

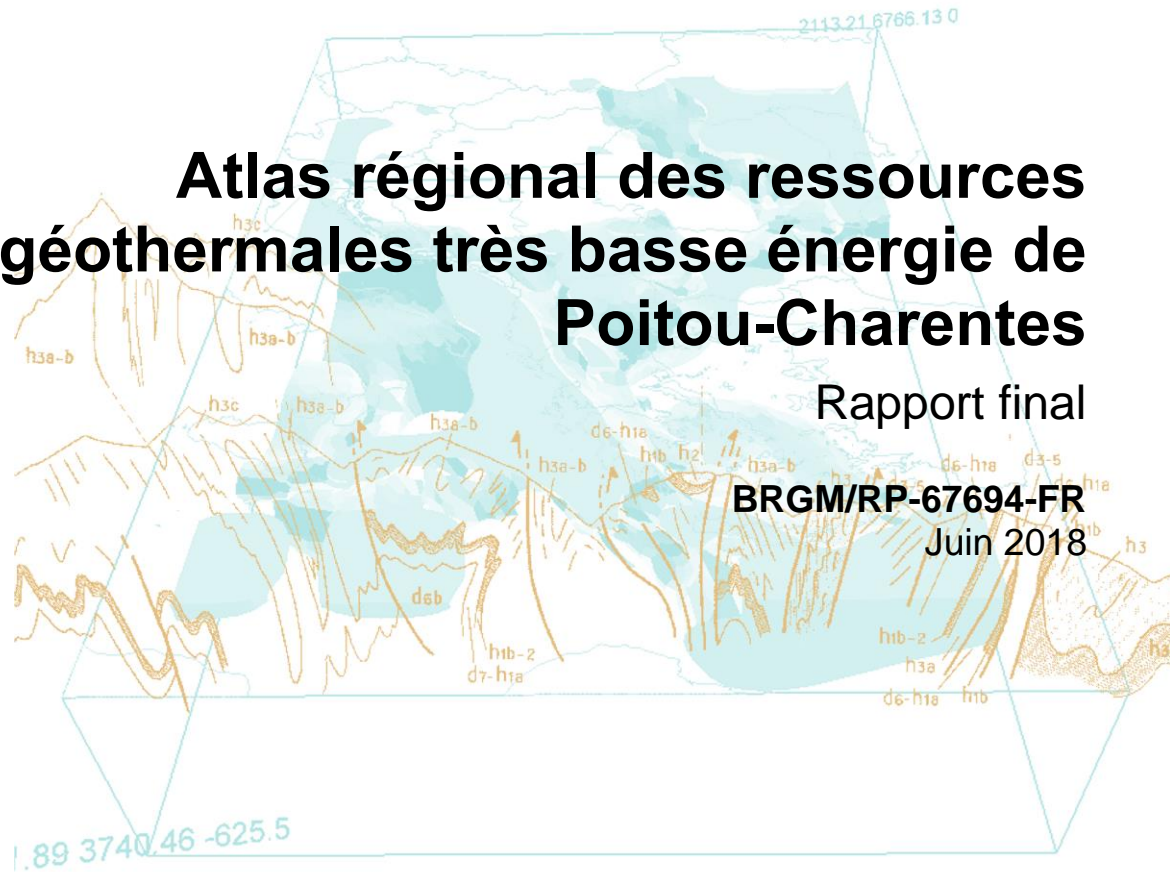


Atlas régional des ressources géothermales très basse énergie de Poitou-Charentes

Rapport final

BRGM/RP-67694-FR

Juin 2018



ADEME



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

R É G I O N
**NOUVELLE
AQUITAINE**
AQUITAINE LIMOUSIN POITOU-CHARENTES



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document public

Atlas régional des ressources géothermales très basse énergie de Poitou-Charentes

Rapport final

BRGM/RP-67694-FR

Jun 2018

Étude réalisée dans le cadre des opérations (projets)
de Service public du BRGM 2018

M. Thinon-Larminach, F. Compère, L. Abasq

Vérificateur :

Nom : P. Durst

Fonction : Vérificateur délégué

Date : 31 mai 2018

Signature :




Approbateur :

Nom : L.Chery

Fonction : Directrice adjointe

Date : 01/06/2018

Signature :



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

Contact : qualite@brgm.fr

A D E M E



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



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots-clés : géothermie très basse énergie, atlas, potentiel géothermique, aquifère, sonde géothermique verticale, Vienne, Deux-Sèvres, Charente, Charente-Maritime, Poitou-Charentes, Nouvelle-Aquitaine.

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

Thinon-Larminach M., Compère F. Abasq L. (2018) – Atlas régional des ressources géothermales très basse énergie de Poitou-Charentes. Rapport final. BRGM/RP-67694-FR, 60 p., 40 ill.

Synthèse

Le recours à la géothermie de minime importance (GMI) à usage domestique comme source alternative d'énergie est en progression ces dernières années.

Située pour les 2/3 environ de son territoire en zone de bassins sédimentaires (Aquitain et Parisien), l'ex-région Poitou-Charentes dispose de ressources en eau souterraine assez bien réparties, et à différentes profondeurs. Elles peuvent répondre un peu partout à des besoins énergétiques en surface via l'usage de Pompes A Chaleur géothermiques (PACg), avec exploitation du débit et de la température de l'eau souterraine (un forage d'exploitation et un forage de réinjection).

L'utilisation de sondes géothermiques verticales (en circuit fermé) s'est également développée même si cette seconde solution géothermique nécessite un nombre plus important de forages par rapport aux PACg sur nappes. Le rendement de ces sondes est lié à la conductivité thermique des roches.

En 2009, le Département de Charente-Maritime (ex-Conseil-Général) et le BRGM s'étaient associés pour réaliser un atlas des potentialités géothermiques sur nappe sur ce département. Dans le cadre du développement des énergies renouvelables, le Conseil Régional Nouvelle-Aquitaine (ex Poitou-Charentes), l'ADEME (Agence de l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie) et le BRGM ont décidé de réaliser un outil permettant d'aider à évaluer l'exploitabilité du sous-sol pour alimenter une installation géothermique sur doublet de forages ou sur sondes géothermiques verticales.

Cet outil est constitué d'un Atlas couvrant la région Poitou-Charentes qui donne à l'échelle de la maille de 500 m par 500 m le potentiel géothermique. Cet Atlas sera mis en ligne sur le site dédié à la géothermie : www.geothermie-perspectives.fr.

Au cours de ce travail, un rapprochement a été fait avec les travaux initiés dans l'ex-région Limousin ; les contraintes et les échanges ont eu pour conséquences d'amener à revoir les méthodes pour les harmoniser sur les domaines de socle.

Au final, l'Atlas des potentialités géothermiques produit est homogène de par sa méthodologie sur l'ensemble des deux ex-régions.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Présentation de la géothermie très basse énergie.....	11
2.1. PRINCIPES GENERAUX DE LA GEOTHERMIE	11
2.2. DIFFERENTS TYPES DE GEOTHERMIE	12
2.2.1. La géothermie haute et moyenne énergie	12
2.2.2. La géothermie basse énergie.....	12
2.2.3. La géothermie très basse énergie	12
2.3. DIFFERENTES TECHNIQUES D'EXPLOITATION GEOTHERMIQUE TRES BASSE TEMPERATURE	13
2.3.1. Echangeur géothermique ouvert	13
2.3.2. Echangeur géothermique fermé	14
2.4. CONTEXTE REGLEMENTAIRE DE LA GEOTHERMIE	15
3. Contexte du Poitou-Charentes	17
3.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE	17
3.1.1. Généralités	17
3.1.2. Les socles des massifs armoricain et central	18
3.1.3. Les formations des bassins sédimentaires	18
3.1.4. Les grandes structures géologiques	19
3.2. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE.....	21
4. Conception de l'atlas du potentiel géothermique	25
4.1. METHODOLOGIE GENERALE	25
4.2. CONSTITUTION D'UN MODELE NUMERIQUE GEOLOGIQUE	25
5. Estimation du potentiel géothermique	30
5.1. POTENTIEL DE LA GEOTHERMIE EXPLOITE PAR LA TECHNIQUE DES SONDES GEOTHERMIQUES VERTICALES (SGV)	30
5.1.1. Cartographie de la conductivité thermique en zone de socle	30
5.1.2. Valeurs de la conductivité thermique en zone sédimentaire.....	33
5.1.3. Cartographie de la conductivité thermique	33
5.2. POTENTIEL DE LA GEOTHERMIE SUR AQUIFERE SUPERFICIEL EXPLOITE PAR LA TECHNIQUE DU DOUBLET GEOTHERMIQUE	37
5.2.1. Notation du potentiel géothermique	38
5.2.2. Critère débit de production.....	38

5.2.3. Critère température de la nappe	39
5.2.4. Critère profondeur d'accès à la ressource.....	41
5.2.5. Cartographie du potentiel géothermique sur aquifère.....	43
6. Conclusion.....	55
7. Bibliographie	57

Liste des illustrations

Illustration 1 : Schéma de la chaleur de la Terre.....	11
Illustration 2 : Comparaison entre la température à 500 m de profondeur et le flux de chaleur en France.....	12
Illustration 3 : La géothermie basse et très basse énergie.....	13
Illustration 4 : Échangeur géothermique ouvert (géothermie sur nappe).....	14
Illustration 5 : Production réversible de chaleur	14
Illustration 6 : Échangeur géothermique fermé (sondes géothermiques verticales)	15
Illustration 7 : Cartographie des zonages réglementaires relative à la géothermie de minime importance sur l'ex région Poitou- Charentes © BRGM.....	16
Illustration 8 : Carte géologique simplifiée de l'ancienne région Poitou-Charentes	18
Illustration 9 : Bloc-diagramme représentant la chute du toit du socle (en jaune) de part et d'autre du seuil du Poitou (surface topographique en bleu) [vu depuis le Sud]	18
Illustration 10 : Coupe géologique régionale à travers le Seuil du Poitou.....	19
Illustration 11 : Structures géologiques de Poitou-Charentes	20
Illustration 12 : Synthèse des principaux aquifères du territoire picto-charentais (source : synthèse par bassin versant).....	23
Illustration 13 : Extension des deux modèles hydrogéologiques du BRGM	26
Illustration 14 : Couches prises en compte dans les modèles Crétacé et Jurassique (les couches écrites en noires sont imperméables ; les couches écrites en bleues sont les aquifères)	26
Illustration 15 : Localisation des domaines de socle en Poitou-Charentes.....	27
Illustration 16 : Identification des substrats géologiques (retrait des formations superficielles) en zone de socle et simplification lithologique.....	28
Illustration 17 : Carte lithologique simplifiée des zones de socle en Poitou-Charentes.....	29
Illustration 18 : Valeurs de conductivité thermique selon la lithologie des terrains en domaine de socle.....	31
Illustration 19 : Carte de la conductivité thermique en domaine de socle.....	32
Illustration 20 : Valeurs de conductivité thermique selon la lithologie des terrains en domaine sédimentaire.	33
Illustration 21 : Carte de la conductivité thermique moyenne sur la tranche 0 – 50 m de profondeur en Poitou-Charentes	34

Illustration 22 : Carte de la conductivité thermique moyenne sur la tranche 0 – 100 m de profondeur en Poitou-Charentes	35
Illustration 23 : Carte de la conductivité thermique moyenne sur la tranche 0 – 200 m de profondeur en Poitou-Charentes	36
Illustration 24 : Schéma hydrogéologique simplifié des situations rencontrées des aquifères potentiellement exploitables	37
Illustration 25 : Critères de classification des potentialités géothermiques des aquifères (très basse énergie)	38
Illustration 26 : Synthèse des débits moyens exploitables (m ³ /h) pour chaque aquifère.....	39
Illustration 27 : Localisation des points avec au moins une mesure de la température (source : BSSEAU/ADES)	40
Illustration 28 : Boîtes à moustaches des températures mesurées des aquifères (source : BSSEAU/ADES)	40
Illustration 29 : Nombre potentiel d'aquifères superposés présents par maille de 500 x 500 m sur le territoire de Poitou-Charentes.....	42
Illustration 30 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour les aquifères de socle jusqu'à 200 m maximum de profondeur	44
Illustration 31 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour l'aquifère de l'Infra-Toarcien jusqu'à 200 m maximum de profondeur	45
Illustration 32 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour l'aquifère du Dogger jusqu'à 200 m maximum de profondeur	46
Illustration 33 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour l'aquifère du Jurassique supérieur altéré jusqu'à 200 m maximum de profondeur.....	47
Illustration 34 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour les aquifères du Crétacé supérieur indifférencié (nord de la région) jusqu'à 200 m maximum de profondeur.....	48
Illustration 35 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour l'aquifère du Cénomanién inférieur et moyen (sud de la région) jusqu'à 200 m maximum de profondeur.....	49
Illustration 36 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour l'aquifère du Turonien (sud de la région) jusqu'à 200 m maximum de profondeur	50
Illustration 37 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour l'aquifère du Coniacien (sud de la région) jusqu'à 200 m maximum de profondeur	51
Illustration 38 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour l'aquifère du Campanien supérieur (sud de la région) jusqu'à 200 m maximum de profondeur	52
Illustration 39 : Carte du meilleur potentiel géothermique par maille de 500 m x 500 m en Poitou-Charentes	53
Illustration 40 : Carte de l'aquifère présentant le meilleur potentiel géothermique par maille de 500 m x 500 m en Poitou-Charentes.....	53

1. Introduction

Située pour les 2/3 environ de son territoire en zone de bassins sédimentaires (Aquitain et Parisien), l'ex-région Poitou-Charentes dispose de ressources en eau souterraine assez bien réparties, et à différentes profondeurs. Elles peuvent répondre un peu partout à des besoins énergétiques en surface via l'usage de Pompes A Chaleur géothermiques (PACg), avec exploitation du débit et de la température de l'eau souterraine (un forage d'exploitation et un forage de réinjection).

L'utilisation de sondes géothermiques verticales (en circuit fermé) s'est également développée même si cette seconde solution géothermique nécessite un nombre plus important de forages par rapport aux PACg sur nappes. Le rendement de ces sondes est lié à la conductivité thermique des roches.

En 2009, le Département de Charente-Maritime (ex-Conseil-Général) et le BRGM s'étaient associés pour réaliser un atlas des potentialités géothermiques sur ce département.

Dans le cadre du développement des énergies renouvelables, le Conseil Régional Nouvelle-Aquitaine (ex Poitou-Charentes), l'ADEME (Agence de l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie) et le BRGM ont décidé de réaliser un outil permettant d'aider à évaluer l'exploitabilité du sous-sol pour alimenter une installation géothermique très basse énergie type sur doublet de forages ou sur sondes géothermiques verticales.

Cet outil est constitué d'un Atlas couvrant la région Poitou-Charentes qui donne à l'échelle de la maille de 500 m par 500 m le potentiel géothermique. Cet Atlas sera mis en ligne sur l'espace cartographique du site dédié à la géothermie : www.geothermie-perspectives.fr.

Cet Atlas permettra de répondre à tout maître d'ouvrage potentiel en fournissant une première estimation du potentiel géothermique en un lieu donné.

Après un aperçu des différentes techniques d'exploitation de l'énergie géothermique ainsi qu'un volet sur la réglementation en cours concernant l'exploitation d'une ressource à des fins géothermiques, un bref rappel du contexte géologique et hydrogéologique de la région Poitou-Charentes est présenté, ce rapport s'attache, ensuite à développer les particularités méthodologiques du travail pour la réalisation de cet Atlas avec les principales étapes et principaux résultats.

Au cours de ce travail, un rapprochement a été fait avec les travaux initiés dans l'ex-région Limousin, les contraintes et les échanges ont eu pour conséquences d'amener à revoir les méthodes pour les harmoniser sur les domaines de socle. Au final, l'Atlas des potentialités produit est homogène de par sa méthodologie sur l'ensemble des deux ex-régions.

2. Présentation de la géothermie très basse énergie

2.1. PRINCIPES GENERAUX DE LA GEOTHERMIE

Du grec *géo* (terre) et *thermos* (chaud), la géothermie consiste à exploiter la chaleur stockée dans le sous-sol de notre planète (Illustration 1). Cette énergie est potentiellement considérable et chaque kilomètre de roche, sur une profondeur de 10 km, renferme en moyenne une quantité d'énergie équivalent à 15 millions de TEP¹. Les domaines d'utilisation de l'énergie de la Terre recouvrent le chauffage, le rafraîchissement, l'utilisation directe de la chaleur ou la production d'électricité.

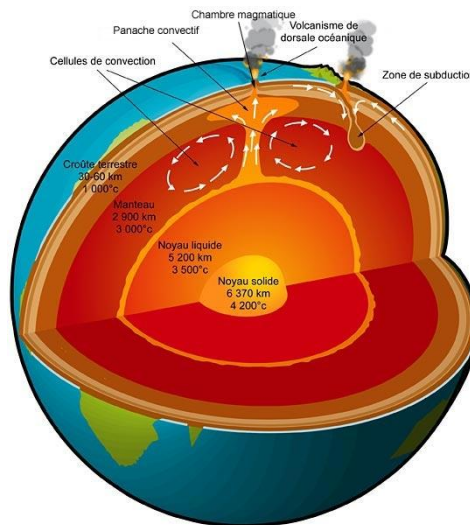


Illustration 1 : Schéma de la chaleur de la Terre

L'accroissement de la température en fonction de la profondeur est appelé le gradient géothermique. Il est en France est d'environ 3,3°C par 100 m. Il varie de 10°C/100 m dans le nord de l'Alsace à seulement 2°C/100 m au pied des Pyrénées. Le gradient et le flux géothermique sont variables horizontalement et verticalement (Illustration 2). Le flux se détermine par le produit de la valeur de la conductivité thermique (déterminé en laboratoire sur les roches) par le gradient géothermique (mesuré en forage) :

$$\text{Flux de chaleur (mW/m}^2\text{)} = \text{conductivité thermique (W/m/K)} \times \text{gradient géothermique (K/km)}$$

¹ Tonne Equivalent Pétrole : 1 TEP \cong 11'630 kWh

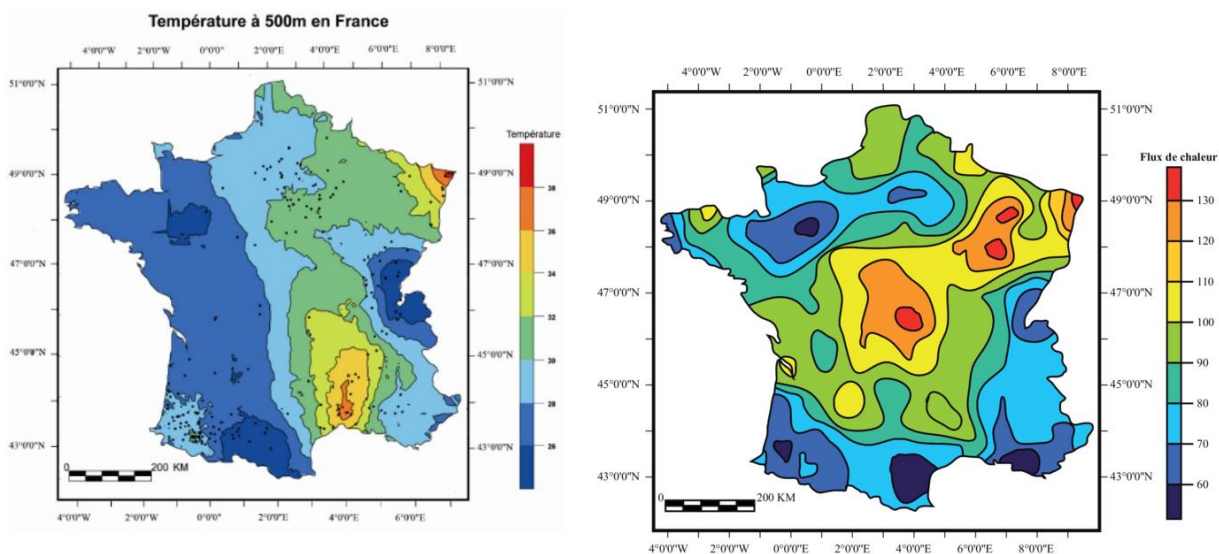


Illustration 2 : Comparaison entre la température à 500 m de profondeur et le flux de chaleur en France

2.2. DIFFERENTS TYPES DE GEOTHERMIE

On distingue généralement : la géothermie haute énergie, la géothermie moyenne énergie, la géothermie basse énergie et la géothermie très basse énergie.

2.2.1. La géothermie haute et moyenne énergie

Ces types d'énergie correspondent à l'utilisation des ressources thermiques dont la température est comprise entre 90°C et 150°C (moyenne énergie) ou supérieure à 150°C (très haute énergie), permettant une production d'électricité ou une cogénération (chaleur + électricité).

Ces ressources ne sont accessibles en Poitou-Charentes qu'au-delà de 3 000 m de profondeur, et de fait, aujourd'hui, il n'existe pas d'exploitation.

