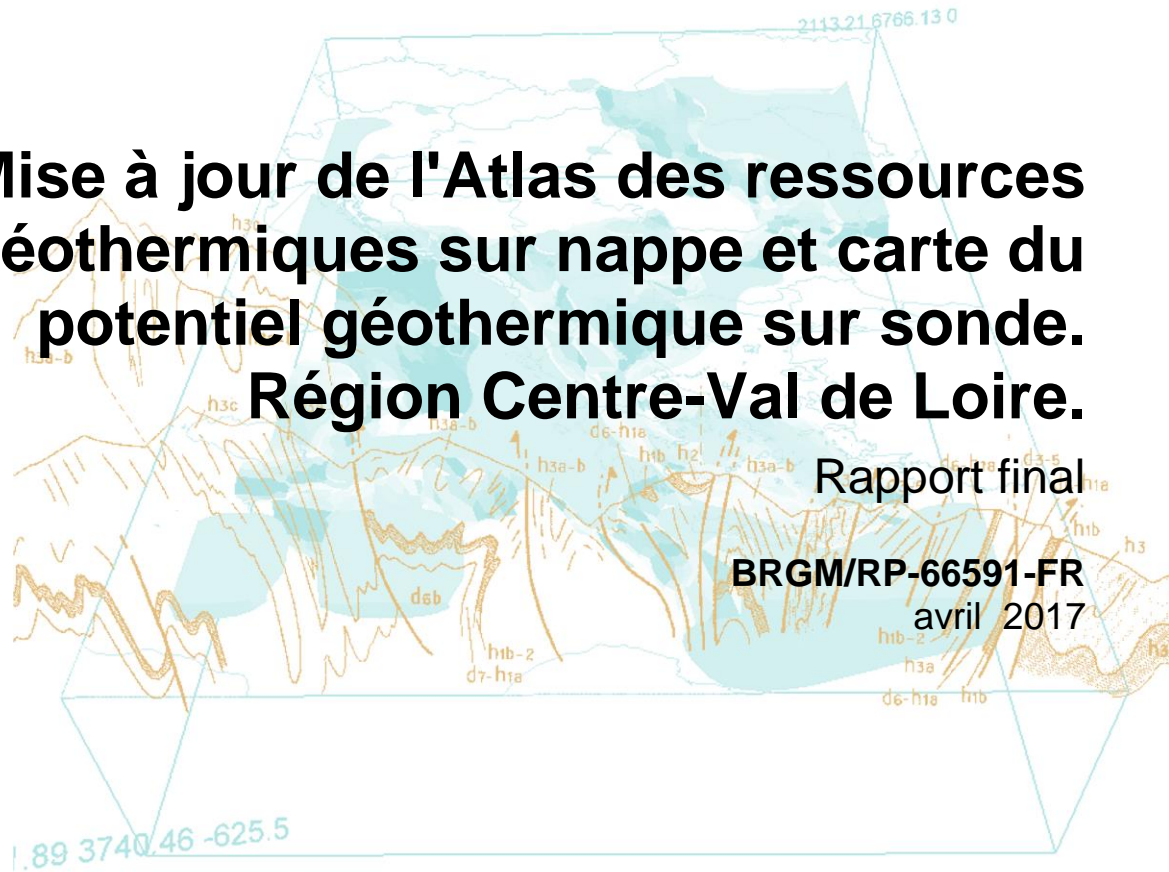




# Mise à jour de l'Atlas des ressources géothermiques sur nappe et carte du potentiel géothermique sur sonde. Région Centre-Val de Loire.





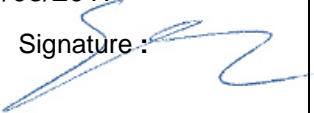
# Mise à jour de l'Atlas des ressources géothermiques sur nappe et carte du potentiel géothermique sur sonde. Région Centre-Val de Loire.

Rapport final

**BRGM/RP-66591-FR**  
avril 2017

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

**J.-C. Martin, V. Petit**

<p><b>Vérificateur :</b></p> <p>Nom : SALQUÈBRE D.</p> <p>Date : 20/03/2017</p> <p>Signature : </p>
--

<p><b>Approbateur :</b></p> <p>Nom : E. GOMEZ (Directeur BRGM)</p> <p>Date : 23/05/2017</p> <p>Signature : </p>
--

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.



**Mots-clés** : Géothermie, Risque Géologique, Cartographie, Code Minier, Minime Importance, Télédéclaration, Cartes Réglementaires, Centre-Val De Loire.

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

**Martin J.-C., Petit V.** (2017) - Mise à jour de l'Atlas des ressources géothermiques sur nappe et carte du potentiel géothermique sur sonde. Région Centre-Val de Loire. Rapport final BRGM/RP-66591-FR, 46 p., 21 ill., 4 tab.

© BRGM, 2017, ce document ne peut pas être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

En 2006, un atlas sur la géothermie très basse énergie a été réalisé sur la région Centre-Val de Loire. Il comportait trois parties :

- un rappel sur la géothermie ;
- un atlas géothermique des ressources en eau souterraine de la région ;
- une analyse multi-critères aboutissant à un système d'information géographique permettant des prises de décisions.

La ressource en eau souterraine de la région Centre-Val de Loire a été définie dans cet atlas entre 0 et 100 m de profondeur. Le territoire de la région a été découpé en mailles de 500 m de côté renseignées par les informations suivantes : formations aquifères rencontrées, débits disponibles, profondeur de la nappe, note de productivité géothermale attribuée.

Depuis 2006, les connaissances géologiques sur la région Centre-Val de Loire ont été améliorées, et les projets utilisant le système de « sondes géothermiques verticales » sont maintenant courants. Par ailleurs, de nombreux projets géothermiques dépassent les 100 m de profondeur. Pour toutes ces raisons, l'actualisation de cet atlas a été décidée.

Elle porte en premier lieu sur la géologie où de nouvelles côtes altimétriques des formations géologiques sont utilisées. Elles sont issues du modèle géologique de la région utilisé par ailleurs dans le [SIGES Centre-Val de Loire](#).

Ensuite, les données hydrogéologiques ont été complétées par la carte piézométrique de la nappe de la craie établie pendant les basses eaux de 2008.

Enfin, sur le plan des calculs du potentiel géothermique des projets, celui-ci pourra être évalué pour des projets atteignant jusqu'à 200 m de profondeur à la fois pour des projets de type « doublet » et pour les « sondes géothermiques verticales ».

Ces données géologiques actualisées sont utilisées par ailleurs pour établir la carte réglementaire de géothermie de minime importance (Rapport BRGM/RP-66590-FR).

Les projets de mise à jour de l'atlas et de la carte réglementaire font l'objet d'une convention de recherche et de développement partagée entre l'Agence de Développement et de Maitrise de l'Énergie (ADEME), la Région Centre-Val de Loire et le BRGM.



# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Mise à jour des données .....</b>	<b>9</b>
2.1. LES DONNÉES DE L'ATLAS GÉOTHERMIQUE 2006 .....	9
2.2. DONNÉES GÉOLOGIQUES .....	10
2.2.1. Calcaires de Beauce .....	11
2.2.2. Craie du Séno-Turonien .....	12
2.2.3. Cénomaniens .....	13
2.2.4. Jurassique supérieur .....	15
2.3. HYDROGÉOLOGIE .....	17
2.3.1. Le premier aquifère rencontré .....	17
2.3.2. Carte piézométrique de la craie en basses eaux 2008 .....	18
2.4. POTENTIALITÉ GÉOTHERMIQUE DES AQUIFÈRES .....	19
2.4.1. Schéma de principe de la présentation des données .....	19
2.4.2. Débit de production possible .....	20
<b>3. Évaluation du potentiel géothermique sur Sonde Géothermique Vertical .....</b>	<b>29</b>
3.1. LES OBJECTIFS .....	29
3.1.1. La technique de la sonde géothermique verticale (SGV) .....	29
3.1.2. Conditions nécessaires pour une mise en place d'une SGV .....	29
3.1.3. Le dimensionnement des SGV .....	29
3.2. LA MÉTHODE .....	30
3.2.1. La conductivité thermique en fonction de la lithologie des terrains .....	30
3.2.2. Puissance énergétique prélevable en fonction de la lithologie des terrains .....	32
3.2.3. Mesure de la conductivité thermique - Le test de réponse thermique .....	33
3.2.4. Calcul de la conductivité thermique moyenne à partir du log géologique .....	34
3.3. LES RÉSULTATS PAR TRANCHE DE PROFONDEUR POUR L'ENSEMBLE DE LA RÉGION CENTRE-VAL DE LOIRE .....	34
<b>4. Conclusion .....</b>	<b>41</b>
<b>5. Bibliographie .....</b>	<b>43</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 : Carte de situation générale.....	9
Illustration 2 : Exemple des informations fournies par l'atlas géothermique .....	10
Illustration 3 : Altitude du toit des calcaires de Beauce (source : modèle géologique SIGES Centre-Val de Loire, 2012).....	12
Illustration 4 : Altitude du toit de la craie (source : modèle géologique SIGES Centre-Val de Loire, 2012).....	13
Illustration 5 : Altitude du toit du Cénomanién aquifère(source : modèle géologique SIGES Centre-Val de Loire, 2012).....	15
Illustration 6 : Altitude du toit du Jurassique supérieur (source : modèle géologique SIGES Centre-Val de Loire, 2012).....	16
Illustration 7 : Extension de la carte piézométrique de la craie (Basses eaux 2008).....	18
Illustration 8 : Coupe hydrogéologique simplifiée des aquifères potentiellement exploitables (source : atlas géothermique 2006).....	20
Illustration 9 : Carte des potentialités géothermiques du premier aquifère.....	24
Illustration 10 : Carte des potentialités géothermiques du deuxième aquifère.....	25
Illustration 11 : Carte de la potentialité en ressources géothermales, pour un doublet sur nappe.....	27
Illustration 12 : Valeur des conductivités thermiques selon la lithologie des terrains (Source : normes suisses SIA-384/6 relatives aux SGV).....	31
Illustration 13 : Puissance énergétique prélevable en $W.m^{-1}$ d'échangeur $P_{fr}$ (W/ml forage).....	32
Illustration 14 : Schéma de principe de la réalisation d'un test de réponse thermique.....	33
Illustration 15 : Calcul de la valeur théorique de la conductivité thermique d'un terrain en fonction de sa lithologie (cas du profil lithologique au droit de la ville de Romorantin (41).....	34
Illustration 16 : Histogramme des conductivités thermiques moyennes par tranche de terrain.....	35
Illustration 17 : Classement par valeurs croissantes et par tranche de terrain des conductivités thermiques moyennes.....	35
Illustration 18 : Échelle des conductivités thermiques appliquées aux formations géologiques.....	36
Illustration 19 : Carte des conductivités thermique des terrains - Tranche 0-50 m.....	37
Illustration 20 : Carte des conductivités thermique des terrains - Tranche 0-100 m.....	38
Illustration 21 : Carte des conductivités thermique des terrains - Tranche 0-200 m.....	39

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Débit de production possible par aquifère.....	21
Tableau 2 : Note attribuée aux mailles de 500 m en fonction de leur débit disponible (fourchette basse).....	22
Tableau 3 : Note attribuée aux mailles de 500 m en fonction de la profondeur de la nappe ou de l'aquifère.....	23
Tableau 4 : Potentialité de la ressource géothermale - Pourcentage du territoire en fonction des notes attribuées (dans le cas d'une superposition d'aquifères, c'est la note la meilleure qui a été retenue).....	27



# 1. Introduction

En 2006, un atlas sur la géothermie très basse énergie a été réalisé sur la région Centre-Val de Loire. Il comportait trois parties :

- un rappel sur la géothermie ;
- un atlas géothermique des ressources en eau souterraine de la région ;
- une analyse multi-critère aboutissant à un système d'information géographique permettant des prises de décisions.

La ressource en eau souterraine de la région Centre-Val de Loire a été définie dans cet atlas entre 0 et 100 m de profondeur. Le territoire de la région a été découpé en mailles de 500 m de côté renseignées par les informations suivantes : formations aquifères rencontrées, débits disponibles, profondeur de la nappe, note de productivité géothermale attribuée.

Depuis 2006, les connaissances géologiques sur la région Centre-Val de Loire ont été améliorées, et les projets utilisant le système de « sondes géothermiques verticales » sont maintenant courants. Par ailleurs, de nombreux projets géothermiques dépassent les 100 m de profondeur. Pour toutes ces raisons, l'actualisation de cet atlas a été décidée avec les principales améliorations suivantes :

- utilisation des données du modèle géologique de la région Centre-Val de Loire : ce modèle élaboré en 2011-2012 fournit les données géométriques du toit et du mur des principales formations géologiques de la région ;
- ajout des nouvelles cartes piézométriques de la période 2007-2016 ;
- en plus du domaine compris entre 0 et 100 m, le nouvel atlas apporte en plus désormais des réponses entre 100 et 200 m de profondeur ;
- ajout d'un module de calcul de la puissance géothermique exploitable par la technique des sondes géothermiques verticales.

Par ailleurs, les données géologiques utilisées pour dresser la carte réglementaire de géothermie de minime importance sont issues de cette actualisation. Cette carte est présentée dans le rapport BRGM/RP-66590-FR.

Ces deux projets (mise à jour de l'atlas et carte réglementaire) font l'objet d'une convention de recherche et de développement partagée entre l'Agence de Développement et de Maitrise de l'Énergie (ADEME), la Région Centre-Val de Loire et le BRGM.



## 2. Mise à jour des données

### 2.1. LES DONNÉES DE L'ATLAS GÉOTHERMIQUE 2006

Un outil d'aide à la décision pour l'installation de pompes à chaleur eau-eau en Région Centre-Val de Loire (Illustration 1) a été mis en place en 2006. Il est consultable à l'adresse : <http://www.geothermie-perspectives.fr/>.

