

Document public

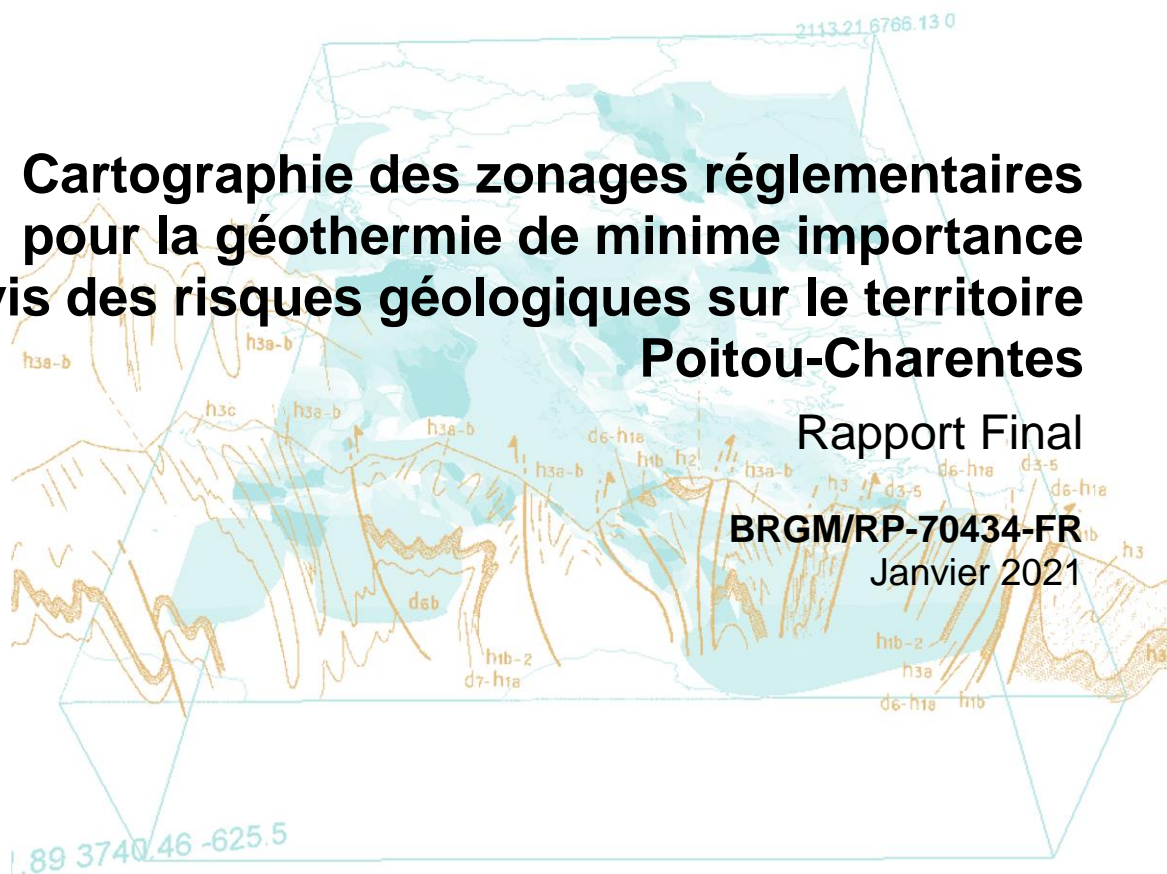


Cartographie des zonages réglementaires pour la géothermie de minime importance vis-à-vis des risques géologiques sur le territoire Poitou-Charentes

Rapport Final

BRGM/RP-70434-FR

Janvier 2021



Cartographie des zonages réglementaires pour la géothermie de minime importance vis-à- vis des risques géologiques sur le territoire Poitou-Charentes

Rapport final

BRGM/RP-70434-FR

Janvier 2021

J. Rillard, F. Compère, M. Thinon-Larminach, J. Revel, É. Védie

Vérificateur :

Nom : P. DURST

Fonction :

Date : 21/01/2021

Signature :



Approbateur :

Nom : J.C. AUDRU

Fonction : Directeur adjoint du BRGM
Nouvelle-Aquitaine

Date : 21/01/2021

Signature :



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, minime importance, cartographie, risque géologique, Vienne, Charente, Charente-Maritime, Deux-Sèvres, Poitou-Charentes.

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

Rillard J., Compère F., Thinon-Larminach M., J. Revel, É. Védie (2020) - Cartographie des zonages réglementaires de géothermie de minime importance vis-à-vis des risques géologiques sur le territoire Poitou-Charentes. Rapport final. BRGM/RP-70434-FR, 67 p., 28 ill., 3 tabl.

Synthèse

Consécutivement à l'évolution de la réglementation sur la géothermie de minime importance en 2015, et à l'entrée en vigueur des cartes réglementaires nationales, la Direction régionale du BRGM Nouvelle-Aquitaine a procédé à la déclinaison de ces cartes à une échelle affinée sur le territoire Poitou-Charentes (départements de la Vienne, de la Charente, de la Charente-Maritime et des Deux-Sèvres).

Cette cartographie à l'échelle régionale fait suite à une cartographie réalisée à l'échelle nationale en 2014 (rapport BRGM/RP-63616-FR). Cette déclinaison à l'échelle de chaque région de France, prévue par la réglementation, a fait l'objet d'un financement par l'ADEME, la DGPR et le BRGM. Elle vise une meilleure prise en compte des spécificités régionales et permet de décliner les contraintes selon un maillage de 500 m par 500 m et selon trois gammes de profondeur d'investigation : 10-50 m, 10-100 m, 10-200 m.

Conformément à la méthodologie définie au niveau national (rapport BRGM/RP-61768-FR de 2013), neuf types d'aléas ont été évalués sur l'emprise de l'ancienne région Poitou-Charentes. Pour chacun d'eux, les bases de données nationales ont été complétées par une valorisation des données locales et/ou une sollicitation et une concertation des services de l'État :

- affaissement / surrection lié aux formations évaporitiques : intégration des zones connues d'exploitation sur la région, individualisation des formations potentiellement concernées d'après les informations disponibles (coupes de sondages et diagraphies, cartes géologiques, banque de données du sous-sol) ;
- affaissement / effondrement, lié aux cavités (hors mines) : intégration des cartographies des aléas liées aux PPRN, prise en compte des bases de données cavités à l'échelle des départements accessibles sur le site Georisques, des bases de données locales sur les cavités (à l'échelle de communes ou regroupement de communes), des études locales sur les karsts, dolines et gouffres, intégration des plans relatifs aux carrières, individualisation des formations potentiellement karstifiées à dire d'expert ;
- affaissement / effondrement lié aux cavités minières : intégration des études d'aléas fournies par la DREAL, mise à jour des recensements des sites miniers au regard des modalités d'exploitation connues ; concertation avec la DREAL sur la fiabilité des données et l'incertitude associée permettant l'application d'une zone tampon appropriée autour des sites ;
- glissement de terrain : intégration des cartographies d'aléas issues des PPRN approuvés et prise en compte des glissements de terrain ayant fait l'objet d'expertises spécifiques ;
- pollution des sols et des nappes souterraines : déclinaison des aléas en fonction des sites connus comme pollués, de la présence d'aquifère sous-jacent et de la distance par rapport aux sites pollués ;
- artésianisme potentiel : prise en compte des travaux de modélisation hydrogéologique récents, notamment les modèles régionaux du Jurassique et du Crétacé du BRGM, complété par les données accessibles sur ADES et la BSS ;
- mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères : prise en compte des travaux de modélisation hydrogéologique récents, notamment les modèles du Jurassique et du Crétacé du BRGM, complétée par les informations disponibles sur la géologie locale ;

- remontée de nappe : prise en compte de la cartographie nationale des épaisseurs de la zone non-saturée ;
- biseau salé : intégration des données de conductivités et concentrations en chlorures accessibles sur ADES dans les zones proches de la façade littorale, complété par les connaissances locales sur le risque de remonté du biseau salé.

Au-delà de cette redéfinition des contours pour chacun de ces aléas, l'adaptation de zones tampons adaptées à l'état des connaissances et à leur fiabilité a fait l'objet d'un travail de concertation et validation en comité de pilotage et avec les services de l'État concernés.

Sur cette base, les facteurs de pondération et les facteurs aggravants ont été appliqués à chacun des aléas conformément à la méthodologie homogénéisée au niveau national et en cohérence avec les méthodologies appliquées aux régions voisines (ex-Aquitaine et ex-Limousin notamment) pour aboutir aux cartes définitives, par classes de profondeur et par filières (systèmes ouverts "sur nappe" et systèmes fermés "sur sondes").

Il est à noter que cette révision induit une modification significative des zonages réglementaires, liée à la fois à la meilleure pertinence des données utilisées et à l'application des classes imposée par la méthodologie. Le déroulement de la procédure de révision des cartes réglementaires suivra ensuite l'arrêté du 25 juin 2015.

Les cartes d'aléa finales sont déclinées par tranche de profondeur 10-50 m, 10-100 m, 10-200 m pour les configurations doublet sur nappe (système ouvert) et sondes géothermiques verticales (SGV) (système fermé).

À l'échelle du territoire, moins de 1 % des zones sont classées en zone rouge pour la configuration doublet sur nappe et entre 2,6% et 5,3% en configuration SGV selon les profondeurs considérées. Les zones orange sont comprises entre 22,7% et 53,7% en configuration système ouvert et entre 22,7% et 49,6% en configuration système ouvert en fonction des profondeurs considérées.