2.2.2. La géothermie basse énergie

Elle correspond à l'utilisation de ressources thermiques dont la température est comprise entre 30°C et 90°C (Illustration 3), permettant un usage direct de la chaleur

Ce type de ressource existe en Poitou-Charentes à la faveur de contextes hydrogéologiques favorables comme dans l'anticlinal de Jonzac (forage thermal de 1800 m de profondeur pour une température d'environ 60°C).

2.2.3. La géothermie très basse énergie

La géothermie très basse énergie correspond à l'exploitation de ressources thermiques dont la température est inférieure à 30°C (Illustration 3).

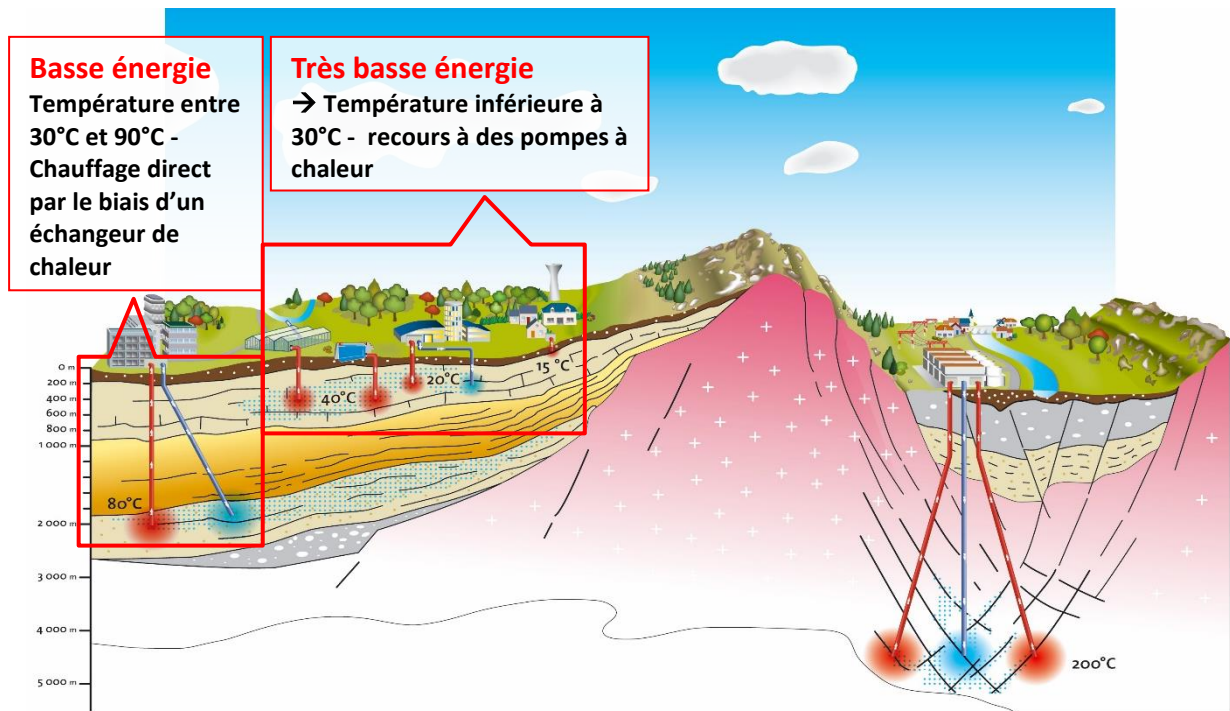


Illustration 3 : La géothermie basse et très basse énergie

A cette température, la ressource ne peut généralement pas être exploitée par un simple échangeur de chaleur : elle nécessite la mise en place d'une Pompe A Chaleur géothermique (PACg) qui prélève l'énergie et la source de chaleur à basse température (roche, eau) pour augmenter la température d'un fluide secondaire jusqu'à une température compatible avec l'usage.

2.3. DIFFERENTES TECHNIQUES D'EXPLOITATION GEOTHERMIQUE TRES BASSE TEMPERATURE

2.3.1. Echangeur géothermique ouvert

Cette géothermie est aussi appelée géothermie sur aquifère ou doublet géothermique.

L'eau, prélevée d'une nappe souterraine à partir du puits de prélèvement, circule dans un échangeur thermique en surface, passe à travers une pompe à chaleur (PAC), puis est réinjectée dans un second puits appelé « puits de réinjection ». Cet échangeur, composé d'un puits de prélèvement et d'un puits de réinjection (Illustration 4), suppose des conditions de productivité (puits de production, d'exhaure) et de rejet (réinjection), dans le milieu souterrain, aptes à des débits de l'ordre de 2 m³/h à 10 m³/h, ou davantage.

Enfin, la réalisation d'un doublet n'est possible qu'en l'absence de recyclage important des eaux réinjectées jusqu'au puits de production :

- soit parce que les deux ouvrages sont suffisamment éloignés pour que le recyclage ne se produise qu'une fois l'installation rentabilisée ;
- soit parce que l'écoulement régional est assez puissant (vitesse d'écoulement de l'ordre de plusieurs mètres par an) pour entraîner par advection les eaux froides (ou chaudes)

réinjectées, hors de portée du puits de production. C'est souvent le cas des nappes d'accompagnement des cours d'eau.

L'activité géothermique à l'aide d'un échangeur ouvert induit une variation thermique locale sur la nappe au point de rejet de l'eau dont une part de la « chaleur » a été « pompée » par la PAC.

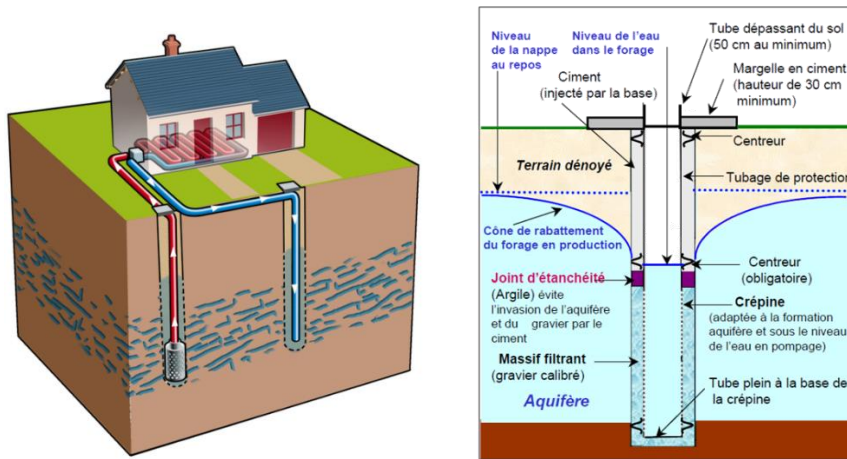


Illustration 4 : Échangeur géothermique ouvert (géothermie sur nappe)

Enfin, la géothermie sur aquifère (boucle ouverte) permet la production réversible de chaleur en hiver ou le rafraîchissement en été (Illustration 5).

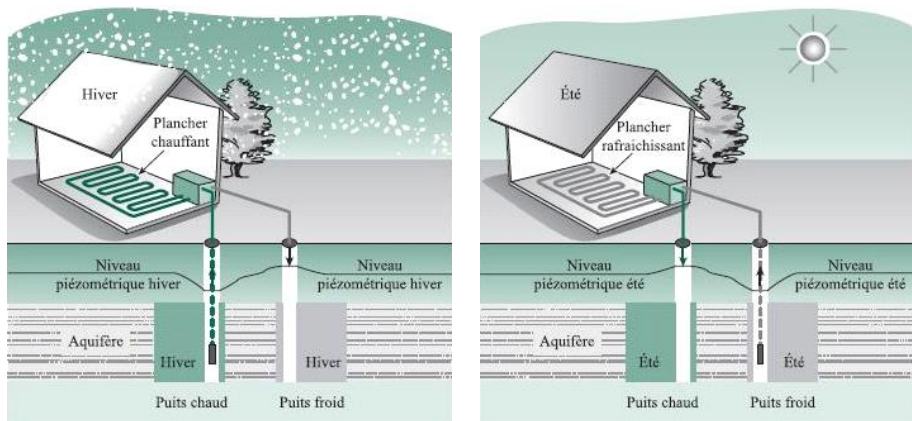


Illustration 5 : Production réversible de chaleur

2.3.2. Échangeur géothermique fermé

Les sondes géothermiques verticales (SGV), sont des échangeurs thermiques verticaux qui prélèvent de la chaleur emmagasinée dans le sol par conduction thermique le long d'un forage. L'ouvrage souterrain constitue l'échangeur thermique où cet échange énergétique avec le sous-sol s'effectue au niveau du forage et de son équipement qui forme un système géothermique. Celui-ci est constitué des éléments de l'espace annulaire, de la sonde permettant la circulation du fluide caloporteur et du fluide en lui-même. Le fluide caloporteur, de composition

variable, circule au sein d'une boucle de la sonde (en U ou double U) disposée dans un forage dont l'espace annulaire est comblé par un coulis spécifique (norme NF X-10-970²) (Illustration 6).

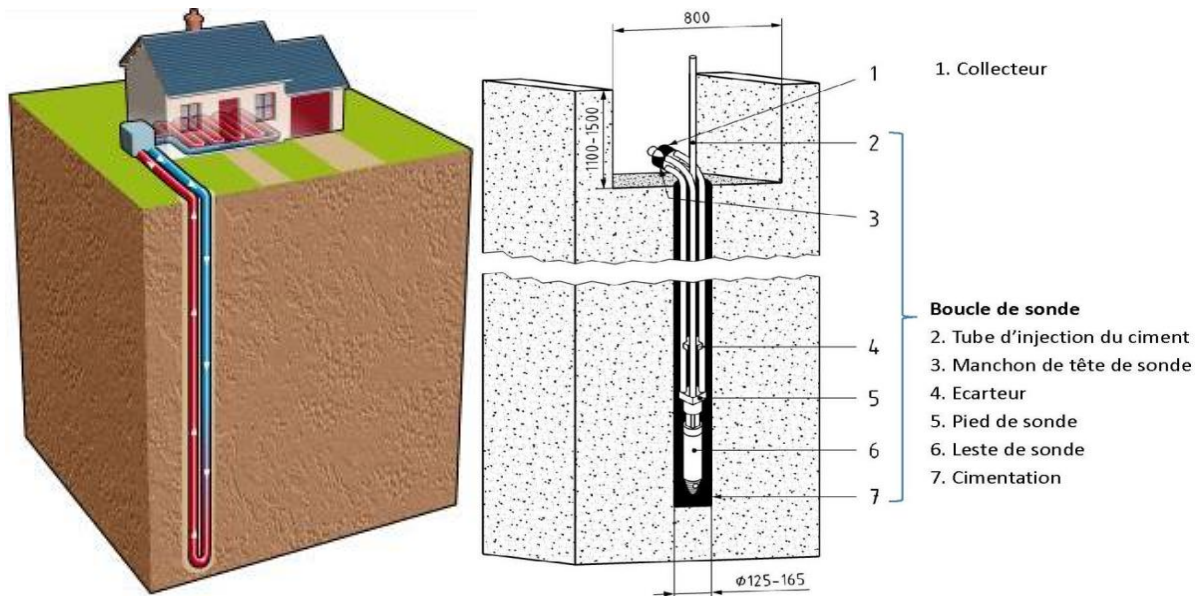


Illustration 6 : Échangeur géothermique fermé (sondes géothermiques verticales)

2.4. CONTEXTE REGLEMENTAIRE DE LA GEOTHERMIE

L'exploitation de la ressource énergétique, que compose la géothermie, est encadrée réglementairement par le Code minier qui considère « les gîtes renfermés au 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 », comme des mines. Pour les installations répondant à certains critères (notamment, moins de 200 m et moins de 500 kW), une réglementation dite « de minime importance » a été mise en place afin de simplifier les démarches (simple déclaration en ligne)

Pour de plus amples informations, le site internet « [géothermie-perspectives](http://www.geothermie-perspectives.fr) » traite de nombreuses thématiques et notamment :

- <http://www.geothermie-perspectives.fr/article/etape-3-reglementation-demarches>
- <http://www.geothermie-perspectives.fr/article/nouveau-cadre-reglementaire-geothermie-minime-importance>

La réglementation oblige à déclarer l'ouverture des travaux, elle se fait directement en ligne via <http://www.geothermie-perspectives.fr/article/demarchesGMI> ou sur le site du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire <https://www.geothermie.developpement-durable.gouv.fr/>

² La norme NF X-10-970 permet de garantir la réalisation d'un ouvrage de capteurs géothermiques verticaux de qualité tout respectant l'environnement. Cette garantie est possible grâce à la définition des règles de l'art, limites de prestation et transferts de responsabilité.

Pour encadrer le développement de cette énergie renouvelable et prévenir les risques de dommages matériels et environnementaux, les pouvoirs publics ont mis au point une carte réglementaire précisant les risques géologiques associés à la réalisation de forages géothermiques.

La carte distingue les zones selon l'importance des enjeux au regard des intérêts mentionnés aux articles L. 161-1 du Code minier :

- les zones dites rouges (classe 3) dans lesquelles la réalisation d'ouvrages de géothermie est réputée présenter des dangers et inconvénients graves et ne peut pas bénéficier du régime de la minime importance ;
- les zones dites oranges (classe 2) dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance ne sont pas réputées présenter des dangers et inconvénients graves et dans lesquelles est exigée la production de l'attestation prévue à l'article 22-2 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié ;
- les zones dites vertes (classe 1) dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance sont réputées ne pas présenter des dangers et inconvénients graves.

Dans la région Nouvelle-Aquitaine, hormis l'ex région Poitou-Charentes, les ex-région Aquitaine et Limousin ont fait l'objet d'une cartographie plus détaillée à l'échelle de leur territoire (Illustration 7).

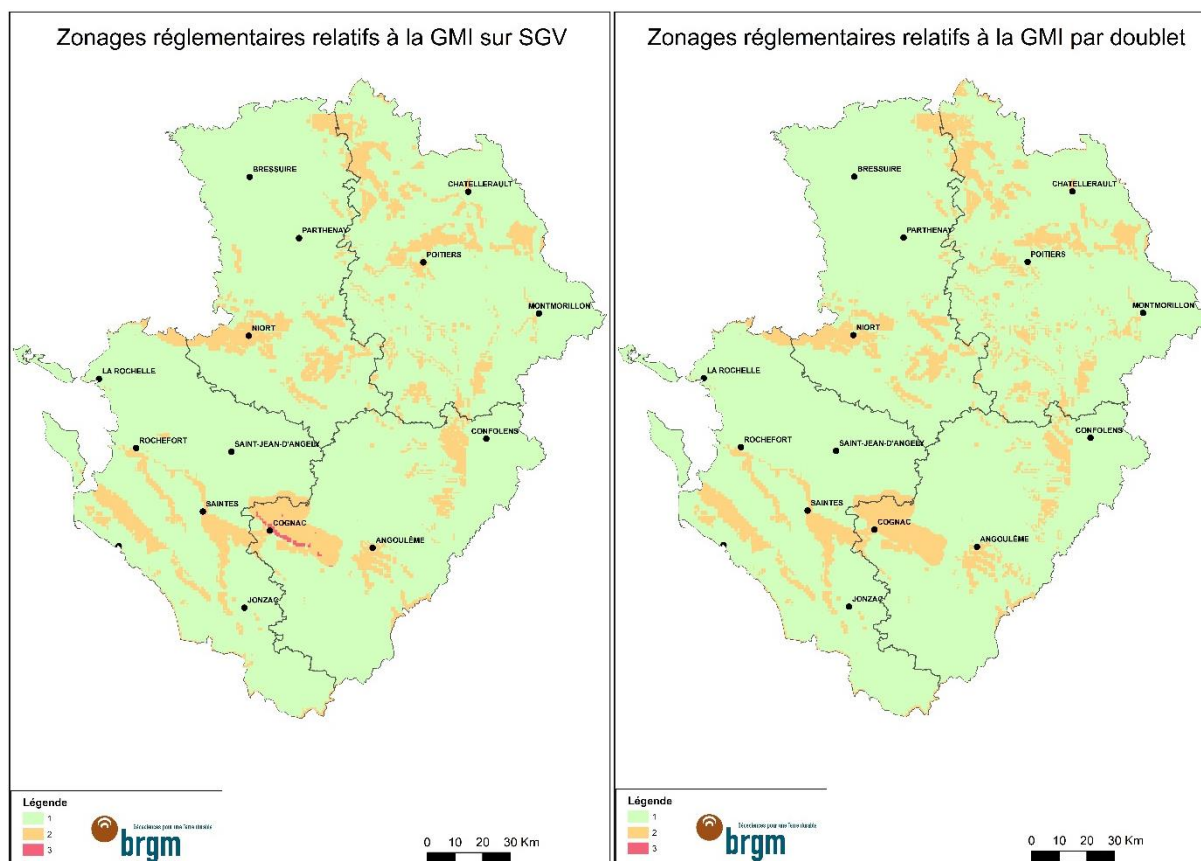


Illustration 7 : Cartographie des zonages réglementaires relative à la géothermie de minime importance sur l'ex région Poitou- Charentes
© BRGM

3. Contexte du Poitou-Charentes

3.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE

3.1.1. Généralités

L'ancienne région Poitou-Charentes est caractérisée par une situation de seuil entre deux massifs anciens (Armoricaïn et Central) et deux bassins sédimentaires (Parisien et Aquitain). Cette situation amène un empilement de roches sédimentaires, principalement calcaires, dans les bassins et une grande variété de roches granitiques, volcaniques ou métamorphiques (schistes, gneiss, ...) dans les massifs où les terrains les plus anciens ont un âge de 600 millions d'années environ.

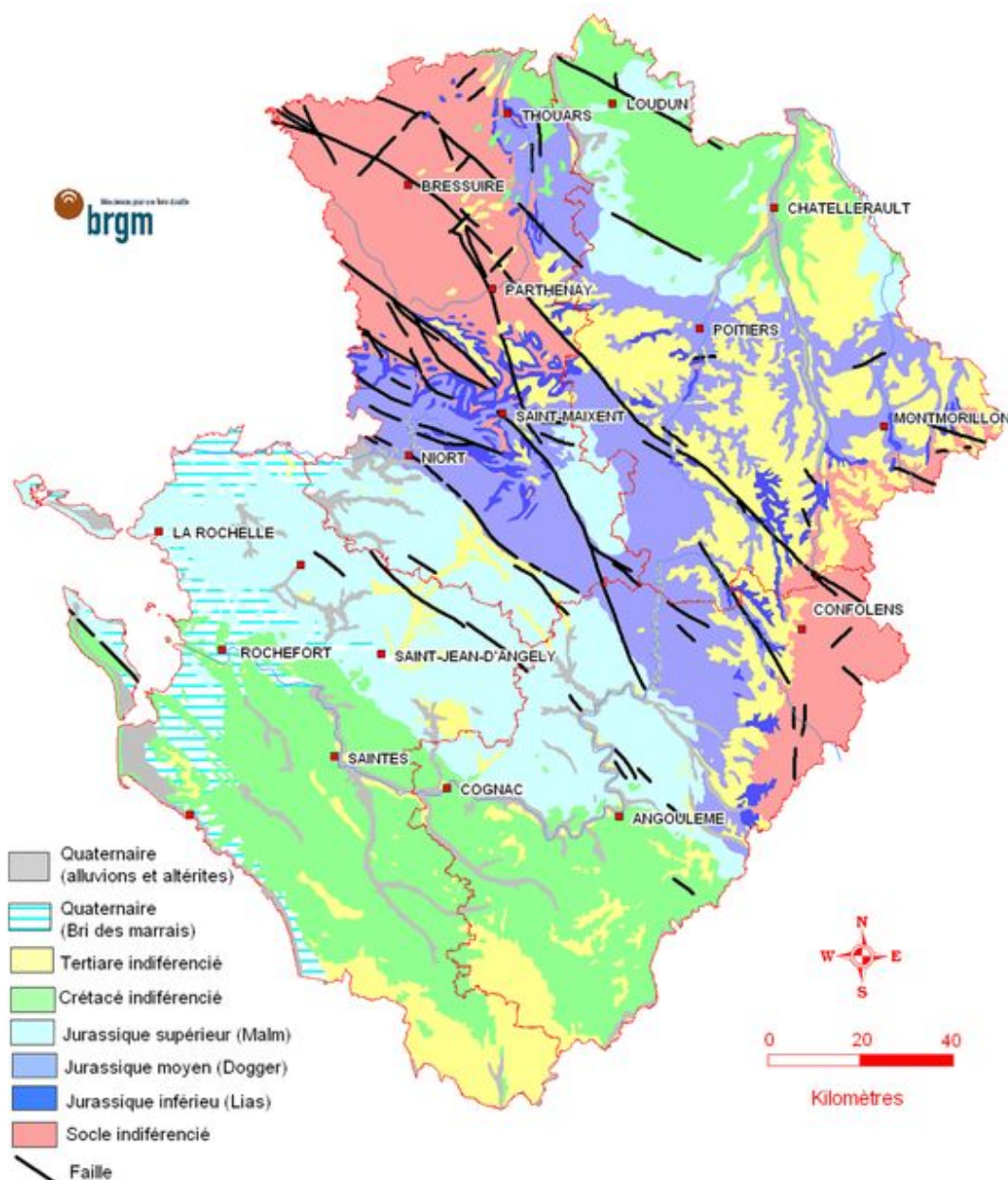


Illustration 8 : Carte géologique simplifiée de l'ancienne région Poitou-Charentes

3.1.2. Les socles des massifs armoricain et central

Ils sont constitués de terrains métamorphiques et magmatiques structurés par la surrection des différentes chaînes de montagnes du Paléozoïque (Primaire), en particulier la chaîne hercynienne (Carbonifère, environ 300 Ma), en grandes unités séparées par des accidents profonds : des failles.