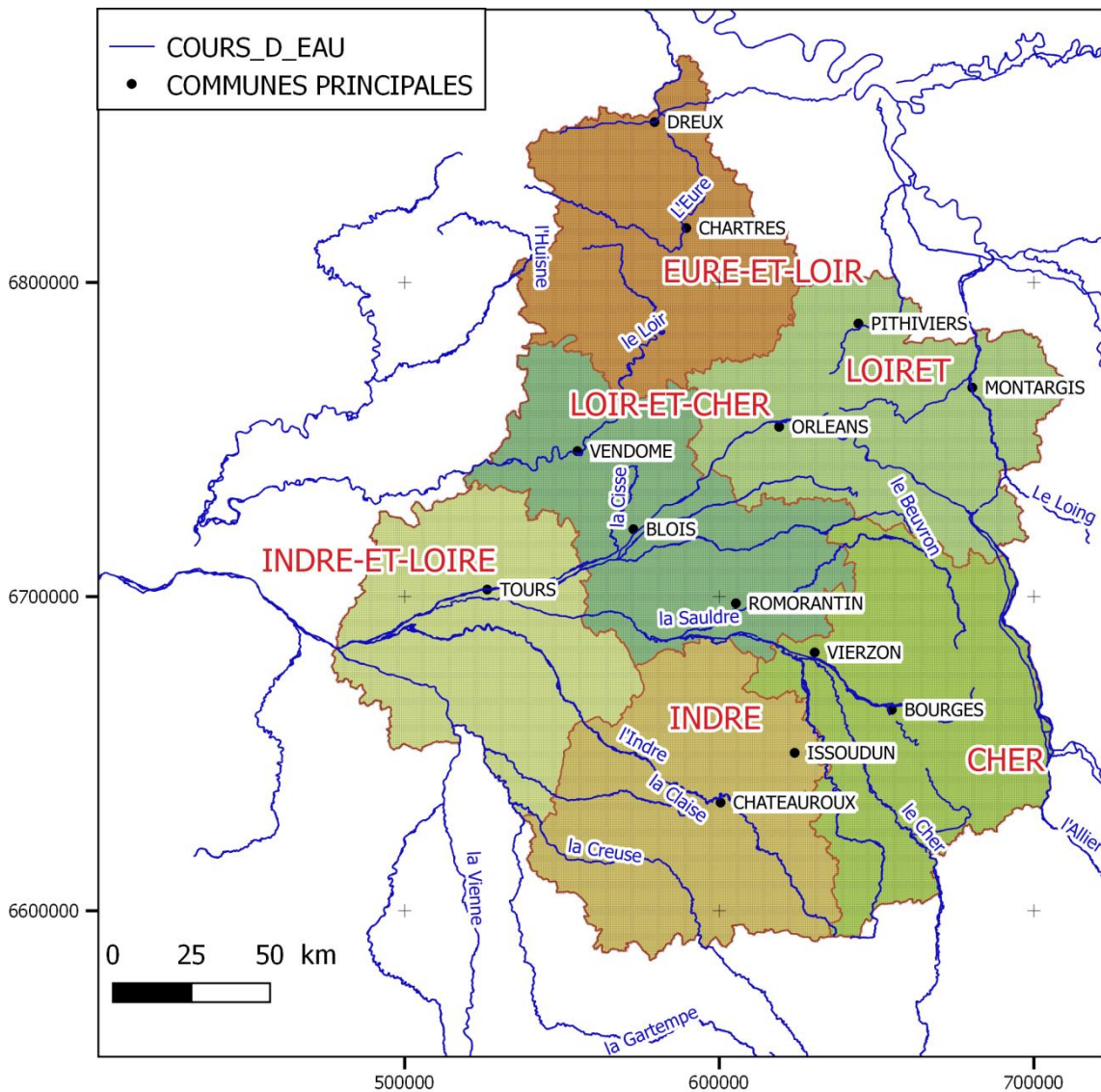


Illustration 1 : Carte de situation générale.

Cet atlas permet en tous points de la région Centre-Val de Loire (à la précision de la maille de 500 m de côté) de connaître le nombre et la profondeur des aquifères (deux au maximum), la profondeur de l'eau, le débit et la potentialité de la ressource géothermique (Illustration 2).

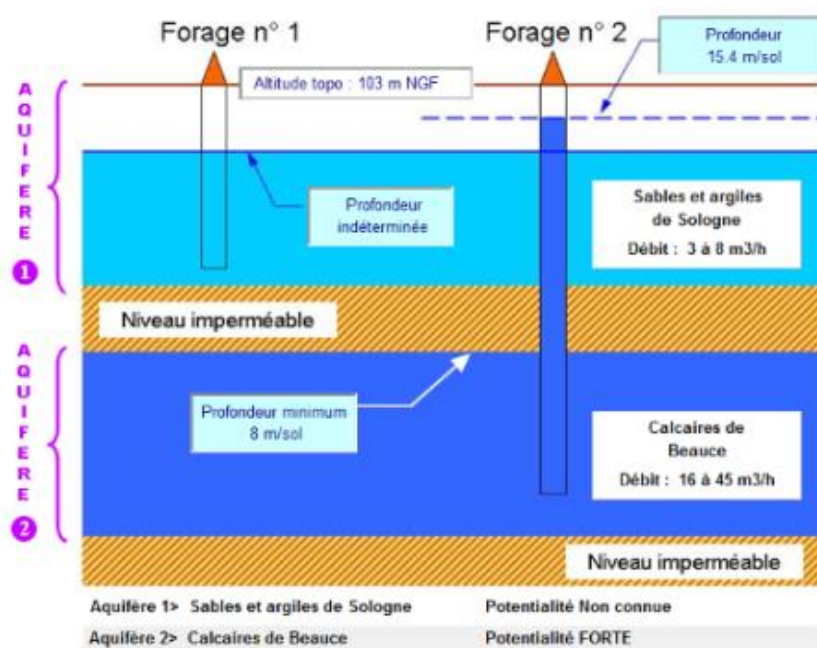


Illustration 2 : Exemple des informations fournies par l'atlas géothermique.

L'atlas sur la géothermie très basse énergie 2006 intègre les données des quatre principaux aquifères (désignés ultérieurement « aquifères majeurs » dans le log hydro-géologique) de la région (les références BDLISA NV1 sont indiqués entre parenthèses) :

- les calcaires de Beauce de l'Aquitainien et du Stampien (107) ;
- les craies du Séno-Turonien (121) ;
- les sables du Cénomaniens (123) ;
- les calcaires du Jurassique, Oxfordien et Dogger non différencié (135 et 139).

## 2.2. DONNÉES GÉOLOGIQUES

L'atlas 2006 utilise pour ses calculs les profondeurs des formations géologiques suivantes :

- Calcaires de Beauce ;
- Sénonien (craie) ;
- Cénomaniens ;
- Jurassique.

On dispose depuis 2012 de profondeurs actualisées de ces formations grâce à un modèle géologique réalisé pour fournir, via le site du SIGES Centre-Val de Loire, un log géologique synthétique à la précision du maillage utilisé de 500 m de côté. Ces valeurs ont donc été reprises pour l'atlas géothermique dans sa nouvelle version (2017). Du modèle géologique, la profondeur de l'Albien a également été extraite. Cette donnée est en effet nécessaire pour les nouvelles possibilités de l'atlas, à savoir les calculs de potentialité pour les sondes géothermiques verticales jusqu'à 200 m de profondeur.

### **2.2.1. Calcaires de Beauce**

La présente description des calcaires de Beauce est extraite du SIGES.

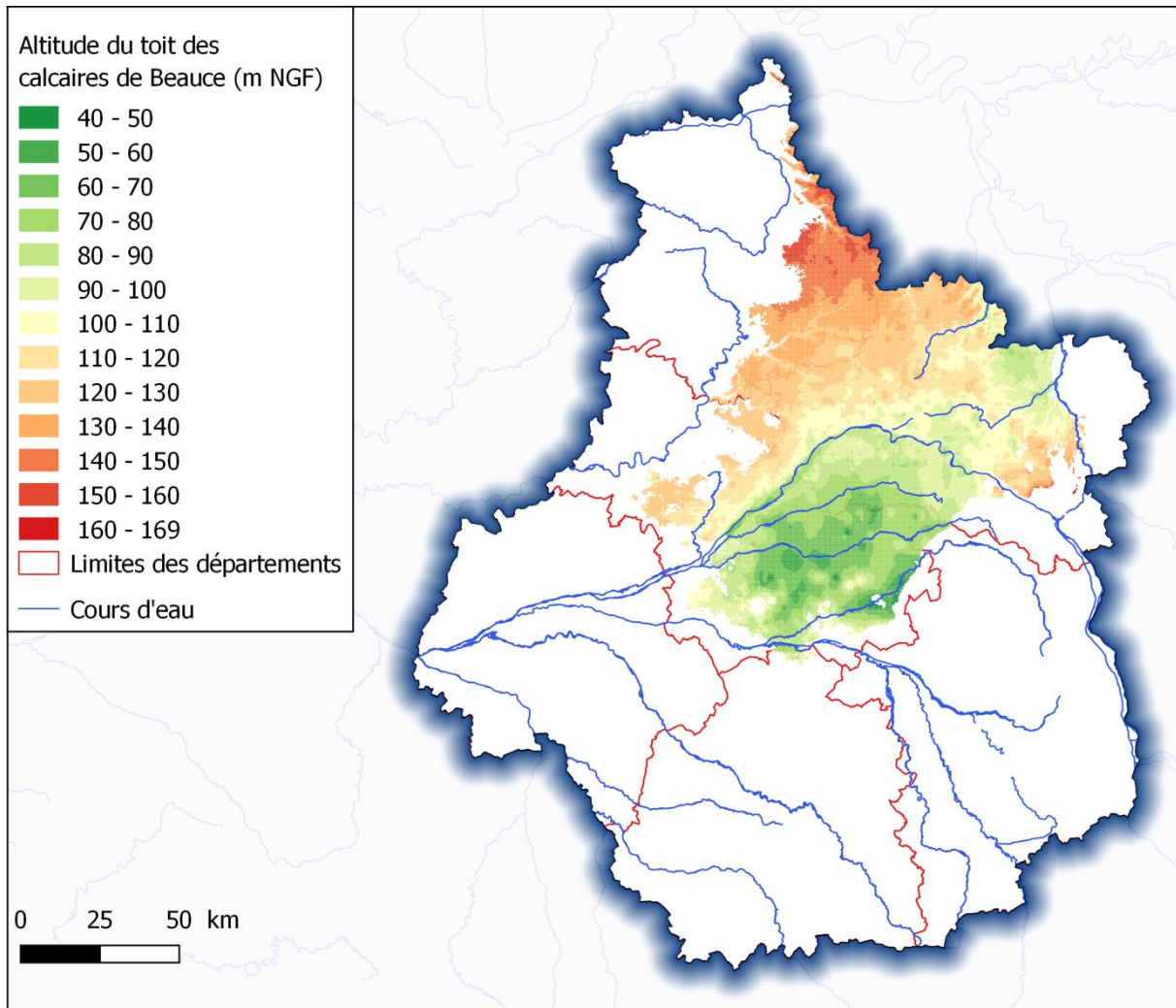
Le complexe aquifère des calcaires de Beauce, communément appelé « nappe de Beauce » constitue un système aquifère qui s'étend sur environ 9 000 km<sup>2</sup>. Il se trouve sur deux grands bassins hydrographiques (Seine-Normandie et Loire-Bretagne) et deux régions administratives (Île-de-France et Centre).

La région de la Beauce constitue une unité morphologique qui correspond à un bassin de sédimentation tertiaire où les formations sont principalement constituées de calcaires lacustres. C'est une surface très plate avec de larges vallons secs qui s'étend au nord de la Loire depuis Orléans jusqu'à Étampes. C'est une région de grandes cultures céréalières où l'habitat est dispersé.

Le réservoir aquifère est constitué principalement, mais non exclusivement, de calcaires empilés dans une cuvette dont le fond est d'argile imperméable qui repose sur les niveaux de la craie. Les principaux niveaux producteurs sont composés des calcaires de Pithiviers et des calcaires d'Étampes, deux formations géologiques perméables qui sont séparées par le niveau semi-perméable de la molasse du Gâtinais.

Dans certains secteurs, comme la forêt d'Orléans, la nappe est captive, étant surmontée d'une couche d'argile. Mais sur sa majeure partie, elle est libre et de ce fait, elle est réalimentée directement par l'infiltration des eaux de pluie qui constitue son unique ressource en eau. Cette infiltration qui se produit l'hiver est, en année moyenne, de l'ordre de 100 mm, ce qui représente, pour la partie libre de la nappe, un apport moyen d'environ 900 millions de m<sup>3</sup>/an.

L'altitude du toit des calcaires de Beauce est représentée sur l'illustration 3.



*Illustration 3 : Altitude du toit des calcaires de Beauce  
(source : modèle géologique SIGES Centre-Val de Loire, 2012).*

### 2.2.2. Craie du Séno-Turonien

La présente description de la craie du Séno-Turonien est extraite du SIGES.

La craie du Crétacé supérieur (Sénonien et Turonien) constitue un réservoir aquifère important qui s'étend sur une grande partie de la région Centre-Val de Loire. En Touraine, cette formation est largement affleurante et constitue une ressource largement exploitée, notamment pour l'agriculture.

La série stratigraphique allant du Sénonien (plus récent) au Turonien (plus ancien) appartient à l'époque géologique du Crétacé supérieur. Cette série géologique est formée par une puissante assise crayeuse (> 100 m), et repose sur une formation peu perméable dite des « Marnes à Ostracées », laquelle sépare l'aquifère de la Craie Séno-Turonien de l'aquifère des Sables cénomaniens (sous-jacents).

Cette série séno-turonienne affleure très largement sur tout le pourtour ouest, est et sud de la région Centre -Val de Loire.

L'altitude du toit de la craie séno-turonienne est représentée sur l'illustration 4.

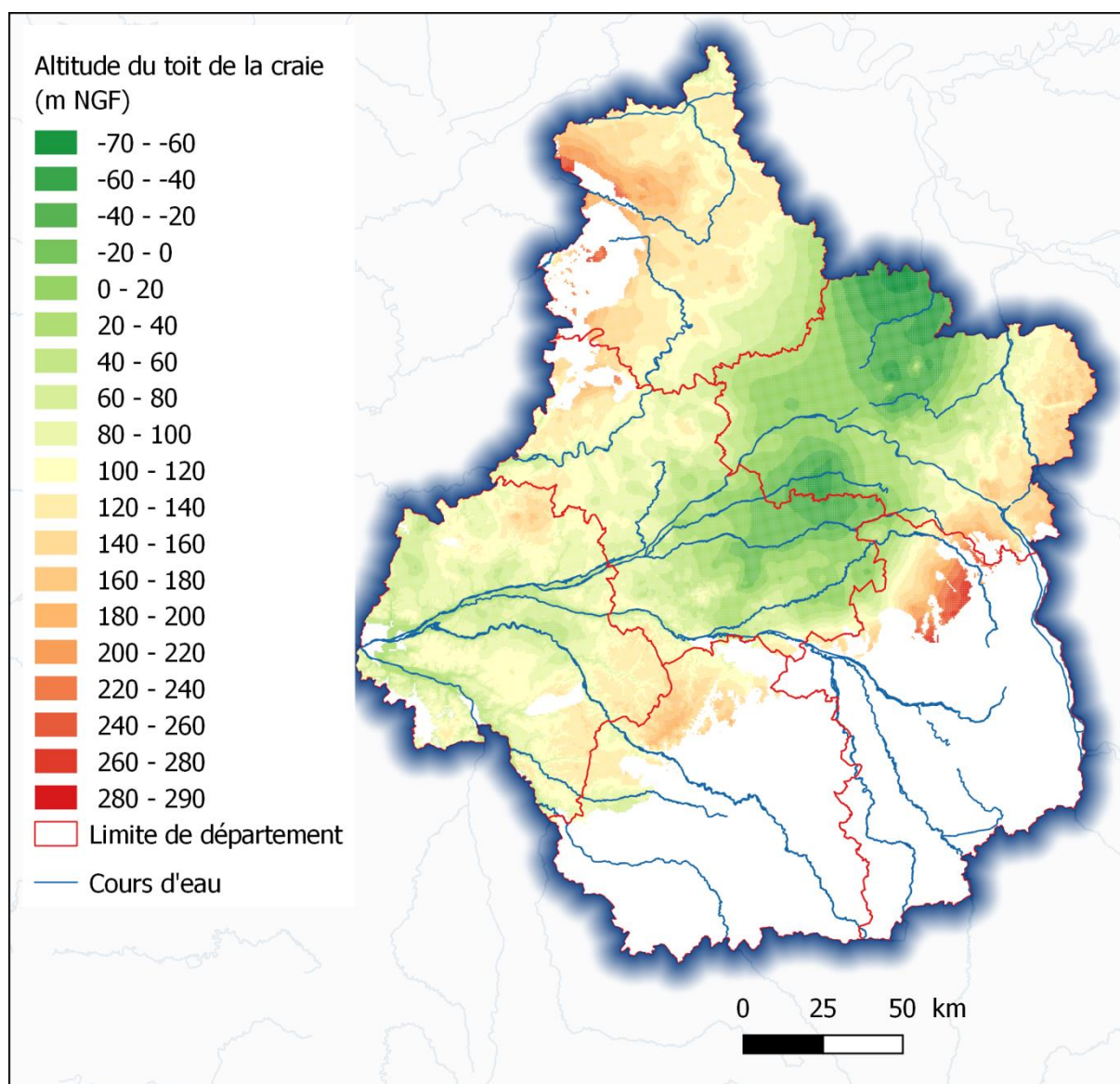


Illustration 4 : Altitude du toit de la craie  
(source : modèle géologique SIGES Centre-Val de Loire, 2012).

