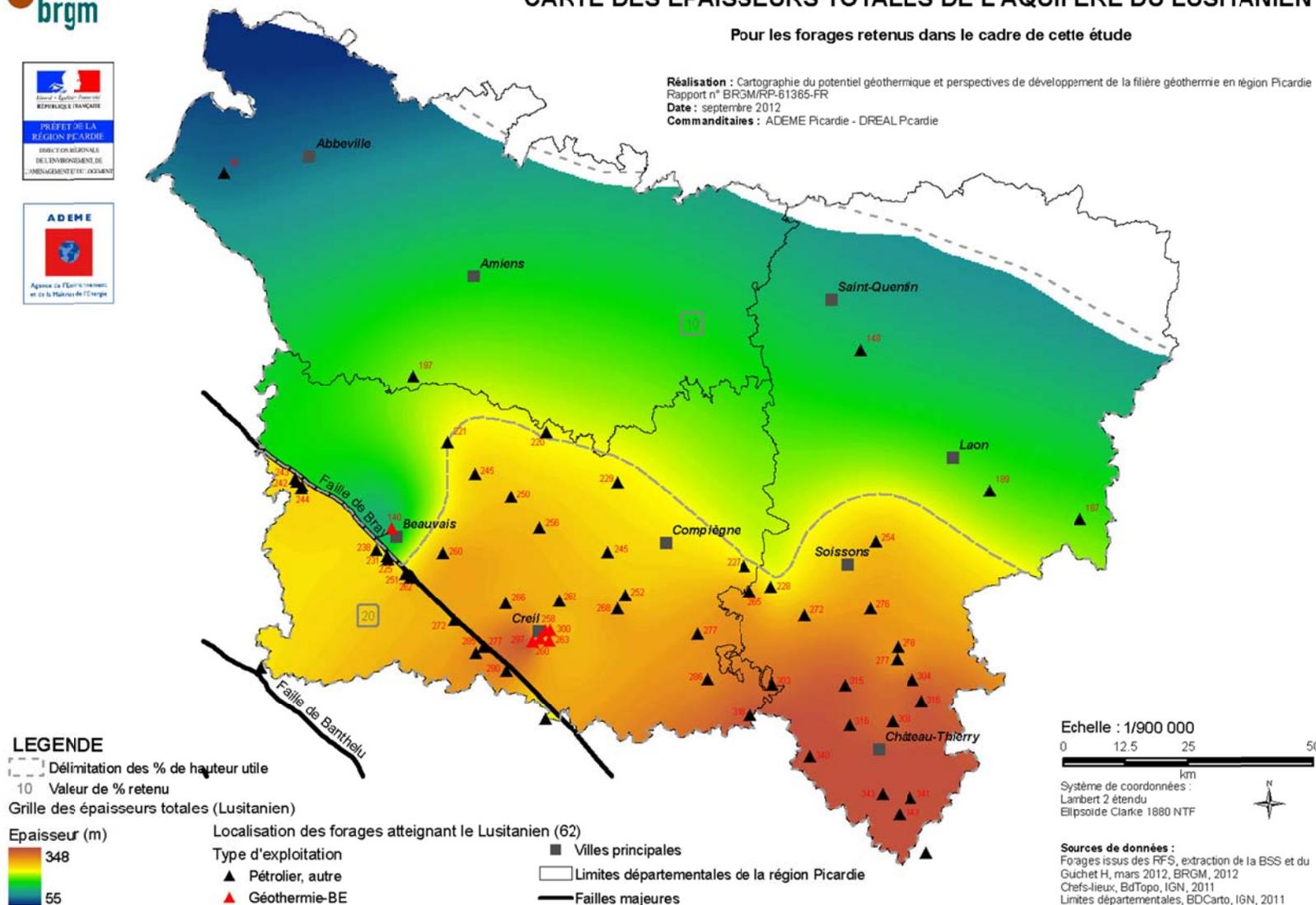
Planche A6 - 2



CARTE DES ÉPAISSEURS TOTALES DE L'AQUIFÈRE DU LUSITANIEN

Pour les forages retenus dans le cadre de cette étude

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
 Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
 Date : septembre 2012
 Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie



LEGENDE

- - - Délimitation des % de hauteur utile
- 10 Valeur de % retenu
- Grille des épaisseurs totales (Lusitanien)
- Épaisseur (m)
 - 348
 - 55
- Localisation des forages atteignant le Lusitanien (62)
 - ▲ Pétrolier, autre
 - ▲ Géothermie-BE
- Villes principales
- Limites départementales de la région Picardie
- Failles majeures

Echelle : 1/900 000
 0 12.5 25 50
 km
 Système de coordonnées :
 Lambert 2 étendu
 Ellipsoïde Clarke 1880 NTF

Sources de données :
 Forages issus des RFS, extraction de la BSS et du
 Guichet H, mars 2012, BRGM, 2012
 Chefs-lieux, BdTopo, IGN, 2011
 Limites départementales, BDCarto, IGN, 2011

Planche A6 - 3

CARTE DES ÉPAISSEURS UTILES DE L'AQUIFÈRE DU LUSITANIEN

Pour les forages retenus dans le cadre de cette étude

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
 Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
Date : septembre 2012
Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie

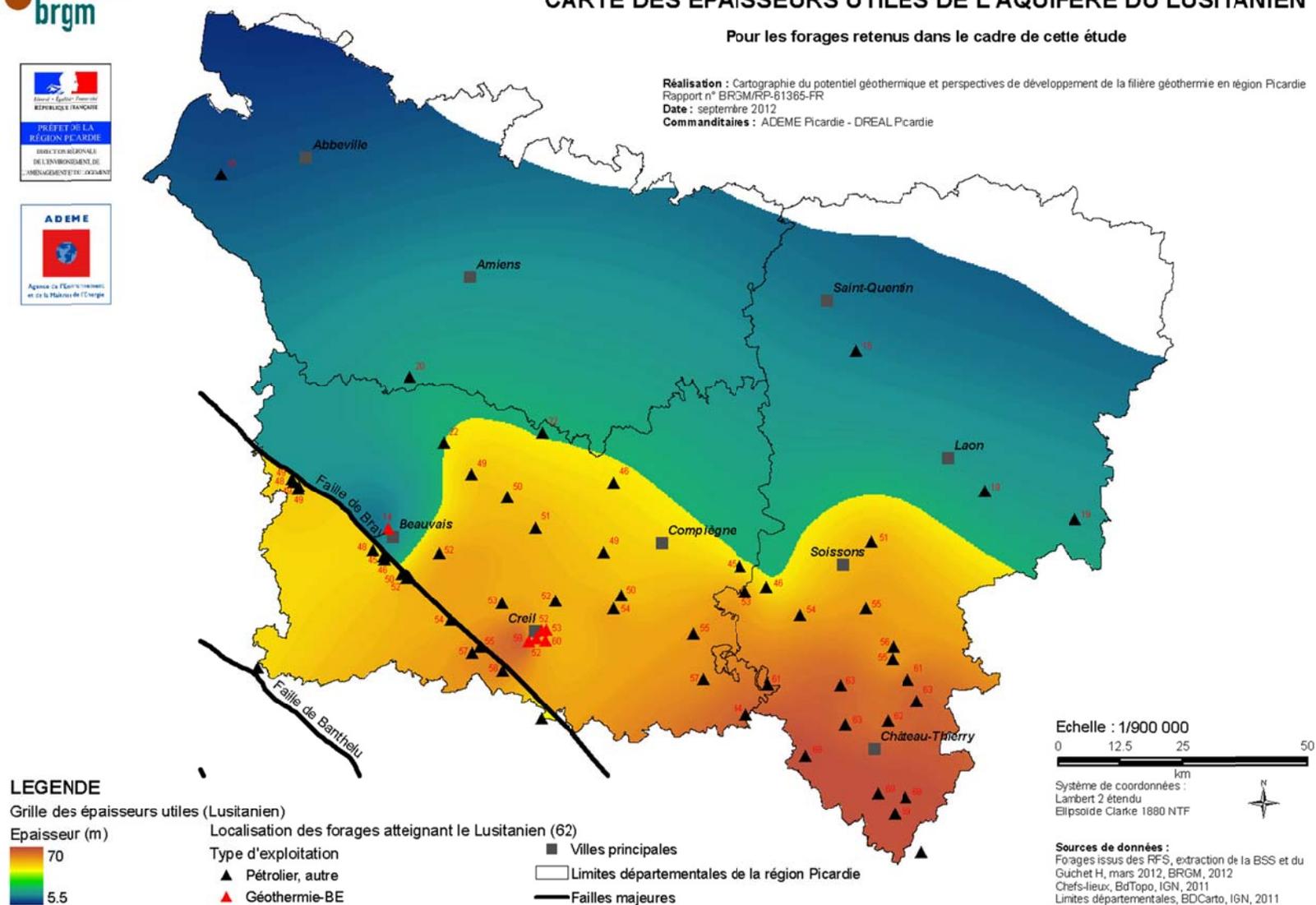


Planche A6 - 4



CARTE DE TRANSMISSIVITÉ POUR L'AQUIFÈRE DU LUSITANIEN

Pour les forages retenus dans le cadre de cette étude

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
 Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
 Date : septembre 2012
 Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie

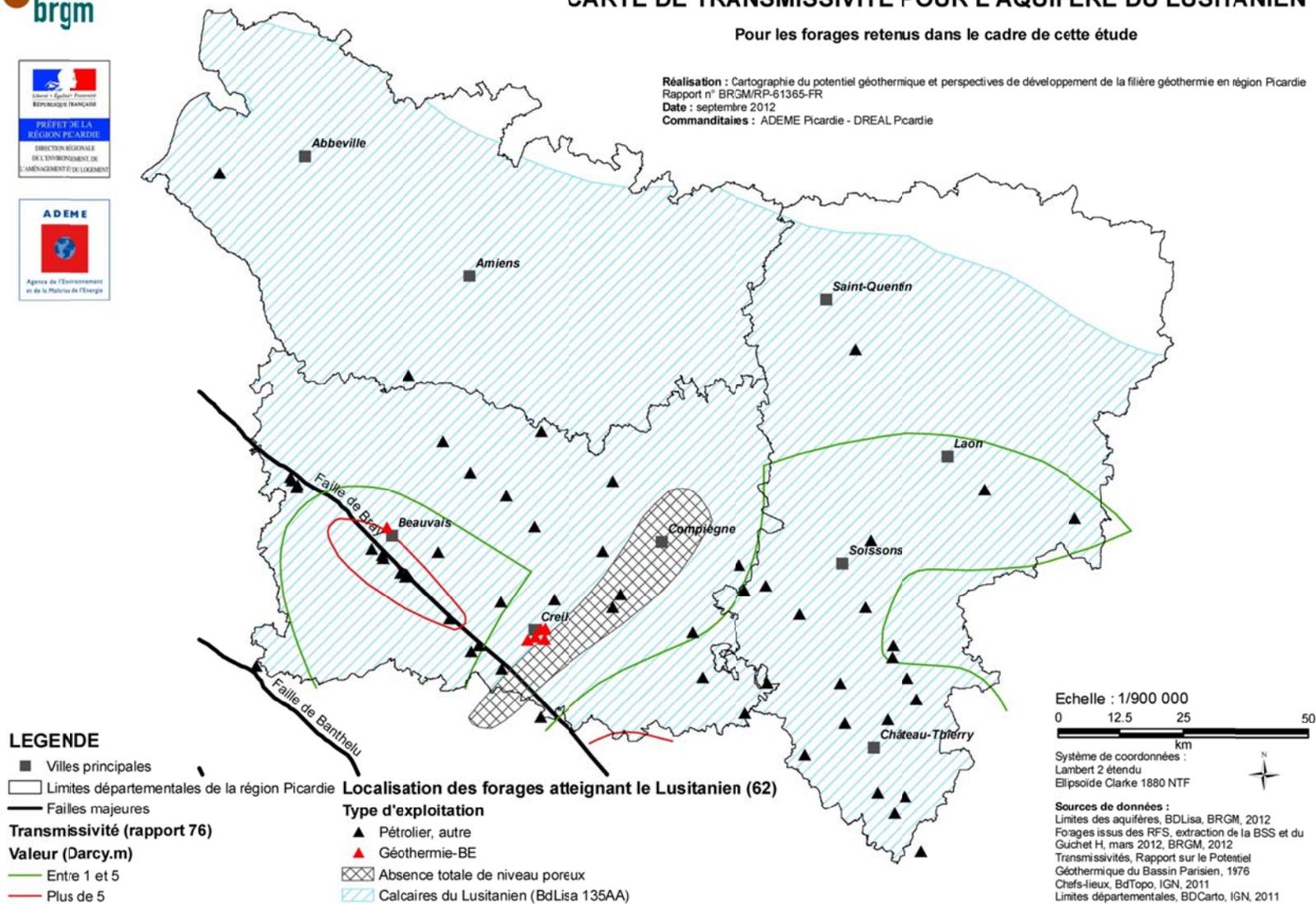


Planche A6 – 5

CARTE DE LA SALINITÉ AU TOIT DU LUSITANIEN

Pour les forages retenus dans le cadre de cette étude

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
 Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
Date : septembre 2012
Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie

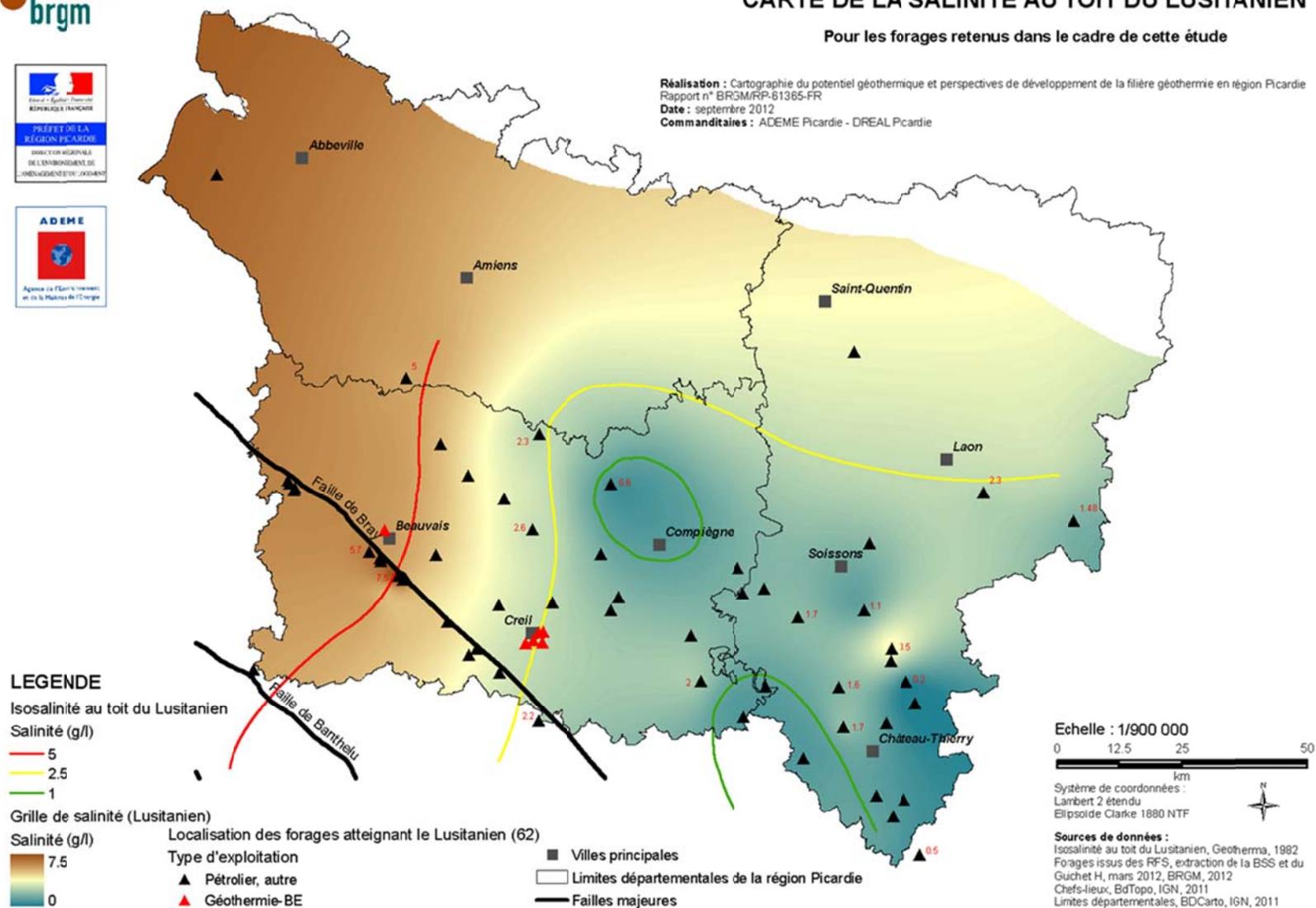


Planche A6 – 6



CARTE DES TEMPÉRATURES AU TOIT DU LUSITANIEN

Pour les forages retenus dans le cadre de cette étude

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
 Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
 Date : septembre 2012
 Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie

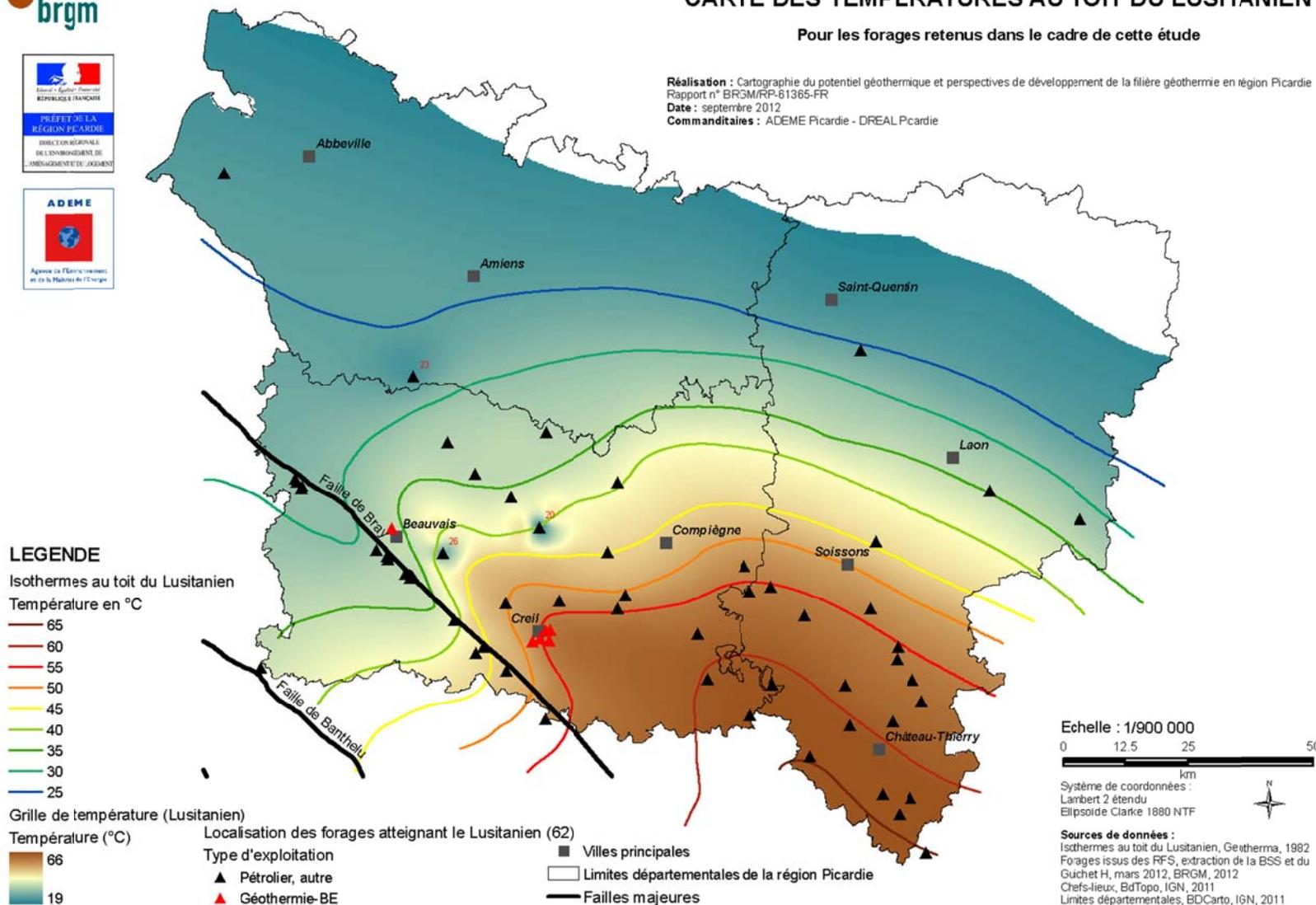


Planche A6 - 7

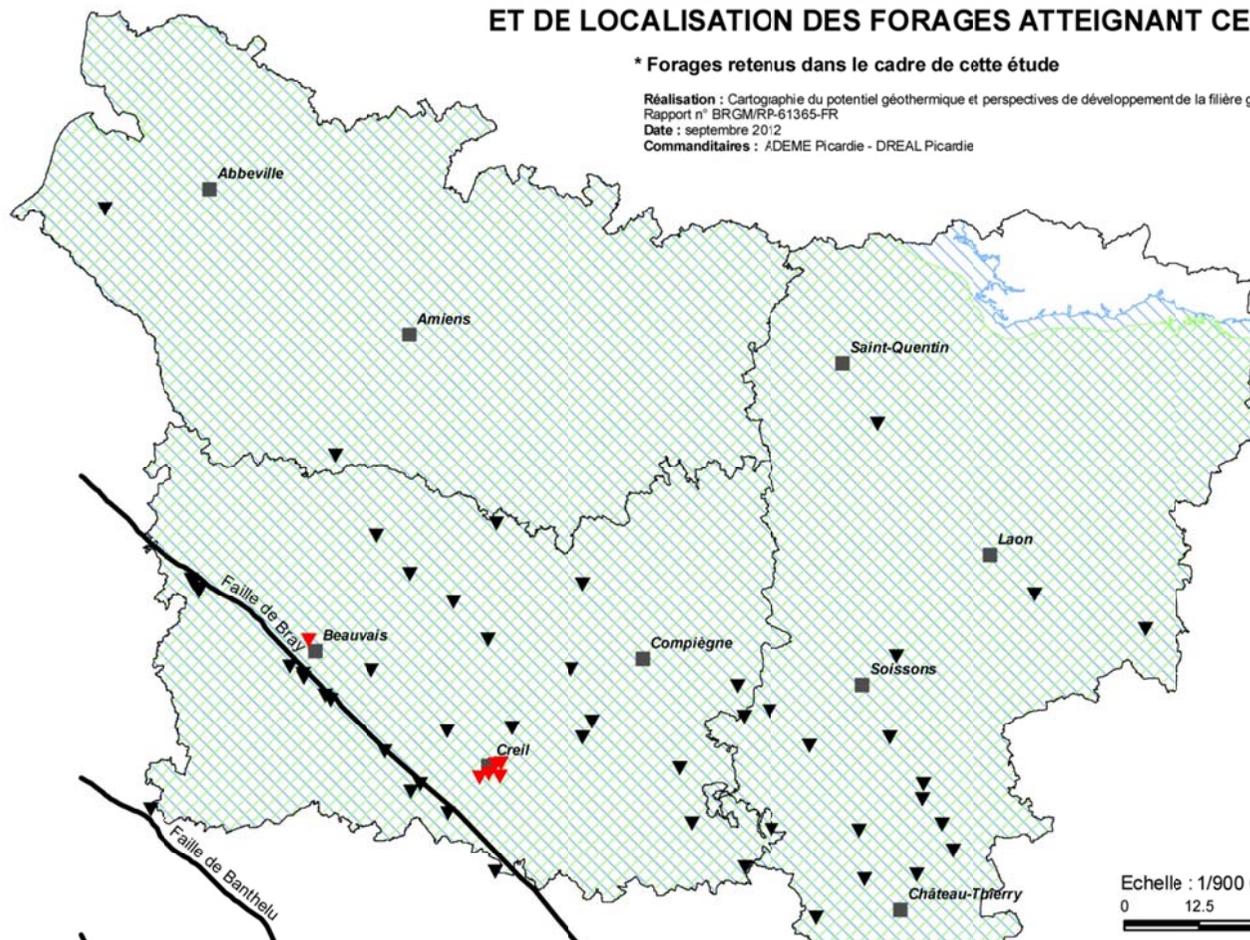
A6.2 - Aquifère du Dogger



CARTE D'EXTENSION DU DOGGER ET DE LOCALISATION DES FORAGES ATTEIGNANT CET AQUIFÈRE

* Forages retenus dans le cadre de cette étude

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
 Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
 Date : septembre 2012
 Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie



LEGENDE

- Villes principales
- Limites départementales de la région Picardie
- Failles majeures
- ▨ Calcaires du Bathonien / Callovien (BdLisa 139AM)
- ▨ Calcaires de l'Aalénien / Bajocien (BdLisa 139AP)

- Localisation des forages atteignant le Dogger (62)
- Type d'exploitation
- ▼ Pétrolier, autre
- ▼ Géothermie-BE

Echelle : 1/900 000
 0 12.5 25 50
 km
 Système de coordonnées :
 Lambert 2 étendu
 Ellipsoïde Clarke 1880 NTF

Sources de données :
 Limites des aquifères, BDLisa, BRGM, 2012
 Forages issus des RFS, extraction de la BSS et du Guichet H, mars 2012, BRGM, 2012
 Chefs-lieux, BdTopo, IGN, 2011
 Limites départementales, BDCarto, IGN, 2011

Planche A6 - 8

CARTE DES PROFONDEURS AU TOIT DU DOGGER

Pour les forages retenus dans le cadre de cette étude

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
 Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
 Date : septembre 2012
 Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie

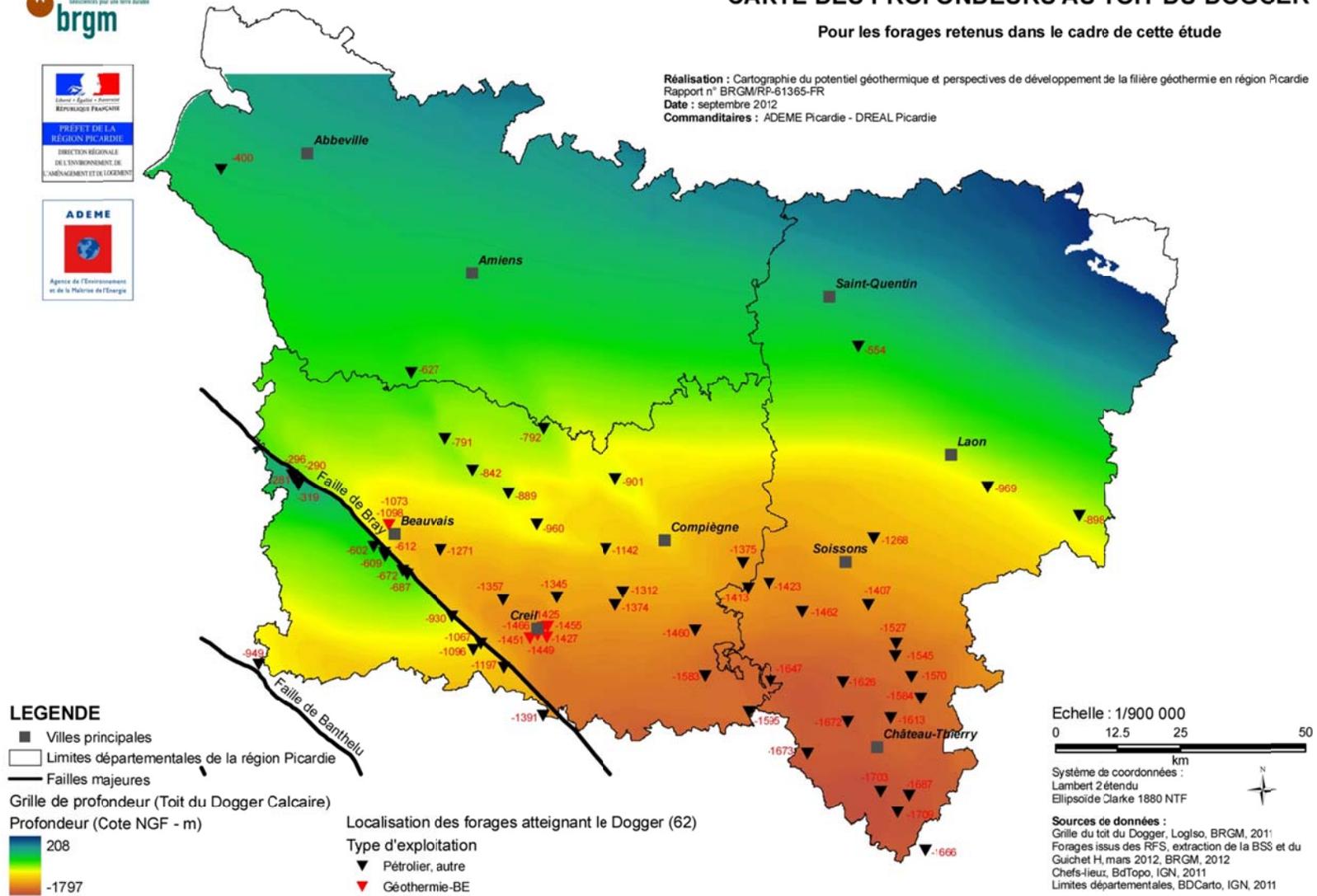


Planche A6 – 9

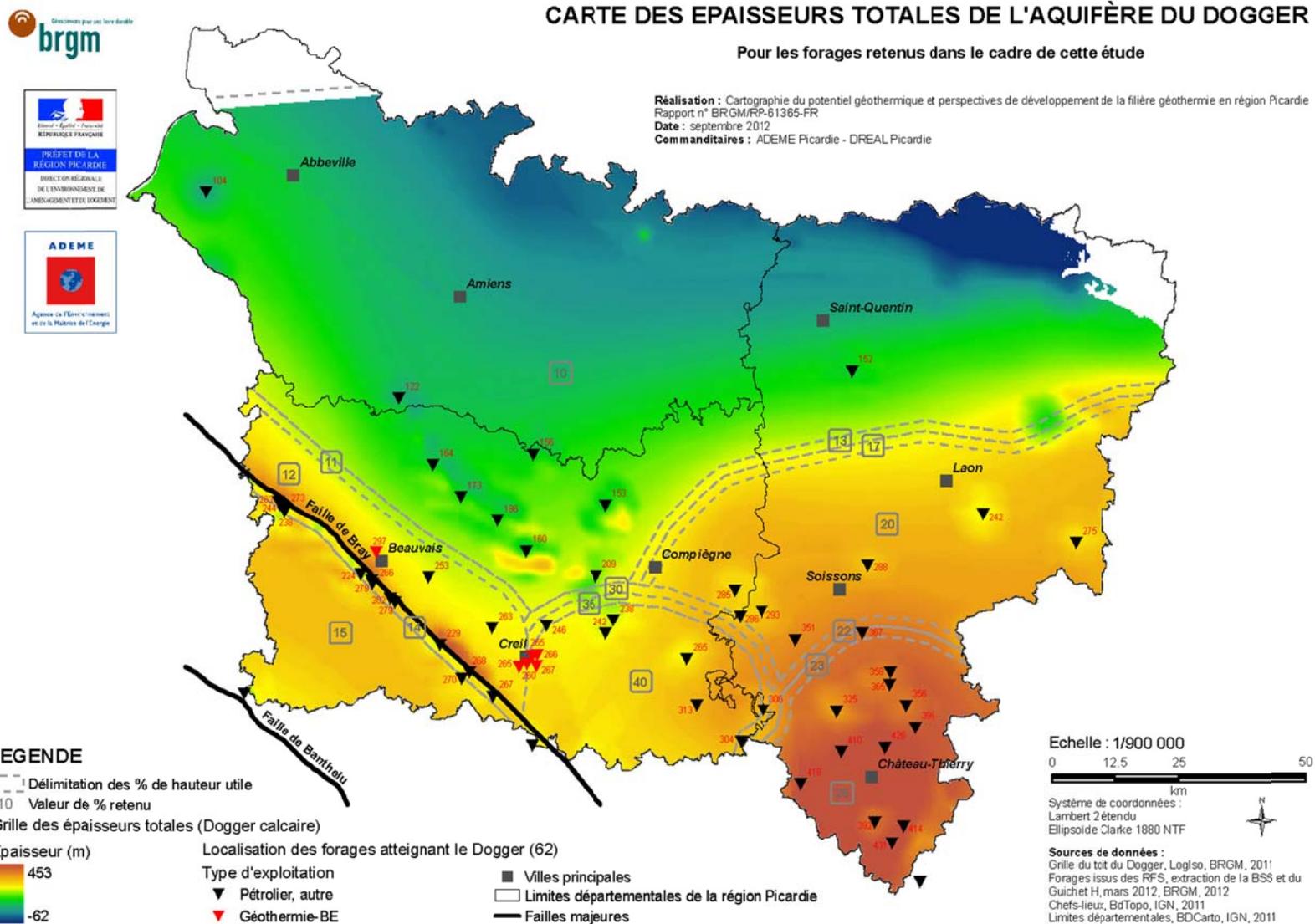


Planche A6 – 10

CARTE DES ÉPAISSEURS UTILES DE L'AQUIFÈRE DU DOGGER

Pour les forages retenus dans le cadre de cette étude

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
Date : septembre 2012
Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie

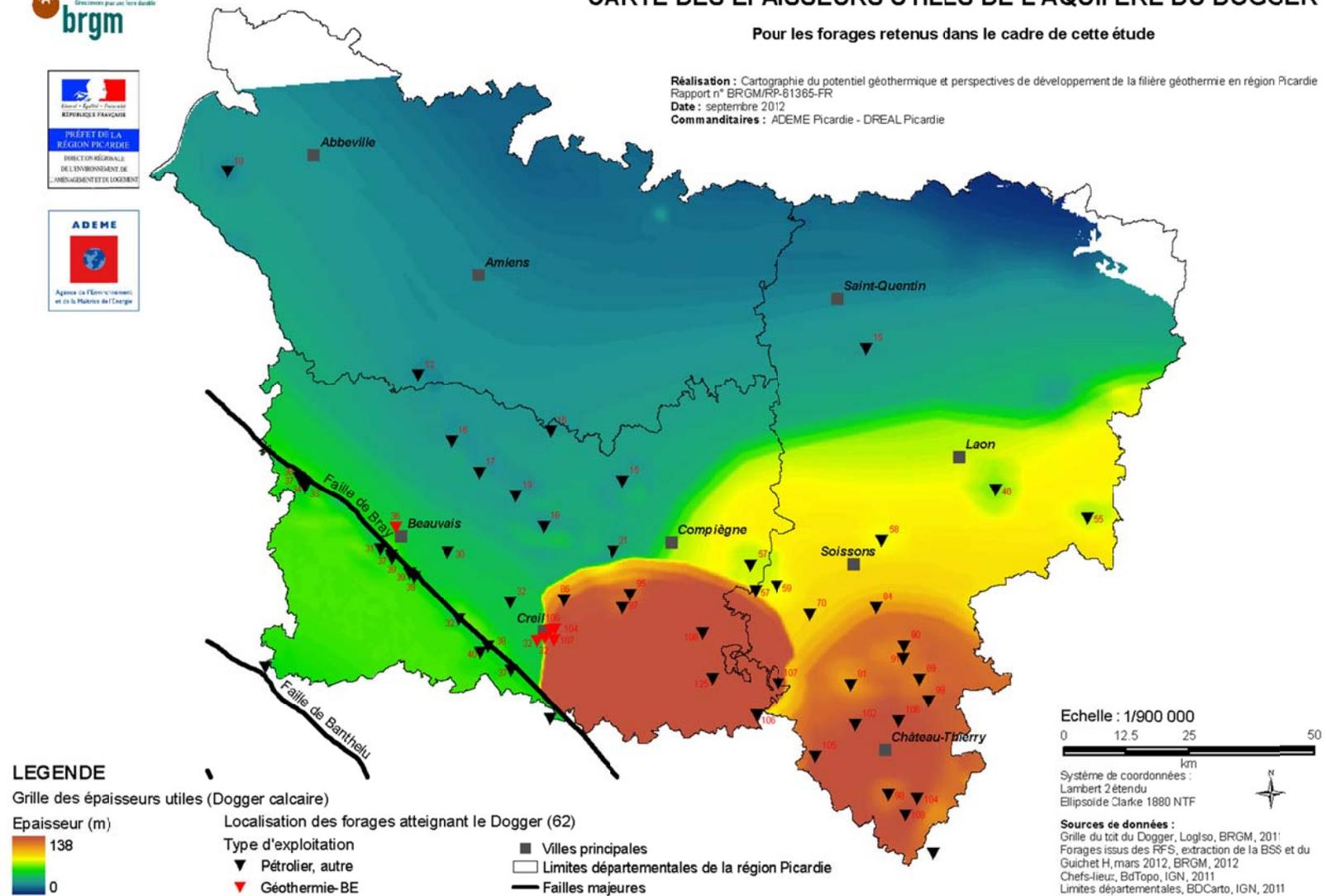


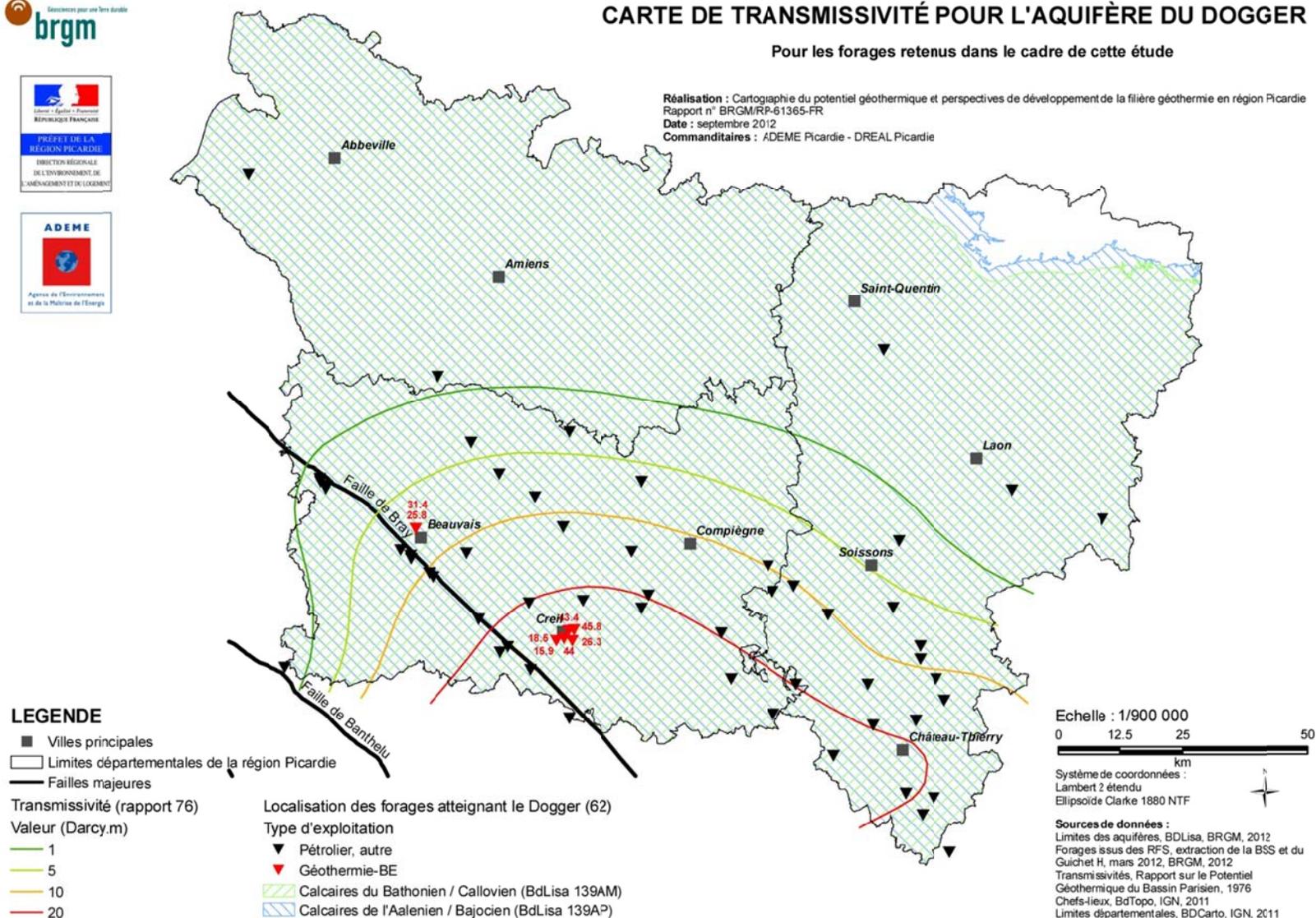
Planche A6 - 11



CARTE DE TRANSMISSIVITÉ POUR L'AQUIFÈRE DU DOGGER

Pour les forages retenus dans le cadre de cette étude

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
 Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
 Date : septembre 2012
 Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie



LEGENDE

- Villes principales
- Limites départementales de la région Picardie
- Failles majeures
- Transmissivité (rapport 76) Valeur (Darcy.m)
 - 1
 - 5
 - 10
 - 20
- Localisation des forages atteignant le Dogger (62)
 - ▼ Pétrolier, autre
 - ▼ Géothermie-BE
 - Calcaires du Bathonien / Callovien (BdLisa 139AM)
 - Calcaires de l'Aalénien / Bajocien (BdLisa 139AP)

Echelle : 1/900 000
 0 12.5 25 50 km
 Système de coordonnées : Lambert 2 étendu
 Ellipsoïde Clarke 1880 NTF

Sources de données :
 Limites des aquifères, BDLisa, BRGM, 2012
 Forages issus des RFS, extraction de la BSS et du Guichet H, mars 2012, BRGM, 2012
 Transmissivités, Rapport sur le Potentiel Géothermique du Bassin Parisien, 1976
 Chefs-lieux, BdTopo, IGN, 2011
 Limites départementales, BDCarto, IGN, 2011

Planche A6 - 12

CARTE DE LA SALINITÉ AU TOIT DU DOGGER

Pour les forages retenus dans le cadre de cette étude

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
Date : septembre 2012
Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie

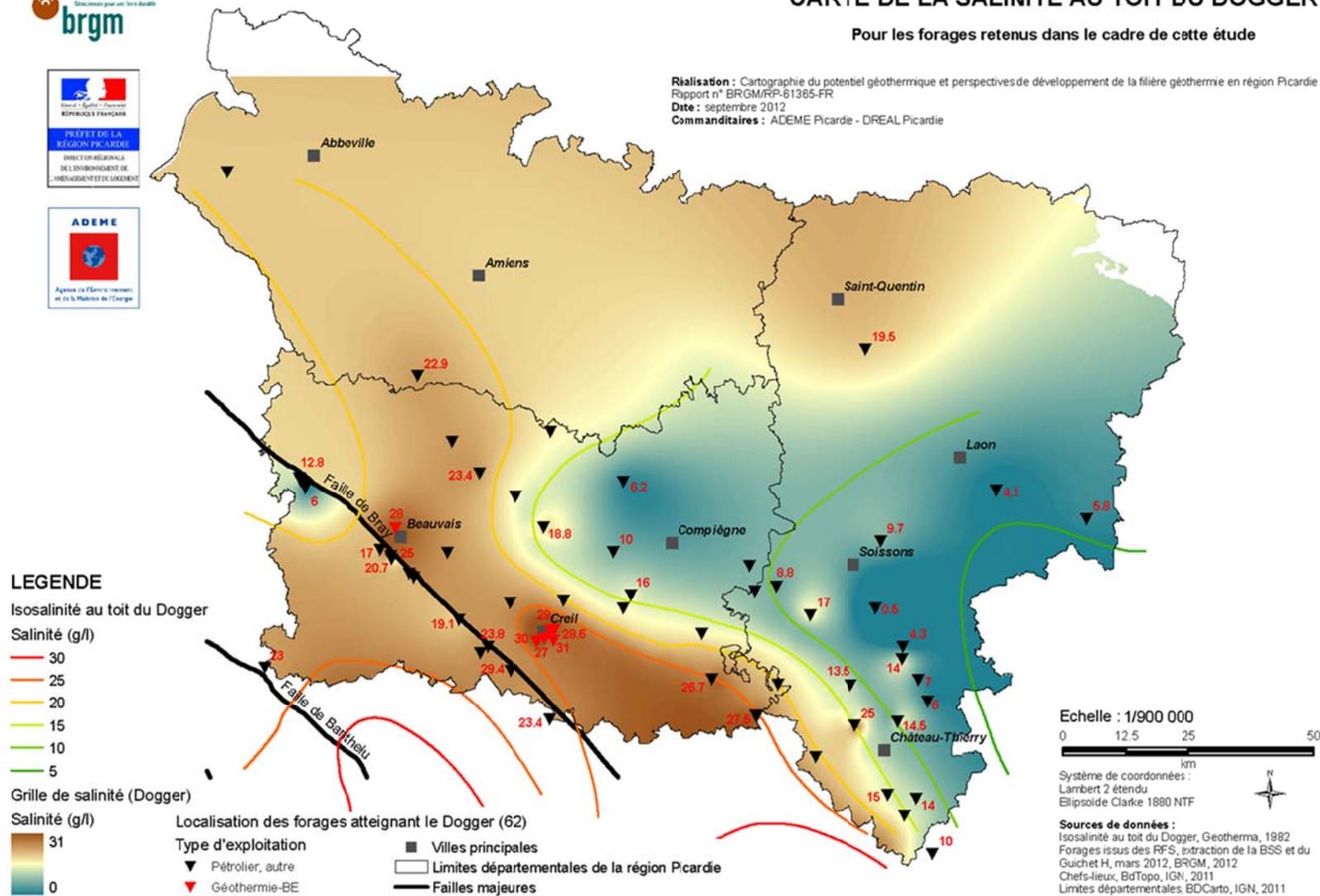


Planche A6 - 13



CARTE DES TEMPÉRATURES AU TOIT DU DOGGER

Pour les forages retenus dans le cadre de cette étude

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
 Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
 Date : septembre 2012
 Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie

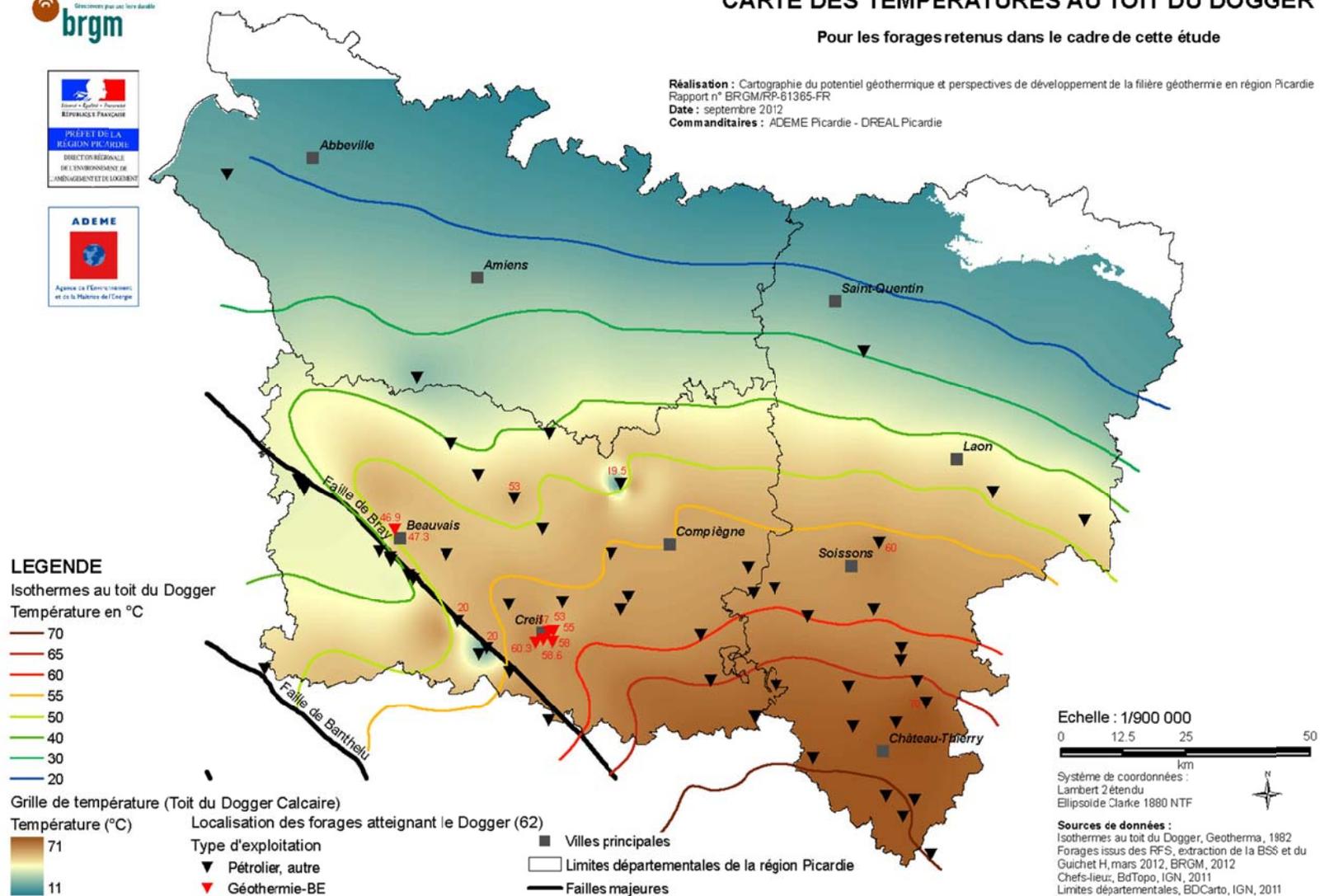


Planche A8 – 14

CARTE DE PRODUCTIVITÉ DE L'AQUIFÈRE DU DOGGER

Pour les forages retenus dans le cadre de cette étude

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
 Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
 Date : septembre 2012
 Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie

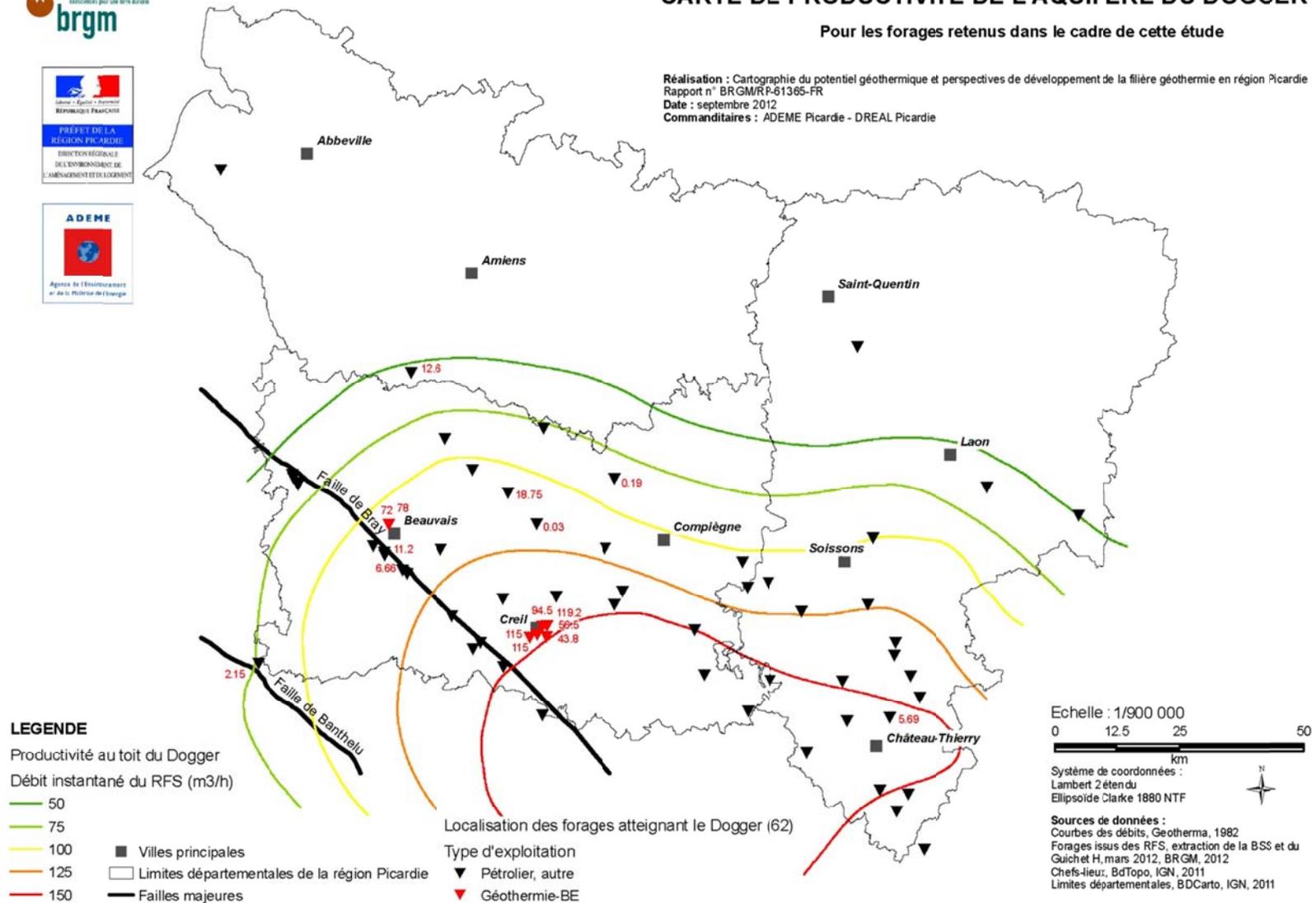


Planche A8 – 15

Annexe 7

Cartographies des zones de contraintes hydrogéologiques et géologiques

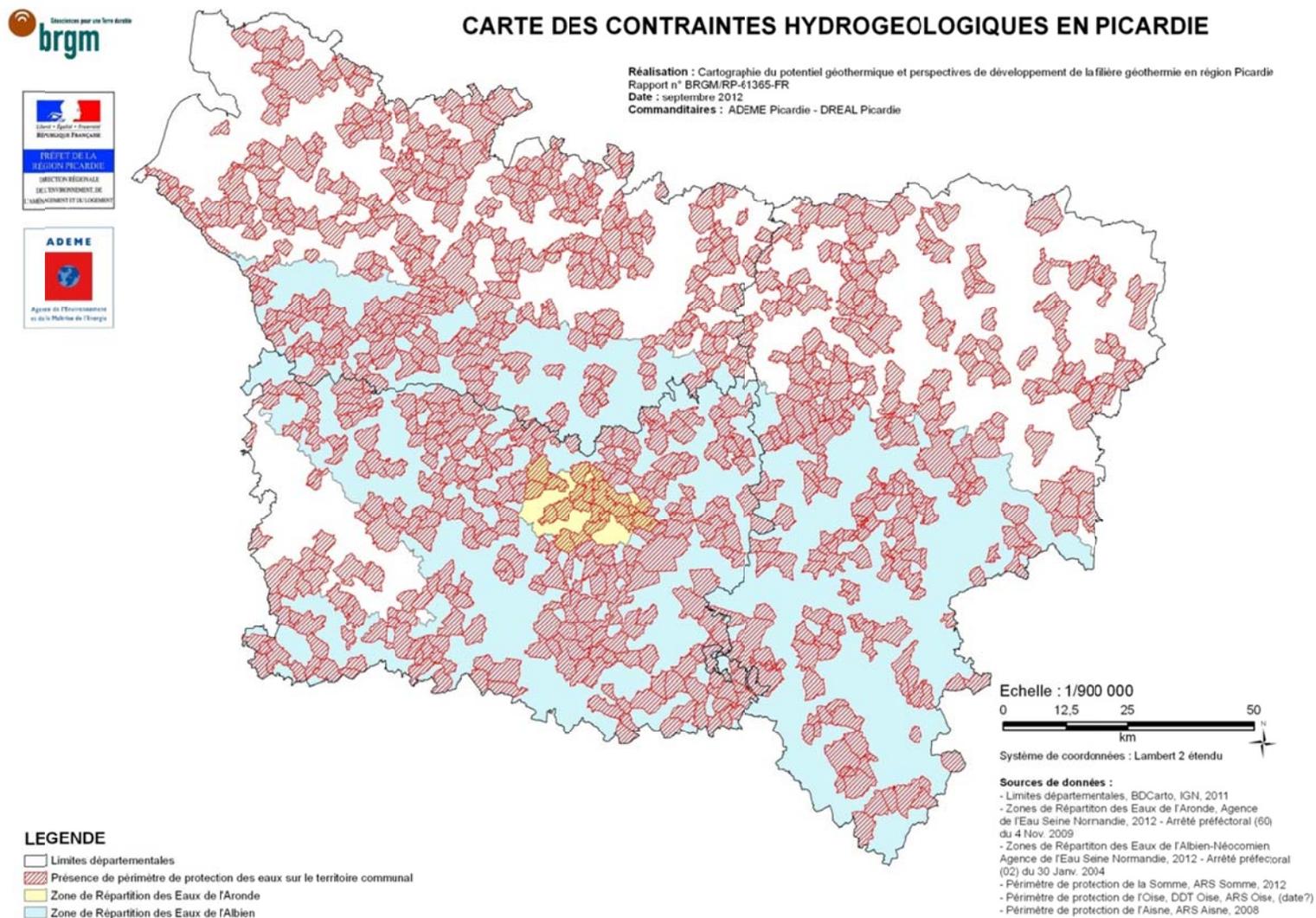


Planche A7 - 1

CARTE DES CONTRAINTES GÉOLOGIQUES EN PICARDIE

Réalisation : Cartographie du potentiel géothermique et perspectives de développement de la filière géothermie en région Picardie
 Rapport n° BRGM/RP-61365-FR
 Date : septembre 2012
 Commanditaires : ADEME Picardie - DREAL Picardie

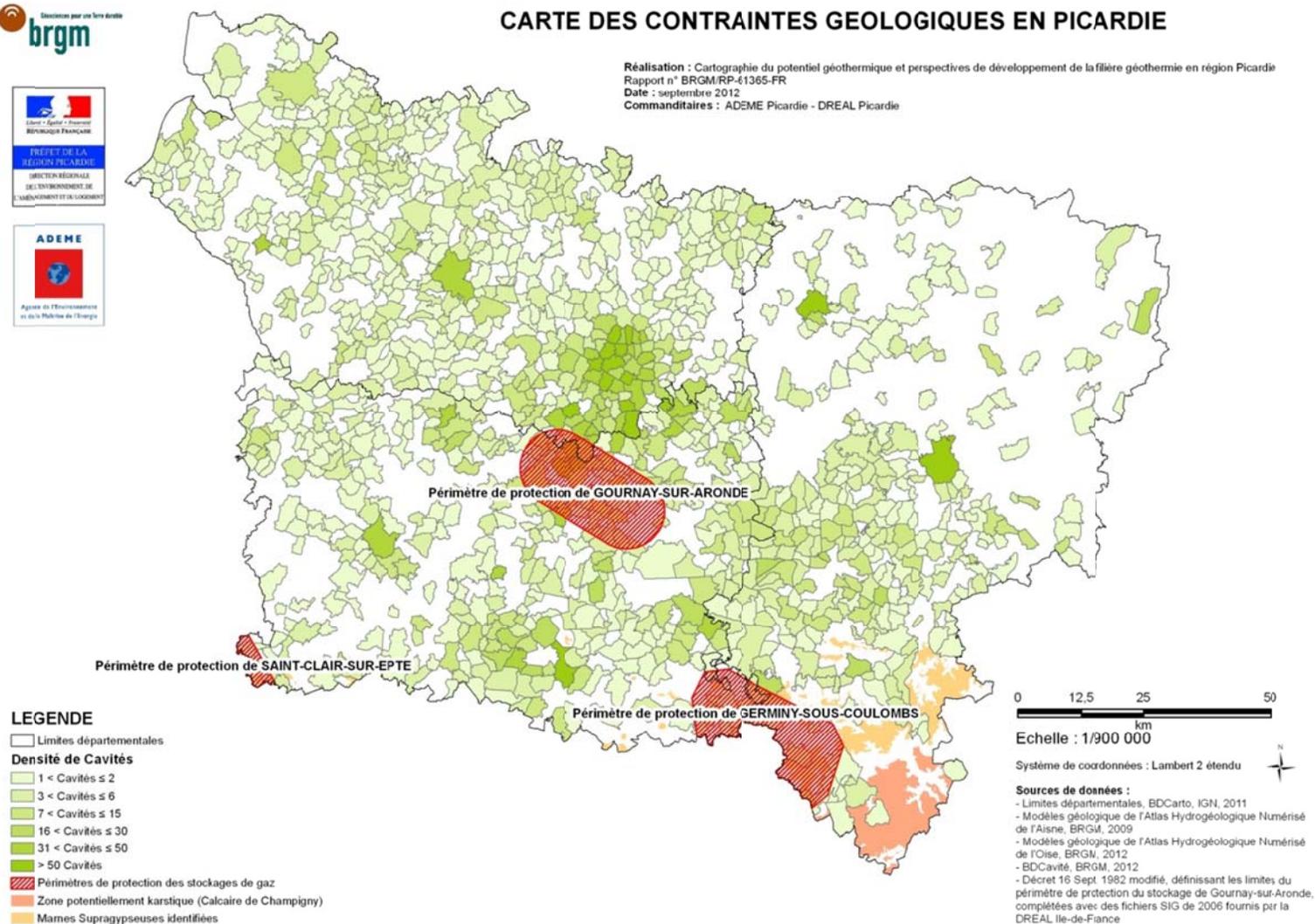


Planche A7 - 2



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

Direction régionale Picardie
Polytech de Rivery
7, rue Anne Frank
80136 RIVERY – France
Tél. : 03 22 91 42 47