Ces failles (failles de Montreuil-Belay, de Bressuire, d'Availles-Limouzine, de Secondigny, de Vilhonneur, de Parthenay ...) ont pour la plupart une direction « armoricaine » (NO-SE). Elles traversent, entre les deux massifs, le Seuil du Poitou sur lequel la couverture sédimentaire est peu épaisse et où le socle affleure parfois en fond de vallée. De part et d'autre du seuil, on observe un plongement du socle en direction des deux bassins, par décalage par faille selon un dispositif en « marches d'escalier ».

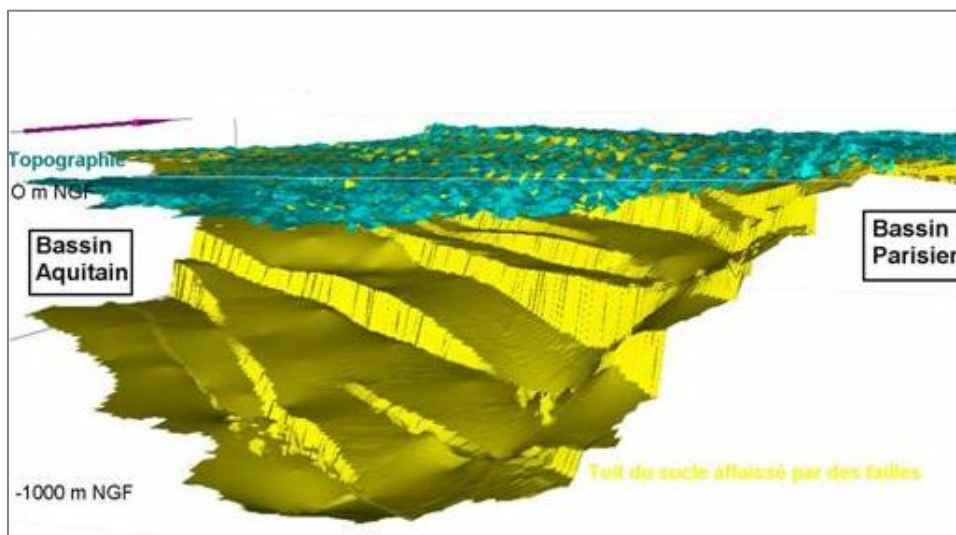


Illustration 9 : Bloc-diagramme représentant la chute du toit du socle (en jaune) de part et d'autre du seuil du Poitou (surface topographique en bleu) [vu depuis le Sud]

3.1.3. Les formations des bassins sédimentaires

Ces dépôts correspondent à des séries marines essentiellement carbonatées, témoins de nombreux épisodes de transgression/régression de la mer. Depuis le Lias (Jurassique inférieur, 200 Ma), la tendance est à la submersion du socle armoricain qui constitue pendant toute la période du Mésozoïque un domaine continental « pénéplané » entouré par une vaste plate-forme carbonatée.

La fin du Jurassique (-150 Ma) est marquée par le départ progressif de la mer. Le Jurassique supérieur disparaît localement en partie par érosion et, quand le Jurassique terminal affleure (Tithonien), il est caractérisé par la présence d'évaporites (en Charente et Charente-Maritime).

Le Crétacé inférieur, quasiment absent en Poitou-Charentes, témoigne d'une longue période d'émersion et d'érosion.

Le début du Crétacé supérieur (Cénomaniens, 100 Ma) correspond à une phase transgressive, avec le retour à des conditions marines de plate-forme. Le Crétacé supérieur, représenté dans la moitié sud de la Charente et dans la partie nord des départements de la Vienne et des

Deux-Sèvres, correspond à des faciès carbonatés, crayeux, bioclastiques parfois gréseux. Dans le Bassin Aquitain, les premiers effets de la surrection de la chaîne pyrénéenne se font sentir.

Le passage Crétacé au Tertiaire (60 Ma) est caractérisé par le retour à des environnements de dépôts continentaux et une généralisation des faciès détritiques : sables et grès, argiles, lignites... Les dépôts du Cénozoïque (Tertiaire) correspondent en Poitou-Charentes à des appareils fluviaux (sables, graviers et galets), des plaines d'inondation, des calcaires lacustres (à l'Eocène et à l'Oligocène), des altérites.

Enfin, au Quaternaire, des systèmes alluviaux avec des successions de terrasses se mettent en place. Dans les zones littorales, la transgression flandrienne, due à la fonte des glaciers à la fin de la dernière époque glaciaire (Würm, 12 000 ans), implique le dépôt de terrains argileux appelés « Bri ».

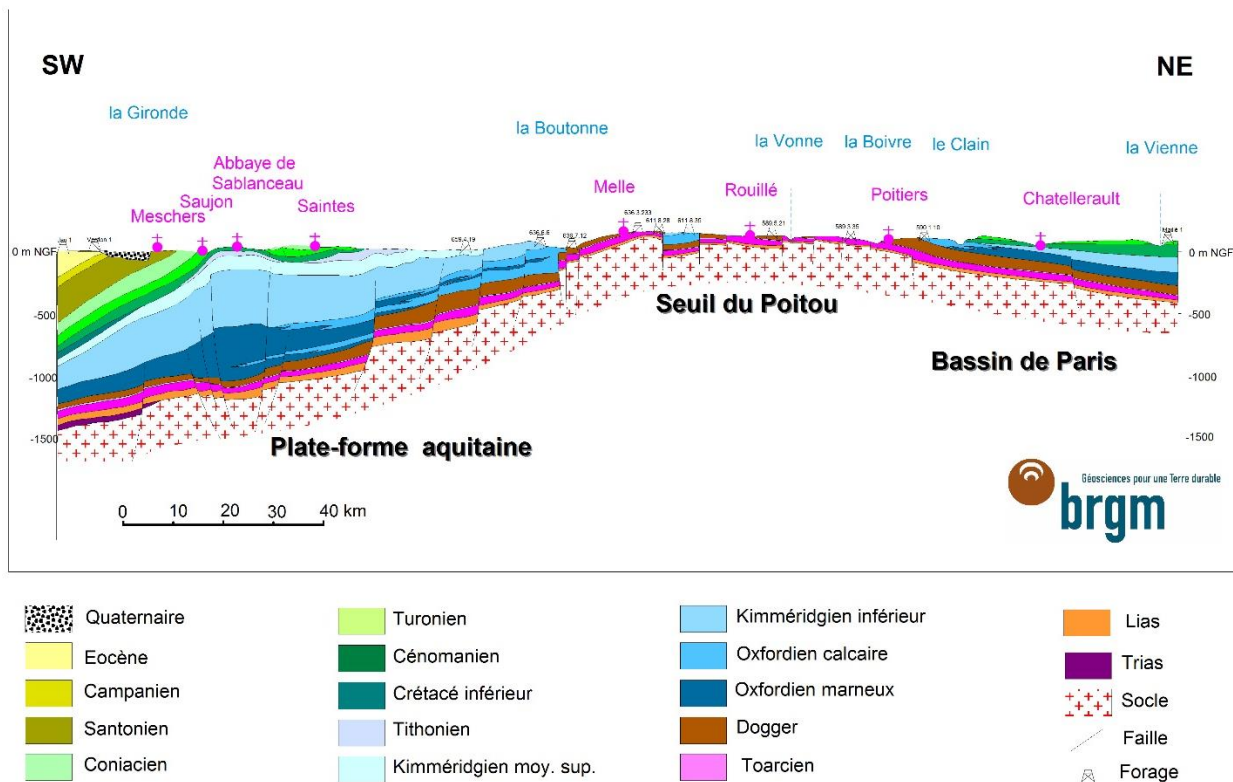


Illustration 10 : Coupe géologique régionale à travers le Seuil du Poitou

3.1.4. Les grandes structures géologiques

Les formations du Crétacé supérieur et du Tertiaire enregistrent les effets de la collision de la plaque africaine et des plaques européenne et ibérique, avec le développement de la chaîne pyrénéenne au sud. De nombreuses failles du socle sont alors réactivées et induisent des déformations ductiles (plis) et des déformations cassantes (failles) dans la couverture sédimentaire.

Les principales structures (Illustration 11) résultant de ces phénomènes tectoniques sont :

- Dans le Bassin aquitain :

- anticlinaux de St Césaire, Gémozac, Jonzac, Hiersac, St Félix, Montmoreau, Mareuil, Montendre, la Clotte ;
- synclinal de Saintes ;
- failles de l'Echelle, de Vilhonneur, d'Aiffres, de Blanzay.
- Sur le Seuil du Poitou :
 - dôme de Melle, grabens de St Maixent et de Lezay, horsts de Montalembert et de Champagné ;
 - failles de Parthenay, d'Asnois, d'Availles-Limouzine, de Chantonay, de Secondigny.
- Dans le Bassin de Paris :
 - anticlinaux de Richelieu, Châtelleraut ;
 - synclinaux de Ligeuil, de Loudun, cuvette de Martizay.

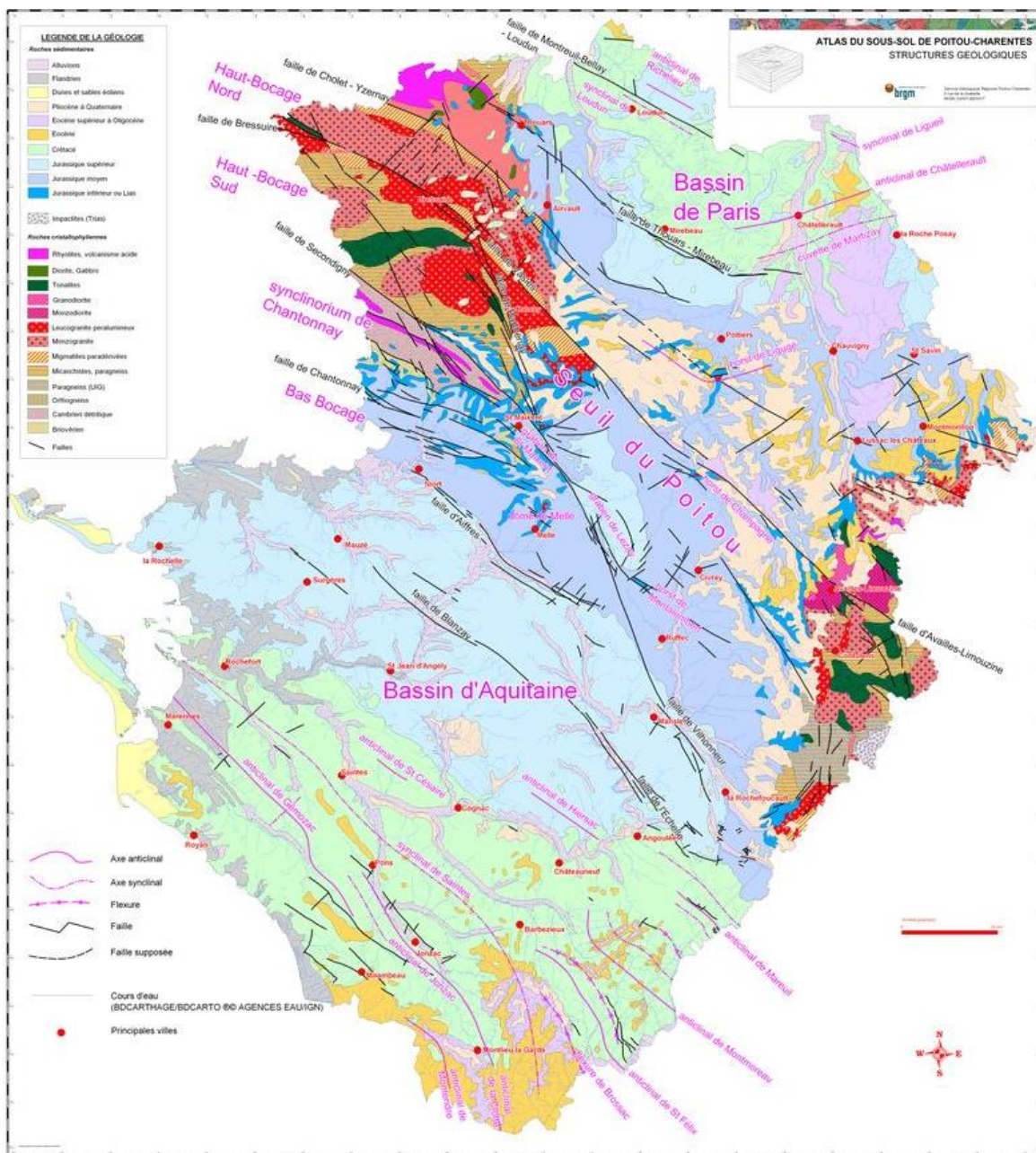


Illustration 11 : Structures géologiques de Poitou-Charentes

3.2. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Sur le socle Armoricaïn et du Massif Central, la frange d'altération et de fracturation contiennent des nappes, en général peu productives et peu profondes (profondeur de la zone aquifère en général inférieure à 50 m). Ces nappes circulent selon la topographie, le bassin versant topographique correspondant alors au bassin versant souterrain.

Le réseau hydrographique est dense et très bien distribué traduisant un bon drainage des eaux météoriques. Du fait qu'il n'y ait pas de stocks souterrains conséquents, les cours d'eau réagissent rapidement à la pluviosité et les graphes hydrologiques montrent des crues et des décrues rapides avec peu de décalage par rapport à l'épisode pluvieux.

Les bassins versants concernés par ce type de substratum sont : la Sèvre Nantaise et le Thouet (pro-parte), les parties amont de l'Autize, de la Vienne, de la Gartempe, de la Creuse, de la Charente et de certains affluents du Clain.

Au-dessus du socle, dans les deux bassins sédimentaires, se trouve l'aquifère de l'Infra-Toarcien ; peu présent à l'affleurement, il passe rapidement sous couverture sous le Dogger pour devenir un aquifère captif.

L'aquifère du Dogger, séparé de l'Infra-Toarcien par un niveau imperméable (marnes du Toarcien), est formé de calcaires plus ou moins karstifiés. De fait, en surface, le réseau hydrographique y est très peu dense. Les circulations des eaux en souterrain se font vers des exutoires parfois très importants comme les sources du Viviers à Niort et la Touvre près d'Angoulême (seconde source de France par son débit).

Les rivières peuvent se perdre complètement dans le karst comme c'est le cas pour la Dive du Sud et la Bouleure à Lezay, la Tardoire et le Bandiat. Les bassins versants topographiques ne correspondent pas forcément aux bassins souterrains. Des transferts d'eau sont fréquents d'un bassin topographique à l'autre. C'est en particulier le cas sur le Seuil du Poitou, zone où les rivières hésitent entre bassin de Paris et bassin Aquitain. La ligne de séparation des eaux peut toutefois être tracée et correspond à la direction structurale majeure : NO-SE. Ce contexte se retrouve principalement dans le département de la Vienne, et dans une moindre mesure en Deux-Sèvres et dans le Nord du département de la Charente. Les bassins les plus concernés sont : le Clain et ses affluents, la partie amont de la Sèvre Niortaise, la Dive du Nord, la partie amont de la Charente. Ces aquifères disposent à la fois de capacités de stockage et de bonnes conductivités hydrauliques. Les hydrogrammes des rivières montrent des décrues relativement atténuées par l'apport des nappes. Les pics de crue sont souvent décalés d'environ 2 jours par rapport à l'épisode pluvieux. L'hydrogramme de la Touvre illustre à l'extrême cette capacité d'amortissement des transferts souterrains. Les rivières disposent donc de stocks tampons souterrains permettant de les alimenter l'été. Les bassins versants concernés ont des étiages un peu moins critiques que dans les autres secteurs de la région.

Le troisième contexte hydrogéologique correspond aux domaines à aquifère fissuré. Le Jurassique supérieur, en général calcaréo-marneux et peu perméable, contient dans ses zones d'affleurement une nappe superficielle correspondant à une frange d'altération et de fissuration. L'épaisseur de cette frange est rarement supérieure à 30 m. Les eaux circulent, globalement selon la topographie, dans le réseau de fissures et de plans de stratification. Ce réservoir est peu capacitif mais assez fortement transmissif. Le régime des rivières traduit ces propriétés. Les eaux de pluie sont en effet rapidement évacuées vers les rivières qui présentent des hydrogrammes assez peu amortis. L'été la nappe s'épuise rapidement, décroche de la rivière dans les zones amont ce qui peut entraîner des assècs sévères. Les bassins versants concernés sont la Pallu

au Nord, ceux du Mignon-Courance, du Curé, de l'Aume-Couture, de l'Antenne, de la Boutonne et de la Devise.

Dans ces bassins versants, les prélèvements souvent importants viennent aggraver une situation à l'étiage naturellement difficile.

Dans la partie méridionale de la région, les nappes du Crétacé supérieur présentent un contexte intermédiaire entre les deux derniers types de situation décrits précédemment. Le Turonien-Coniacien, et dans une moindre mesure le Cénomaniens, correspondent à un contexte karstique.

Dans les zones d'affleurement de ces terrains les réseaux hydrographiques sont peu denses. En revanche, l'importante couverture calcaréo-marneuse, qui vient au-dessus de ces formations, est peu perméable à imperméable. Elle peut toutefois se trouver fissurée et permettre des échanges des nappes profondes avec la surface. On trouve aussi dans la frange d'altération de ces terrains marneux en surface une nappe de milieu fissuré à productivité médiocre.

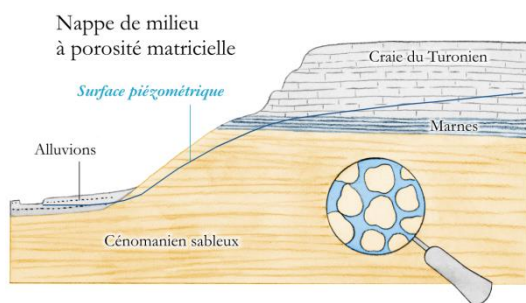
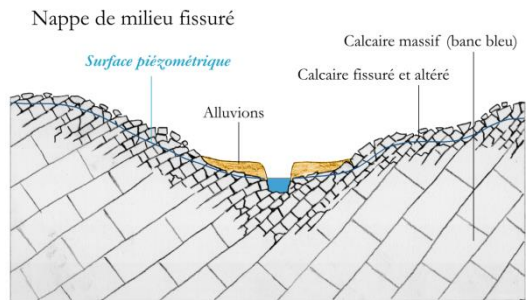
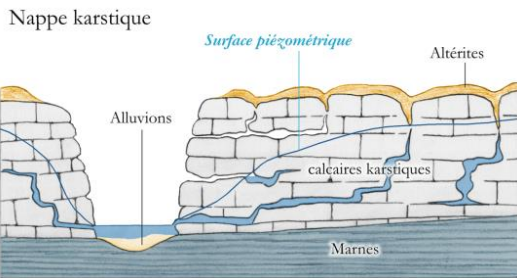
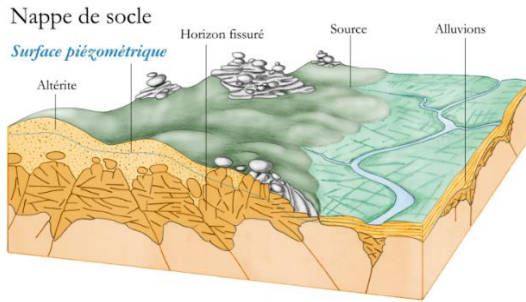
Enfin, le dernier type d'aquifère correspond au réservoir à matrice principalement sableuse. L'eau est contenue entre les grains de la matrice. Ces réservoirs sont fortement capacitifs mais en revanche peu transmissifs. Les graphes des piézomètres montrent en général des battements faibles traduisant cet effet capacitif. Le réseau hydrographique est dense sur un tel substratum. Par ailleurs, le débit des rivières est assez soutenu par ces nappes en période d'étiage. On rencontre ce type de contexte au Nord, dans le Bassin de Paris, sur le Cénomaniens, au Sud, dans le Bassin Aquitain sur les formations sablo-argileuses du Tertiaire, et plus largement dans toutes les vallées à substratum alluvial.