### 2.2.3. Cénomanién

La présente description du Cénomanién est extraite du SIGES.

Par son étendue et son épaisseur, la nappe du Cénomanién fait partie des grands réservoirs d'eau souterraine français. Dans le bassin Loire-Bretagne, elle est présente et exploitée dans 12 départements et couvre une superficie d'environ 29 000 km<sup>2</sup>.

Sur le plan géologique, les sables du Cénomanién correspondent à des dépôts détritiques d'origine deltaïque, sur des terres émergées correspondant aux Massif armoricain et Massif central. Au sud, ils poursuivent une sédimentation fluviale (sable et argile) de l'Albien. À l'ouest, ils débordent sur les terrains plus anciens constitués par les calcaires du Jurassique. Au nord et à l'est, le domaine deltaïque passe à un domaine marin où l'on trouve les dépôts marneux ou crayeux.

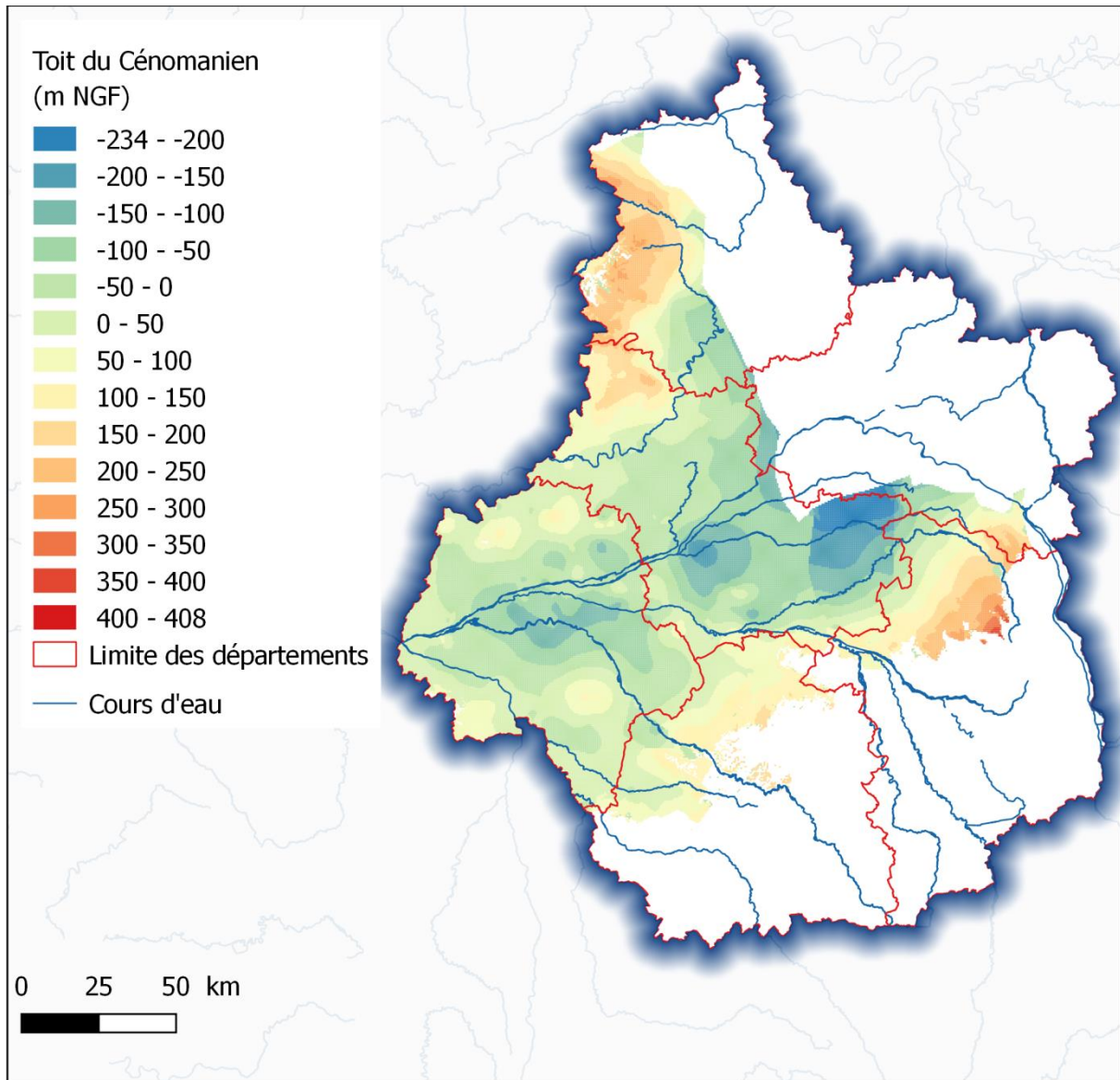
De haut en bas, on distingue :

- le Cénomaniens supérieur : caractérisé par un niveau peu perméable de marnes à Ostracées passant latéralement à des marnes crayeuses et à de la craie blanche dans le Gâtinais. À noter que dans le Perche, ce niveau est essentiellement sableux (sables du Perche surmontés par des marnes et des sables gréseux) ;
- le Cénomaniens moyen : sables et grès plus ou moins glauconieux (sables de Varennes et de Vierzon) avec des équivalents latéraux comme la craie blanche du Gâtinais ;
- le Cénomaniens inférieur : peut être représenté par des argiles glauconieuses à minerais de fer surmontées par des sables et des grès (Perche), ou bien des argiles à lignite, des gaizes ou des marnes glauconieuses (Touraine, Berry, Sancerrois) ou encore des marnes crayeuses (Gâtinais).

Le réservoir aquifère du Cénomaniens est constitué principalement par les niveaux sableux du Cénomaniens moyen et supérieur (sables du Perche, de Varennes et de Vierzon). Les marnes à Ostracées recouvrent et protègent ceux-ci, sur la majeure partie de l'aquifère, assurant la mise en charge de la nappe. Le système aquifère correspond aux unités sableuses, en continuité hydraulique. En région Centre, ils sont désignés par les termes de sables du Perche à l'ouest, et de sables de Vierzon au sud.

L'altitude du toit du Cénomaniens est représentée sur l'illustration 5.





*Illustration 5 : Altitude du toit du Cénomanien aquifère  
(source : modèle géologique SIGES Centre-Val de Loire, 2012).*

#### 2.2.4. Jurassique supérieur

La présente description du Jurassique supérieur est extraite du SIGES.

Le système aquifère du Jurassique constitue la principale ressource des départements du Cher et de l'Indre. Les calcaires du Jurassique supérieur (ou Malm) occupent la majeure partie du Berry où ils affleurent très largement (Bourges, Chateauroux) et s'étendent au-delà, en Poitou-Charentes. Ce grand ensemble est en fait subdivisé en une multitude de petits bassins hydrogéologiques, drainés par les cours d'eau, et très sensibles du point de vue quantitatif et qualitatif.

La champagne berrichonne est un vaste plateau faiblement ondulé, où une agriculture intensive couvrant de vastes parcelles s'est développée sur les formations calcaires et marneuses du Jurassique ; des territoires de forêts et de bocage sont toutefois présents dans plusieurs secteurs où des dépôts éocènes fluvio-lacustres, plus ou moins imperméables, recouvrent les calcaires jurassiques.

Les formations jurassiques affleurent au sud du Bassin parisien, s'appuyant sur le socle du Massif central et formant une série d'arcs. Ces formations plongent vers le nord (Indre) à nord-ouest (Cher), recouvertes par la craie du Séno-Turonien à l'ouest et les dépôts détritiques du Crétacé inférieur qui forment le Pays-Fort à l'est, autour de la fosse de Sologne.

Le pendage est accentué pour les couches les plus anciennes qui affleurent en bandes étroites au sud et sud-est ; il s'adoucit pour les plus récentes au nord-ouest, avec un platier au niveau de l'Oxfordien, ce qui se traduit par un paysage monotone très étendu autour de Chateauroux-Issoudun-Bourges et qui forme le trait caractéristique de la Champagne berrichonne.

L'altitude du toit du Jurassique est représentée sur l'illustration 6.

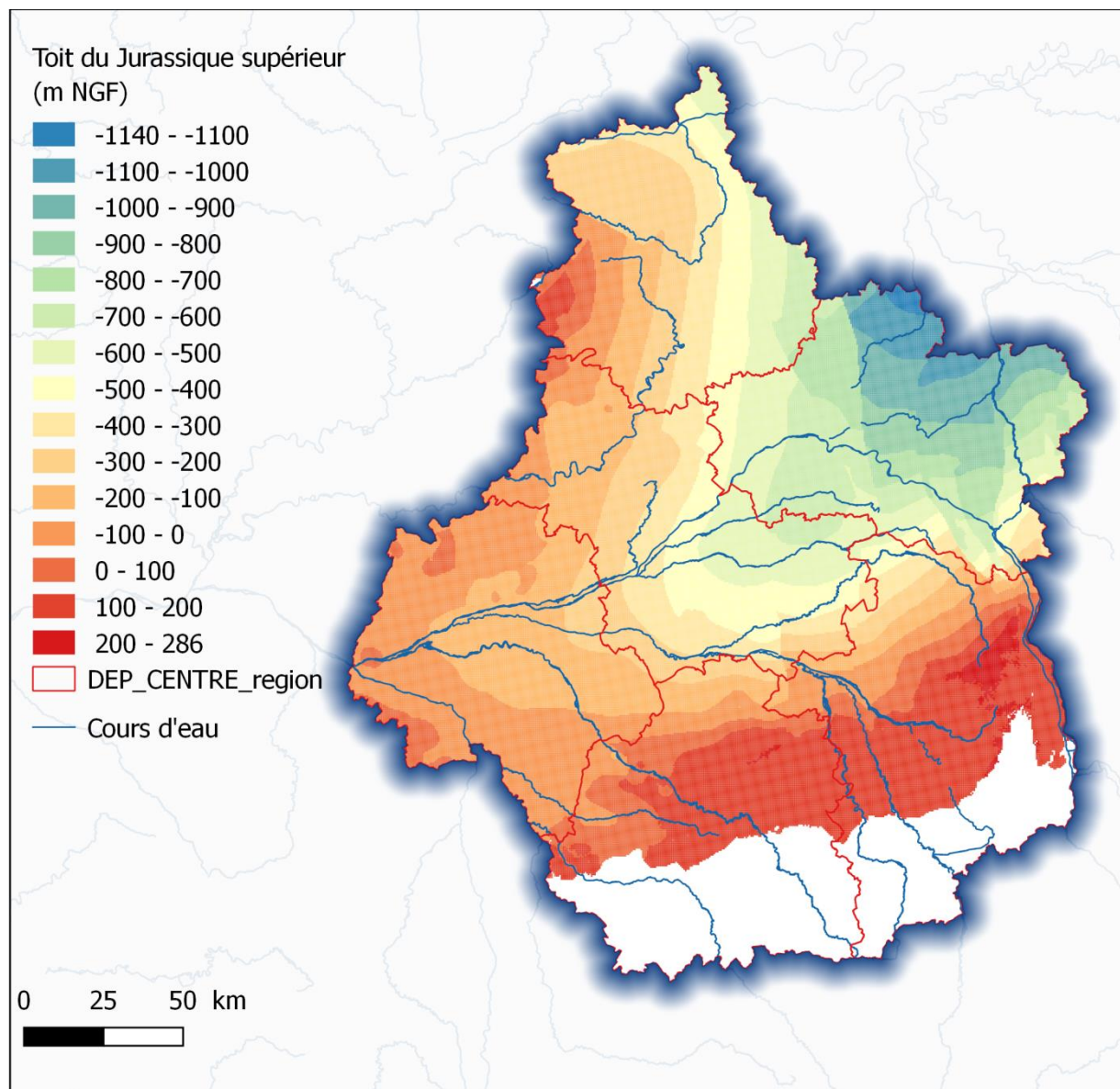


Illustration 6 : Altitude du toit du Jurassique supérieur  
(source : modèle géologique SIGES Centre-Val de Loire, 2012).

## 2.3. HYDROGÉOLOGIE

### 2.3.1. Le premier aquifère rencontré

En complément, l'atlas indique aussi le premier aquifère rencontré en forage que ce soit un aquifère majeur ou secondaire. Les aquifères désignés secondaires concernent des formations géologiques aquifères, peu aptes à être exploitées pour de la géothermie de minime importance mais dont il faut tenir compte lors des travaux de foration (éviter le mélange d'eau entre aquifères par exemple). Dans la région Centre-Val de Loire, ce type d'aquifère se rencontre dans les formations suivantes :

- sables et argiles de Sologne du Miocène au Pliocène inférieur du Bassin Parisien (bassin Seine-Normandie et bassin Loire-Bretagne) (104AE03) ;
- formations détritiques continentales, sables et argiles à silex post-Campanien du Bassin Parisien (119AE et plus particulièrement 119AE02) ;
- calcaires lacustres du Berry du Priabonien (bassin Loire-Bretagne) (113AC07) ;
- calcaires lacustres de Touraine et d'Anjou de l'Éocène supérieur (bassin Loire-Bretagne) (113AC09) ;
- marnes et craie marneuse, sableuse et glauconieuse du Cénomaniens, bassin de la Loire, du Cher à la Sauldre (bassin Loire-Bretagne) (123BY01) ;
- alluvions de la Loire en amont de Jargeau. Ailleurs, les informations permettant de situer les alluvions formant un aquifère distinct sont insuffisamment précises.