Sommaire

1. Contexte	9
1.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA GÉOTHERMIE DE MINIME IMPORTANCE (GMI)	9
1.1.1. Échangeur géothermique fermé.....	9
1.1.2. Échangeur géothermique ouvert.....	10
1.1.3. Contexte réglementaire de la géothermie de minime importance.....	11
1.2. CONTEXTE LOCAL - OBJECTIFS	12
2. Contexte géologique	15
2.1. GÉNÉRALITÉS.....	15
2.2. LES SOCLES DES MASSIFS ARMORICAIN ET CENTRAL	16
2.3. LES FORMATIONS DES BASSINS SÉDIMENTAIRES	17
2.4. LES GRANDES STRUCTURES GÉOLOGIQUES	18
3. Contexte hydrogéologique	20
3.1. AQUIFÈRES EN ZONE DE SOCLE.....	20
3.2. AQUIFÈRES DES FORMATIONS SÉDIMENTAIRES.....	20
4. Cartographie des risques liés à la géothermie de minime importance	23
4.1. PRINCIPE MÉTHODOLOGIQUE.....	23
4.1.1. Qualification et pondération des aléas	23
4.1.2. Gammes de profondeur	24
4.1.3. Héritage de l'aléa le plus élevé depuis le niveau de profondeur reconnu vers la surface.....	24
4.2. INTÉGRATION DES RÉGLEMENTATIONS TERRITORIALISÉES	25
4.3. CARTOGRAPHIE DES ALÉAS LIÉS AUX OUVRAGES GÉOTHERMAUX	25
4.3.1. Aléa "affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques"	25
4.3.2. Aléa "affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines)"	28
4.3.3. Aléa "affaissement/effondrement lié aux cavités d'origine minière"	34
4.3.4. Aléa "glissement de terrain"	36
4.3.5. Aléa "pollution des sols et des nappes souterraines"	41
4.3.6. Aléa "artésianisme potentiel"	44
4.3.7. Aléa "mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères"	

4.3.8. Aléa "remontée de nappe"	51
4.3.9. Aléa "biseau salé"	52
4.4. TRAITEMENT FINAL ET ÉDITION DES CARTES RÉGLEMENTAIRES	56
4.5. COHÉRENCE RÉGIONALE	59
5. Bilan	61
6. Bibliographie	63

Liste des illustrations

Illustration 1 : Échangeur géothermique fermé (sondes géothermiques verticales)	9
Illustration 2 : Schéma d'un doublet, puits de production et puits d'injection et échangeur en surface	10
Illustration 3 : Échangeur géothermique ouvert (géothermie sur nappe)	11
Illustration 4 : Carte géologique de synthèse de l'ex-région Poitou-Charentes (source : BRGM)	15
Illustration 5 : Bloc-diagramme représentant l'approfondissement suivant un dispositif de marches en escalier du socle (en jaune) de part et d'autre du seuil du Poitou (surface topographique en bleu), vu depuis le Sud (Source : BRGM)	16
Illustration 6 : Coupe géologique régionale à travers le seuil du Poitou (source : BRGM)	17
Illustration 7 : Carte des structures géologiques de Poitou-Charentes (source : BRGM)	19
Illustration 8 : Synthèse des principaux aquifères du territoire picto-charentais (source : BRGM)	22
Illustration 9 : Cartographie de l'aléa « évaporites » sur les tranches 0-50m, 0-100m et 0-200m	27
Illustration 10: Copie d'écran du site Georisques (https://www.georisques.gouv.fr/risques/cavites-souterraines/donnees#/)	29
Illustration 11 : Recensement des formations géologiques potentiellement karstifiées entre 0 et 200 m de profondeur sur la zone d'étude (orange) et cavités recensées dans l'inventaire cavité (points verts)	31
Illustration 12 : Exemple de carte de cavités à géométrie complexe réalisée dans le secteur de Loudun (Nord-Vienne)	32
Illustration 13 : Aperçu de la cartographie de l'aléa "affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines)"	33
Illustration 14 : Aperçu de la cartographie de l'aléa "affaissement/effondrement lié aux cavités minières"	36
Illustration 15 : Exemple de carte d'aléa mouvement de terrain dans le secteur de Poitiers (86)	38
Illustration 16 : Emplacement des glissements de terrain	39
Illustration 17 : Aperçu de la cartographie de l'aléa "mouvements de terrain de type glissement"	41
Illustration 18 : emplacement des sites BASOL	43
Illustration 19 : Aperçu de la cartographie de l'aléa "pollution des sols et des nappes d'eau souterraine" sur la tranche 0-50m	44

Illustration 20 : Aperçu des cartographies de l'aléa "artésianisme potentiel"	47
Illustration 21 : Aperçu des cartographies de l'aléa "mise en communication des eaux souterraines"	50
Illustration 22 : Aperçu de la cartographie de l'aléa "remontée de nappe"	52
Cependant les données disponibles pour évaluer l'aléa de ce phénomène sont très éparses. Ainsi seulement quelques valeurs élevées de conductivité et/ou de concentrations en chlorures peuvent être constatées dans les piézomètres de suivi qualité disponible dans la base ADES, de manière isolée et à proximité du littoral ou de zones de marais salants (utilisées notamment pour la conchyliculture). Les points de mesures et concentrations maximales mesurées en chlorures sont présentées dans la Illustration 23.....	53
Illustration 24: Aperçu de la cartographie de l'aléa "biseau salé"	55
Illustration 25 : Aperçu des zonages finaux pour les échangeurs ouverts	57
Illustration 26 : Aperçu des zonages finaux pour les échangeurs fermés.....	58
Illustration 27 : Zonages réglementaires finaux à la limite entre les ex-régions Poitou-Charentes et Aquitaine sur la tranche 0-100m pour la configuration SGV	59
Illustration 28 : Zonages réglementaires finaux à la limite entre les ex-régions Poitou-Charentes et Aquitaine pour les systèmes ouverts sur la tranche 0-100m.....	60

Liste des tableaux

Tableau 1 : Valeurs de susceptibilité pour l'aléa « pollution des sols et des nappes souterraines »	42
Tableau 2 : Facteurs de pondération et facteurs aggravants appliqués par type d'aléa	56
Tableau 3: Taux de couverture des zonages réglementaires finaux, par filière et par gamme de profondeur.....	62

1. Contexte

1.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA GÉOTHERMIE DE MINIME IMPORTANCE (GMI)

La géothermie de minime importance, est une géothermie de très basse température permettant d'extraire de l'énergie du sous-sol présente au sein de la terre ou d'une nappe d'eau souterraine, afin de la restituer à l'aide d'une pompe à chaleur. L'exploitation de la ressource énergétique, que compose la géothermie, est encadrée réglementairement par le code minier, qui considère comme des mines 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 ».

1.1.1. Échangeur géothermique fermé

Les capteurs géothermiques, corbeilles ou 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, sans échange d'eau de nappe avec le sous-sol, le transfert des calories se faisant uniquement par conduction thermique. Ce système est constitué des éléments de l'espace annulaire, de la sonde permettant la circulation d'un 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-10-970¹). Un schéma de ce système est proposé en Illustration 1.

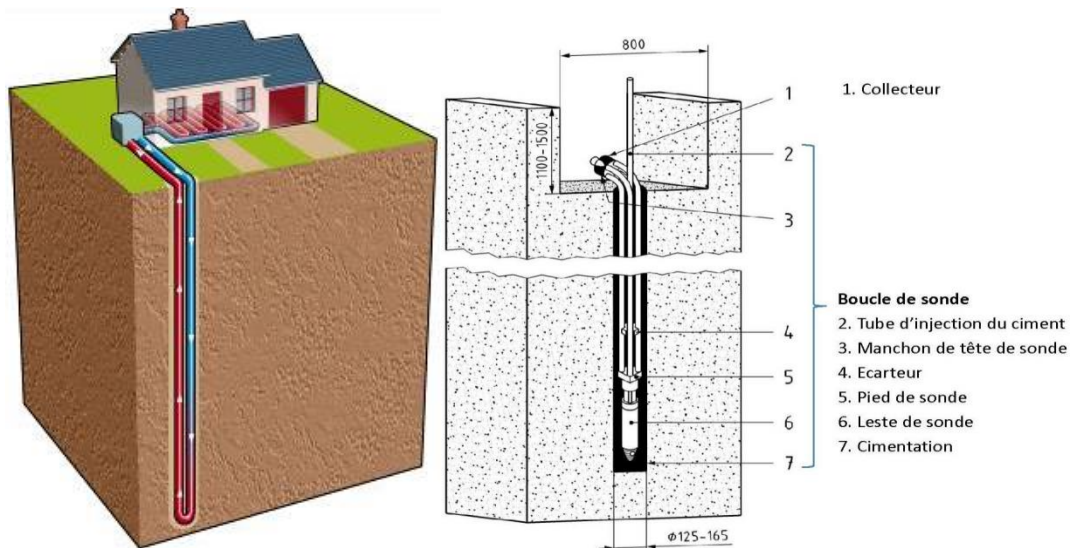


Illustration 1 : Échangeur géothermique fermé (sondes géothermiques verticales)

¹ 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.

1.1.2. Échangeur géothermique ouvert

Cette géothermie est aussi appelée géothermie sur aquifère ou doublet géothermique (Illustration 2).

Le fluide caloporteur cité précédemment est constitué par l'eau pompée dans un aquifère souterrain. Cette eau, prélevée d'une nappe souterraine à partir du puits de prélèvement, circule dans un échangeur thermique en surface, passe ainsi à travers la 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, 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 à quelques dizaines de m³/h.

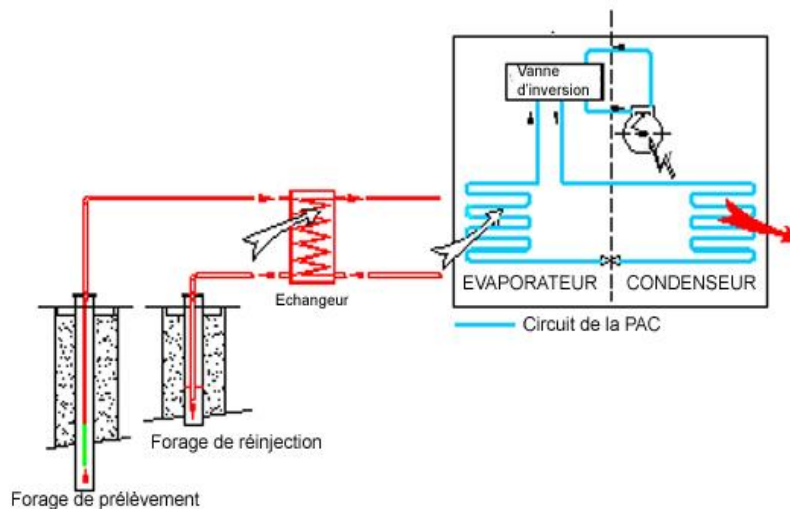


Illustration 2 : Schéma d'un doublet, puits de production et puits d'injection et échangeur en surface

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 la perturbation thermique entre les deux ouvrages ne nuise pas au bon fonctionnement de l'installation ;
- 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. Un schéma du principe de fonctionnement est proposé en Illustration 3.