Dans tous les cas de figure, l'observation d'un cycle hydrologique (d'un étiage à l'autre), avec croisement des données hydrologiques, piézométriques et météorologiques, montre un fonctionnement similaire. Les premières pluies de l'automne rechargent la Réserve Utile du sol. La nappe et la rivière réagissent peu aux épisodes pluvieux. Les pluies suivantes contribuent principalement aux recharges des nappes. Les rivières réagissent encore assez faiblement. Lorsque nappe et Réserve Utile sont rechargées, les rivières réagissent nettement aux nouvelles pluies. Enfin, au printemps s'amorce la décrue des rivières et des nappes. Les caractéristiques de ces dernières, véritables réservoirs tampons, déterminent la sévérité des étiages.

Les relations nappe/rivière sont donc complexes et souvent variables dans l'année. En effet, dans beaucoup de cas les échanges s'inversent entre les périodes de hautes eaux, où les nappes viennent alimenter les rivières, et les périodes de basses eaux où c'est souvent le contraire qui se produit.

L'illustration 12 présente les quatre grands contextes hydrogéologiques rencontrés en Poitou-Charentes.

Fonctionnement schématique



Caractéristiques générales

Porosité de matrice et de fissures

Epaisseur : de la surface à 50 m de profondeur maximum
Stocks : faibles
Réseau hydrographique : dense
Régime des cours d'eau : forte réactivité en crue comme en décrue
Localisation : Massif Central et Armoricaïn

Chenaux karstiques et fissures

Epaisseur : de la surface à plusieurs centaines de mètres de profondeur
Stocks : moyens à élevés si les remplissages sablo-argileux du karst sont abondants
Réseau hydrographique : réduit aux drains principaux
Régime des cours d'eau : les nappes viennent amortir les crues et décrues des rivières et soutiennent les étiages
Localisation : Dogger et Infra-Toarcien en Vienne et Deux-Sèvres, du Cénomanien au Coniacien dans les Charentes

Porosité de fissures

Epaisseur : de la surface à 25-30 m maximum
Stocks : moyens à faibles
Réseau hydrographique : densité moyenne
Régime des cours d'eau : les nappes viennent amortir les crues et décrues mais elles s'épuisent rapidement et à l'étiage les rivières connaissent des assècs importants
Localisation : Nord Vienne, sud Deux-Sèvres, nord des Charentes

Porosité inter granulaires (matricielle)

Epaisseur : quelques dizaines de mètres
Stocks : importants mais en général transmissivité faible
Réseau hydrographique : densité moyenne à élevée
Régime des cours d'eau : les nappes constituent des stocks tampons qui viennent soutenir les étiages
Localisation : Cénomanien dans le nord de la Vienne, nappes alluviales et dunes littorales, Tertiaire au nord et au sud

Localisation en Poitou-Charentes

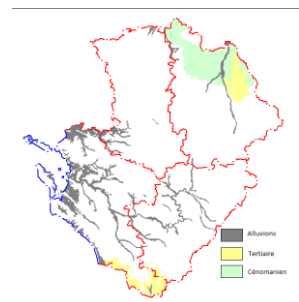
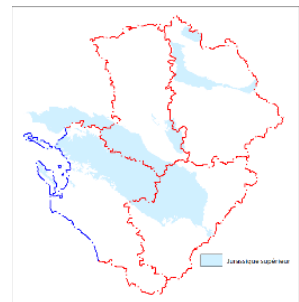
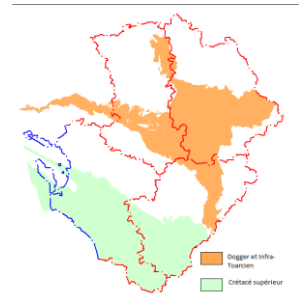
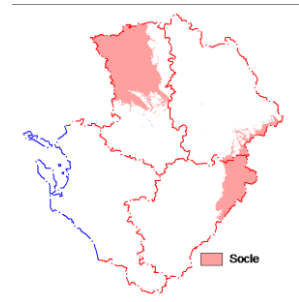


Illustration 12 : Synthèse des principaux aquifères du territoire picto-charentais (source : synthèse par bassin versant)

4. Conception de l'atlas du potentiel géothermique

4.1. METHODOLOGIE GENERALE

L'objectif de l'atlas est de présenter (au niveau d'un réseau de mailles carrées de 500 m x 500 m) :

- pour le potentiel géothermique sur sondes géothermiques verticales : une cartographie de la conductivité thermique moyenne sur 50 m, 100 m ou 200 m de profondeur, exprimée en W/(m.K).
- pour le potentiel géothermique sur aquifère : une cartographie d'une notation du potentiel intégrant productivité de l'aquifère, température de la ressource et profondeur d'accès à la ressource, et ce pour chaque aquifère identifié au centre de chaque maille.

Pour ce faire, un modèle numérique a été réalisé, afin de préciser au droit de chaque maille les diverses formations géologiques en présence (aquifères ou imperméables) jusqu'à une profondeur de 200 m. Chaque formation s'est vue attribuer diverses caractéristiques : géométrie (cote du toit et du mur), conductivité thermique, et pour les aquifères : débit d'exploitation moyen potentiel, température de l'eau et cote piézométrique de hautes eaux.

4.2. CONSTITUTION D'UN MODELE NUMERIQUE GEOLOGIQUE

Concernant les aquifères sédimentaires, l'étude s'est appuyée sur les deux grands modèles hydrogéologiques régionaux développés par le BRGM, dont l'extension est reportée en Illustration 13 :

- celui des aquifères du Jurassique qui s'étend d'une ligne Rochefort-Angoulême au Sud jusqu'à Châtelleraut au Nord ;
- celui des aquifères du Crétacé en Sud-Charentes.

Ces deux grands modèles régionaux, à la maille du kilomètre carré, reconstituent l'empilement et la géométrie des différentes nappes des bassins sédimentaires. La structure originelle des modèles a été reprise (Illustration 14), les formations du Crétacé (du Cénomaniens au Coniacien) étant détaillées uniquement dans le secteur Sud-Ouest de la région.

Pour les zones non couvertes par les modèles, la géométrie des formations géologiques a été approchée à travers la synthèse des données des forages de la Banque de données du Sous-Sol (BSS) et des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000. Une fois le modèle complété à l'échelle de la maille kilométrique, un processus d'interpolation linéaire des diverses couches géologiques a été opéré à la maille de 500 m de côté.

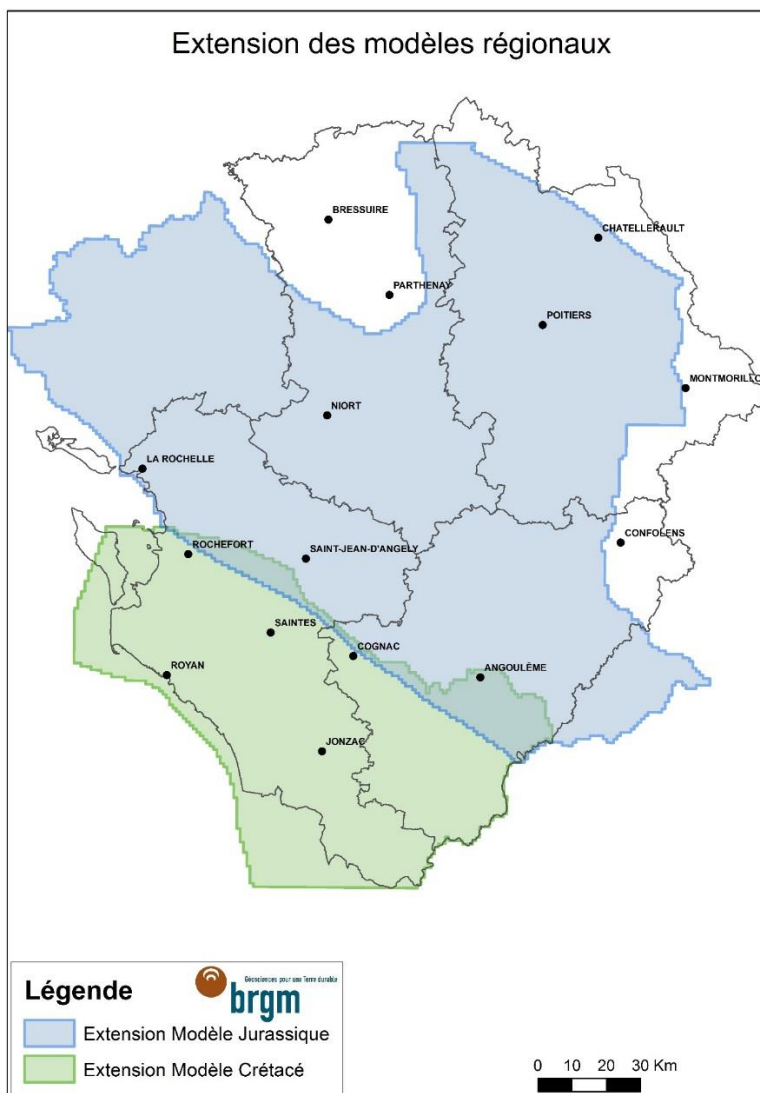


Illustration 13 : Extension des deux modèles hydrogéologiques du BRGM

MODELE CRETACE		MODELE JURASSIQUE	
C1	FORMATIONS SUPERFICIELLES	J1	BRIS MARAIS / ALTERITES DU TERTIAIRE
C2	CAMPANIEN 4,5 - AQUIFERE		
C3	CAMPANIEN 1, 2, 3 ET SANTONIEN		
C4	CONIACIEN - AQUIFERE	J2	CRETACE INDIFFERENCIE (CENO INF AU CONIACIEN) - AQUIFERE
C5	TURONIEN - AQUIFERE		
C6	TURONIEN INF ET CENOMANIEN SUP		
C7	CENOMANIEN MOY ET INF - AQUIFERE		
C8	CENOMANIEN BASAL ET JURASSIQUE SUP	J3	JUR SUP ALTERE - AQUIFERE
		J4	JUR SUP NON ALTERE
		J5	DOGGER - AQUIFERE
		J6	TOARCIEN
		J7	INFRA-TOARCIEN - AQUIFERE
		J8	SOCLE - AQUIFERE

Illustration 14 : Couches prises en compte dans les modèles Crétacé et Jurassique (les couches écrites en noires sont imperméables ; les couches écrites en bleues sont les aquifères)

Un travail complémentaire a été réalisé en domaine de socle (Illustration 15), avec une méthodologie également employée au niveau du Limousin, assurant ainsi une continuité notamment des cartes de faciès lithologiques et de conductivités thermiques associées.

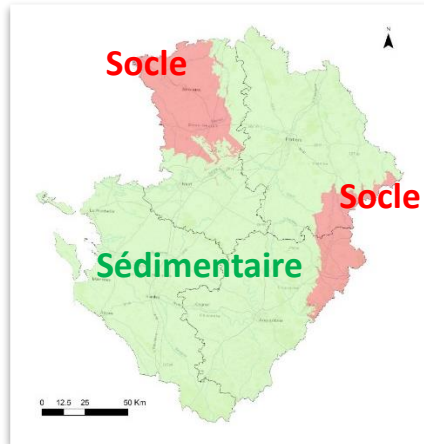


Illustration 15 : Localisation des domaines de socle en Poitou-Charentes

En domaine de socle, les cartes géologiques harmonisées à 1/50 000 présentent une grande variété de terrains métamorphisés suivant leur origine et leur évolution. De fait, les lithologies y sont décrites de façon précise. Dans un premier temps, les cartes ont été simplifiées en grandes familles lithologiques : dépôts superficiels, alluvions, granite, micaschiste, grès argileux, calcaire micritique, etc. (Illustration 16-A). Cette carte géologique simplifiée est ensuite utilisée pour définir la formation majoritaire dans chaque maille de 500 m x 500 m (Illustration 16-B-C).

La carte géologique harmonisée comporte des formations superficielles (de recouvrement) telles que les alluvions, les colluvions ou les dépôts quaternaires. Ces formations sont généralement peu épaisses et ne sont pas prises en compte notamment pour la mise en place de sondes géothermiques ; elles ont été retirées de la carte géologique, en réalisant une « érosion sélective » afin d'identifier les terrains sous-jacents.

Un algorithme simple d'érosion est appliqué aux formations superficielles sur le maillage géologique simplifié en suivant le principe suivant :

- à une maille « formation superficielle » est affectée la formation majoritaire présente dans les quatre mailles nord, sud, est et ouest autour d'elle;
- en cas d'égalité, les huit mailles voisines de la maille « formation superficielle » sont prises en compte. En cas de nouvelle égalité, un tirage aléatoire est effectué pour choisir la formation attribuée à la maille « formation superficielle » ;
- une maille « formation superficielle » entourée de 2 mailles « formation superficielle » ou plus n'est pas modifiée dans l'itération courante ;
- afin d'éviter les effets indésirables liés à l'ordre de traitement des mailles, l'érosion est effectuée par itérations successives, l'affectation définitive d'une formation n'étant effectuée qu'à la fin d'une itération.

Cette érosion simplifiée permet d'obtenir une grille géologique sans formations superficielles (Illustration 16-D). Les formations attribuées aux mailles présentant initialement des « formations superficielles » sont des extrapolations réalisées à l'aide d'un algorithme simple et ne prétendent pas représenter la formation réellement présente sous les alluvions ou autres. Cependant, au vu de l'échelle de travail, l'approximation est valable, surtout pour les alluvions ou colluvions qui sont généralement peu étendus.

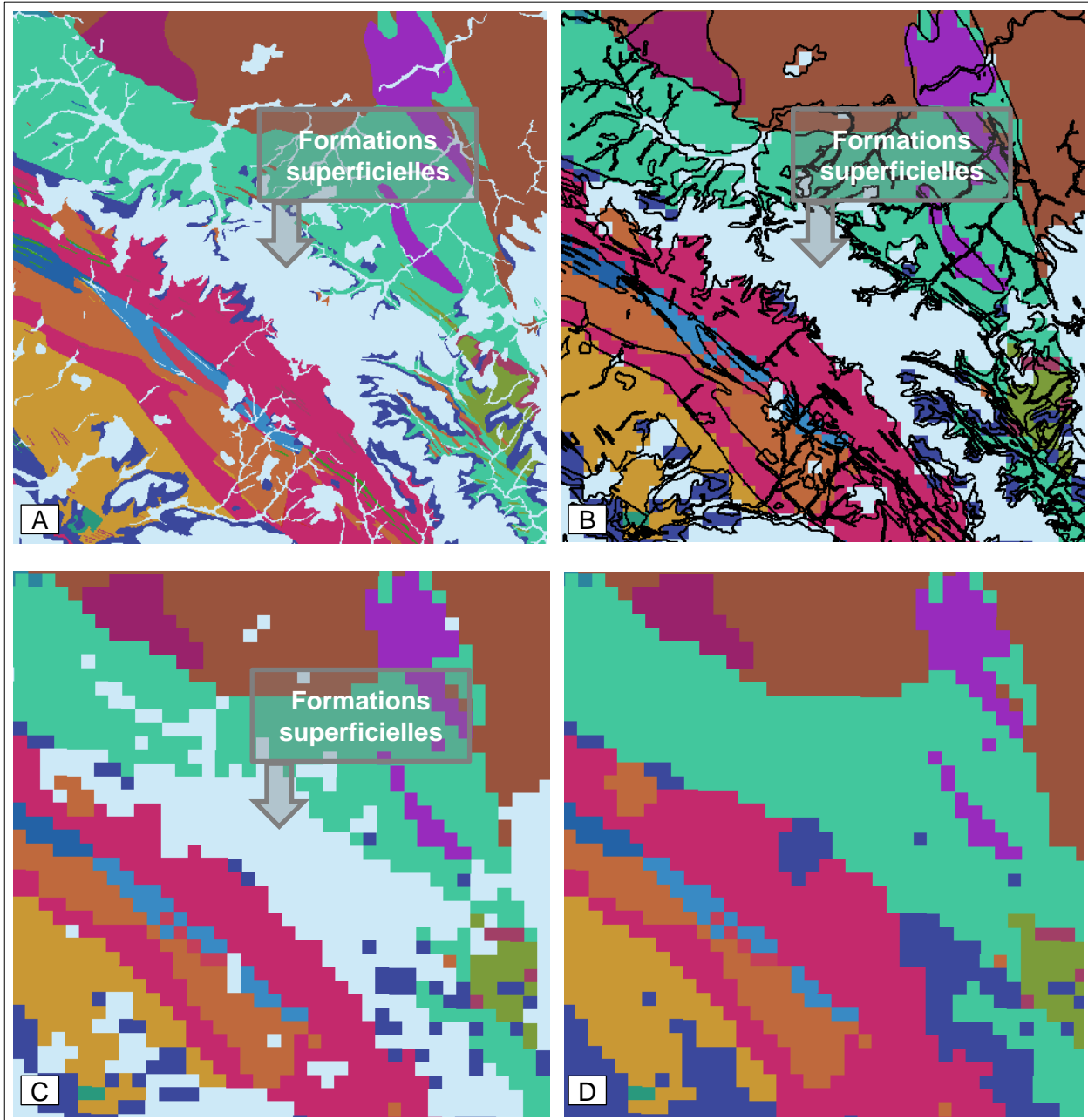


Illustration 16 : Identification des substrats géologiques (retrait des formations superficielles) en zone de socle et simplification lithologique

La carte lithologique simplifiée des zones de socle en Poitou-Charentes est présentée dans l'illustration 17.

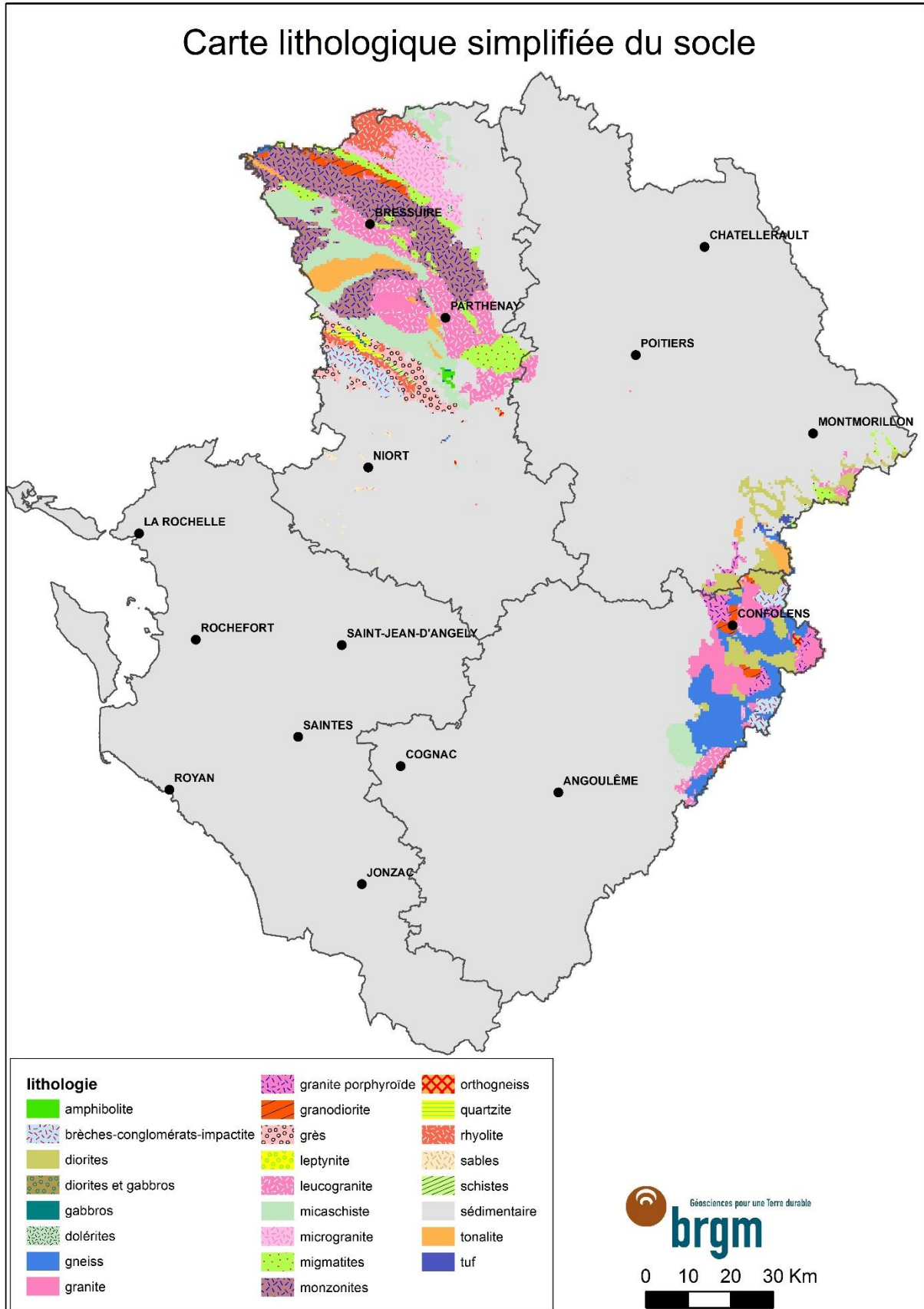


Illustration 17 : Carte lithologique simplifiée des zones de socle en Poitou-Charentes

5. Estimation du potentiel géothermique

5.1. POTENTIEL DE LA GEOTHERMIE EXPLOITE PAR LA TECHNIQUE DES SONDES GEOTHERMIQUES VERTICALES (SGV)

Afin d'exprimer le potentiel de la solution sur Sondes Géothermiques Verticales (SGV), une cartographie indicative de la conductivité thermique (exprimée en W/m/K) a été réalisée.