Ces formations sont indiquées comme premier aquifère rencontré lorsqu'elles sont présentes d'après les contours de la BDLISA et lorsque l'aquifère majeur est à plus de 5 m de profondeur. L'aquifère majeur est mentionné comme premier aquifère rencontré lorsqu'il est présent à moins de 5 m de profondeur.

Pour rappel, les « aquifères majeurs » dont le toit et mur sont modélisés sont issus d'un travail de modélisation géologique réalisé en 2010-2011 afin de disposer d'un maillage de l'ensemble de la région (mailles de 500 x 500 m). Lors de ce travail, *certaines aquifères n'avaient pas pu être modélisés et sont inclus dans la zone « dépourvue d'aquifère majeur », tels que les alluvions, les calcaires éocènes tertiaires ou encore les calcaires du Jurassique moyen (Dogger) et inférieur (Lias)*. Dans la formation du Jurassique sont considérés, dans cette étude, comme aquifère, (1) le Jurassique supérieur et moyen lorsqu'ils sont affleurants et (2) le Jurassique moyen sous couverture. Les cotes du toit du Jurassique moyen ont été reprises de l'étude Géoporec.

### 2.3.2. Carte piézométrique de la craie en basses eaux 2008

Les niveaux piézométriques utilisés pour différents calculs par l'atlas géothermique ont été mis à jour en intégrant la carte piézométrique de la craie réalisée en 2008 pendant les basses eaux. Cette carte présente l'avantage de couvrir la plus grande surface avec des mesures relativement synchrones (Illustration 7).

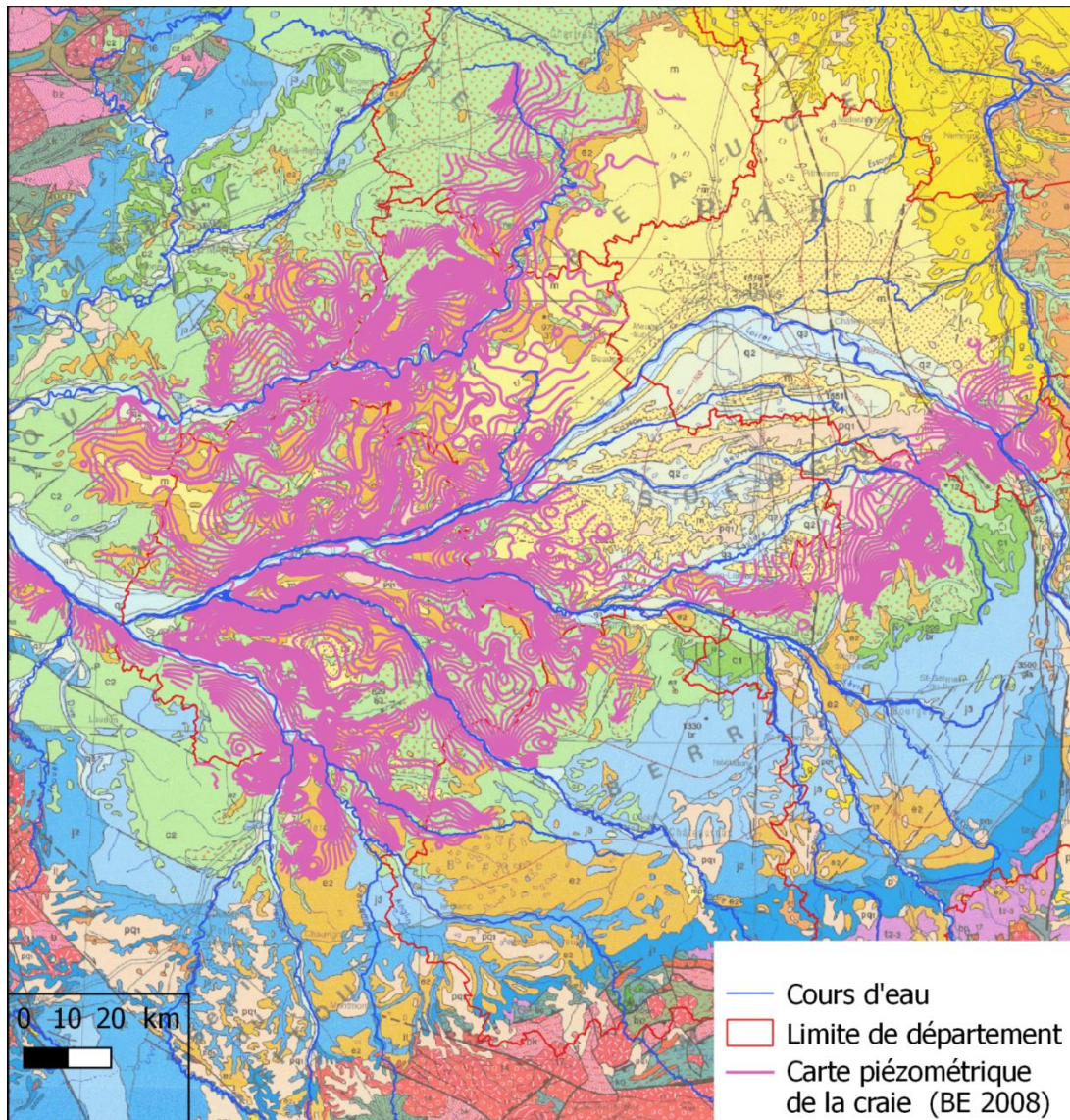


Illustration 7 : Extension de la carte piézométrique de la craie (Basses eaux 2008).

## 2.4. POTENTIALITÉ GÉOTHERMIQUE DES AQUIFÈRES

### 2.4.1. Schéma de principe de la présentation des données

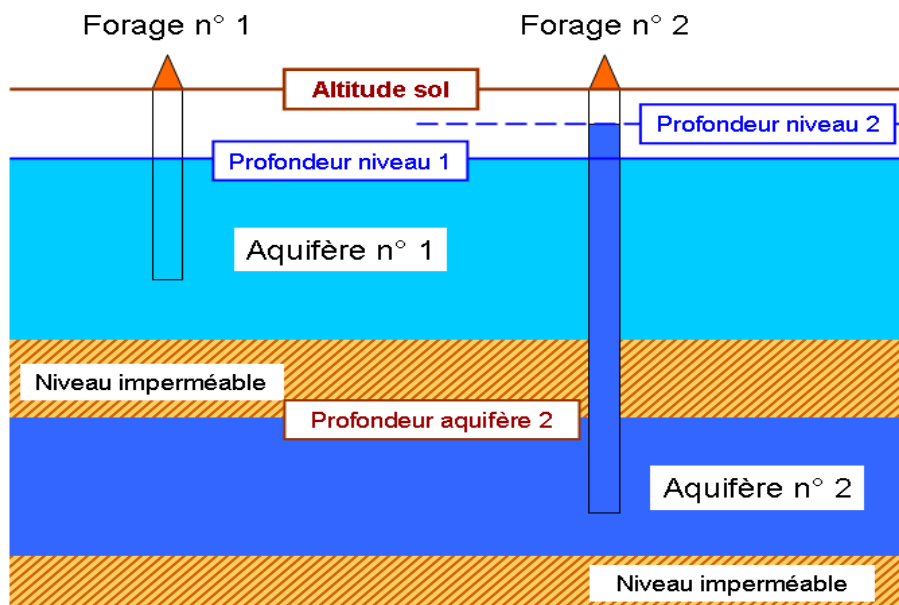
La région Centre-Val de Loire est caractérisée par une géologie de type sédimentaire favorisant la présence de nombreux aquifères, souvent superposés. En chaque point du territoire, la coupe hydrogéologique standard peut être schématisée comme une superposition de plusieurs aquifères (Illustration 8). Pour une exploitation géothermique, et dans le cadre de cette étude, on considèrera que ne sont concernés que le premier ou les deux premiers aquifères sur les 200 premiers mètres.

Les données présentées sur le schéma de principe sont les suivantes :

- **altitude sol** : altitude moyenne du sol en m NGF (par rapport au niveau de la mer) ;
- **aquifère n° 1** : nature de l'aquifère (alluvions, sables et argiles de Sologne, ...) ;
- **profondeur niveau 1** : profondeur par rapport au sol de la surface de la nappe du niveau géologique aquifère supérieur (niveau n° 1) ;
- **niveau imperméable** : niveau imperméable qui sépare les niveaux aquifères 1 et 2 ;
- **aquifère n° 2** : nature de l'aquifère (calcaires de Beauce, Craie du Séno-Turonien, ...) ;
- **profondeur aquifère 2** : profondeur par rapport au sol du toit du niveau géologique aquifère inférieur (niveau n° 2) ;
- **profondeur niveau 2** : profondeur par rapport au sol de la surface de la nappe du niveau géologique aquifère inférieur (niveau n° 2).

Selon la configuration hydrogéologique locale, la profondeur du niveau 2 peut être supérieure ou inférieure à la profondeur de l'aquifère 2, de même vis-à-vis de la profondeur du niveau 1.

### Cas de deux niveaux aquifères superposés



### Cas d'un seul niveau aquifère

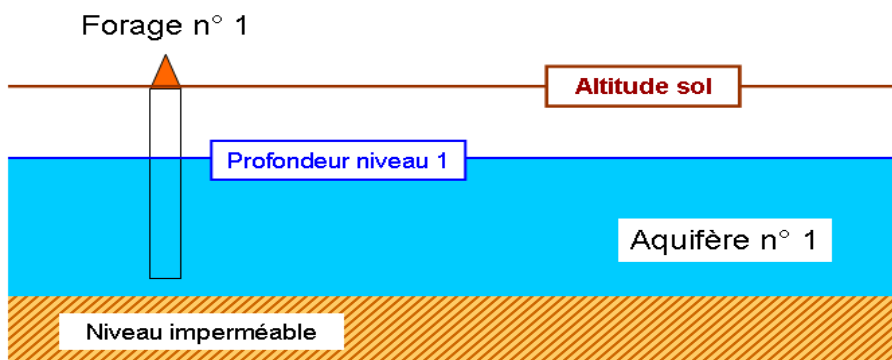


Illustration 8 : Coupe hydrogéologique simplifiée des aquifères potentiellement exploitables (source : atlas géothermique 2006).

#### 2.4.2. Débit de production possible

L'examen des données de débit a été présenté dans le rapport suivant :

- rapport BRGM/RP-54542-FR (février 2006). Atlas sur la géothermie très basse énergie en région Centre. Étude cartographique et statistique des débits spécifiques des forages d'eau - Rapport intermédiaire n° 2a.

Le débit de production possible est fonction de l'aquifère et de son épaisseur.

Pour chaque formation géologique aquifère, il a été établi des probabilités de dépassement des débits possibles. On a retenu pour chaque débit disponible une fourchette basse, qui

correspond à 75 % de probabilité d'avoir au moins ce débit, et une fourchette haute, qui correspond à 50 % de probabilité d'avoir au moins ce débit. Les débits présentés supposent un rabattement de 5 m dans l'ouvrage de production (Tableau 1).

Le rabattement de 5 m, retenu comme condition d'exploitation, tient compte de ce que, d'une part, un trop fort rabattement peut avoir pour effet l'entraînement de particules (sables par exemple), et d'autre part, induire des coûts de pompage élevés.

Aquifère	Débit de production possible (m <sup>3</sup> /h)	
	Fourchette basse	Fourchette haute
Alluvions	Indéterminé	Indéterminé
Sables et argiles de Sologne	3	8
Calcaires de Beauce	44	113
Calcaires de Beauce (sous recouvrement Nord Loire)	33	73
Calcaires de Beauce (sous recouvrement Sud Loire)	16	45
Calcaires de Touraine	6	36
Calcaires du Berry	12	53
Argiles à silex (aquifère)	3	8
Craie séno-turonienne	6	15
Craie séno-turonienne (Nord)	21	55
Craie cénomaniennne	6	15
Sables du Cénomanienn	11	17
Calcaires du Jurassique	18	60
Grès du Trias	6	8
Socle	0	3

Tableau 1 : Débit de production possible par aquifère.

L'épaisseur de l'aquifère limite néanmoins le débit exploitable. Pour cette raison, un coefficient correcteur est appliqué sur les débits du tableau 1. Si l'épaisseur est inférieure à 15 m, les débits potentiels sont limités de la manière suivante :

- épaisseur est inférieure à 5 m : on considère que l'aquifère n'est pas exploitable et que le débit potentiel est nul ;
- épaisseur comprise entre 5 et 15 m : le débit possible est réduit de 50 %.

Pour les épaisseurs supérieures à 15 m, les valeurs de débits du tableau 1 sont conservées.

Trois classes de débit (intégrant la correction 'épaisseur') ont été choisies selon les critères suivants :

- débit de moins de 5 m<sup>3</sup>/h (1) : dans ce cas, les risques d'avoir un échec de production sont élevés, la ressource est considérée comme faible, même si 3 m<sup>3</sup>/h peuvent bien souvent suffire pour couvrir les besoins d'un petit pavillon ;
- débit de 5 à 15 m<sup>3</sup>/h (2) : cette gamme de débit permet d'envisager le chauffage d'un ou deux pavillons dans de bonnes conditions économiques ;
- débit de plus de 15 m<sup>3</sup>/h (3) : cette gamme de débit permet d'envisager le chauffage de grands bâtiments ou d'un ensemble de plusieurs pavillons.

Les cartes des débits de production possibles sont indiquées sur l'illustration 9 et l'illustration 10.

Débit (m <sup>3</sup> /h) (*)	Note	(% du territoire) niveau aquifère 1	(% du territoire) niveau aquifère 2
moins de 5	1	26	43
de 5 à 15	2	35	39
plus de 15	3	39	18
(*) Pour un rabattement de 5 m au puits de pompage.			

Tableau 2 : Note attribuée aux mailles de 500 m en fonction de leur débit disponible (fourchette basse).

## 2.5. PROFONDEUR DE LA NAPPE OU DE L'AQUIFÈRE

Une des caractéristiques principales de la ressource géothermale est sa profondeur. Celle-ci va se traduire par une profondeur minimale du forage de production qui sera à réaliser pour mobiliser la ressource. Selon que l'aquifère visé est un aquifère à nappe libre (niveau n° 1 - sans couverture géologique) ou un aquifère à nappe captive (niveau n° 2 - avec une couverture géologique), la profondeur de la ressource sera soit la profondeur nécessaire pour atteindre la surface piézométrique (le plan d'eau du niveau n° 1) de la nappe libre, soit la profondeur nécessaire pour atteindre le toit (la partie supérieure du niveau n° 2) de l'aquifère captif. Le plus souvent, dans le second cas, la surface piézométrique de la nappe captive va remonter dans le forage de production à un niveau supérieur à celui-ci du toit de la formation. Ce schéma de principe est représenté sur l'illustration 8. Pour le calcul de la note du potentiel géothermique de la ressource du niveau n° 2, la plus grande des deux profondeurs (toit de l'aquifère ou niveau piézométrique) est conservée.