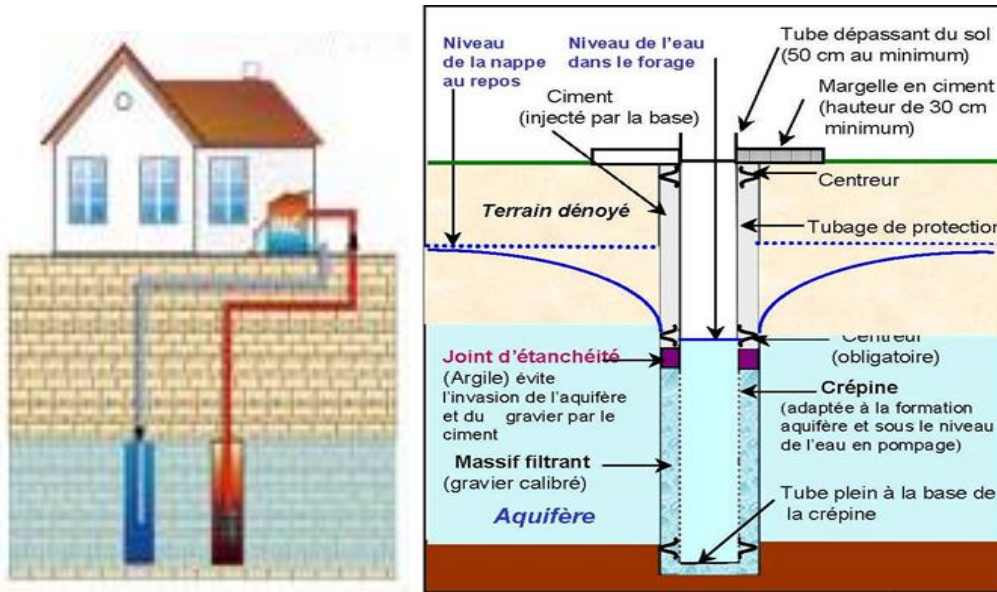


Illustration 3 : Échangeur géothermique ouvert (géothermie sur nappe)

1.1.3. Contexte réglementaire de la géothermie de minime importance

Le décret n°78-498 du 28 mars 1978 (modifié par le décret n°2015-15 du 8 janvier 2015) relatif aux titres de recherche et d'exploitation de géothermie définit les gîtes géothermiques à basse température relevant du régime de « minime importance » comme suit :

- pour les activités ne recourant qu'à des échangeurs fermés :
 - profondeur de forage inférieure à 200 m,
 - puissance thermique maximale échangée avec le sous-sol inférieure à 500 kW ;
- pour les activités recourant au moins à un échangeur géothermique ouvert :
 - température de l'eau prélevée en sortie des ouvrages de prélèvement inférieure à 25°C,
 - profondeur de forage inférieure à 200 m,
 - puissance thermique maximale échangée avec le sous-sol inférieure à 500 kW,
 - eaux prélevées réinjectées dans le même aquifère (bilan quantitatif nul),
 - débits prélevés / réinjectés inférieurs au seuil d'autorisation (rubrique 5.1.1.0 de l'article R.214-1 du Code de l'Environnement).

L'ouverture de travaux d'exploitation des gîtes relevant du régime de la minime importance bénéficie d'un régime réglementaire déclaratoire, simplifié par rapport aux autres gîtes géothermiques. La procédure, définie par le décret n°2006-649 du 2 juillet 2006 modifié, dépendra des dangers et inconvénients potentiels associés au site d'exploitation.

À cette fin, un outil décisionnel cartographique a été mis en place à l'échelle nationale sur le site <https://www.geothermies.fr>.

La cartographie des zones de contraintes et la construction de cet outil sont basées sur les guides méthodologiques suivants :

- Impacts potentiels de la géothermie très basse énergie sur le sol, le sous-sol et les eaux souterraines - Synthèse bibliographique - ADEME, ONEMA, BRGM (Bézèlgués-Courtade et al., 2012) ;
- Méthodologie d'une cartographie des contraintes et des risques géologiques liés aux forages géothermiques de minime importance - Rapport BRGM/RP-61768-FR (Herbaux et al., 2013) ;
- Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance - Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, ADEME, BRGM, CEREMA (Herbaux et al., 2015).

Cette carte initiale est en vigueur depuis le 1^{er} juillet 2015, avec un zonage par mailles de 500 m. Il est prévu dans un second temps de réviser cette carte, à l'échelle régionale, afin d'apporter une meilleure précision en matière de connaissance et de localisation des phénomènes.

Il est en outre à noter que d'autres contraintes réglementaires, liées à des dispositifs de protection, peuvent s'imposer à ces installations :

- les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) et Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) ;
- la nomenclature « Loi sur l'Eau » (Code de l'Environnement) et les Zones de Répartition des Eaux (ZRE) ;
- les périmètres de protection des captages d'Alimentation en Eau Potable (AEP) ;
- les périmètres sanitaires d'urgence et les éventuels périmètres de protection des sources d'eau minérale naturelle ;
- les stockages souterrains de gaz.

1.2. CONTEXTE LOCAL - OBJECTIFS

Un atlas du potentiel géothermique des aquifères du territoire Poitou-Charentes (départements 16, 17, 79, 86) a été développé par le BRGM avec le partenariat financier de l'ADEME, la région Nouvelle-Aquitaine et le FEDER (rapport BRGM/RP-67694-FR).

Depuis 2018, il est en ligne sur le site internet : <https://www.geothermies.fr>. Cet atlas intègre l'ensemble des aquifères présents dans les modèles hydrodynamiques développées par le BRGM, à savoir le modèle hydrogéologique du Jurassique (BRGM/RP-64816-FR) et le modèle Crétacé du sud des Charentes (rapport BRGM/RP-70193-FR). Un travail complémentaire a été réalisé sur les zones non couvertes par ces deux modèles, sur les secteurs de géologie de socle des Deux-Sèvres, de l'est de la Charente et au sud-est de la Vienne. Ce travail complémentaire a été effectué selon la même méthodologie employée pour l'atlas du potentiel géothermique de l'ex-région Limousin.

Par ailleurs, il apparaît judicieux de développer une offre d'informations accessibles relatives aux risques géologiques, naturels, de pollution, hydrogéologiques identifiés sur les 200 premiers mètres du sous-sol, pouvant créer des désordres et de ce fait limiter l'implantation des échangeurs géothermiques (qu'ils soient ouverts ou fermés). En effet, le recours à la géothermie de minime importance à usage domestique comme source alternative d'énergie est en forte progression ces dernières années. En particulier, le secteur des sondes géothermiques verticales

s'est rapidement développé, notamment dans le sud de la région Nouvelle Aquitaine, en lien avec diverses incitations réglementaires en vigueur.

L'exploitation énergétique des formations géologiques superficielles est susceptible d'avoir des conséquences sur le milieu naturel, sur les eaux souterraines et sur la structure des terrains. Si ces impacts potentiels peuvent être liés à la qualité de la réalisation des ouvrages, ils dépendent en premier lieu de facteurs géologiques et hydrogéologiques propres aux différents secteurs d'implantation.

Sur la base des documents-guides disponibles, l'étape suivant la cartographie du potentiel géothermique consistait donc en une évaluation des risques géologiques associés à la géothermie de minime importance, sur le territoire Poitou-Charentes. La finalité est la révision de la carte réglementaire nationale à une échelle affinée, pour une meilleure prise en compte des spécificités locales.

2. Contexte géologique

2.1. GÉNÉRALITÉS

L'ancienne région Poitou-Charentes est caractérisée par une situation de seuil entre deux formations géologiques anciennes (massif Armoricain et massif Central) et deux grands bassins sédimentaires (bassin Parisien et Aquitain). Cette situation amène un empilement de roches sédimentaires principalement calcaires dans les bassins, d'âge compris entre 300 et 65 millions d'années. Dans les secteurs des massifs anciens (âgé de 600 millions d'années environ), on retrouve une grande variété de roches granitiques, volcaniques ou métamorphiques (schiste, gneiss, ...). Une carte de synthèse de l'ancienne région Poitou-Charentes est proposé en Illustration 4.