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.

A chaque niveau géologique du modèle numérique a été associée une valeur de conductivité thermique. Les valeurs de conductivité thermique retenues correspondent à des valeurs théoriques issues de la norme suisse SIA-384/6 relative aux SGV. Elles varient en zone sédimentaire entre 1,8 W/m/K (formations marneuses du Jurassique supérieur altéré) et 3,2 W/m/K (calcaires du Dogger). En domaine de socle les valeurs sont plus importantes, comprises entre 1 W/m/K (sables) et 5.4 W/m/K (quartzite).

5.1.1. Cartographie de la conductivité thermique en zone de socle

Sur la partie du territoire couverte par des formations de socle, des valeurs uniformes de conductivité thermique ont été imposées sur la tranche des 0 – 200 m d'épaisseur. Le tableau des valeurs théoriques attribuées est présenté en Illustration 18 et la cartographie résultante en Illustration 19.

TYPE de ROCHE	CONDUCTIVITE THERMIQUE (W/m/K)
amphibolite	2.6
brèches-conglomérats-impactite	3
diorite	2.3
diorite et gabbro	2.15
dolérite	2
gabbro	2
gneiss	3
granite	3
granite porphyroïde	3.5
granodiorite	2.7
grès	3.4
leptynite	3
leucogranite	3
micaschiste	3.5
microgranite	3
migmatite	3
monzonite	3.2
orthogneiss	3.5
quartzite	5.4
rhyolite	2.3
sable	1
schiste	2.55
tonalite	2.3
tuf	2.5

Illustration 18 : Valeurs de conductivité thermique selon la lithologie des terrains en domaine de socle.

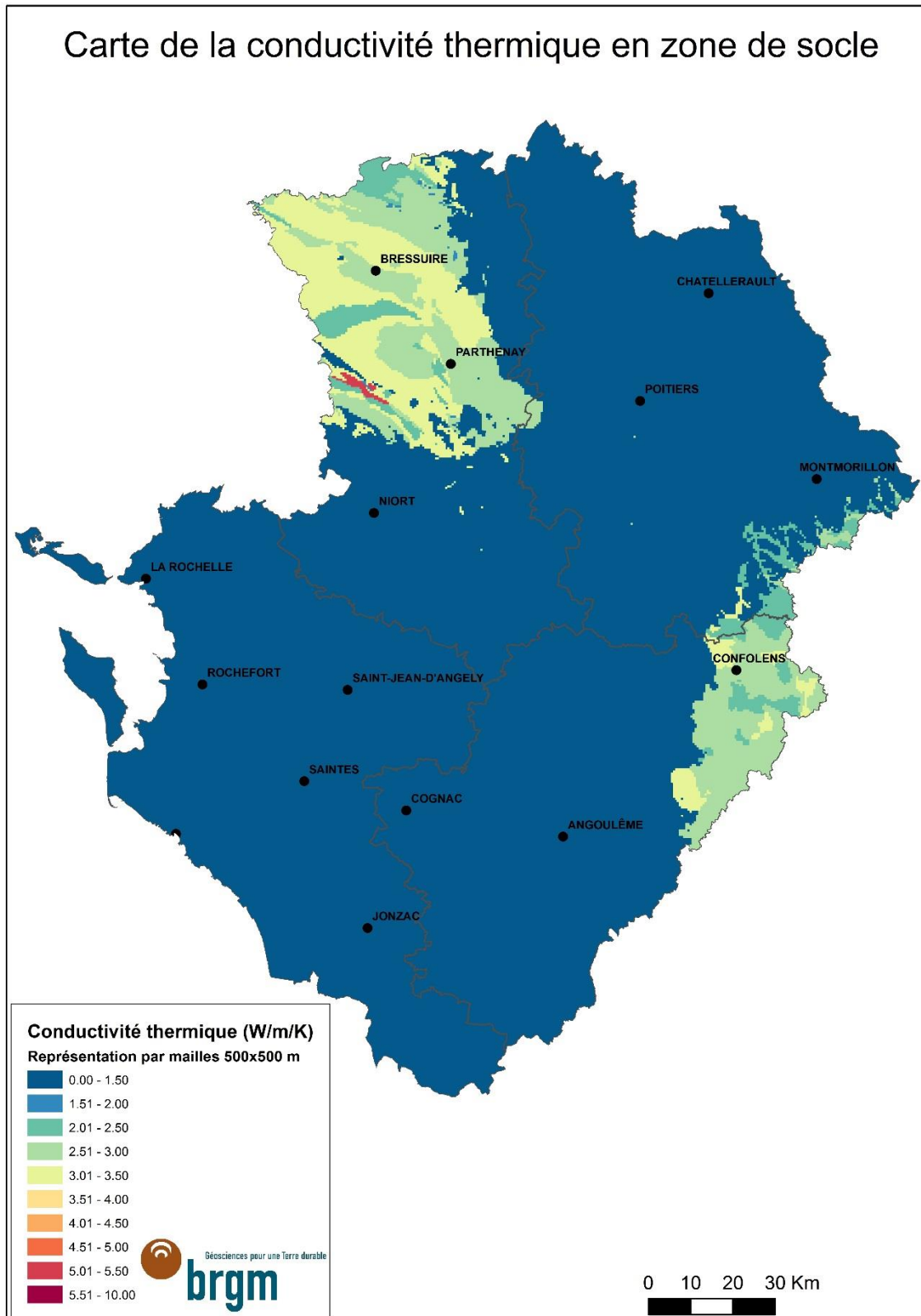


Illustration 19 : Carte de la conductivité thermique en domaine de socle.

5.1.2. Valeurs de la conductivité thermique en zone sédimentaire

Illustration 20 présente un tableau des valeurs théoriques de conductivité thermique attribuées aux diverses formations géologiques présentes en domaine sédimentaire. La valeur de la conductivité thermique évoluant avec la profondeur, des calculs de valeurs moyennes ont été réalisés sur trois tranches de profondeur : 0 – 50 m, 0 – 100 m et 0 – 200 m.

En domaine sédimentaire, une valeur homogène de 3,5 W/m/K (valeur typique du granite) a été attribuée à la formation correspondant au socle.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE	CONDUCTIVITE THERMIQUE (W/m/K)
Formations superficielles/Altérites	2.3
Campanien (sud)	3.2
Campanien-Santonien (sud)	2.1
Coniacien (sud)	3.2
Turonien (sud)	3.2
Turonien inf. et Cénomaniens sup (sud)	2.1
Cénomaniens moy. et inf. (sud)	2.3
Cénomaniens basal - jurassique sup (sud)	2.1
Crétacé indifférencié (nord)	2.3
Jurassique sup altéré	2.8
Jurassique sup non altéré	1.8
Dogger	3.2
Toarcien	2.1
Infra-Toarcien	2.8

Illustration 20 : Valeurs de conductivité thermique selon la lithologie des terrains en domaine sédimentaire.

5.1.3. Cartographie de la conductivité thermique

Les cartographies présentées dans les illustrations permettent de visualiser la conductivité thermique moyenne sur 3 épaisseurs différentes :

- La valeur moyenne sur 50 mètres d'épaisseur (Illustration 21) ;
- La valeur moyenne sur 100 mètres d'épaisseur (Illustration 22) ;
- La valeur moyenne sur 200 mètres d'épaisseur (Illustration 23).

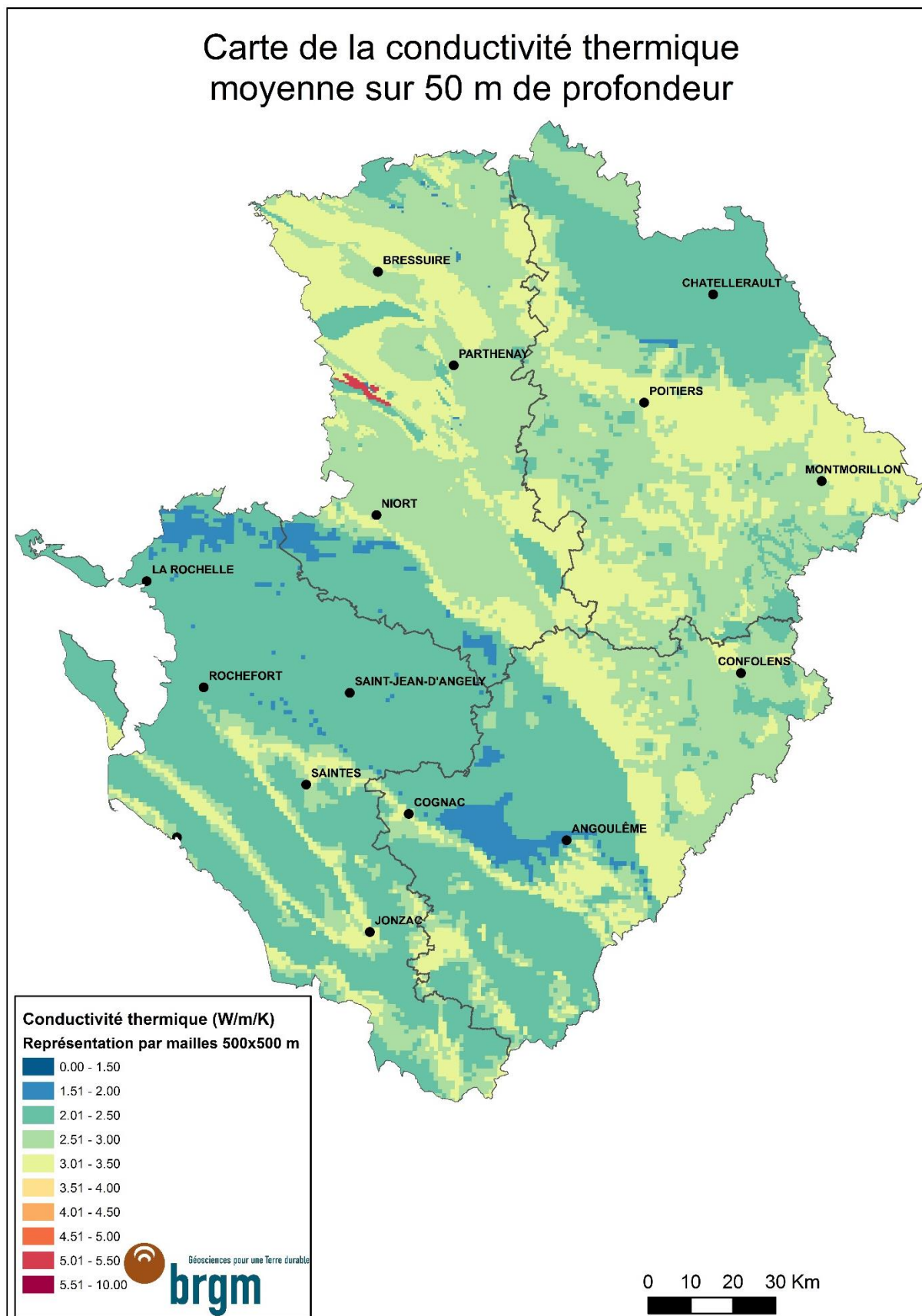
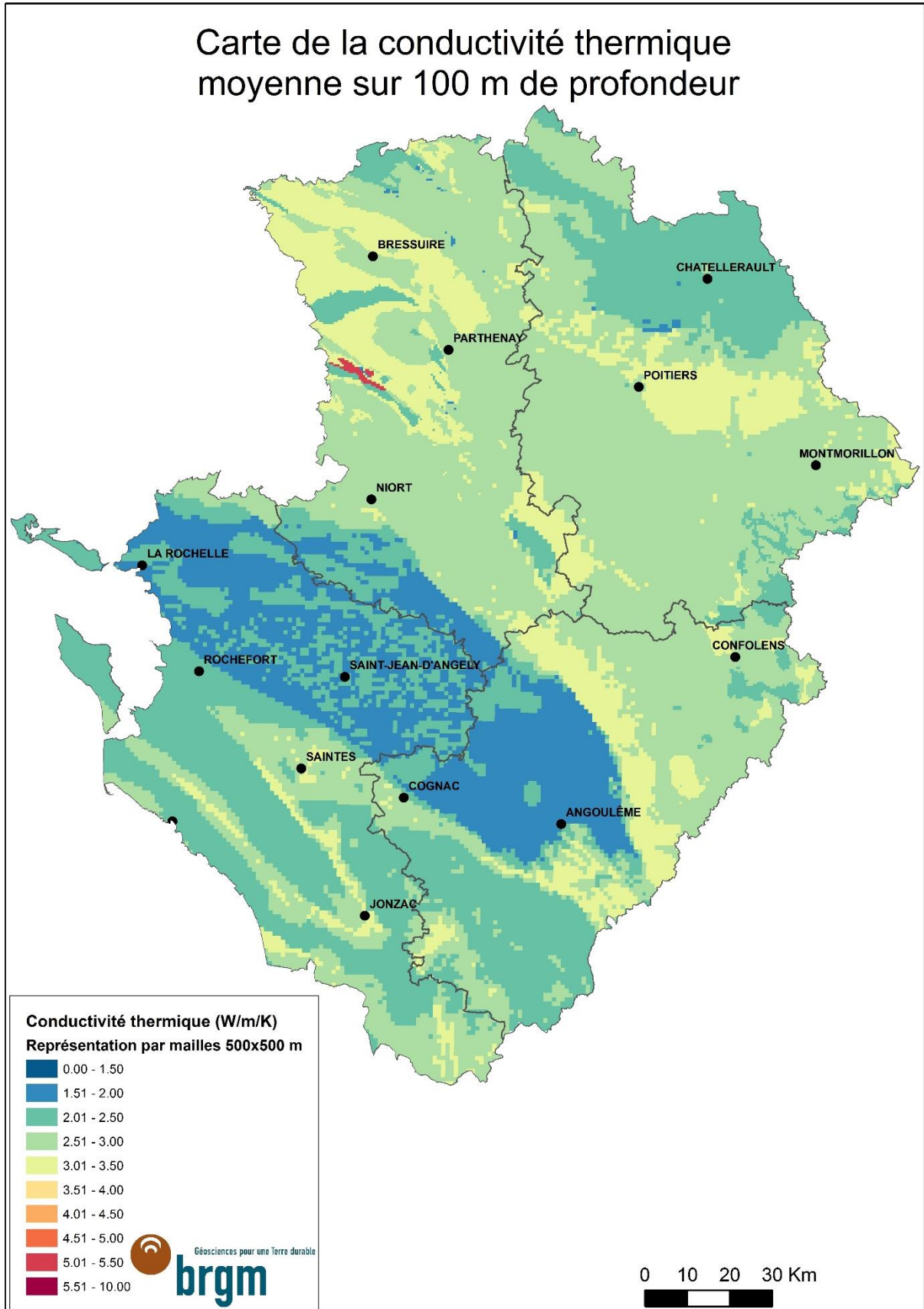


Illustration 21 : Carte de la conductivité thermique moyenne sur la tranche 0 – 50 m de profondeur en Poitou-Charentes



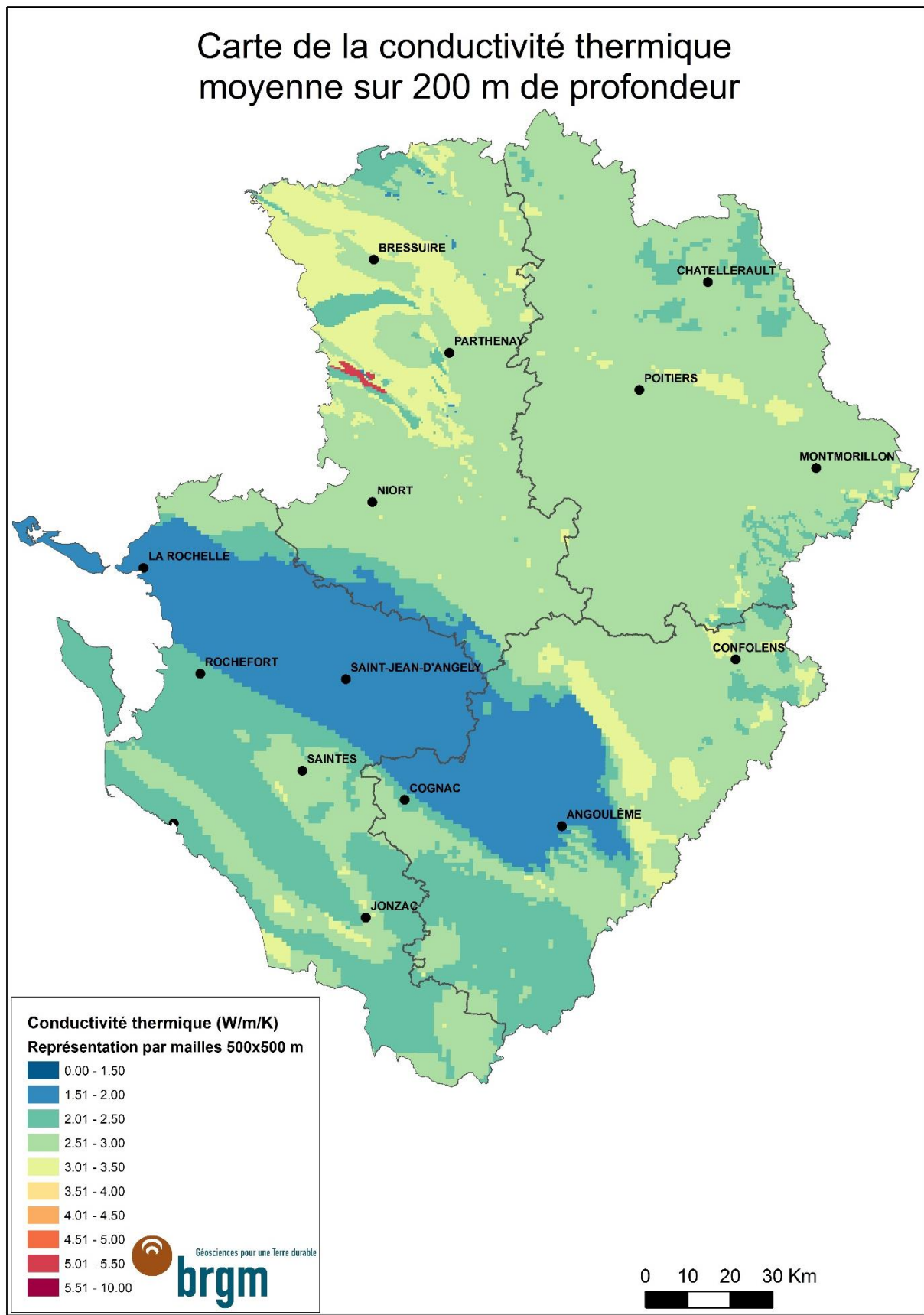


Illustration 23 : Carte de la conductivité thermique moyenne sur la tranche 0 – 200 m de profondeur en Poitou-Charentes

5.2. POTENTIEL DE LA GEOTHERMIE SUR AQUIFERE SUPERFICIEL EXPLOITE PAR LA TECHNIQUE DU DOUBLET GEOTHERMIQUE

L'ancienne région Poitou-Charentes présente une dominante géologique de type sédimentaire favorisant la présence de nombreux aquifères, souvent superposés. En chaque point du territoire, une coupe hydrogéologique standard peut être schématisée comme la présence d'un aquifère ou la superposition de plusieurs aquifères (Illustration 24).

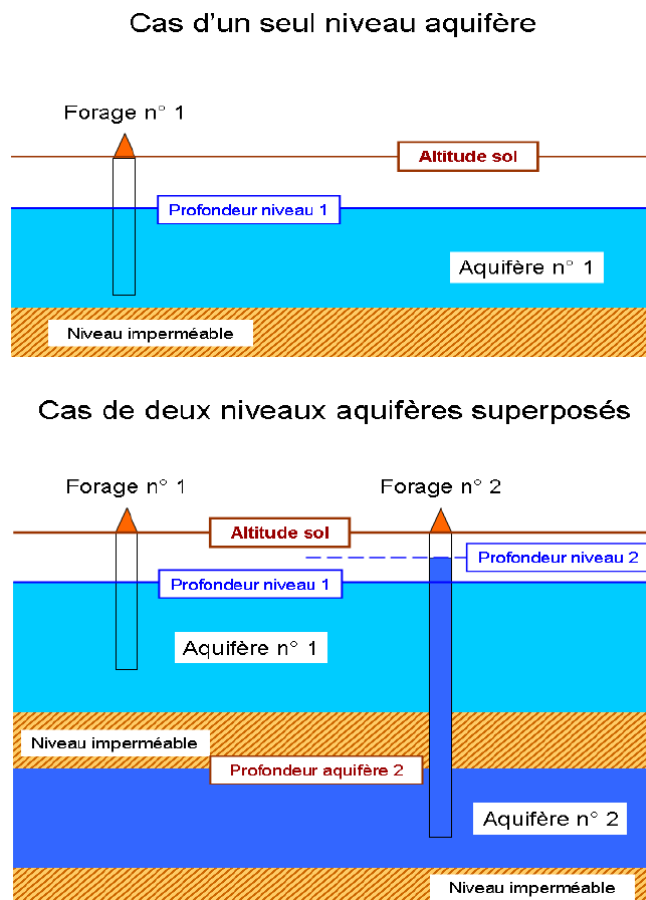


Illustration 24 : Schéma hydrogéologique simplifié des situations rencontrées des aquifères potentiellement exploitables

Les données nécessaires à la détermination du potentiel géothermique sont le débit de production possible de l'aquifère, la température et la profondeur de l'aquifère.