La profondeur de la nappe ou de l'aquifère, indiquée dans la base de données de l'atlas géothermique, outre le fait qu'elle n'a « qu'un caractère indicatif » (voir le chapitre introduction de ce rapport), constitue la profondeur réelle du forage à réaliser pour capter la ressource. En effet, la profondeur réelle d'un forage d'eau doit tenir compte de la profondeur de la nappe ou de l'aquifère comme il est indiqué ci-dessus, mais également du rabattement induit dans le puits de production (voir cône de rabattement de la figure 1) par l'exploitation de la ressource (hypothèse retenue de 5 m de rabattement), de la hauteur de la pompe immergée et d'une tranche d'eau d'au moins un mètre entre le bas de la pompe immergée et le fond du forage. Ces précisions techniques des caractéristiques du projet de captage géothermique devront être apportées, au cas par cas, par le bureau d'étude chargé d'étudier le projet de réalisation.

La profondeur de la nappe ou de l'aquifère a été estimée d'après les cartes piézométriques disponibles ou de la géométrie des aquifères sous recouvrement (tableau 3).



Profondeur	Note	(% du territoire) niveau 1	(% du territoire) niveau 2
moins de 15 m	3	28	9
de 15 à 30 m	2	24	8
de 30 à 100 m	1	11	24
de 100 à 200 m	0	0	6
Supérieur à 200 m	0	0	1
non connue	-	37	52

Tableau 3 : Note attribuée aux mailles de 500 m en fonction de la profondeur de la nappe ou de l'aquifère.

On a retenu cinq classes de profondeur selon les critères suivants :

- forage de moins de 15 m de profondeur : forage d'un moindre coût, permettant la réalisation économique d'un projet de pompe à chaleur pour un pavillon ;
- forage de 15 à 30 m de profondeur : forage dont le coût commence à peser assez fortement sur l'économie d'un projet de pompe à chaleur pour un pavillon ;
- forage de 30 à 100 m de profondeur : forage dont le coût ne peut être amorti que sur une forte consommation en surface (grand bâtiment ou ensemble de plusieurs pavillons) ;
- forage de 100 à 200 m de profondeur : forage dont le coût ne peut être amorti que sur une forte consommation en surface (grand bâtiment ou ensemble de plusieurs pavillons) ;
- forage de plus de 200 m de profondeur : géothermie profondeur qui dépasse le cadre de cet atlas géothermique.

Les cartes des profondeurs d'accès aux nappes sont indiquées sur l'illustration 9 et l'illustration 10. Les secteurs sans carte piézométrique ne sont pas renseignés (Sables et argiles de Sologne, Dogger, Trias).

### **Caractéristiques du forage géothermique de production : réalisation d'un doublet géothermique.**

Une opération de géothermie par prélèvement d'eau dans la nappe suppose que l'eau prélevée soit retournée, une fois refroidie, dans l'aquifère d'origine. Cette condition nécessite la conception pour chaque opération de géothermie d'un doublet de forages, constitué d'un puits de production appelé puits chaud, et d'un puits de réinjection appelé puits froid. Ces deux puits doivent être réalisés à des distances suffisantes, et en tenant compte du sens d'écoulement de la nappe, pour éviter le recyclage des eaux de la nappe. Les forages doivent être conçus en respectant les recommandations de la Loi sur l'eau qui interdit le mélange des eaux de plusieurs nappes, et la mise en communication des nappes.

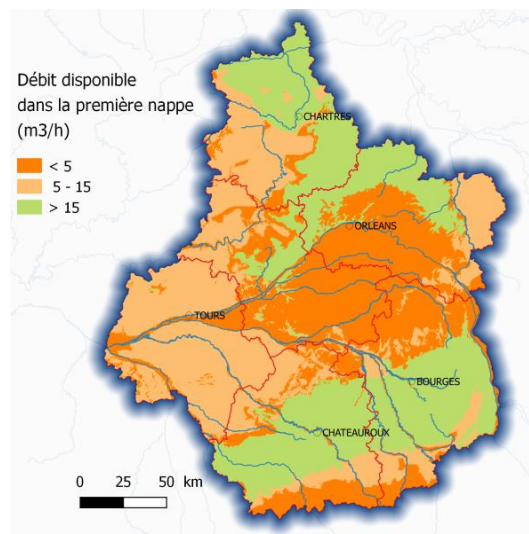
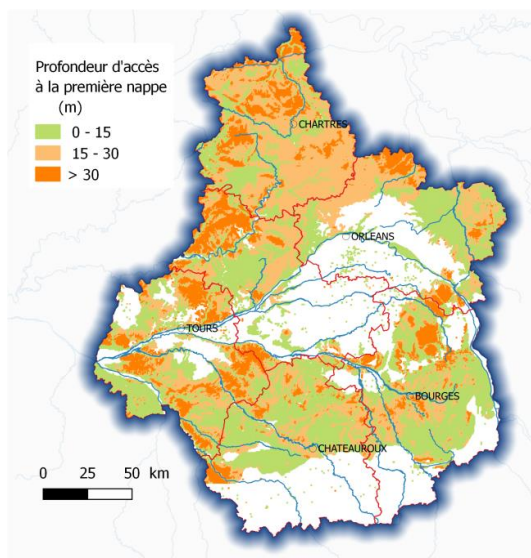
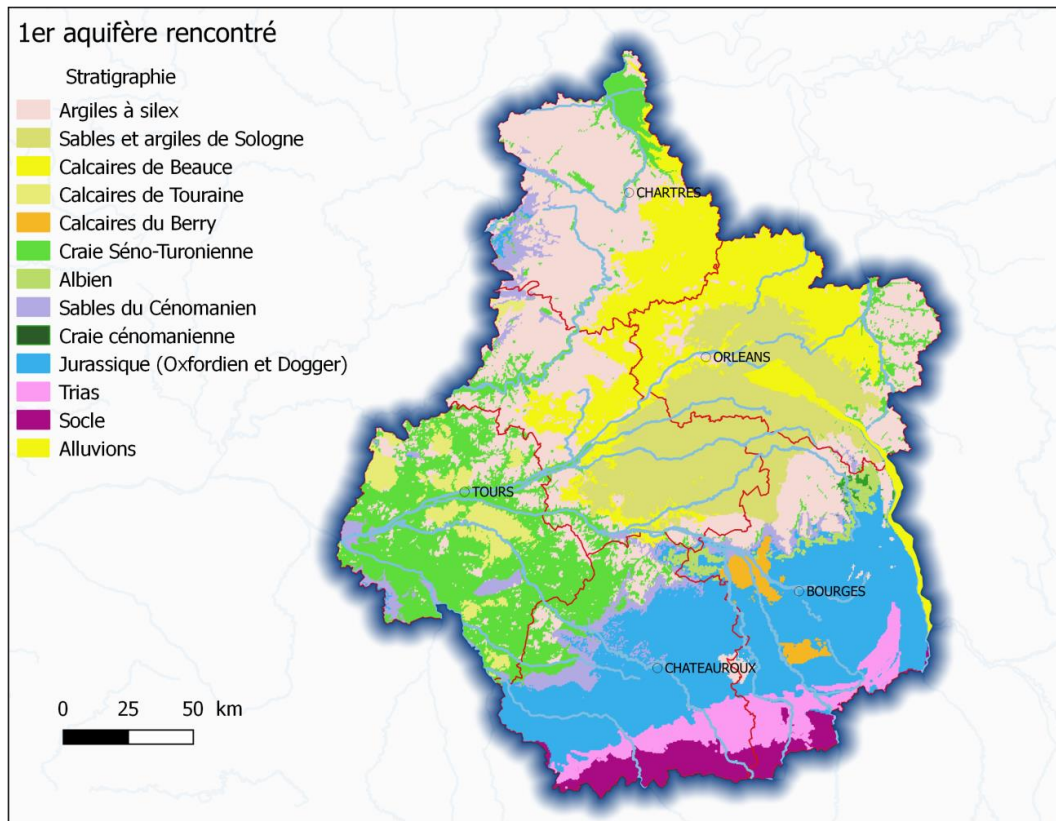


Illustration 9 : Carte des potentialités géothermiques du premier aquifère.

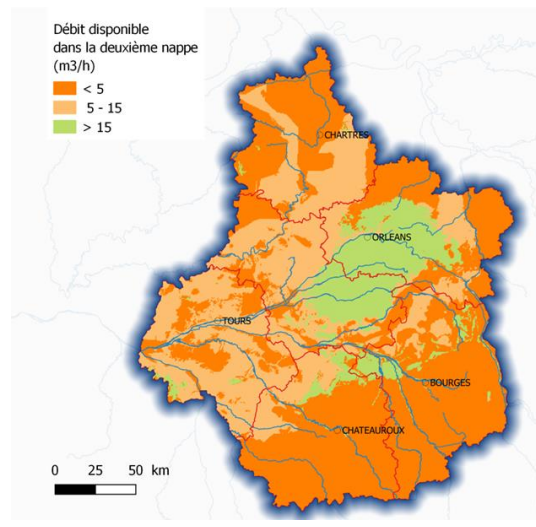
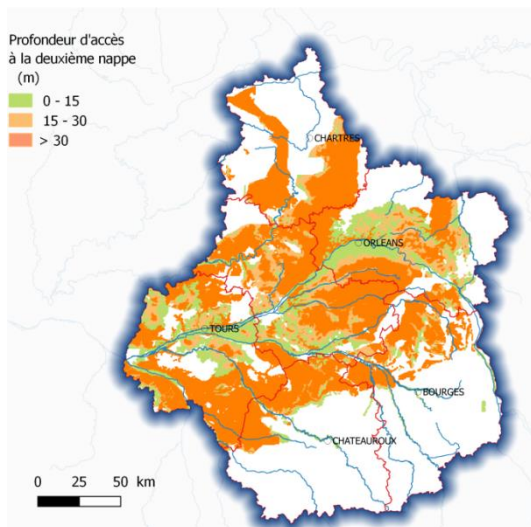
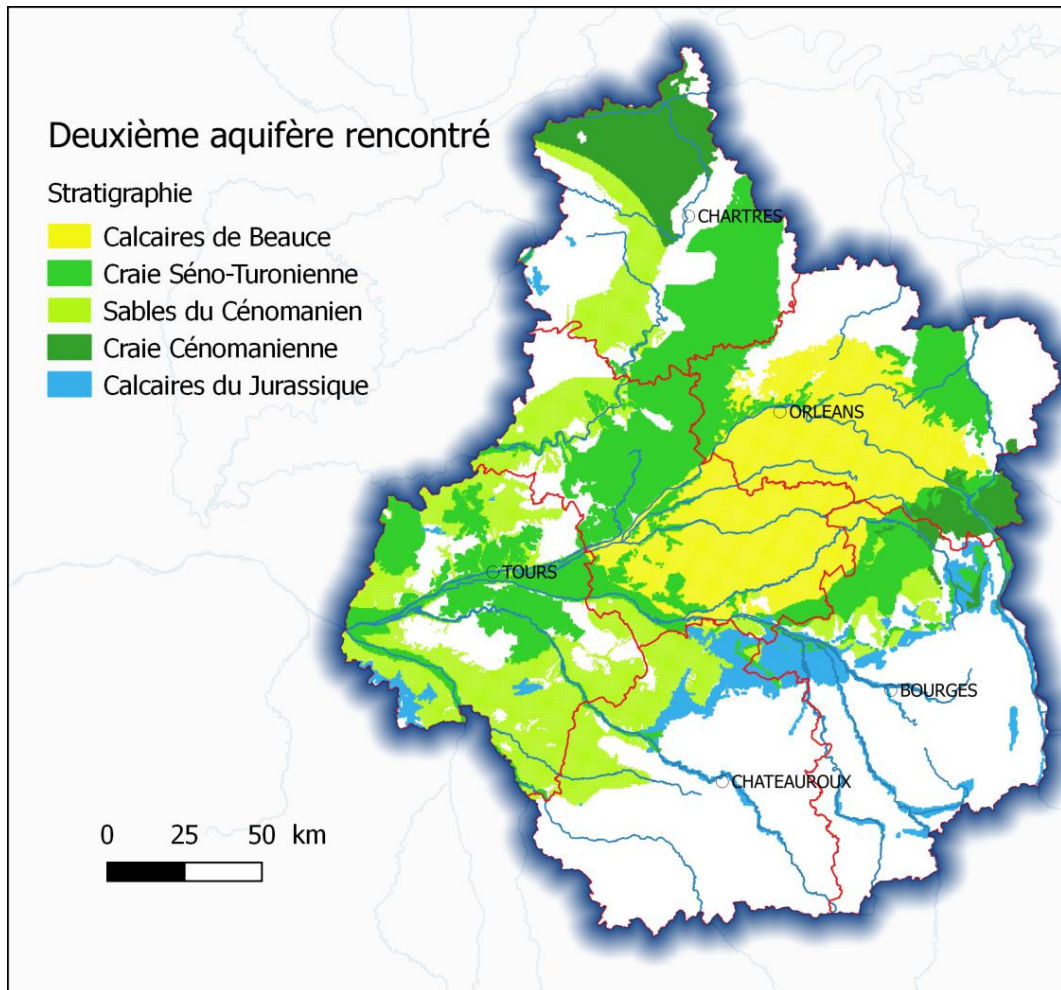


Illustration 10 : Carte des potentialités géothermiques du deuxième aquifère.

## 2.6. NOTE DE PRODUCTIVITÉ GÉOTHERMALE

Une note de productivité a été calculée (identique à celles utilisées lors de la version initiale de l'atlas en 2006) :

- indépendante de l'utilisation de la ressource géothermale ;
- calculée à partir des valeurs de débit (\*), de la profondeur minimale (\*\*).

(\*) *Le débit retenu sera celui qui correspond à un rabattement de 5 m dans le puits, valeurs présentées sous forme d'une fourchette : 75 % de probabilité d'avoir au moins ce débit, 50 % de probabilité d'avoir au moins ce débit.*

(\*\*) *Profondeur minimale : profondeur de l'eau pour l'aquifère supérieur, profondeur du toit de la formation pour l'aquifère inférieur.*

On a attribué à chaque point du territoire (maille de 500 m de côté) une note de productivité géothermale qui correspond à la somme des notes correspondant au débit de production possible (note variant de 1 à 3) et à la profondeur de la nappe ou de l'aquifère (note variant de 0 à 3). Lorsqu'il existe deux niveaux aquifères, la meilleure note a été retenue. Les notes de productivité géothermale varient ainsi de 1 à 6. Celles-ci ont été regroupées en 3 classes : FORTE, MOYENNE, FAIBLE comme il est indiqué dans le Tableau 4.