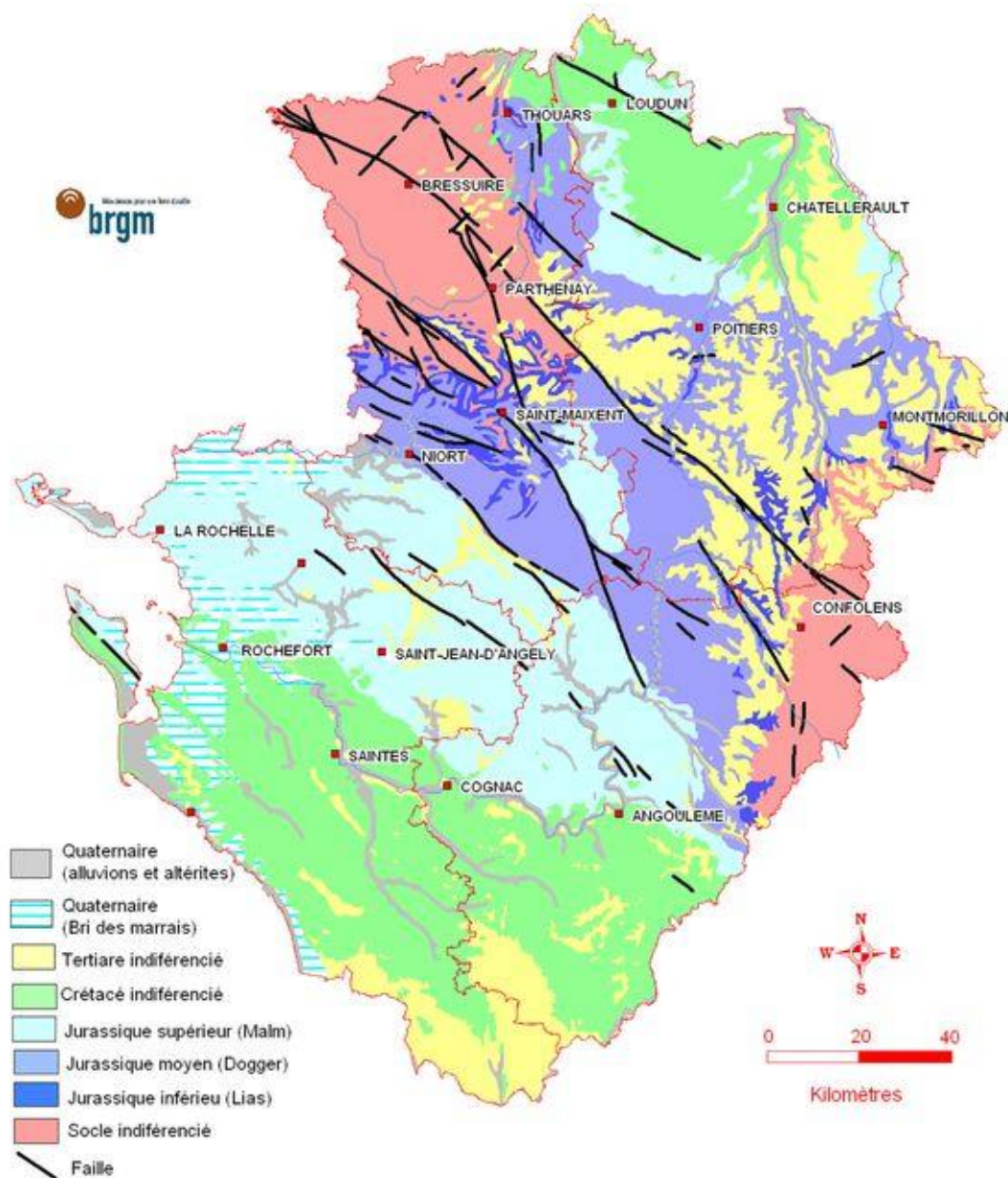


Illustration 4 : Carte géologique de synthèse de l'ex-région Poitou-Charentes (source : BRGM)

2.2. 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, etc.) ont pour la plupart une direction Nord-Ouest/Sud-Est, dite « armoricaine » (voir figurés noirs sur l'illustration 4). 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 sédimentaires (bassins aquitains et parisiens), par décalage par faille un dispositif en « marches d'escalier » (voir Illustration 5 et Illustration 6).

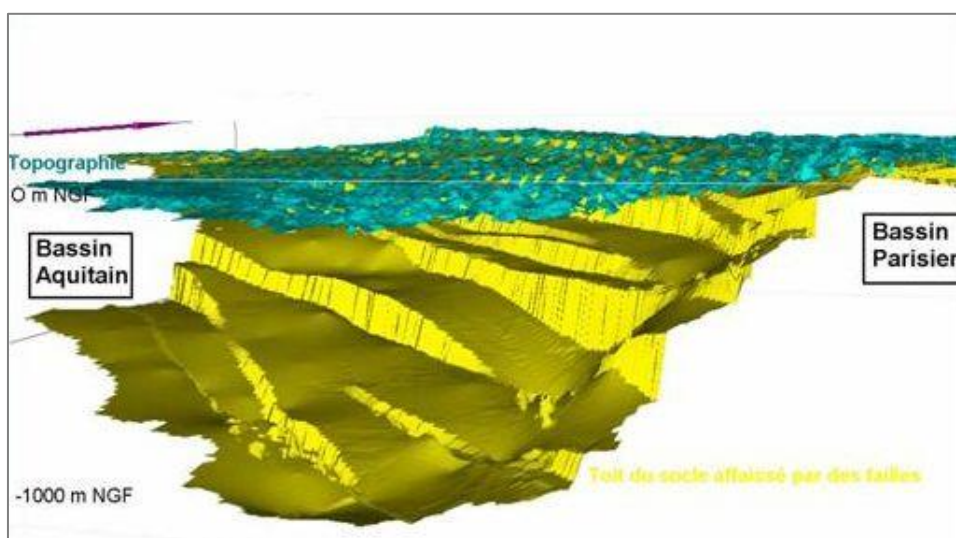


Illustration 5 : Bloc-diagramme représentant l'approfondissement suivant un dispositif de marches en escalier du socle (en jaune) de part et d'autre du seuil du Poitou (surface topographique en bleu), vu depuis le Sud (Source : BRGM)

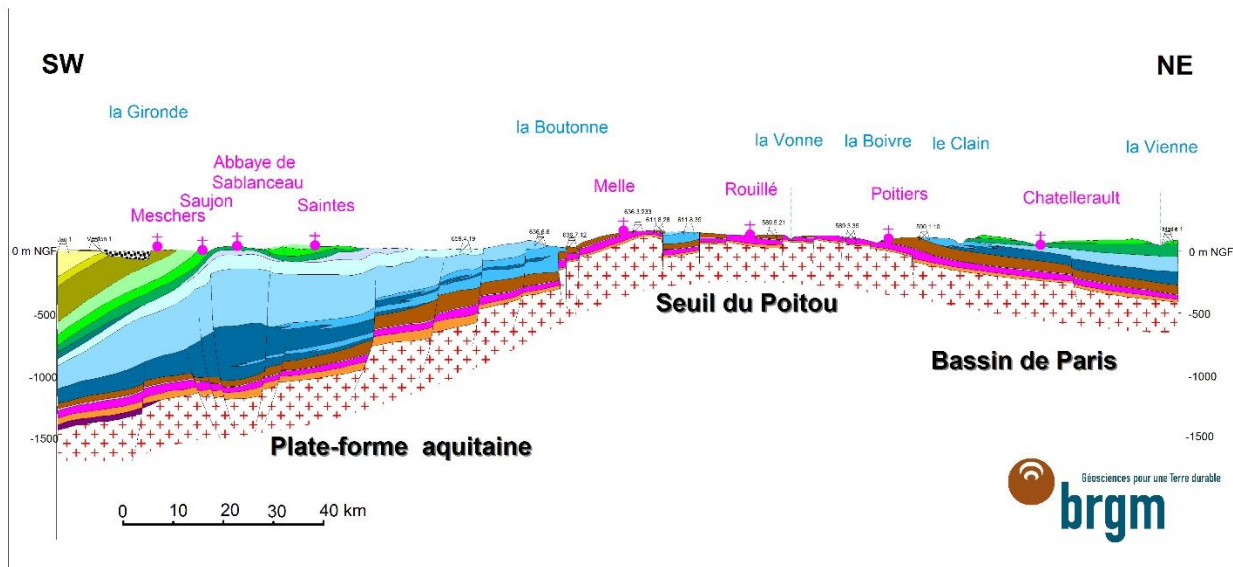


Illustration 6 : Coupe géologique régionale à travers le seuil du Poitou (source : BRGM)

2.3. LES FORMATIONS DES BASSINS SÉDIMENTAIRES

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

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 (Cénomanién, 100 Ma) correspond à une phase transgressive, avec le retour à des conditions marines de plateforme. Le Crétacé supérieur, représenté dans la moitié sud des Charentes 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 du 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, argile, lignites... Les dépôts du Cénozoïque (Tertiaire) correspondent en Poitou-Charentes à des appareils fluviaux (sables, graviers, galets) des plaines d'inondation, des calcaires lacustres (à l'Éocène et à l'Oligocène) et des altérites.

Enfin au Quaternaire (<1 Ma), 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 formations argileuses appelées « Bri ».

2.4. 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 européennes 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 résultantes de ces phénomènes tectoniques sont (voir Illustration 7) :

- 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 Ligueil, de Loudun, cuvette de Martizay.