5.2.1. Notation du potentiel géothermique

L'illustration 25 présente le détail du calcul permettant d'attribuer une notation au potentiel géothermique sur aquifère, en fonction des trois critères que sont la productivité de l'aquifère, la température de la ressource et la profondeur d'accès à la ressource. Cette méthode de calcul a été fixée nationalement, afin d'homogénéiser les rendus des atlas des diverses régions.

Critère de potentialité géothermique	Classification de critères	Indexation des classes
Productivité de l'aquifère	$Q < 5 \text{ m}^3/\text{h}$	1
	$5 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 10 \text{ m}^3/\text{h}$	2
	$10 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 50 \text{ m}^3/\text{h}$	3
	$50 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 100 \text{ m}^3/\text{h}$	4
	$Q > 100 \text{ m}^3/\text{h}$	5
Température de la ressource	$T < 10 \text{ }^\circ\text{C}$	2
	$10 \text{ }^\circ\text{C} < T < 15 \text{ }^\circ\text{C}$	4
	$T > 15 \text{ }^\circ\text{C}$	3
Profondeur d'accès à la ressource	$0 < \text{Prof} < 5 \text{ m}$	1
	$5 \text{ m} < \text{Prof} < 15 \text{ m}$	4
	$15 \text{ m} < \text{Prof} < 30 \text{ m}$	3
	$30 \text{ m} < \text{Prof} < 100 \text{ m}$	2
	$100 \text{ m} < \text{Prof} < 250 \text{ m}$	1
	$\text{Prof} > 250 \text{ m}$	0

Potentiel géothermique =

$$2 \times (\text{Productivité de l'aquifère}) + 1 \times (\text{Température}) + 1 \times (\text{Profondeur d'accès})$$

Illustration 25 : Critères de classification des potentialités géothermiques des aquifères (très basse énergie)

5.2.2. Critère débit de production

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

Les débits des aquifères présents sur le territoire ont été recherchés dans l'ensemble des bases de données disponibles³ notamment : les données saisies dans la BSS/BSSEAU, les données recueillies dans le cadre des actualisations des modèles (Crétacé et Jurassique), les données recueillies lors de projets. Pour compléter ces données, les informations de débits autorisés transmises aux services DDT/préfectoraux liés à des identifiants BSS ont aussi été retenues pour améliorer l'exhaustivité des informations.

Le tableau de l'illustration 26 synthétise la gamme des débits moyens rencontrés pour chaque aquifère.

³ Recherche le plus exhaustive possible

Couche modèle	Aquifère	Débit moyen (m ³ /h)
C1/J1	Formations superficielles/Altérites tertiaires	-
C2	Campanien (sud)	10 à 50
C3	Campanien-Santonien (sud)	-
C4	Coniacien (sud)	50 à 100
C5	Turonien (sud)	50 à 100
C6	Turonien inf. et Cénomaniens sup. (sud)	-
C7	Cénomaniens moy et inf (sud)	50 à 100
C8	Cénomaniens basal - jurassique sup. (sud)	-
J2	Crétacé indifférencié (nord)	-
J3	Jurassique sup. altéré	10 à 50
J4	Jurassique sup. non altéré	-
J5	Dogger	50 à 100
J6	Toarcien	-
J7	Infra-Toarcien	10 à 50
J8	Socle	< à 5

Illustration 26 : Synthèse des débits moyens exploitables (m³/h) pour chaque aquifère

5.2.3. Critère température de la nappe

Le second critère à prendre en considération est la température de l'eau. Les valeurs de températures contenues dans les bases de données de la BSSEAU et d'ADES ont été extraites et affectées à l'aquifère correspondant.

A l'échelle de Poitou-Charentes, des données disponibles existent sur l'ensemble des aquifères présents (Illustration 27).

La répartition des valeurs mesurées par aquifère ne fait pas état d'une graduation visible avec l'accroissement de la profondeur ou la captivité de l'aquifère (Illustration 28). L'ensemble des valeurs moyennes des températures se situent autour de 14°C (min 0°C ; max 29 °C). Le critère de potentialité de la température de la ressource a été fixé à 4 (10°C < T ≤ 15°C) sur l'ensemble du territoire.

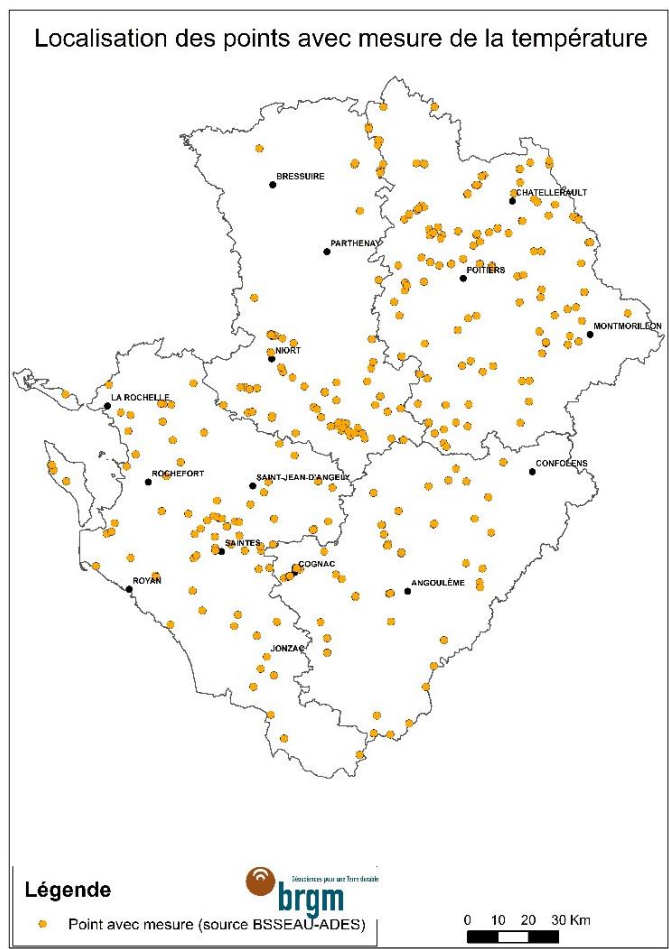


Illustration 27 : Localisation des points avec au moins une mesure de la température (source : BSSEAU/ADES)

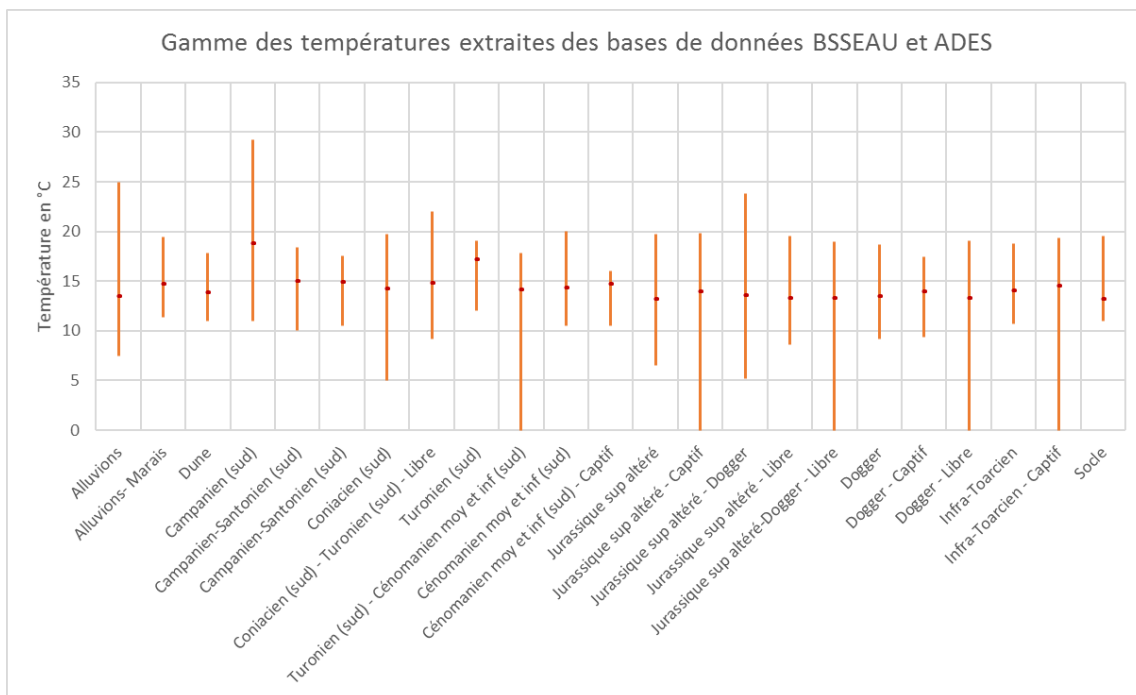


Illustration 28 : Boîtes à moustaches des températures mesurées des aquifères (source : BSSEAU/ADES)

5.2.4. Critère profondeur d'accès à la ressource

La profondeur de réalisation du forage de production qui sera à réaliser pour l'exploitation de la ressource sera différente suivant le caractère libre ou captif de l'aquifère. Ainsi, le critère de profondeur d'accès la ressource correspond :

- à la profondeur nécessaire pour atteindre le niveau piézométrique dans le cas d'une nappe libre ;
- à la profondeur du toit de l'aquifère dans le cas d'une nappe captive.

La profondeur de la nappe ou du toit de l'aquifère a été estimée :

- d'après les résultats des modèles hydrodynamiques Jurassique et Crétacé (niveau de hautes eaux) pour la profondeur de la nappe libre ;
- d'après les modèles géologiques du Jurassique et du Crétacé pour la profondeur du toit de l'aquifère captif.

La création d'un forage géothermique dans un aquifère suppose la réalisation d'un doublet. Ce doublet permet que l'eau prélevée une fois refroidie soit retournée dans le même aquifère d'origine. Cette réinjection sera plus délicate si la profondeur de la nappe est proche de la surface. Ceci explique que même si l'exploitation est facilitée dans une nappe libre proche de la surface sa classe de critère ne soit que de « 1 » car la réinjection ne sera pas toujours aisée.

Les ouvrages doivent être réalisés à des distances suffisantes, et en tenant compte du sens d'écoulement de la nappe, pour éviter de recycler des eaux de la nappe. Les forages doivent être conçus en respectant la réglementation applicable à la géothermie de minime importance qui interdit le mélange des eaux de plusieurs nappes et la mise en communication des nappes.

Sur Poitou-Charentes, il a été déterminé sur la tranche 0-200 m le nombre potentiel d'aquifères présents (Illustration 29). Ce n'est que très localement qu'il n'existe pas d'aquifère au sens strict du terme : dans ces formations aquitard il peut néanmoins y avoir présence d'eau mais le réservoir est considéré comme médiocre en termes de productivité et ne facilite pas la réinjection d'eau du doublet.

Sur la majorité du territoire un à deux aquifères sont présents. Et, jusqu'à cinq aquifères peuvent être localement présents.

Néanmoins, cela ne veut pas pour autant dire que l'ensemble des aquifères présents au droit d'un point pourront toujours être exploités du fait des contraintes techniques et réglementaires.

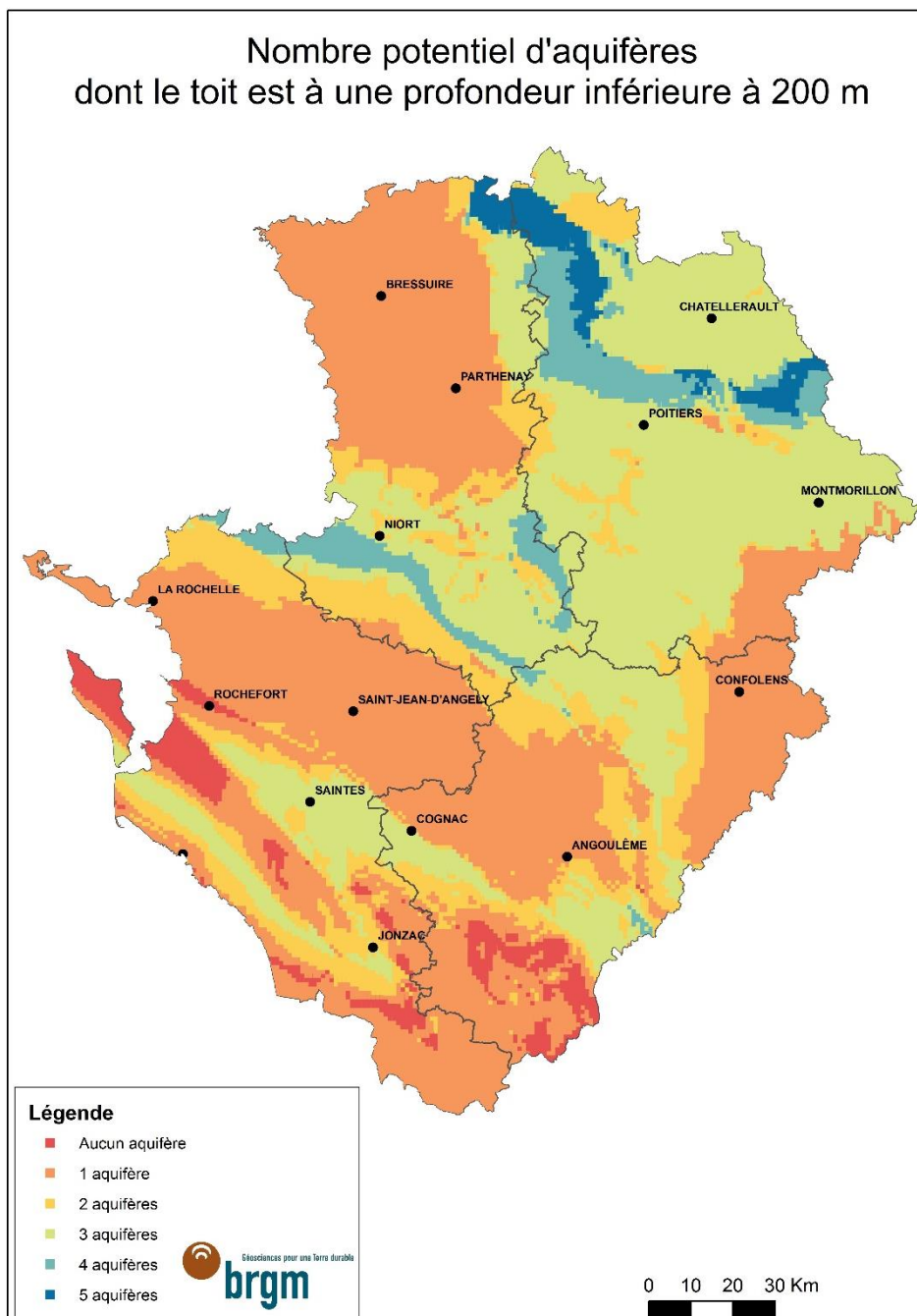


Illustration 29 : Nombre potentiel d'aquifères superposés présents par maille de 500 x 500 m sur le territoire de Poitou-Charentes

5.2.5. Cartographie du potentiel géothermique sur aquifère

D'après la méthode du calcul du potentiel, exposé au paragraphe 5.2.1, le potentiel a été évalué pour chaque aquifère. Les cartographies présentées dans les illustrations permettent d'apprécier le potentiel géothermique, sur la tranche 0-200 m d'épaisseur maximum, pour chaque aquifère présent sur la région (du plus ancien au plus récent) :

- le socle (Illustration 30),
- l'Infra-Toarcien (Illustration 31),
- le Dogger (Illustration 32),
- le Jurassique supérieur altéré (Illustration 33),
- le Crétacé :
 - au nord de la région (Illustration 34),
 - au sud de la région :
 - le Cénomaniens moyen et inférieur (Illustration 35),
 - le Turonien (Illustration 36),
 - le Coniacien (Illustration 37),
 - le Campanien supérieur (Illustration 38).

Enfin sur chaque maille de 500 m x 500 m, la valeur du potentiel le plus élevé a été identifiée ainsi que l'aquifère qui permet de l'atteindre : l'illustration 39 représente, sur chaque maille de 500 m x 500 m, la valeur du potentiel le plus élevé et l'illustration 40 l'aquifère qui présente le meilleur potentiel géothermique disponible..

Plus la valeur du potentiel est élevée, plus les possibilités d'obtenir un ouvrage intéressant pour un projet géothermique sont intéressantes.

Il n'existe qu'une très faible surface du territoire où le potentiel géothermique n'a pu être déterminé, du fait de l'absence d'aquifère potentiel pour de la géothermie très basse énergie.

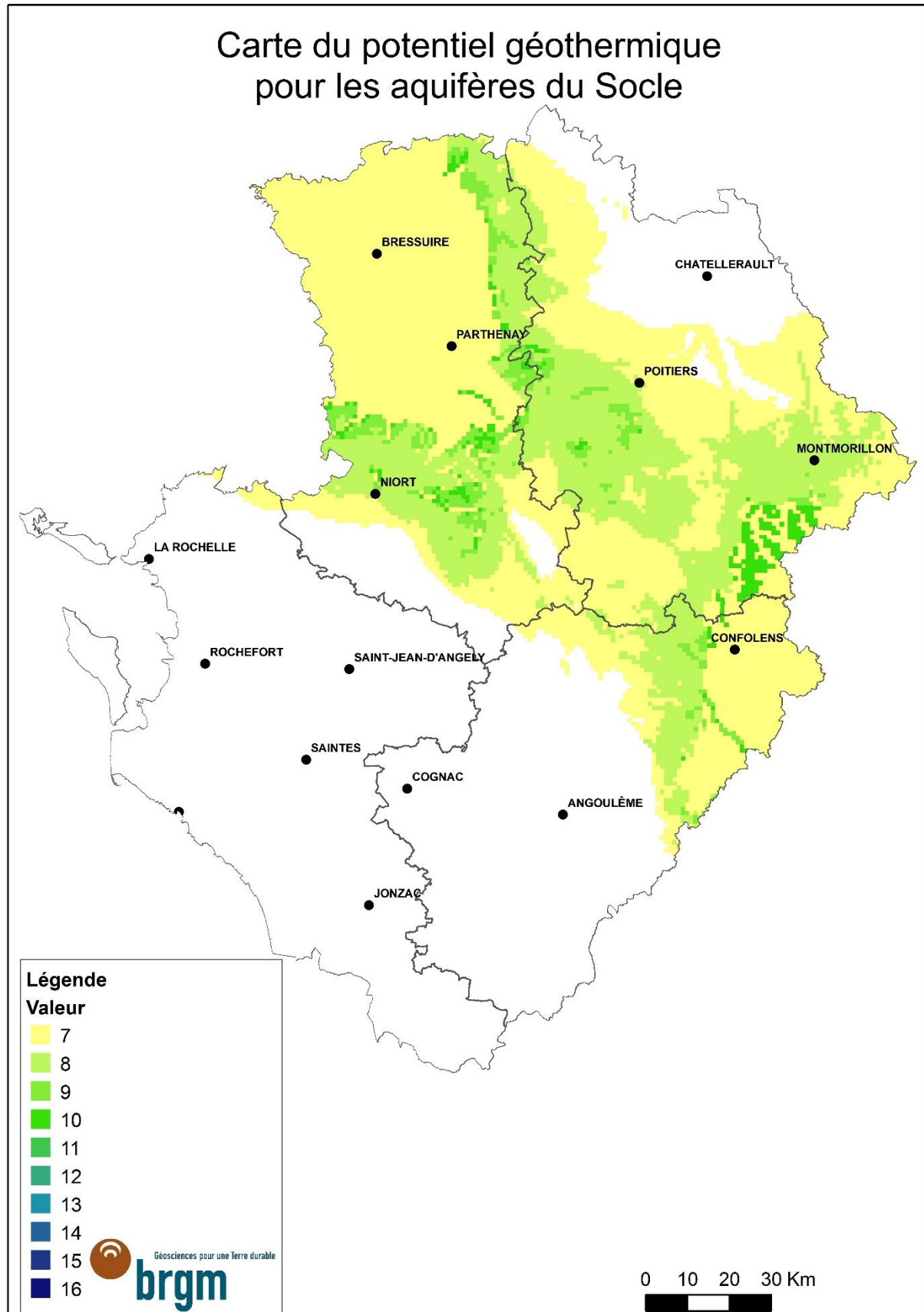


Illustration 30 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour les aquifères de socle jusqu'à 200 m maximum de profondeur