La carte des notes de productivité géothermale est indiquée sur l'illustration 10.

Le choix des notes attribuées et la pondération identique affectée aux notes des débits et aux notes des profondeurs résultent du fait qu'il est possible d'avoir plusieurs cas de figure :

- cas n° 1 : lorsque l'on cherche un site avec un fort potentiel géothermique, le coût du forage de production peut être rapidement amorti par l'exploitation de la ressource, et dans ce cas la composante profondeur de l'ouvrage a moins d'importance ;
- cas n° 2 : lorsque l'on cherche un site avec un potentiel géothermique faible, le coût du forage de production peut avoir une forte influence sur l'économie du projet, et dans ce cas la composante profondeur de l'ouvrage a plus d'importance que l'aspect débit disponible, dans la mesure où un débit bien supérieur aux besoins n'apporterait rien à l'intérêt du projet.

Le Tableau 4 présente donc une situation non ciblée pour une utilisation particulière.

À partir de la base de données constituée, il peut toujours être possible de réaliser des traitements spécifiques à des usages particuliers, comme par exemple la liste des communes présentant un fort potentiel géothermique ponctuel.

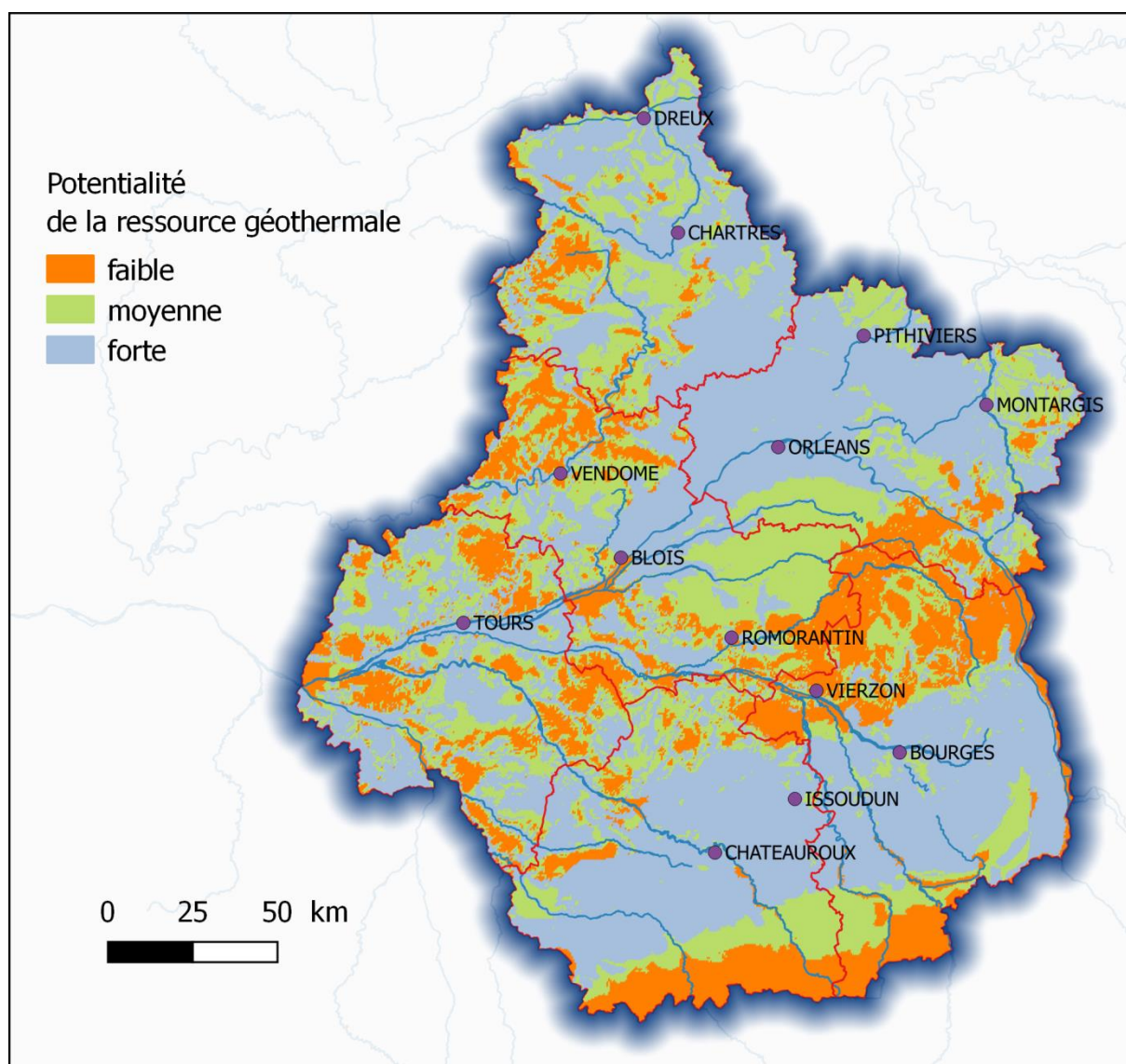


Illustration 11 : Carte de la potentialité en ressources géothermales, pour un doublet sur nappe.

Note	Potentialité géothermale	Pourcentage du territoire
≤ 3	FAIBLE	20
4	MOYENNE	28
5 et 6	FORTE	52

Tableau 4 : Potentialité de la ressource géothermale - Pourcentage du territoire en fonction des notes attribuées (dans le cas d'une superposition d'aquifères, c'est la note la meilleure qui a été retenue).



## 3. Évaluation du potentiel géothermique sur Sonde Géothermique Vertical

### 3.1. LES OBJECTIFS

On propose d'introduire, dans cette évolution de l'atlas, l'évaluation d'une géothermie sur Sondes Géothermiques Verticales. Contrairement à la technique du doublet sur aquifère, la technique des sondes et champs de sondes paraît envisageable sur l'ensemble du territoire, en présence ou non d'un aquifère.

#### 3.1.1. La technique de la Sonde Géothermique Verticale (SGV)

Il existe plusieurs techniques d'échangeur de chaleur enterré mais seule la technique des sondes géothermiques verticales est prise en considération dans la présente note. En effet, à une échelle urbaine, seule cette technique sur sondes, éventuellement implantées en champs de sondes, est réellement significative en termes de puissance thermique installée.

Sur le principe, il s'agit d'échangeurs de chaleur *enterrés* dont l'extension est majoritairement verticale. Le phénomène physique exploité est la diffusion de la chaleur par **conduction thermique** dans les roches (solides). Le paramètre déterminant est donc la surface d'échange entre l'échangeur géothermique (la sonde) et les roches avec lesquelles on souhaite échanger de l'énergie thermique, pour le chauffage ou pour le rafraîchissement.

Typiquement, les sondes géothermiques verticales ont un diamètre compris entre 120 et 180 mm et leur profondeur s'étend d'une cinquantaine de mètres à 200 m. La profondeur usuelle est de 100 m. La bonne qualité du contact entre les conduites en matière synthétique (PEHD - polyéthylène haute densité) et les formations géologiques nécessite une cimentation dont *la fonction est également la préservation de l'étanchéité entre les éventuels niveaux aquifères*.

#### 3.1.2. Conditions nécessaires pour une mise en place d'une SGV

Une Sonde Géothermique Verticale (SGV) pour un usage individuel présente l'intérêt de ne mobiliser qu'une relativement faible emprise foncière, notamment pendant la phase de foration.

En l'absence de note de calcul formulée sous contrôle d'un maître d'œuvre compétent, on retiendra qu'il n'est pas possible d'implanter des SGV à moins de 10 m de distance les unes des autres.

#### 3.1.3. Le dimensionnement des SGV

Typiquement, la puissance thermique unitaire d'une SGV est comprise entre 3 kW et 6 kW en fonction de sa longueur et de la conductivité thermique des terrains traversés. De ce fait, pour satisfaire les besoins du confort thermique d'un bâtiment, plusieurs SGV pourront être nécessaires, une installation de ce type fonctionnant généralement moins de 2000 heures par an, afin de ne pas détériorer la quantité d'énergie thermique disponible dans le sous-sol entourant la sonde.

La puissance thermique qui peut être fournie par une Sonde Géothermique Verticale dépend de sa profondeur, de la conductivité thermique et de la capacité calorifique des terrains.

En première approximation, une SGV de 100 m de profondeur peut délivrer une puissance thermique de 5 kW. Cette puissance va dépendre de la nature des terrains rencontrés par le forage ainsi que de la présence ou non de nappes souterraines.

## **3.2. LA MÉTHODE**

### **3.2.1. La conductivité thermique en fonction de la lithologie des terrains**

On propose d'associer à chaque niveau géologique du modèle du SIGES Centre-Val de Loire une valeur de conductivité thermique et de capacité calorifique. Pour un log géologique déterminé, il sera ainsi possible de déterminer à partir de ces données la puissance thermique que peut fournir une SGV.

On propose de détailler les résultats pour 3 niveaux de profondeur : 50, 100 et 200 m.

L'atlas géothermique, pour sa partie SGV, sera présenté par une conductivité thermique moyenne sur 50, 100 ou 200 m de profondeur, exprimée en  $W/m \cdot ^\circ C$ .

Ces données figurent dans des tables (voir exemple Illustration 12) dépend de :

- la nature lithologique des terrains traversés ;
- l'état de saturation en eau des terrains.

Les valeurs des conductivités thermiques varient dans un rapport de 1 à 2 entre les graviers ( $0,4 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ) et les granites ( $2,8 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ). La présence d'eau peut être à l'origine d'une augmentation de cette conductivité thermique d'environ 15 %.



	Type de roche	Conductivité thermique $\lambda$ W/(m.K)		Capacité thermique spéc. $\rho c$ MJ/(m <sup>3</sup> .K)		Densité $\rho$ 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>
		Plage des valeurs	Valeur de calcul recommandée	Plage des valeurs	Valeur de calcul recommandée	
Terrains meubles	Argile sèche	0,4 – 1,0	0,6	1,5 – 1,6	1,7	1,8 – 2,0
	Argile saturée d'eau	0,9 – 2,3	1,4	2,0 – 2,8	2,3	2,0 – 2,2
	Sable sec	0,3 – 0,8	0,5	1,3 – 1,6	1,4	1,8 – 2,2
	Sable saturé d'eau	1,5 – 4,0	2,3	2,2 – 2,8	2,4	1,9 – 2,3
	Gravier/pierres, sec	0,4 – 0,5	0,4	1,3 – 1,6	1,4	1,8 – 2,2
	Gravier/pierres, saturé d'eau	1,6 – 2,0	1,7	2,2 – 2,6	2,3	1,9 – 2,3
	Moraine compacte	1,7 – 2,4	1,8	1,5 – 2,5	2,0	1,9 – 2,5
	Tourbe	0,2 – 0,7	0,4	0,5 – 3,8	1,6	0,5 – 0,8
Roches sédimentaires	Roche molassique suisse	voir tableau 7		1,8 – 2,6	2,1	2,4 – 2,7
	Argilite	1,1 – 3,5	1,9	2,1 – 2,4	2,2	2,4 – 2,6
	Grès		2,3	1,8 – 2,6	2,1	2,2 – 2,7
	Conglomérat/bèche	1,3 – 5,1	2,6	1,8 – 2,6	2,1	2,2 – 2,7
	Roche mameuse	1,5 – 3,5	2,1	2,2 – 2,3	2,2	2,3 – 2,6
	Roche calcaire	2,5 – 4,0	2,8	2,1 – 2,4	2,2	2,4 – 2,7
Roches de fond magmatiques	Roche sulfatée (anhydrite, gypse)	1,3 – 2,8	1,6		2,0	
	Granite	2,1 – 4,1	2,8	2,1 – 3,0	2,4	2,4 – 3,0
	Diorite	2,0 – 2,9	2,3		2,7	2,9 – 3,0
Roches de fond métamorphes	Gabbro	1,7 – 2,5	2,0		2,6	2,8 – 3,1
	Schistes argileux	1,5 – 2,6	1,9	2,2 – 2,5	2,3	2,4 – 2,7
	Marbre	1,3 – 3,1	1,9		2,0	2,5 – 2,8
	Quartzite	5,0 – 6,0	5,3		2,1	2,5 – 2,8
	Micaschistes	1,5 – 3,1	2,0	2,2 – 2,4	2,3	2,4 – 2,7
	Gneiss	1,9 – 4,0	2,6	1,8 – 2,4	2,0	2,4 – 2,7
Matériaux divers	Amphibolite	2,1 – 3,6	2,6	2,0 – 2,3	2,1	2,6 – 2,9
	Mélange de ciment/bentonite (remplissage durci)		0,8		3,0	1,2
	Béton	0,9 – 2,0	1,4		1,8	2,0 – 2,42
	Glace (-10°C)		2,32		1,87	0,91
	Polyéthylène (PE100)		0,4		1,63	0,96
	Air (0°C – 20°C)		0,02		0,0012	0,00124
	Acier		60,0		3,12	7,8
Eau (10°C)		0,6		4,15	0,99	

Illustration 12 : Valeur des conductivités thermiques selon la lithologie des terrains (source : normes suisses SIA-384/6 relatives aux SGV).

### 3.2.2. Puissance énergétique prélevable en fonction de la lithologie des terrains

Des applications numériques permettent d'évaluer la puissance thermique délivrable par une sonde géothermique ou de calculer la longueur nécessaire, pour une puissance thermique donnée, d'une SGV selon la conductivité thermique des terrains. Il est possible de trouver une telle application sur le site géothermie-perspectives. On en donne ci-après un exemple.

Puissance thermique de pointe = 4 kW

Capacité thermique : entre 2,2 et 2,3 MJ / (m<sup>3</sup>.°K) (peu de variation)

Conductivité thermique (W/m.°C)	Profondeur (m)
1,4	142
2,8	98
<b>Rapport 1 / 2</b>	<b>Rapport 1 / 0,7</b>

On présente sur l'illustration 13 quelques valeurs de puissance thermique par mètre linéaire en fonction de la lithologie des terrains (Source *Norme AFNOR NF X10-970 - Forage d'eau et de géothermie - Sonde géothermique verticale*).

Type de terrain	Puissance spécifique extraite	
	pour 1 800 h/an (W/m)	pour 2 400 h/an (W/m)
<b>Valeurs générales indicatives</b>		
— sous-sols pauvres (sédiments secs)	25	20
— sous-sols normalement rocheux, sédiments saturés en eau	60	50
— roches consolidées à conductivité thermique élevée	84	70
<b>Roches spécifiques</b>		
— graviers et sables secs	< 25	< 20
— graviers et sables saturés en eau	65 à 80	55 à 65
— argile humide	35 à 50	30 à 40
— calcaire massif	55 à 70	45 à 60
— grès	65 à 80	55 à 65
— granite	65 à 85	55 à 70
— basalte	40 à 65	35 à 55
— gneiss	70 à 85	60 à 70

Illustration 13 : Puissance énergétique prélevable en  $W.m^{-1}$  d'échangeur  $P_{fr}$  (W/ml forage).