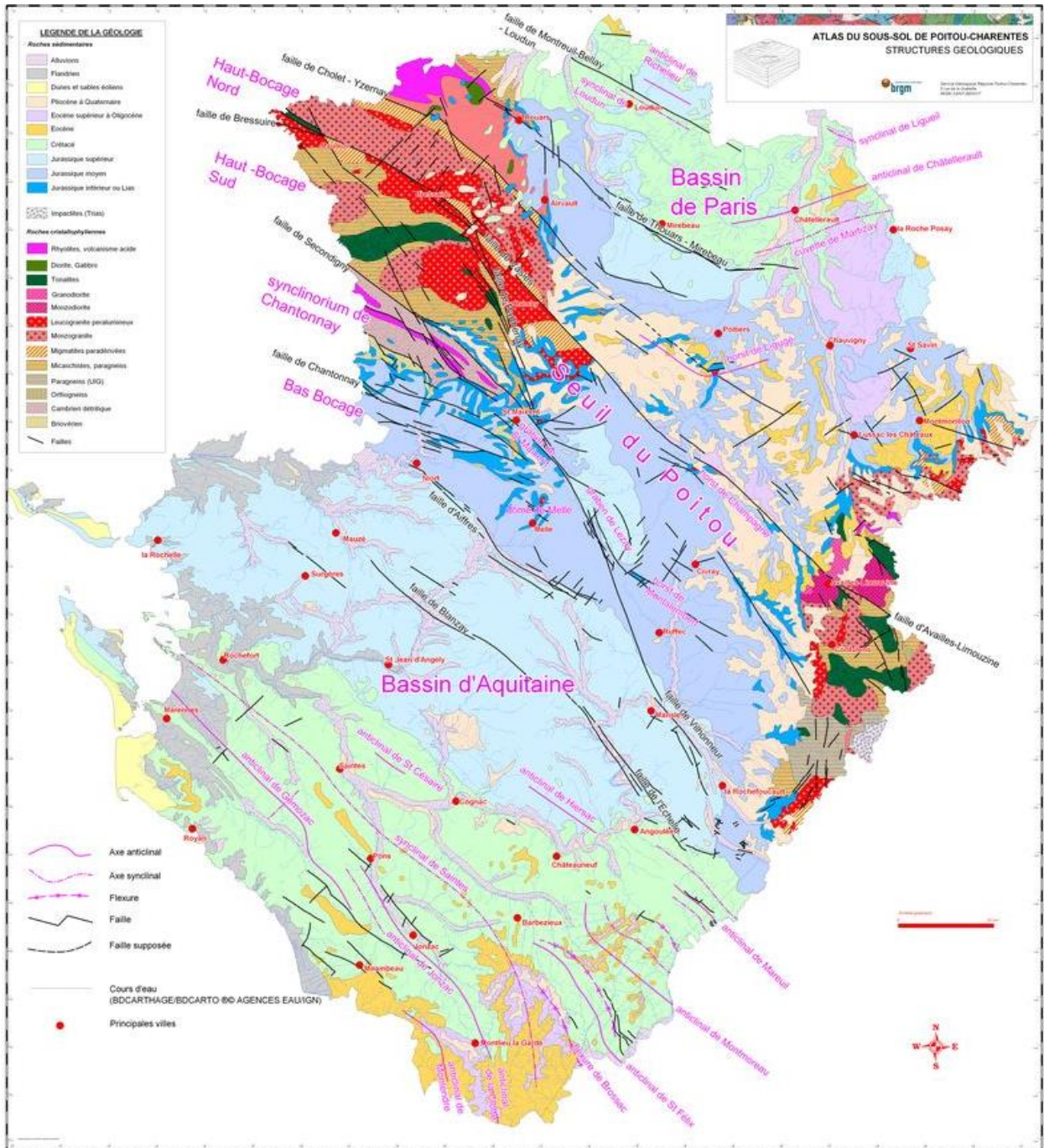


Illustration 7 : Carte des structures géologiques de Poitou-Charentes (source : BRGM)

3. Contexte hydrogéologique

3.1. AQUIFÈRES EN ZONE DE SOCLE

Sur les socles du Massif Armoricaïn et Centrale, les premières couches de roche altérée (dite frange d'altération) et fracturée contiennent des nappes, en général peu productives et peu profondes, avec des débits de quelques mètres cubes par heure pour des épaisseurs d'aquifère inférieures à 50 m (voir représentation schématique en Illustration 8). Ces nappes circulent en suivant les pentes topographiques, le bassin versant topographique correspond au bassin versant hydrogéologique.

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 de peu de décalage par rapport à l'épisode pluvieux.

Sur l'ex-région Poitou-Charentes, les bassins versants concernés par ce type de substratum sont : la Sèvre Niortaise et le Thouet (secteur Deux-Sèvres), les parties amont de l'Autize, de la Vienne, de la Gartempe, de la Creuse de la Charente et de certains affluents du Clain (secteurs Charente et Vienne).

3.2. AQUIFÈRES DES FORMATIONS SÉDIMENTAIRES

Au-dessus des formations de socle, dans les deux bassins sédimentaires du Bassin de Paris et du Bassin Aquitain, se trouve l'aquifère de l'Infra-Toarcien ; peu présent à l'affleurement, il passe sous couverture sous le Dogger pour devenir rapidement un aquifère captif (i.e. sous-pression).

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 souterraines se font par des sources de débits parfois très importants, comme les sources du Vivier à Niort et de la Touvre près d'Angoulême (seconde source de France par son débit).

Sur ces domaines, les rivières peuvent s'assécher par des pertes vers les formations karstiques, comme c'est le cas pour la Dive du Sud, la Bouleure, la Tardoire et le Bandiat. Les bassins versants topographiques ne correspondent alors pas forcément aux bassins hydrogéologiques. Des transferts d'eau sont fréquents d'un bassin topographique à un autre. C'est en particulier le cas au niveau du Seuil du Poitou, où les écoulements des rivières se distribuent de façon aléatoire entre les bassins de Paris et Aquitain. Une ligne de séparation des écoulements 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, 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 et la partie amont de la Charente.

Ces aquifères disposent à la fois de bonne capacité de stockage et de bonnes conductivités hydraulique. Les hydrographes des rivières montrent des décrues relativement atténuées par les apports des nappes souterraines. Les pics des crues sont souvent atténués de 2 jours par rapport aux épisodes pluvieux. L'hydrographe 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.

Un second type d'aquifère peut se rencontrer dans les formations sédimentaires de la région, il s'agit des aquifères fissurés. 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 représentent des hydrographes assez peu amortis. L'été la nappe s'épuise rapidement, se déconnectant de la rivière dans les zones amont ce qui peut entraîner des assèchs sévères. Les bassins versants concernés sont la Pallu, le Mignon-Courance, le Curé, l'Aume-Couture, l'Antenne, la Boutonne et la Devise. Dans ces bassins versants, les prélèvements, souvent importants, viennent aggraver une situation à l'étiage naturellement difficile.

Dans la partie méridionale de l'ex-région Poitou-Charentes, 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, qui correspondent initialement à des aquifères karstiques. De ce fait, dans les zones d'affleurement, le réseau hydrographique est peu dense. En revanche, l'importante couverture calcaréo-marneuse au-dessus de ces formations est peu perméable voir imperméable. Celle-ci peut toutefois se trouver fissurée et ainsi permettre des échanges entre la surface et les nappes profondes. On trouve aussi dans la frange d'altération de ces terrains marneux en surface une nappe de milieu fissuré à productivité médiocre.

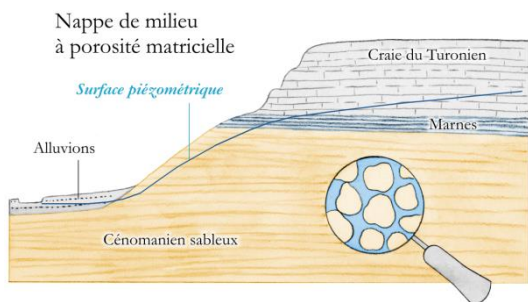
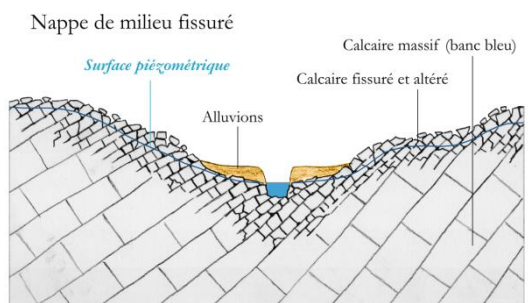
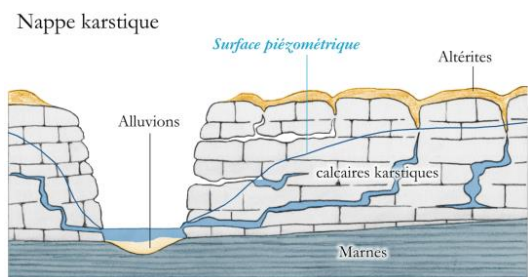
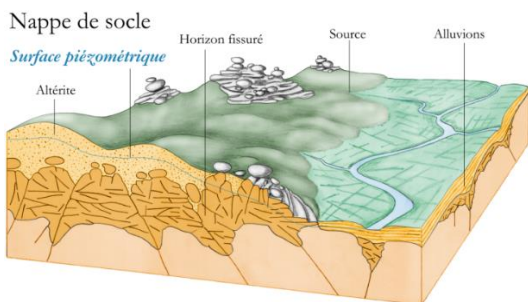
Enfin, le dernier type d'aquifère correspond au réservoir à matrice principalement sableuse. L'eau est contenue entre les grains de la matrice. Ces réservoirs sont fortement capacitifs mais en revanche peu transmissifs. Les graphes des piézomètres montrent en général des battements faibles traduisant 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 alors 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 8 présente les quatre grands contextes hydrogéologiques rencontrés sur le territoire de l'ex-région Poitou-Charentes.

Fonctionnement schématique



Caractéristiques générales

Porosité de matrice et de fissures
Épaisseur : 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
Épaisseur : de la surface à plusieurs centaines de mètres de profondeur
Stocks : moyens à élevés selon 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 Cénomaniens au Coniacien dans les Charentes

Porosité de fissures
Épaisseur : 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 Charentes et Charentes Maritime

Porosité inter granulaires (matricielle)
Épaisseur : 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 : Cénomaniens dans le nord de la Vienne, nappes alluviales et dunes littorales, Tertiaire au nord et au sud

Localisation en Poitou-Charentes

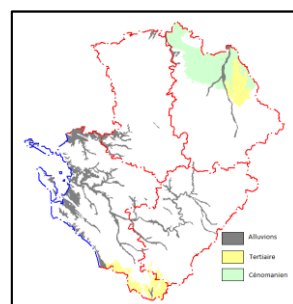
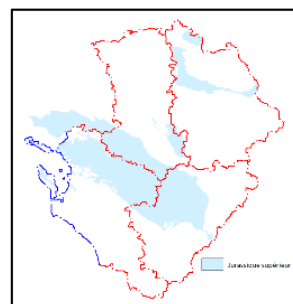
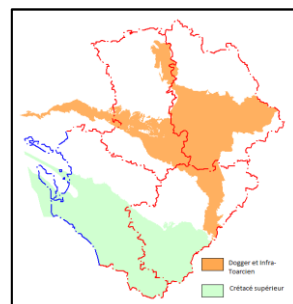
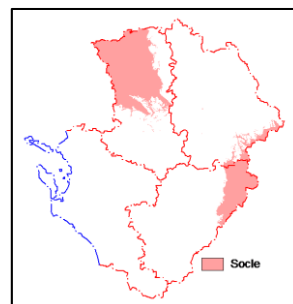


Illustration 8 : Synthèse des principaux aquifères du territoire picto-charentais (source : BRGM)

4. Cartographie des risques liés à la géothermie de minime importance

4.1. PRINCIPE MÉTHODOLOGIQUE

4.1.1. Qualification et pondération des aléas

La méthodologie appliquée se conforme à celle développée et présentée dans le rapport BRGM/RP-61768-FR (Herbaux et al., 2013) et dans le Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance (Herbaux et al., 2015).