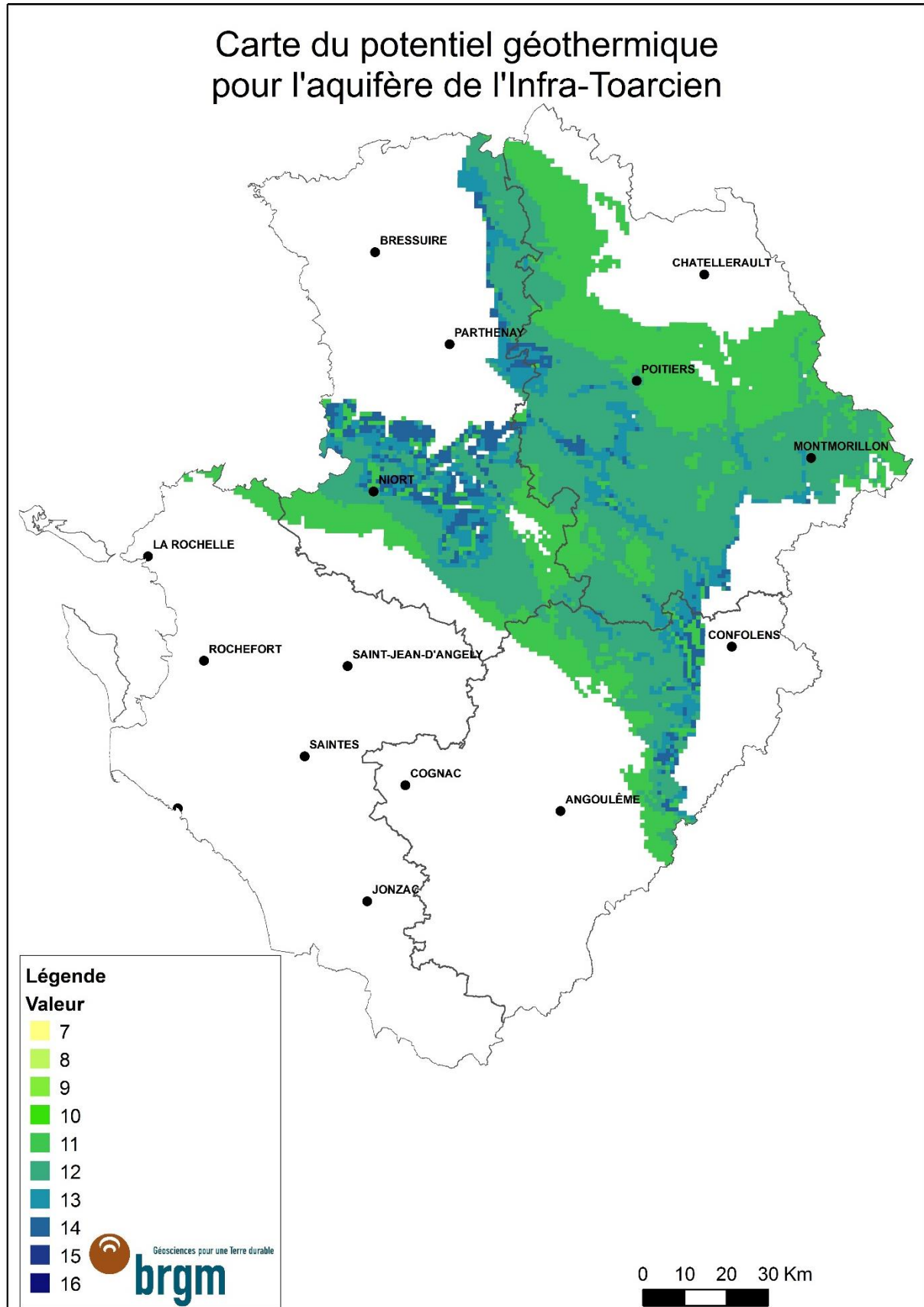


Illustration 31 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour l'aquifère de l'Infra-Toarcien jusqu'à 200 m maximum de profondeur

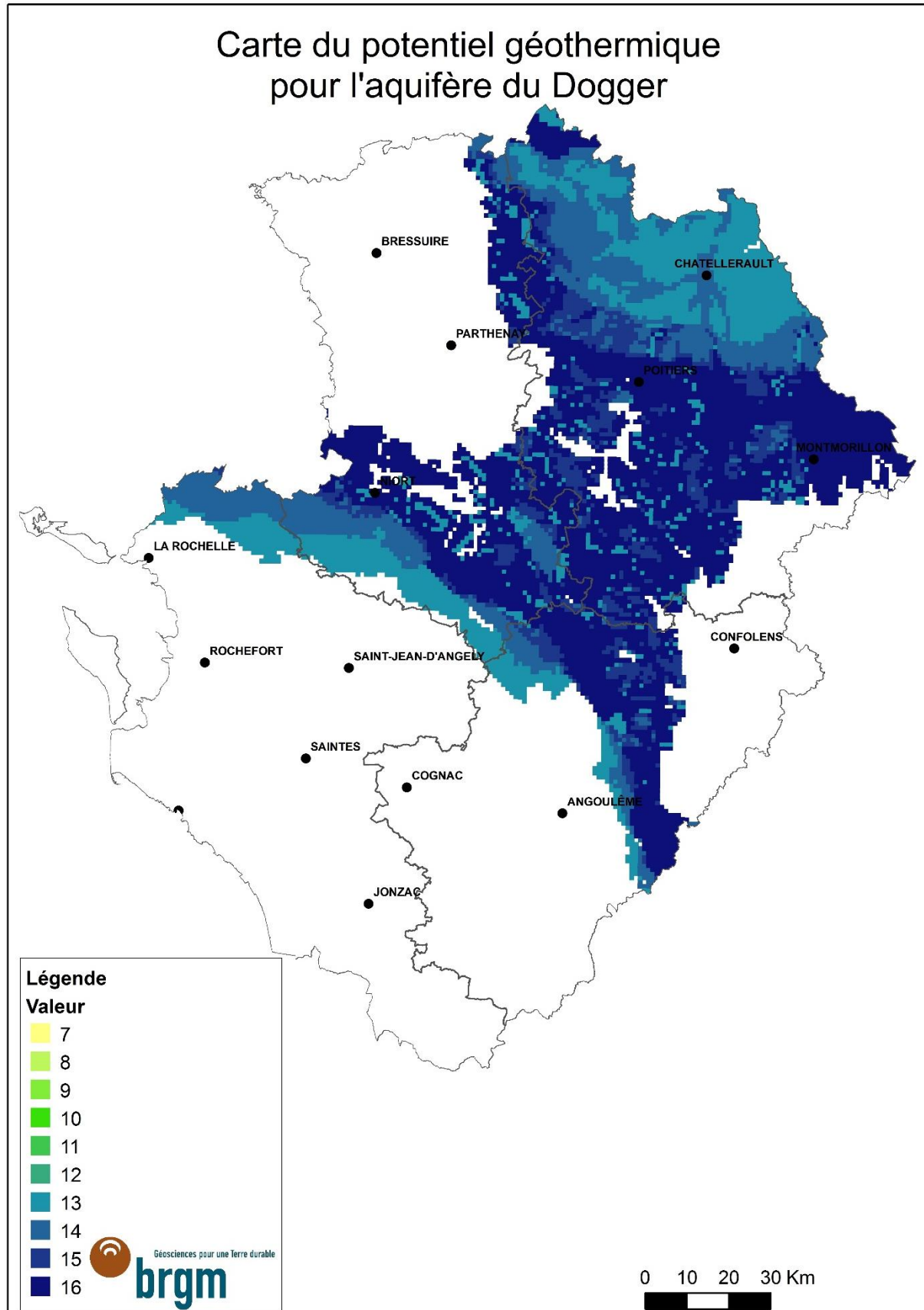


Illustration 32 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour l'aquifère du Dogger jusqu'à 200 m maximum de profondeur

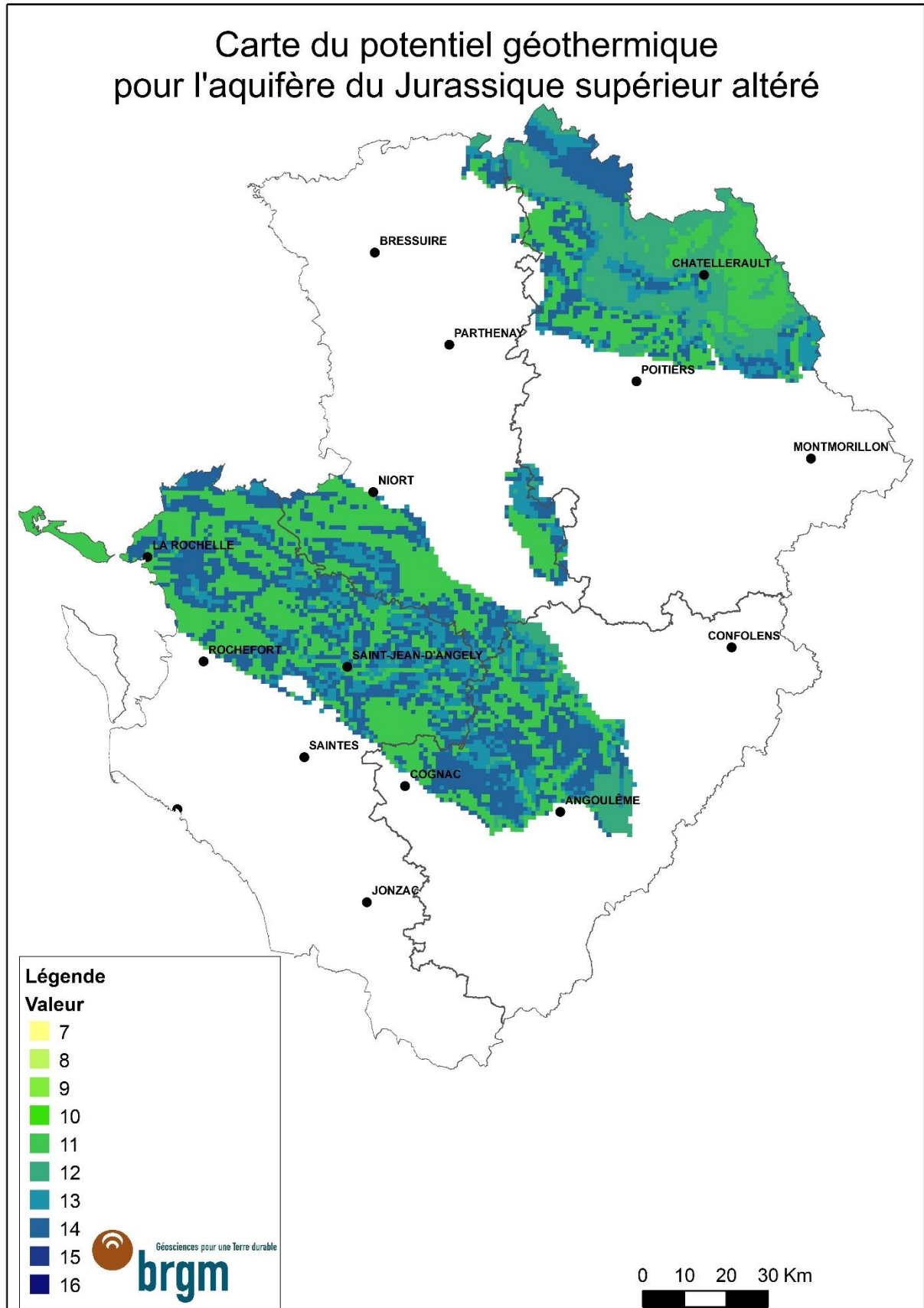


Illustration 33 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour l'aquifère du Jurassique supérieur altéré jusqu'à 200 m maximum de profondeur

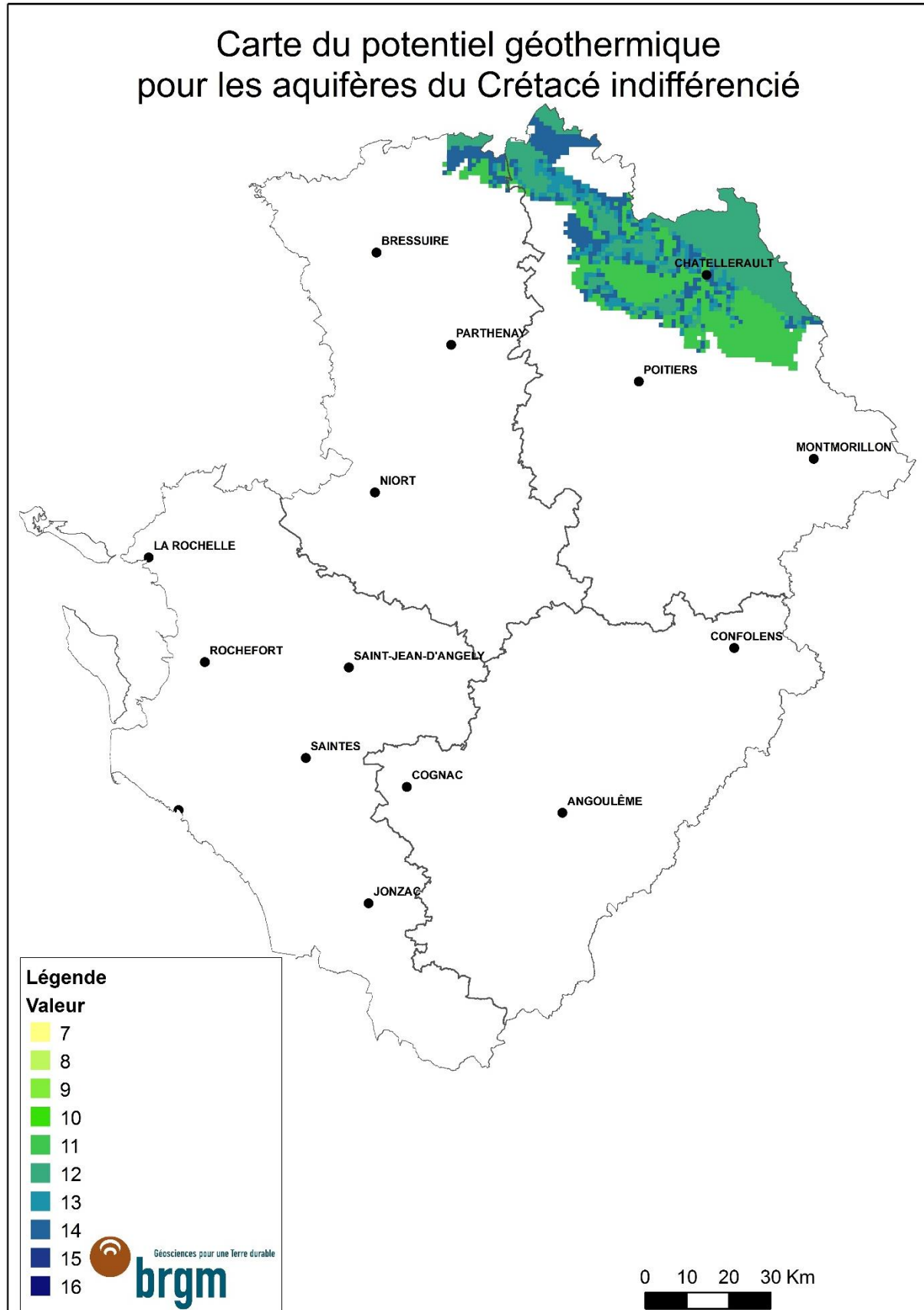


Illustration 34 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour les aquifères du Crétacé supérieur indifférencié (nord de la région) jusqu'à 200 m maximum de profondeur

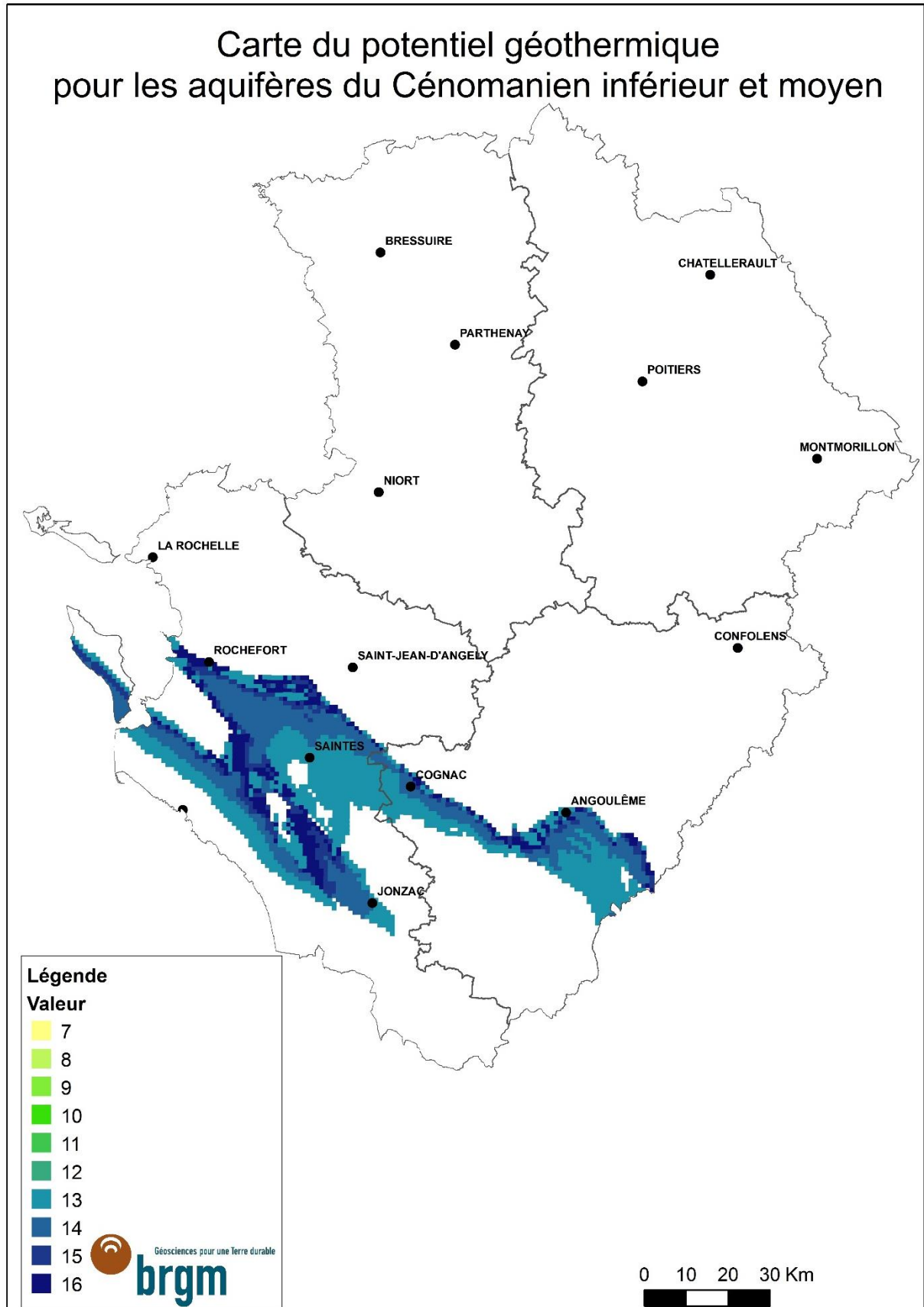


Illustration 35 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour l'aquifère du Cénomaniens inférieur et moyen (sud de la région) jusqu'à 200 m maximum de profondeur