### 3.2.3. Mesure de la conductivité thermique - Le test de réponse thermique

La conductivité thermique d'un terrain (en valeur moyenne sur l'ensemble du forage testé) se mesure par un test de réponse thermique (TRT).

On présente ci-après et sur l'illustration 14 le principe de la mesure.

Déroulement du test :

- circulation à vide du fluide → fluide à la température moyenne  $T_0$  du terrain,
- maintien de la différence de température constante entre la sortie et l'entrée de la sonde à l'aide d'un réchauffeur électrique → Mesure de l'évolution de  $T_{fl,es}$  et  $T_{fl,ss}$  en fonction du temps.

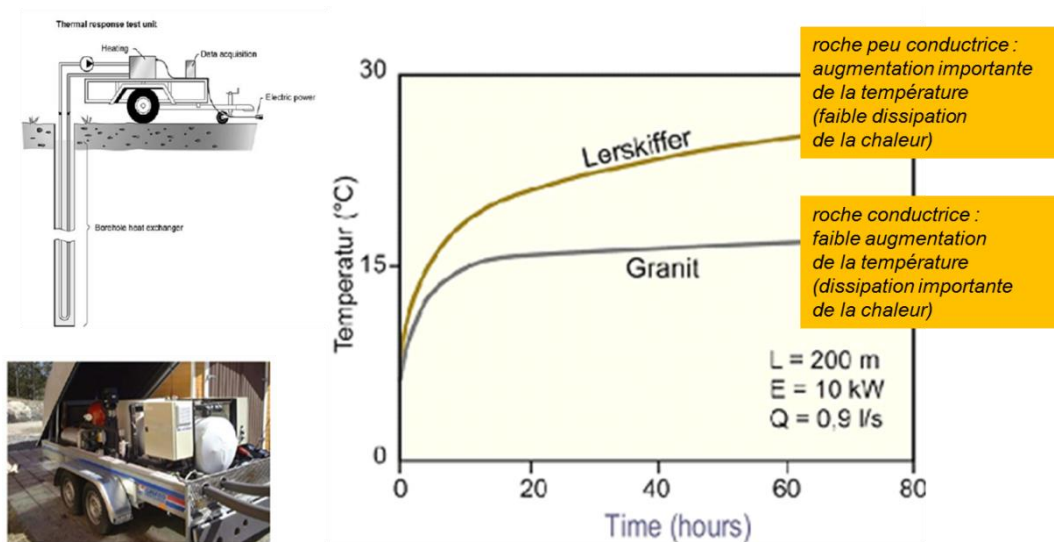


Illustration 14 : Schéma de principe de la réalisation d'un test de réponse thermique.

L'interprétation des courbes permet d'estimer la conductivité thermique moyenne des terrains.

On dispose de trois tests de réponse thermique en région Centre Val de Loire.

- site de Chartres (28) : 2 tests ont été réalisés, en 2013, par la Société ECOMÉ ingénierie dans le cadre d'un projet de mise en œuvre d'un système de fondations thermoactives pour le nouvel Hôtel de Ville.

Valeurs obtenues :

- test de 15 m de profondeur : 2 W/°C.m,
- test de 30 m de profondeur : 1,5 W/°C.m,
- capacité thermique dans les 2 cas : 2,1 MJ / (m<sup>3</sup>.°K) ;

- site d'Orléans : un test a été réalisé, en 2013, par la Société Ventilone dans le cadre de la construction de l'Hôtel d'entreprises.

Valeur obtenues :

- test de 100 m de profondeur : 37 W/°C.m,
- capacité thermique : 2,5 MJ / (m<sup>3</sup>.°K).

La valeur obtenue est très nettement supérieure à la valeur théorique attendue qui était de 2,4 W/°C.m. Le bureau d'étude attribue ce résultat à une présence très importante d'eau au droit du site expérimental.

Il ressort de ces tests que le retour d'expérience pour la région Centre-Val de Loire est insuffisant pour pouvoir caler sur des données expérimentales une carte des conductivités thermiques des terrains. Pour cela, d'autres tests seraient nécessaires.

### 3.2.4. Calcul de la conductivité thermique moyenne à partir du log géologique

On présente sur l'illustration 15 le principe de calcul de la conductivité d'un terrain en fonction de sa lithologie. Cette méthode a été appliquée à l'ensemble des mailles (500 m x 500 m) de la région Centre-Val de Loire.

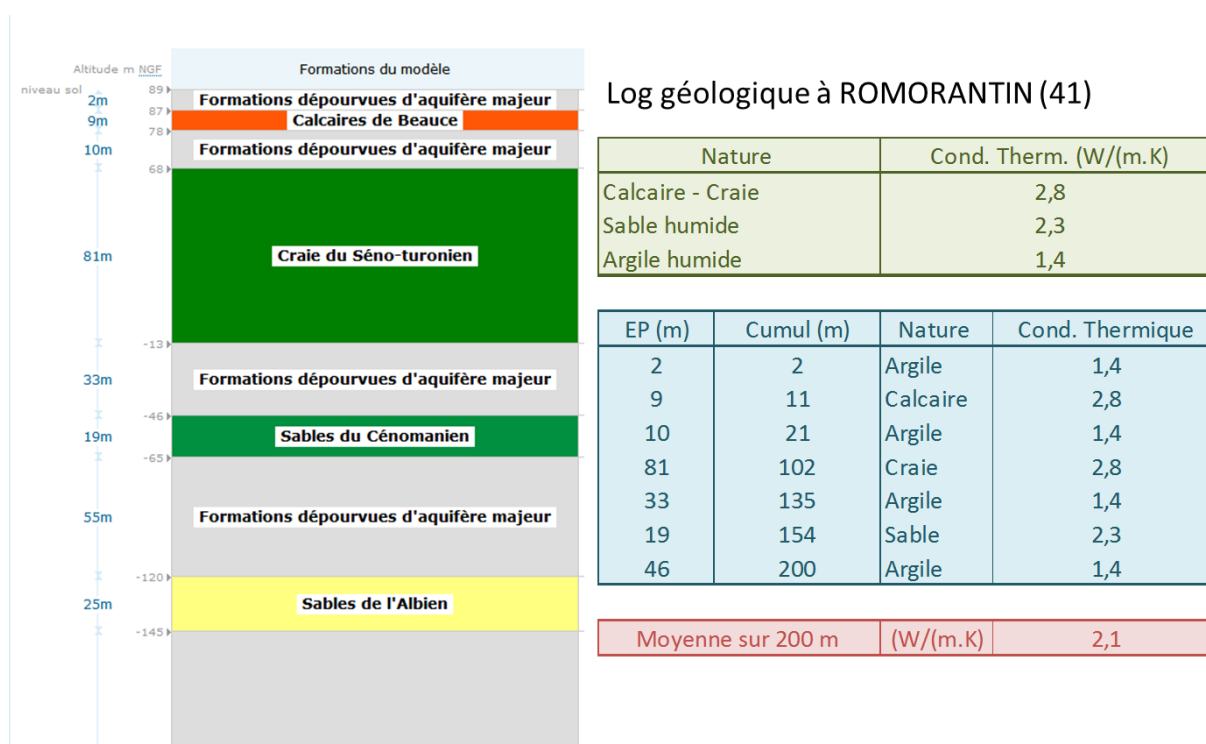


Illustration 15 : Calcul de la valeur théorique de la conductivité thermique d'un terrain en fonction de sa lithologie (cas du profil lithologique au droit de la ville de Romorantin (41)).

### 3.3. LES RÉSULTATS PAR TRANCHE DE PROFONDEUR POUR L'ENSEMBLE DE LA RÉGION CENTRE-VAL DE LOIRE

Les statistiques des valeurs de la conductivité thermique moyenne pour les tranches de profondeur 0-50 m, 0-100 m et 0-200 m sont indiquées sur l'illustration 16 et l'illustration 17. La valeur moyenne des conductivités thermiques en fonction de la profondeur varie relativement peu (entre 2,40 pour la tranche 0-50 m à 2,35 pour la tranche 0-200 m).

Les valeurs théoriques de la conductivité thermique en fonction de la lithologie des terrains sont indiquées sur l'illustration 178. Celle-ci varie de 1,4 W/°C.m pour des formations argileuses à 2,8 pour les formations calcaires. Les résultats sont présentés sur les illustrations suivantes : Illustration 18, Illustration 19, et Illustration 21. Ces cartes montrent que la distribution des valeurs de la conductivité thermique est très fortement influencée par la géologie.

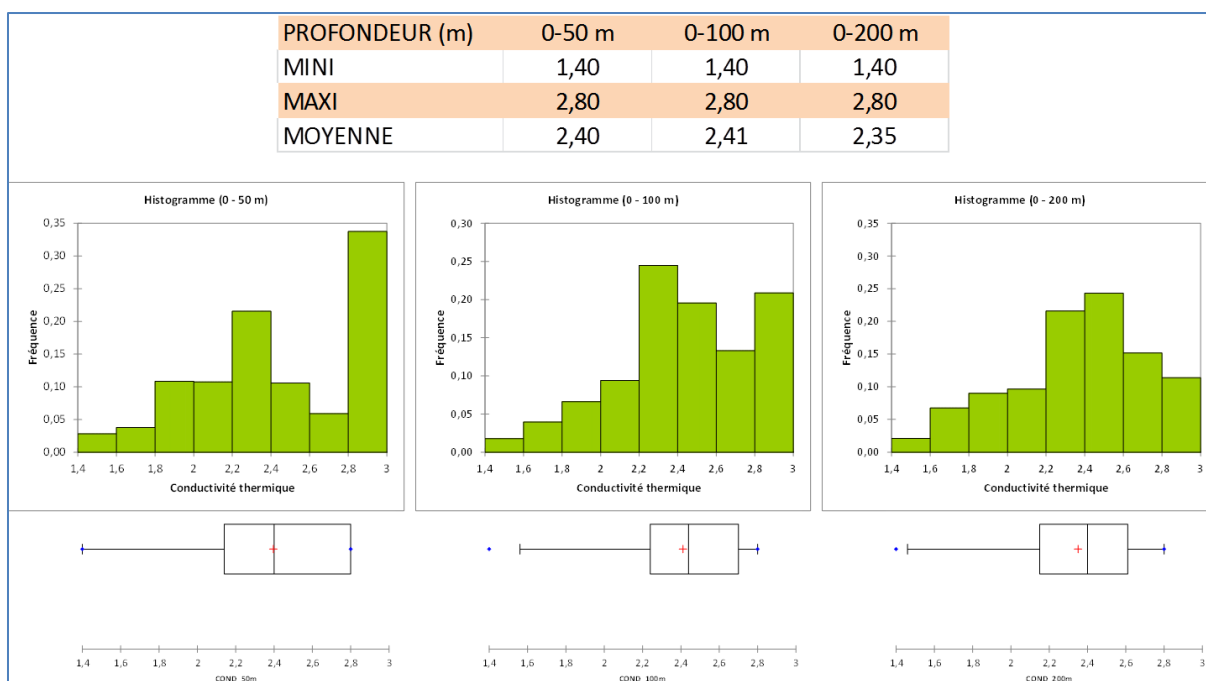
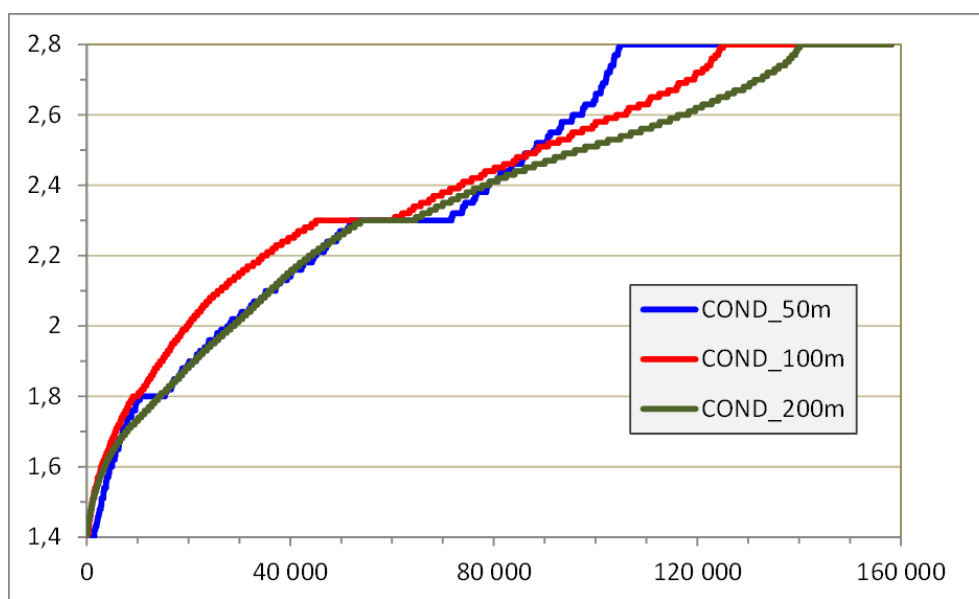


Illustration 16 : Histogramme des conductivités thermiques moyennes par tranche de terrain.