La cartographie des risques liés à la géothermie de minime importance est basée sur une analyse multicritère et sur la réalisation de cartes à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG). Chacun des aléas identifiés, ainsi que les contraintes réglementaires, sont représentés par une couche spécifique. La grille de base, servant à l'ensemble des cartographies, est celle de l'atlas du territoire Poitou-Charentes (départements 16, 17, 79, 86) des potentialités géothermiques (rapport BRGM/RP-67694-FR).

Les aléas géologiques et hydrogéologiques ont été identifiés pour chacun des intervalles d'épaisseur définis (cf. 4.1.2). Pour chaque aléa :

- le phénomène redouté est décrit et affecté d'une qualification de son niveau (faible, moyen, fort pour la plupart d'entre eux) ;
- un facteur de pondération est ensuite attribué à chaque niveau ;
- un facteur aggravant est appliqué en fonction de l'intensité des phénomènes redoutés (affaissement, effondrement, pollution...), sa valeur pouvant être différente selon qu'il s'agisse de sondes géothermiques verticales (SGV) ou de doublets sur nappe.

Le territoire de la zone d'étude (ex-région Poitou-Charentes départements 16, 17, 79, 86) présente une très forte hétérogénéité géologique et hydrogéologique, avec des contextes fortement variés. Pour une meilleure cohérence, cette diversité du sous-sol a imposé certaines adaptations par rapport aux documents-guides (cf. 1.2).

L'étude des aléas géologiques et hydrogéologiques potentiels et la fusion de l'ensemble des couches permettent d'obtenir une cartographie de l'aléa, composée de trois zones pour chaque intervalle considéré :

- Aléa faible - **zone verte** : zone qui nécessite uniquement l'intervention d'un foreur qualifié ;
- Aléa moyen - **zone orange** : zone qui nécessite l'avis préalable d'un expert qualifié, puis l'intervention d'un foreur qualifié ;
- Aléa fort - **zone rouge** : zone où la réglementation relative à la minime importance n'est pas applicable.

Les zones réglementées concernant le sous-sol comme les périmètres de protection des ouvrages d'alimentation en eau potable (AEP) et eaux minérales, les stockages de gaz, etc... (décrites au chapitre 4.2) s'appliquent indépendamment de cette cartographie.

4.1.2. Gammes de profondeur

La méthodologie générale préconise la réalisation de cartes selon trois gammes de profondeur pour chaque type d'échangeur :

- de 10 à 50 m ;
- de 10 à 100 m ;
- de 10 à 200 m.

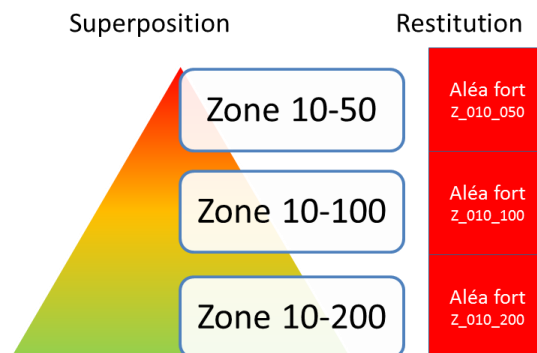
Cette déclinaison par gammes de profondeurs est particulièrement pertinente dans les zones en domaine sédimentaire. Elle se justifie pleinement sur les zones couvertes par les formations des bassins Aquitain et Parisien, pour appréhender au plus près l'hétérogénéité des successions lithologiques.

Cela aboutira à la réalisation de six cartes distinctes sur le territoire.

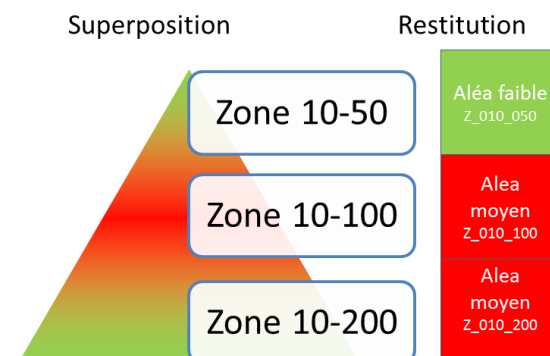
4.1.3. Héritage de l'aléa le plus élevé depuis le niveau de profondeur reconnu vers la surface

Ce classement en zones verte, orange ou rouge est effectué pour les trois niveaux de profondeur avec une règle d'héritage de l'aléa de la zone sus-jacente, lorsque celui-ci est plus élevé. Il est convenu, en termes de représentation, qu'un aléa élevé, présent en surface, c'est-à-dire dans le niveau de 10 à 50 mètres de profondeur, décrit un risque pour la réalisation d'un ouvrage de GMI dans cette tranche d'épaisseur. Tout ouvrage, qui traverse cette tranche d'épaisseur, c'est-à-dire les niveaux 10-100 mètres et 10-200 mètres, est soumis à l'aléa de la première zone. Cette règle d'héritage de l'aléa le plus élevé de la couche sus-jacente pour la restitution finale de la carte finale des zones peut se schématiser de la manière suivante :

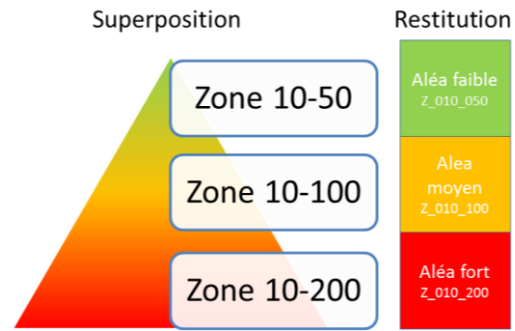
Si l'aléa de la zone 10-50 mètres est supérieur aux aléas des zones suivantes, alors il s'impose aux zones plus profondes et les cartes d'aléas sont identiques.



De la même manière si l'aléa de la zone 10-100 mètres est supérieur à l'aléa de la zone 10-200, alors il s'impose et les cartes d'aléas suivantes 10-100 et 10-200 sont identiques.



En revanche, si l'aléa est croissant avec la profondeur et les trois zones d'épaisseurs superposées, alors la valeur de l'aléa attribuée à la zone d'épaisseur considérée est inchangée et la cartographie de la GMI produira une réponse en termes de risques adaptée à la profondeur envisagée pour l'ouvrage.



4.2. INTÉGRATION DES RÉGLEMENTATIONS TERRITORIALISÉES

Les travaux de forage envisagés dans le cadre de la géothermie de minime importance, puis l'exploitation de l'ouvrage, induisent la prise en compte de certaines précautions au regard des enjeux et des risques présents dans le sous-sol. Le régime de la minime importance s'applique sans préjudice des autres réglementations. Il s'agit en particulier de respecter les prescriptions sur les zones à proximité de captages d'eau potable, d'eau minérale, les zones mentionnées dans les SDAGE et SAGE ainsi que les périmètres qui disposent de servitudes d'utilité publiques encadrant l'utilisation du sol et du sous-sol.

Ces réglementations sont indépendantes de la carte des réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Elles devront être prises en compte lors de la réalisation d'un forage de géothermie.

Il appartient à l'exploitant et à tout sous-traitant impliqué dans l'activité de géothermie de ce dernier de s'informer et de mettre en œuvre la réglementation spécifique applicable sur la zone.

4.3. CARTOGRAPHIE DES ALÉAS LIÉS AUX OUVRAGES GÉOTHERMAUX

4.3.1. Aléa "affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques"

Phénomène redouté

Il s'agit d'un affaissement, voire d'un effondrement ou d'une surrection des terrains de surface, lié soit à la dissolution d'un niveau d'évaporite, soit au gonflement de ce niveau en cas de présence d'anhydrite. Ces phénomènes sont provoqués par la mise en communication d'aquifères superficiels ou profonds avec les horizons évaporitiques à la faveur d'ouvrages souterrains mal réalisés ou difficilement réalisables dans ce contexte.

Il n'existe pas de cartographie des aléas liés à ce phénomène actuellement en France ni dans la région Poitou-Charentes.

Données disponibles

Une recherche documentaire préliminaire sur les données géologiques du territoire a été menée, et les données cartographiques existantes ont été étudiées.

Plusieurs sources ont été utilisées:

- les cartes géologiques harmonisées à l'échelle de 1/50 000^{ème} (données vectorisées) de Charente, Charente-Maritime et Deux-Sèvres ;
- les cartes géologiques à l'échelle de 1/50 000^{ème} (données vectorisées) qui couvrent le territoire de la Vienne (N°485, 486, 512, 513, 539, 541, 542, 565, 566, 567, 568, 588, 589, 590, 591, 592, 611, 612, 613, 614, 615, 637, 638, 639, 661, 662) ;
- la base de données issue des logs vérifiés de la BSS (LOGISO) pour connaître la profondeur et l'épaisseur des niveaux évaporitiques identifiés dans les couches numérisées de la BSS.

Les niveaux contenant des évaporites massives et disséminées ont été identifiés à partir des descriptions lithologiques figurant dans les logs vérifiés de la BSS :

- lorsque les descriptions de niveaux géologiques où les termes gypse, anhydrite, sel ou halite sont indiqués, sans association à un autre matériau, les niveaux concernés ont été assimilés à des niveaux massifs d'évaporites ;
- lorsque les descriptions de niveaux géologiques comprennent les termes : gypse, anhydrite, sel ou halite associés à un autre matériaux (ex : calcaire gypseux, etc.) elles sont été interprétées comme des évaporites disséminées dans la roche.

Les épaisseurs cumulées des niveaux d'évaporites ont été calculées à partir des passes unitaires de sondages, d'une puissance égale ou supérieure à 50 cm. Pour chaque intervalle de profondeur (0-50 m, 0-100 m et 0-200 m), l'épaisseur cumulée correspond à la somme des passes élémentaires dont la profondeur est incluse dans l'intervalle considéré. Si une couche d'évaporites massives se termine en dessous de la limite inférieure d'un intervalle, elle est considérée dans son épaisseur totale pour le cumul des épaisseurs.