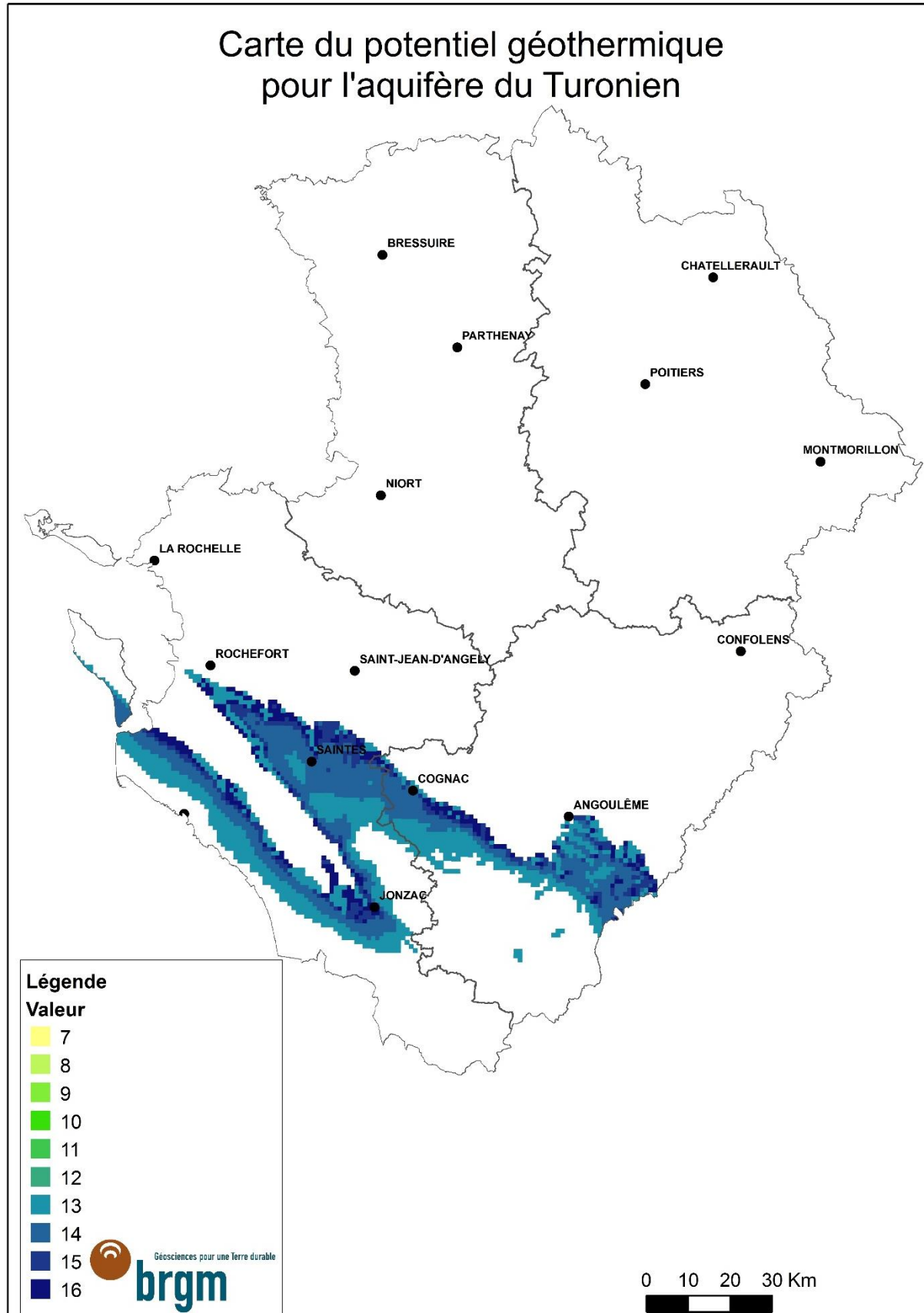


Illustration 36 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour l'aquifère du Turonien (sud de la région) jusqu'à 200 m maximum de profondeur

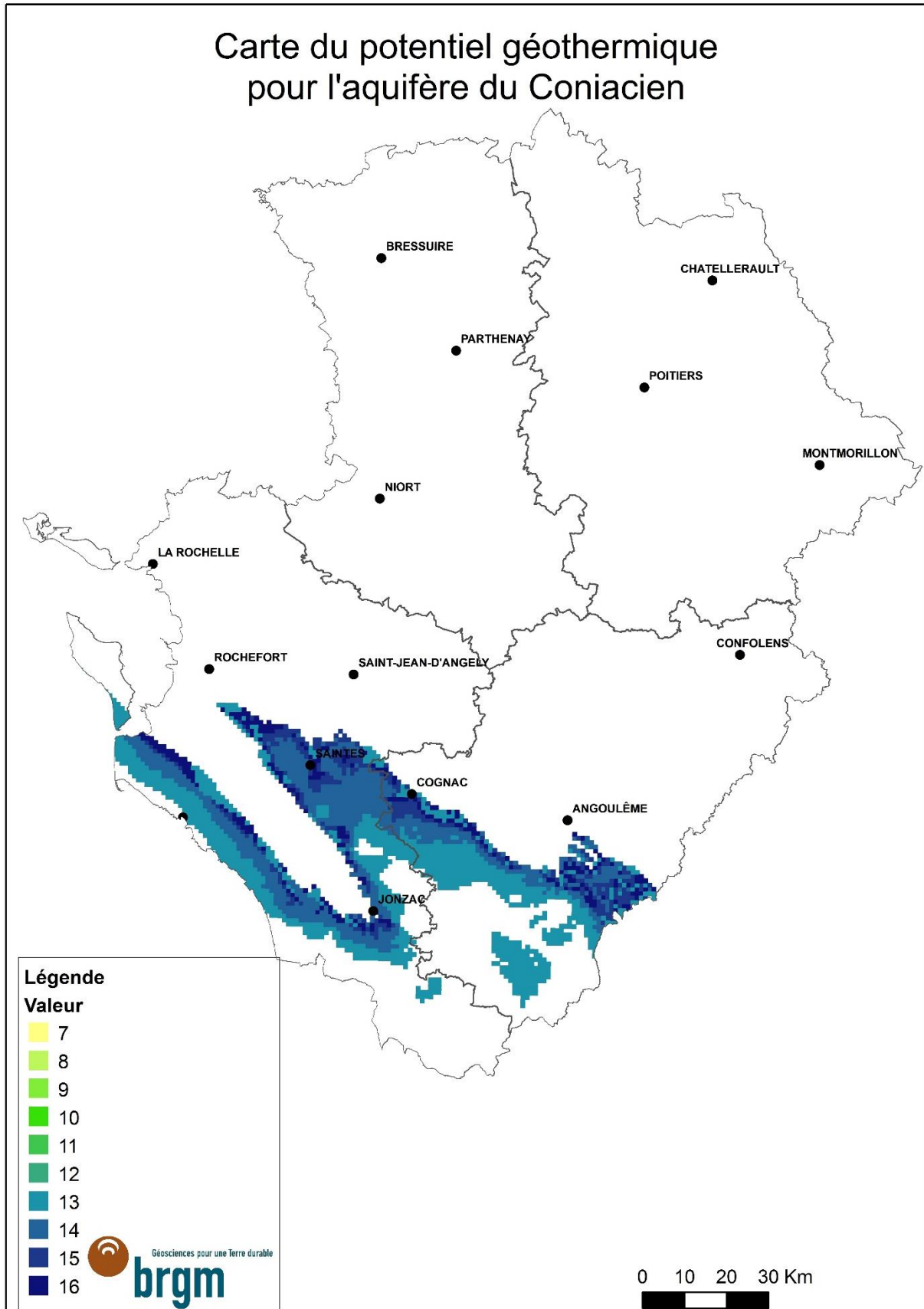


Illustration 37 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour l'aquifère du Coniacien (sud de la région) jusqu'à 200 m maximum de profondeur

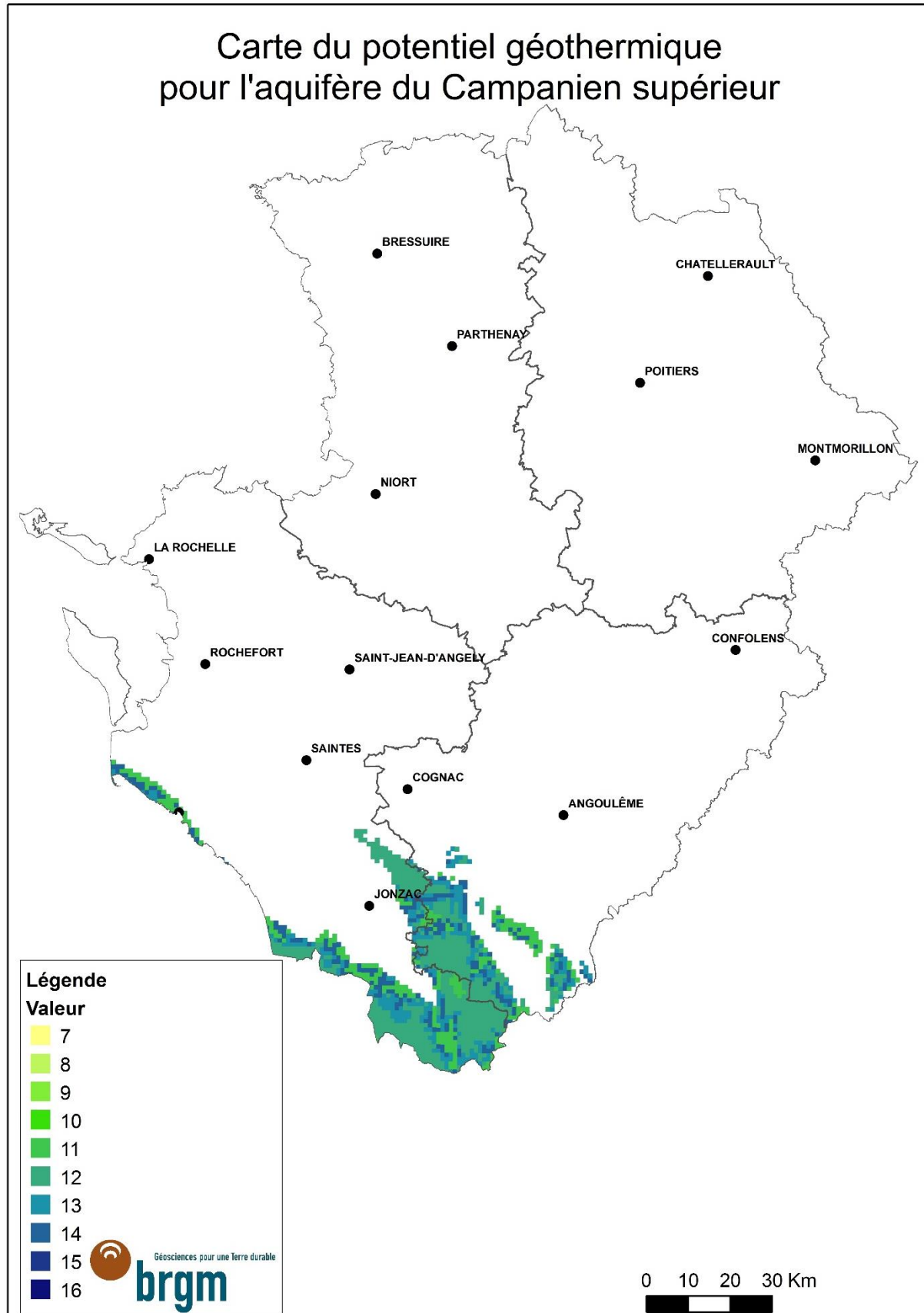


Illustration 38 : Carte du potentiel géothermique en Poitou-Charentes pour l'aquifère du Campanien supérieur (sud de la région) jusqu'à 200 m maximum de profondeur

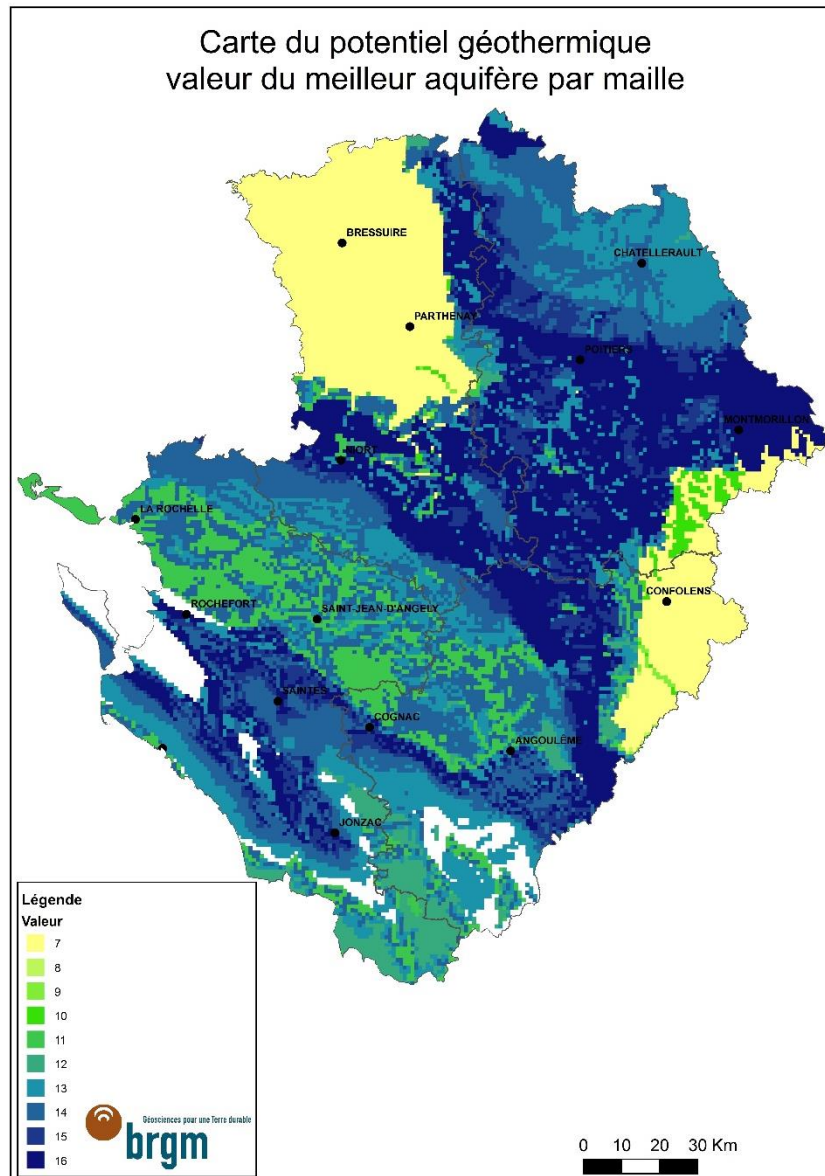


Illustration 39 : Carte du meilleur potentiel géothermique par maille de 500 m x 500 m en Poitou-Charentes

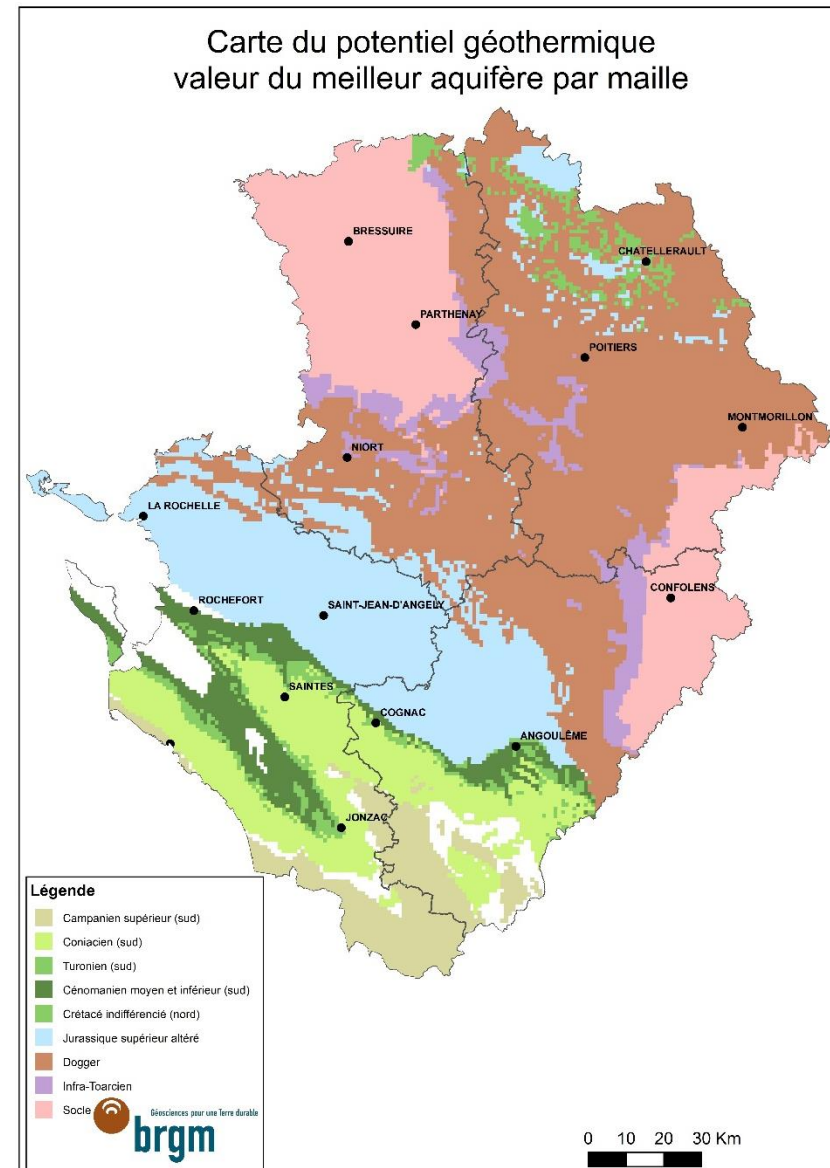


Illustration 40 : Carte de l'aquifère présentant le meilleur potentiel géothermique par maille de 500 m x 500 m en Poitou-Charentes

6. Conclusion

Les contextes géologiques et hydrogéologiques de la région Poitou-Charentes sont favorables au développement de la géothermie. La variété des contextes en Poitou-Charentes permet d'envisager la géothermie par la technique des sondes géothermiques verticales et par la technique du doublet sur aquifère.

Les cartes produites dans le présent rapport ne donnent qu'un aperçu des résultats de cette étude qui couvre l'ensemble de l'ancienne région de Poitou-Charentes.

Les résultats de cette étude sous forme de document cartographique en format numérique sont mis à disposition par le BRGM sous la forme de table compatible ArcGis et QGis, en RGF93 et accompagnée de sa légende. La table finale comporte les champs suivants :

- Id : identifiant ;
- Xmin : abscisse du côté le plus à l'Ouest de la maille ;
- Ymin : ordonnée du côté le plus au Sud de la maille ;
- Xmax : abscisse du côté le plus à l'Est de la maille ;
- Ymax : ordonnée du côté le plus au Nord de la maille ;
- Xcentre : abscisse du centre de la maille ;
- Ycentre : ordonnée du centre de la maille ;
- Conduct_therm_50 : conductivité thermique, en W/m/K pour chaque formation sur 50 m de profondeur ;
- Conduct_therm_100 : conductivité thermique, en W/m/K pour chaque formation sur 100 m de profondeur ;
- Conduct_therm_200 : conductivité thermique, en W/m/K pour chaque formation sur 200 m de profondeur ;
- Paramètres de notation du potentiel géothermique (débit, température et profondeur d'accès) pour chaque formation aquifère sur 200 m d'épaisseur.

Toutes les couches du SIG relevant des contextes géologique et hydrogéologique (cartes de conductivité thermique et potentiel sur aquifère) sont intégrées à l'atlas poitou-charentes des potentialités géothermiques très faible énergie et mis en ligne sur le site <http://www.geothermie-perspectives.fr/>.

L'ensemble de ces documents donnent une première information à toute personne se posant la question du choix énergétique et intéressée par un projet de géothermie très basse énergie.

Elle permet d'orienter les projets de géothermie très basse énergie vers la solution sur sonde géothermique verticale ou par doublet sur aquifère, avant la réalisation d'études plus complètes suivant les besoins énergétiques nécessaires. En effet, les projets de géothermie doivent notamment s'appuyer sur la cartographie réglementaire qui précise les risques géologiques associés à la réalisation d'ouvrages géothermiques.

7. Bibliographie

CEREMA, BRGM (2015) - Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. 83 p.

Bichot F., Bonfils R., Dugrillon D., Hervé J.Y. (2009) - Potentiel géothermique du département de la Charente-Maritime. BRGM/RP-57683-FR, 76 p., 22 ill., 10 tab., 16 planches hors texte

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

BRGM (2005) - Guide d'aide à la décision pour la réalisation de pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Ile-de-France - Partie 2 - Guide technique, administratif et méthodologique. Rapport BRGM/RP-53306FR.

Doney C., Malassigne V., Durst P. (2017) – Atlas du potentiel géothermique très basse énergie de la région Bourgogne. Rapport final. BRGM/RP-66441-FR. 81 p, 48 ill., 3 ann., CD.

Douez O. (2015) – Actualisation 2008-2011 du modèle maillé des aquifères du Jurassique. Rapport BRGM/RP-64816-FR – Rapport final, 161 p., 223 ill., 4 ann.

Douez O., Bichot F. (2012) – Contribution à la gestion quantitative des ressources en eau à l'aide du modèle Crétacé du Sud Charentes. BRGM/RP-61056-FR, 201 p., 202 ill., 3 ann.

Durst P., Ayache B., Saltel M., Abou Akar A., Platel J.P. (2011) – Outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse et basse énergie en région Aquitaine – Atlas du potentiel des aquifères – Rapport Final. BRGM/RP-59761-FR. 175 p, 87 fig., 11 ann.

Wuilleumier A., Monnot P., Conil P., Prognon P., Lacquement F., Bourguine B., Baudouin V. (2009) - Evaluation du potentiel très basse énergie sur le territoire de Nantes Métropole. Rapport final. BRGM/RP-56333-FR, 251 p, 45 fig., 16 tab., 23 annexes.

Site Internet ressources :

www.geothermie-perspectives.fr

www.sigespoc.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Nouvelle-Aquitaine

Site de Poitiers

5, rue de la goélette

86280 – Saint-Benoît – France

Tél. : 05 49 38 15 38