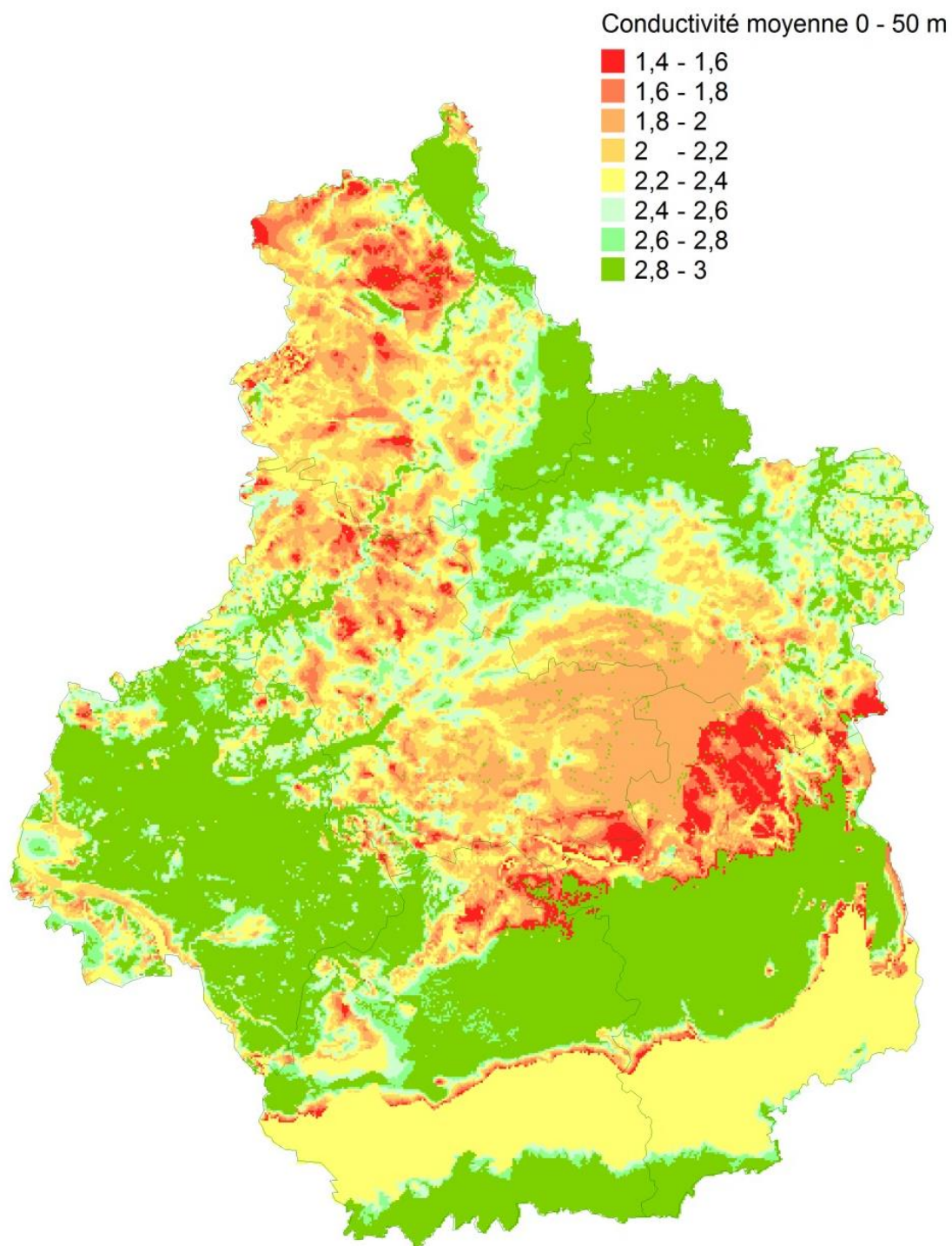


Borne inférieure	Borne supérieure	0 - 50 m		0 - 100 m		0 - 200 m	
		Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
1,40	1,60	4 452	3%	2 806	2%	3 341	2%
1,60	1,80	6 002	4%	6 267	4%	10 688	7%
1,80	2,00	17 175	11%	10 468	7%	14 259	9%
2,00	2,20	16 983	11%	14 873	9%	15 273	10%
2,20	2,40	34 057	22%	38 717	24%	34 134	22%
2,40	2,60	16 783	11%	30 926	20%	38 435	24%
2,60	2,80	9 318	6%	21 039	13%	23 984	15%
2,80	3,00	53 351	34%	33 025	21%	18 007	11%

Illustration 17 : Classement par valeurs croissantes et par tranche de terrain des conductivités thermiques moyennes.

LITHO	Conductivité (W/m.°K)
ARGILES_SILEX	1,4
ARGILE SOUS COUVERTURE	1,4
SOLOGNE	1,8
CENOMANIEN	2,3
ALBIEN	2,3
TRIAS	2,3
BEAUCE	2,8
CRAIE	2,8
JURASSIQUE	2,8
SOCLE	2,8
CRAIE_CENOMANIEN	2,8
C_BERRY	2,8
C_TOURAINE	2,8

Illustration 18 : Échelle des conductivités thermiques appliquées aux formations géologiques.



*Illustration 19 : Carte des conductivités thermique des terrains - Tranche 0-50 m.*

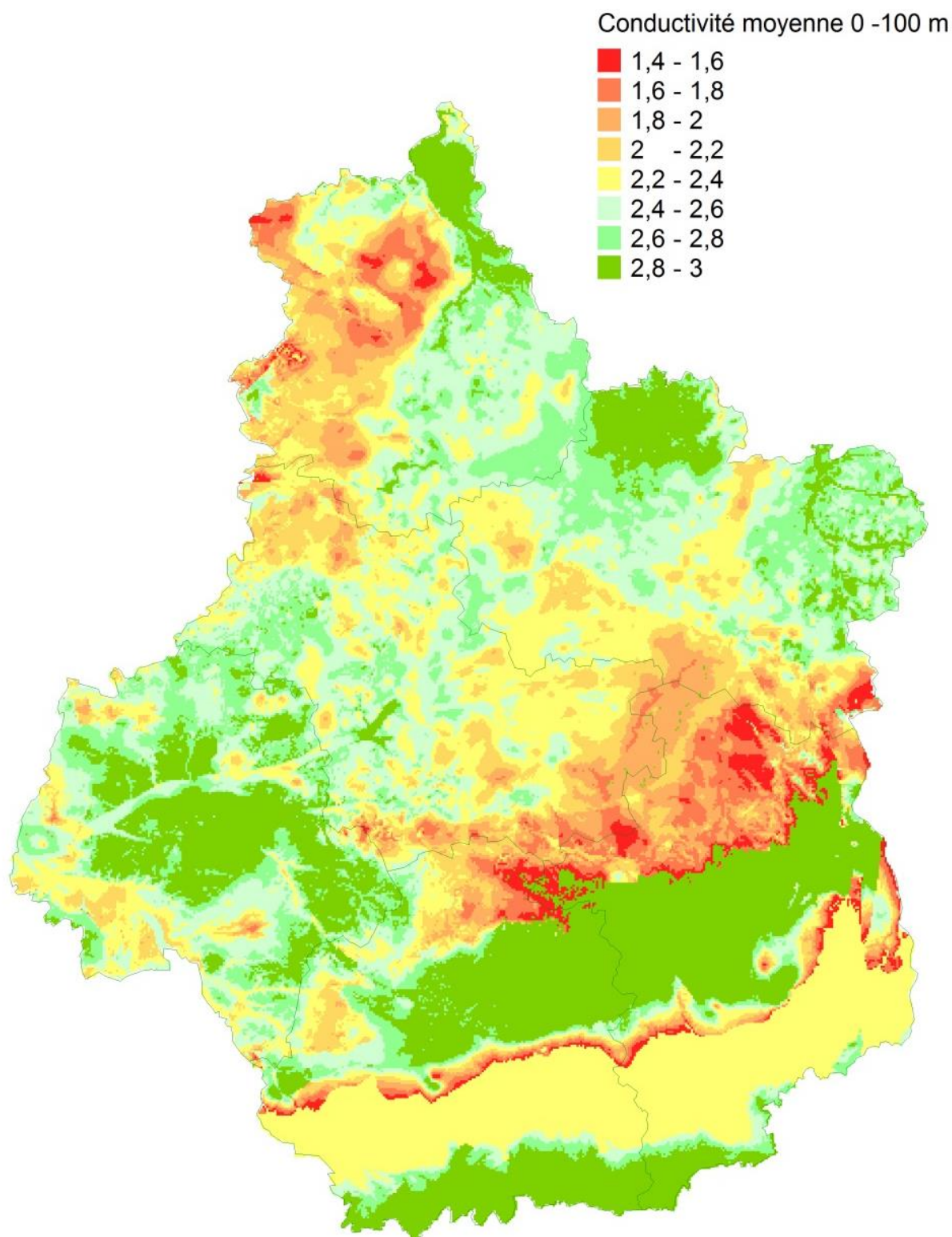


Illustration 20 : Carte des conductivités thermique des terrains - Tranche 0-100 m.



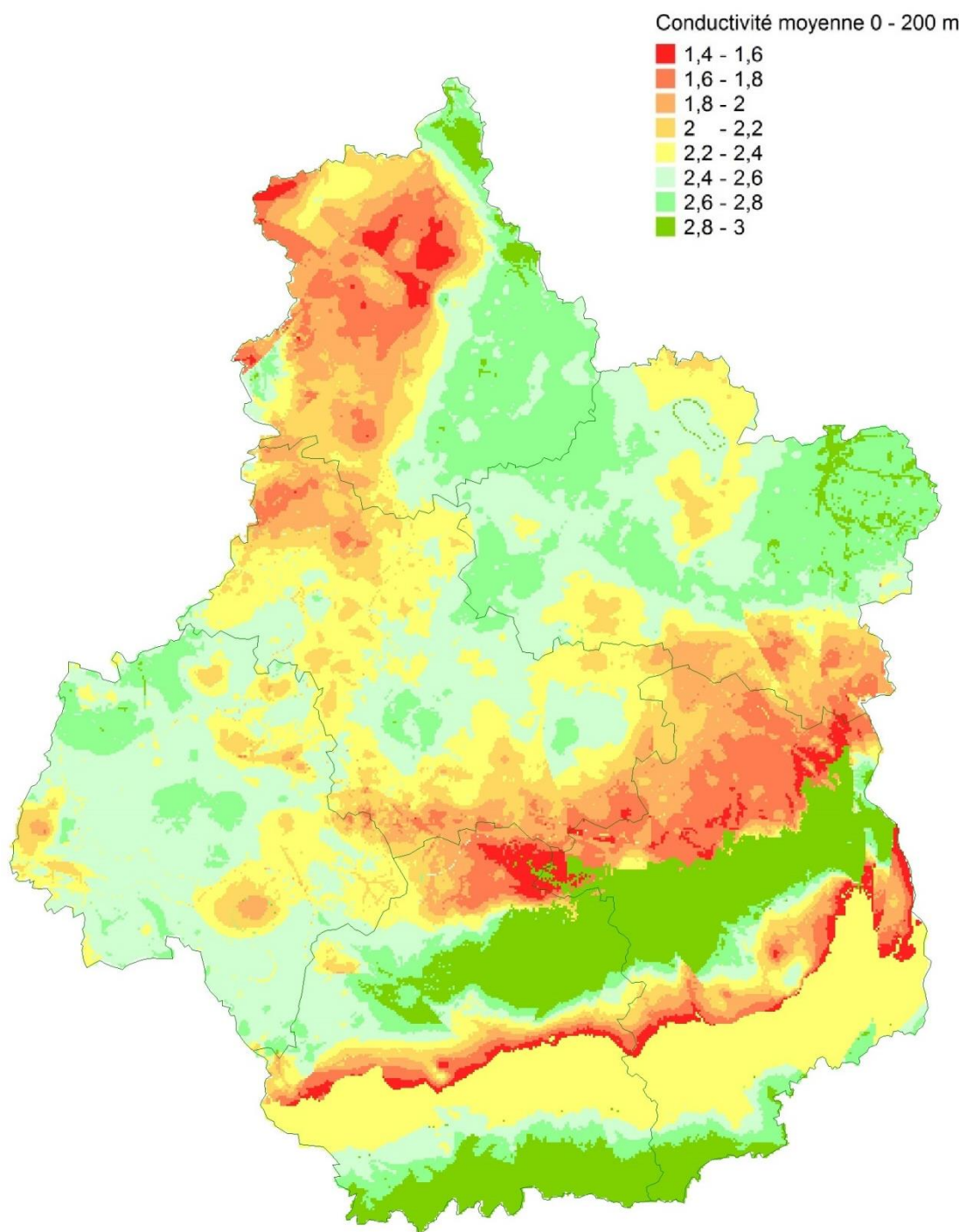


Illustration 21 : Carte des conductivités thermique des terrains - Tranche 0-200 m.



## 4. Conclusion

L'actualisation de l'atlas sur la géothermie très basse énergie mis en place sur la région Centre en 2006 a permis d'améliorer sa précision et de valoriser des connaissances acquises depuis une dizaine d'années : nouvelle carte piézométrique, contours de la BDLISA, modèle géologique et log hydrogéologique établis en 2011 lors de la création du SIGES.

L'atlas a également été complété par l'extension du domaine de calcul entre 100 et 200 m de profondeur et par un nouveau module de calcul de la potentialité géothermique pour les sondes géothermiques verticales.

Près de la moitié de la surface du territoire de la région Centre-Val de Loire (46 %) présente une productivité géothermale sur nappe jugée FORTE, le quart du territoire de la région (25 %) présente une productivité géothermale jugée MOYENNE, permettant des opérations géothermiques adaptées à du pavillon. 29 % du territoire apparaît peu favorable à la géothermie.

Concernant le potentiel géothermique pour sondes verticales (circuit fermé), il est proposé une carte des conductivités thermiques moyennes pour trois tranches de profondeur (0-50 m, 0-100 m, 0-200 m). Ces cartes ont été réalisées à partir de valeurs théoriques des conductivités thermiques des terrains. Le potentiel géothermique ainsi évalué indique que celui-ci va varier dans un rapport de 1 à 2 environ entre les terrains les plus conducteurs (2,8 W/m.°K) et les terrains les moins conducteurs (1,4 W/m.°K). Les valeurs de ces cartes devront toutefois être comparées à des mesures de terrain obtenues à partir de Tests de Réponses Thermiques (TRT). Pour le moment, nous ne disposons que de deux mesures de terrain, ce qui ne permet pas de tirer des conclusions précises sur le niveau d'exactitude de ces cartes.



## 5. Bibliographie

Base de données BASIAS > <http://basias.brgm.fr>

Base de données BASOL > <http://basol.environnement.gouv.fr>

Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance (juillet 2015)-Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

Guide méthodologique « Méthodologie de construction de la cartographie des zonages réglementaires relative à la géothermie de minime importance » (2014) - CEREMA-BRGM-ADEME.

Herbaux M., Kreziak C., P. Durst P. *et al.* (2015) - Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance-BRGM-CEREMA.

Martin.JF., Printemps.J., Remaud. (2006) - Atlas sur la géothermie très basse énergie en région Centre. Étude cartographique et statistique des débits spécifiques des forages d'eau. Rapport intermédiaire n° 2a. Rapport BRGM/RP-54542-FR.

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

Martin J.-C., Bacquet I., Tourlière B., Gomez E., Gateau C. (2007) - Atlas sur la géothermie très basse énergie en région centre. Rapport final. BRGM/RP-55088-FR, 60 p., 25 fig., 9 tabl., 1 ann.,

Poux A., Goyeneche O., Le Brun M., Martin J.C., Noel S., Zammit C., Salquebre D (2012)-Prospectives de développement de la géothermie en région centre (GEOPOREC). Rapport BRGM/RP-60336-FR

Salquebre D. *et al.* (2012) - SIGES Centre : constitution d'un Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines en région Centre. Rapport BRGM/RP-61517-FR.

Thauvin M., Colin S., Saint Martin M. (2011) - Carte des ressources en matériau de la région Centre. Élaboré dans le cadre de la révision des Schémas Départementaux des Carrières. Rapport BRGM/RP-59248-FR, 121p., 14 ill., 6 ann., 8 planches hors texte.

Vanoudheusden E. (2014) - Cartographie de la susceptibilité de présence de cavités karstique en région Centre. Rapport final. BRGM/RP-62816-RP, 62p., 37 ill.,3 ann.





Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique**

3, avenue Claude-Guillemain  
BP 36009

45060-Orléans Cedex 2-France

Tél. : 02 38 64 34 34 - [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**Direction régionale Centre-Val de Loire**

3, avenue Claude-Guillemain  
B.P. 36009

45060-Orléans Cedex 2-France

Tél. : 02 38 64 31 92