Sur le secteur d'étude, les zones où la formation du Tithonien moyen à supérieur affleure (faciès « Purbeckien » : formation des calcaires argileux et marnes ou argiles gypsifères ont été classées en susceptibilité moyenne à forte.

Qualification de l'aléa

En l'absence de carte, ce phénomène est qualifié en fonction de sa susceptibilité (probabilité d'occurrence) selon la méthodologie suivante (adaptation de la méthodologie nationale au contexte local) :

- **susceptibilité très forte (notée 7)** : présence avérée d'un ou plusieurs horizons évaporitiques en quantité importante (> 2 m), définie à partir d'informations provenant de sondages ou figurant dans les notices de cartes géologiques (méthodologie établie d'après les travaux du CEREMA et de l'INERIS (2017 et 2014) ;
- **susceptibilité forte (notée 5)** : présence avérée d'un ou plusieurs horizons évaporitiques en faible quantité (<2 m) d'après les données de sondages disponibles, présence connue de carrière de formation évaporitique en exploitation (carrière de gypse en particulier) définie soit à partir d'informations provenant de sondages ou figurant dans les notices géologiques ;
- **susceptibilité moyenne (notée 3)** : présence de gypse avérée de façon diffuse identifiée dans les coupes de sondage (exemple « marne gypseuse », etc.) ;
- **susceptibilité faible (notée 1)** : pas d'horizons évaporitiques connus mais formation susceptible d'en contenir ;
- **susceptibilité nulle (notée 0)**: formation ne pouvant pas contenir d'horizons évaporitiques.

La cartographie final pour cet aléa est disponible sur l'illustration 9.

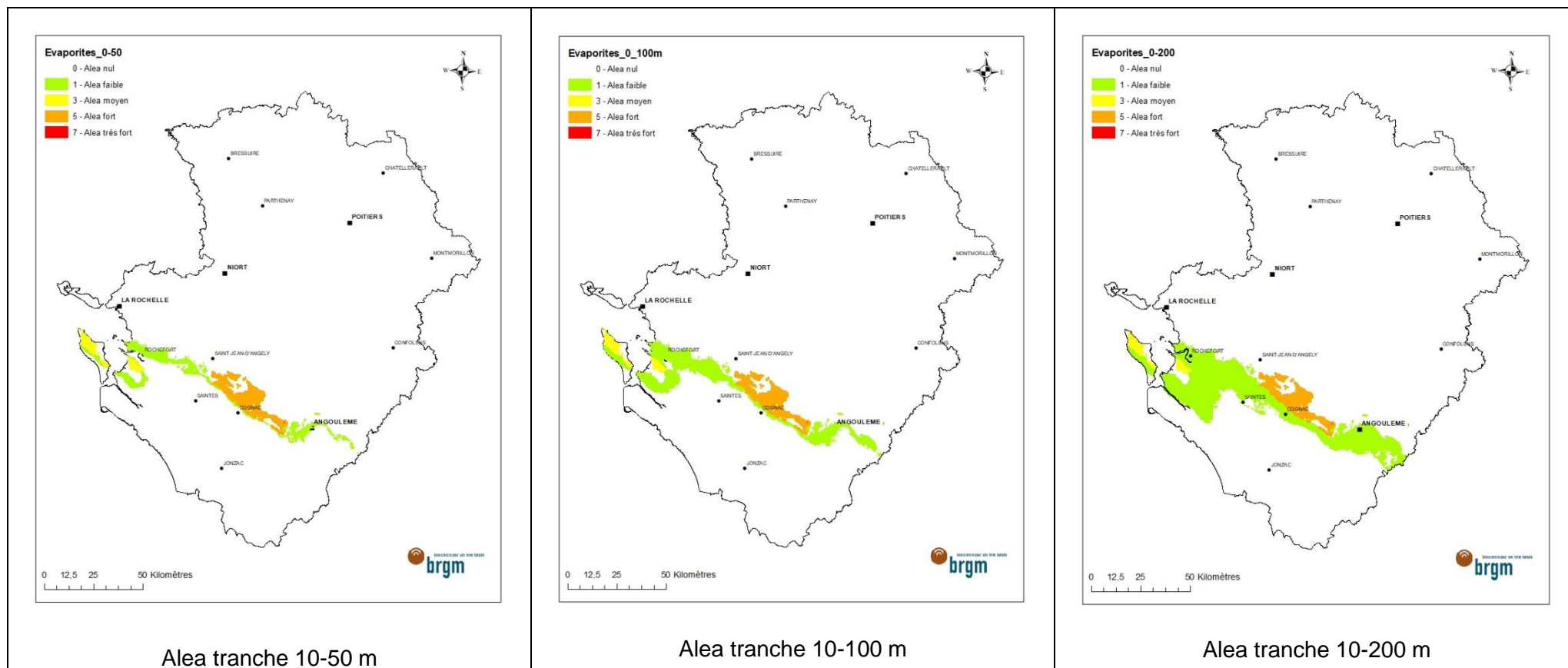


Illustration 9 : Cartographie de l'aléa « évaporites » sur les tranches 0-50m, 0-100m et 0-200m

4.3.2. Aléa "affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines)"

Phénomène redouté

Les phénomènes d'affaissement ou d'effondrement peuvent être provoqués, soit lors de la foration au cours de la mise en place du dispositif, soit, sur toute la durée de vie de l'ouvrage, par la mise en communication d'eau de surface ou d'aquifères superficiels ou profonds avec les cavités à la faveur d'ouvrages souterrains mal réalisés ou difficilement réalisables dans ce contexte. Les cavités de dissolution des réseaux anciens (paléokarsts), potentiellement remplies de matériaux sans cohérence, sont aussi concernées (phénomène d'infiltration et de soutirage).

Les cavités sont, de plus, une difficulté pour la réalisation d'un forage, en particulier pour la cimentation.

Sur le territoire de l'ex-région Poitou-Charentes, cet aléa concerne également les carrières souterraines, utilisées pour l'extraction de matériaux de construction qui peuvent représenter de gros volumes de vides à l'échelle des territoires de certaines communes, c'est le cas notamment pour certaines communes de Charente-Maritime et du nord de la Vienne.

Données disponibles sur les aléas affaissements et effondrements

Certaines communes bénéficient d'un Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) contenant des cartographies détaillées des aléas "effondrement" ou "affaissement / tassement différentiel". Elles sont recensées et accessibles dans les bases de données publics accessible depuis le site internet : <https://www.georisques.gouv.fr/>.

Pour ce type de données, des fichiers de formes vectorisées délimitant les zones d'aléas ont été intégrés au SIG utilisé pour le calcul de risque. Depuis le site Georisques, les cartes d'aléas sont agrégées par département. Ces cartes ont été complétées par plusieurs PPRN (fournis par la Direction Départementales des Territoires (DDT) des départements 16 et 17) spécifiques de plusieurs communes (pas encore accessibles et/ou en cours de mise à jour par rapport aux informations disponibles sur Georisques). Il s'agit des PPRN des communes suivantes :

- Saint-Même-les-Carières (16) ;
- Saint-Sulpice-de-Cognac (16) ;
- Échillais (17) ;
- Saintes (17) ;
- Pons et Jonzac (17).

La DDT de la Vienne (86) a transmis une carte d'aléa effondrement (sous forme de fichier de formes vectorisées SIG) complémentaires concernant les territoires du nord de la Vienne.

Pour finir, une carte d'aléa effondrement lié à des cavités karstiques issue d'une étude sur le territoire de la commune de La Rochefoucauld (16) et réalisée par le CEREMA en 2016, a été intégrée aux données.

À noter que les PPRN sont régulièrement mis à jour ou en actuellement en cours de réalisation pour certaines communes. À ce titre, les informations disponibles sur le site Georisques font régulièrement l'objet de mise à jour. Dans le cadre du présent travail, le site Géorisques a été consulté sur la période d'avril et mai 2020.

Données disponibles sur les cavités

Les occurrences de cavités sur le territoire Poitou-Charentes sont recensées par plusieurs sources. Contrairement aux cartes d'aléa décrites au paragraphe précédent, il ne s'agit pas ici d'une cartographie des secteurs à risque mais d'un recensement sous forme de données ponctuelles (points avec coordonnées X et Y) sur l'ensemble du territoire d'étude.

La banque des données nationales des cavités souterraines abandonnées en France métropolitaine "hors mines" est accessible depuis le site Georisques (Illustration 10).

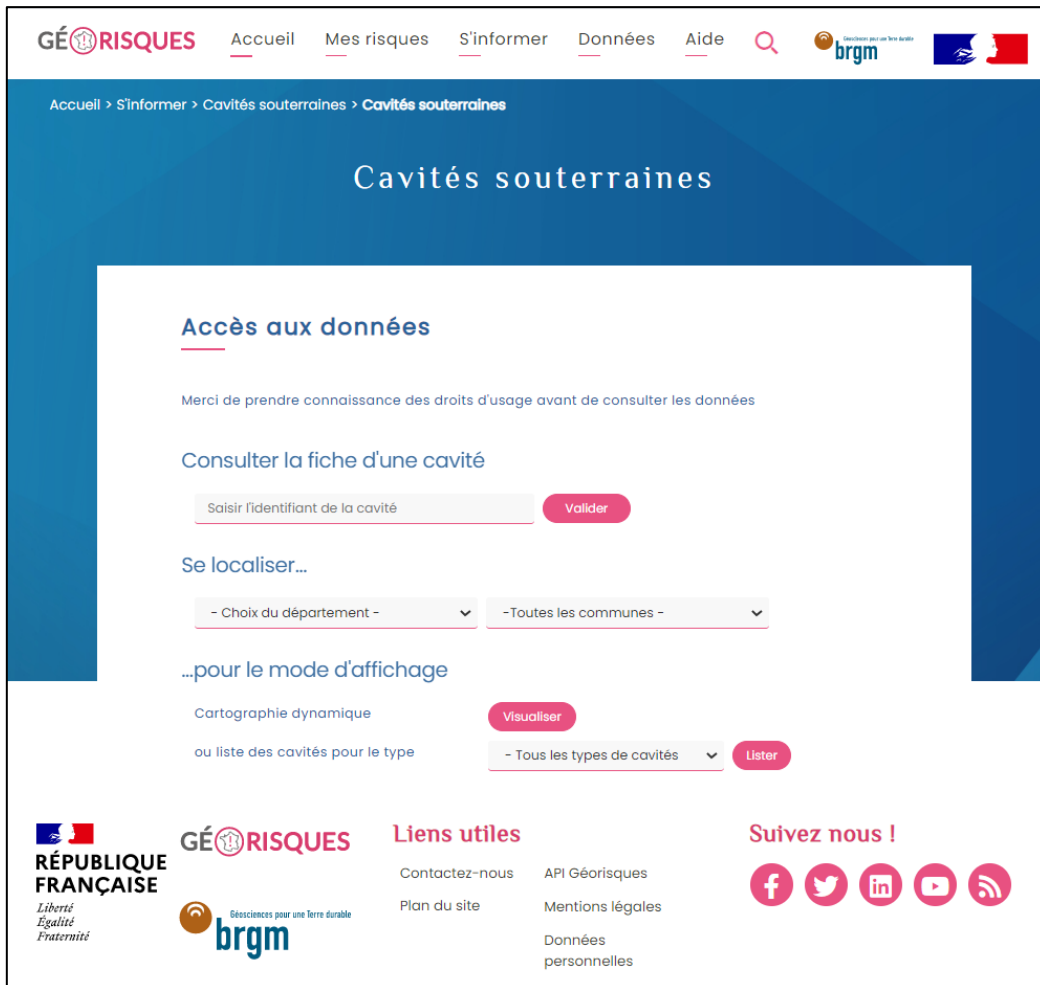


Illustration 10: Copie d'écran du site Georisques (<https://www.georisques.gouv.fr/risques/cavites-souterraines/donnees#/>)

L'inventaire cavité disponible par département accessible depuis le site Georisques a été complété par :

- plusieurs bases de données issues de travaux d'inventaire des cavités réalisés par le BRGM sur plusieurs communes de la Vienne (86) (données en cours de transmission mais non disponibles sur Georisques au moment du présent travail) ;
- une base donnée de coordonnées XY de cavités transmise par la DDT 86 (données en cours de transmission mais non disponibles sur Georisques au moment du présent travail) ;

- un inventaire des dolines et gouffres d'origine karstique dans le secteur du sud de la Vienne et du nord de la Charente réalisé par le BRGM (rapports BRGM RP 53847-FR et RP-55573-FR) ;
- un inventaire des indices des karstifications indiqués dans les coupes de forages disponibles dans la Banque de Données du Sous-sol (BSS).

Données disponibles sur les formations géologiques

Le référentiel hydrogéologique français BDLISA V2 inclut une surcouche karst (Paroissien et al., 2015), qui référence les entités karstiques à l'affleurement. Ces données ont été complétées sur le secteur du nord de la Charente-Maritime par les données du modèle hydrogéologique 3D des aquifères du Jurassique du BRGM.

Sur les territoires de la Vienne, de la Charente, Charente-Maritime et Deux-Sèvres, les formations recensées sont essentiellement² :

- les calcaires du Dogger (Jurassique Moyen environ - 175 à - 160 Ma), majoritairement en Vienne et dans le nord de la Charente) ;
- les calcaires du Turonien inférieur (Crétacé Supérieur environ -90 Ma), dans le nord de la Vienne;
- les calcaires de l'Aquitain-Burdigalien en rive gauche de la Garonne ;
- calcaires du Turonien du nord du Bassin Aquitain (Crétacé Supérieur environ - 90 Ma), en Charente et Charente-Maritime ;
- les calcaires du Cognacien-Santonien-Campanien (Crétacé Supérieur environ - 90 à - 70 Ma) en Charente et Charente-Maritime.

Les formations karstifiées ou potentiellement karstifiées comprises dans les 200 premiers mètres d'épaisseur représentent une large partie du territoire d'étude. L'illustration 11 représente un aperçu de l'étendue des formations karstifiées, sur laquelle sont superposées les données ponctuelles issues des inventaires cavités sur le secteur d'étude.

² La surcouche karst recensait également les formations de l'Oxfordien et du Kimméridgien de Charente et Charente-Maritime, ces formations ne sont pas karstifiées mais uniquement fissurées. Elles seront retirées de la surcouche karst dans la prochaine version de la BDLISA (v3) et n'ont pas été prises en compte ici.

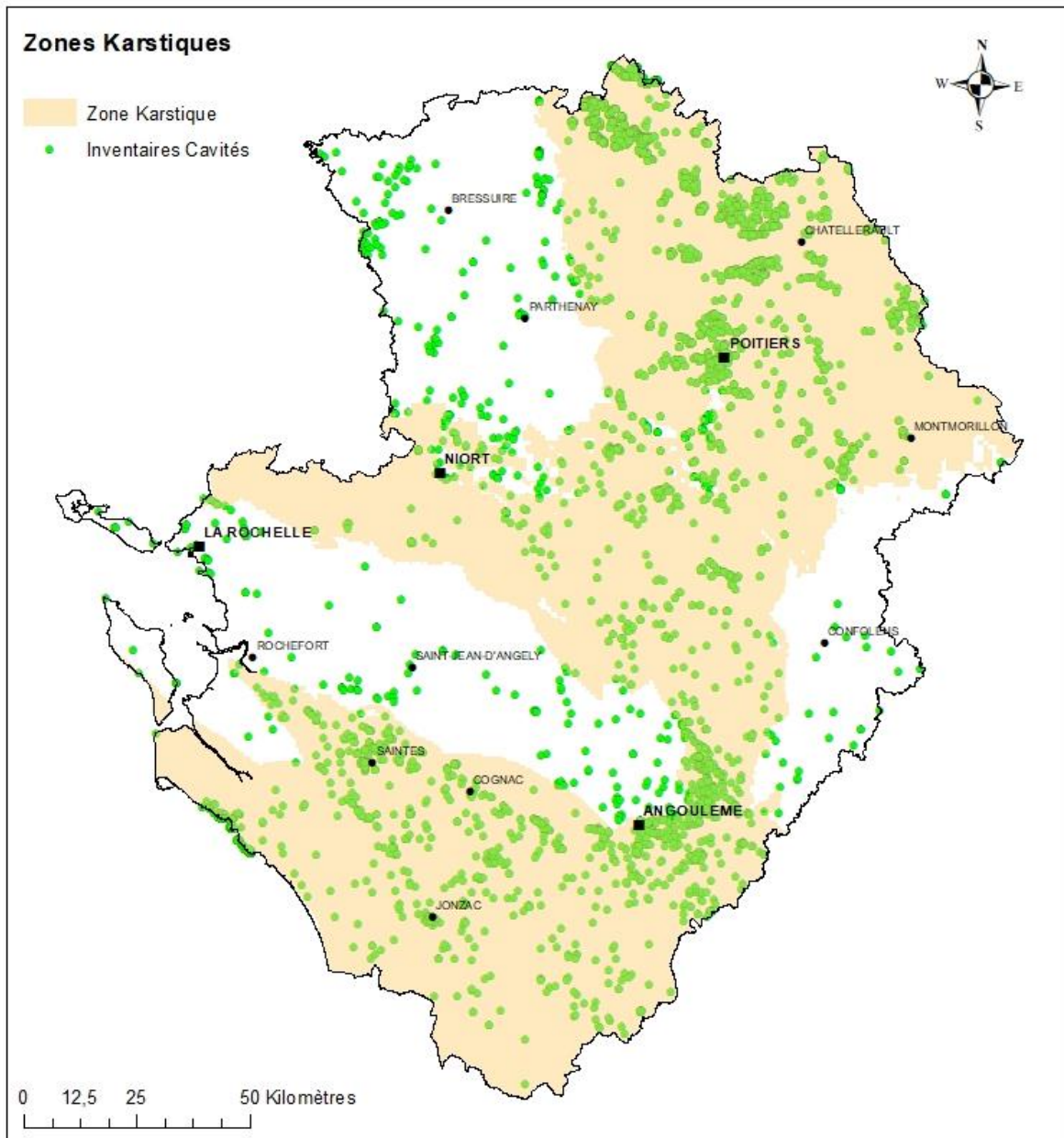


Illustration 11 : Recensement des formations géologiques potentiellement karstifiées entre 0 et 200 m de profondeur sur la zone d'étude (orange) et cavités recensées dans l'inventaire cavité (points verts)

Qualification de l'aléa

Comme indiqué dans la méthodologie nationale, l'ensemble des données ont été agrégées aux mailles 500 m x 500 m afin de procéder aux calculs d'aléa. La quantification a été basée sur la base définie dans la méthodologie nationale, avec quelques adaptations aux contextes locaux si nécessaire. La méthodologie suivie est décrite ci-après.

Pour les communes disposant d'une cartographie détaillée de l'aléa, via des PPRN, études locales, etc.) la méthodologie fixée est la suivante :

- aléa fort : présence d'une zone à risque d'effondrement/d'affaissement et ou présence d'une cavité cartographiée dans la maille concernée ;

- aléa nul : pas de zone à risque effondrement/affaissement recensée dans la maille.

Les cartes d'aléa issues des PPRN ont été prises en compte avec une zone tampon de 50 m. En revanche, en raison d'une géométrie parfois très précise et complexe de certaines cartes d'aléa, en particulier dans le secteur du nord de la Vienne (données transmises par la DDT 86), aucune zone tampon n'a été prise en compte autour de ces zones à risque. En effet, la géométrie parfois très complexe de certaines cavités (voir exemple sur Illustration 12), la prise en compte d'une zone tampon par les SIG utilisés pour l'ensemble des fichiers de formes disponibles était trop coûteuse en temps de calcul. De plus, étant donné la bonne précision des cartes d'aléa disponible, la prise en compte d'une zone tampon a été considérée comme non pertinente.

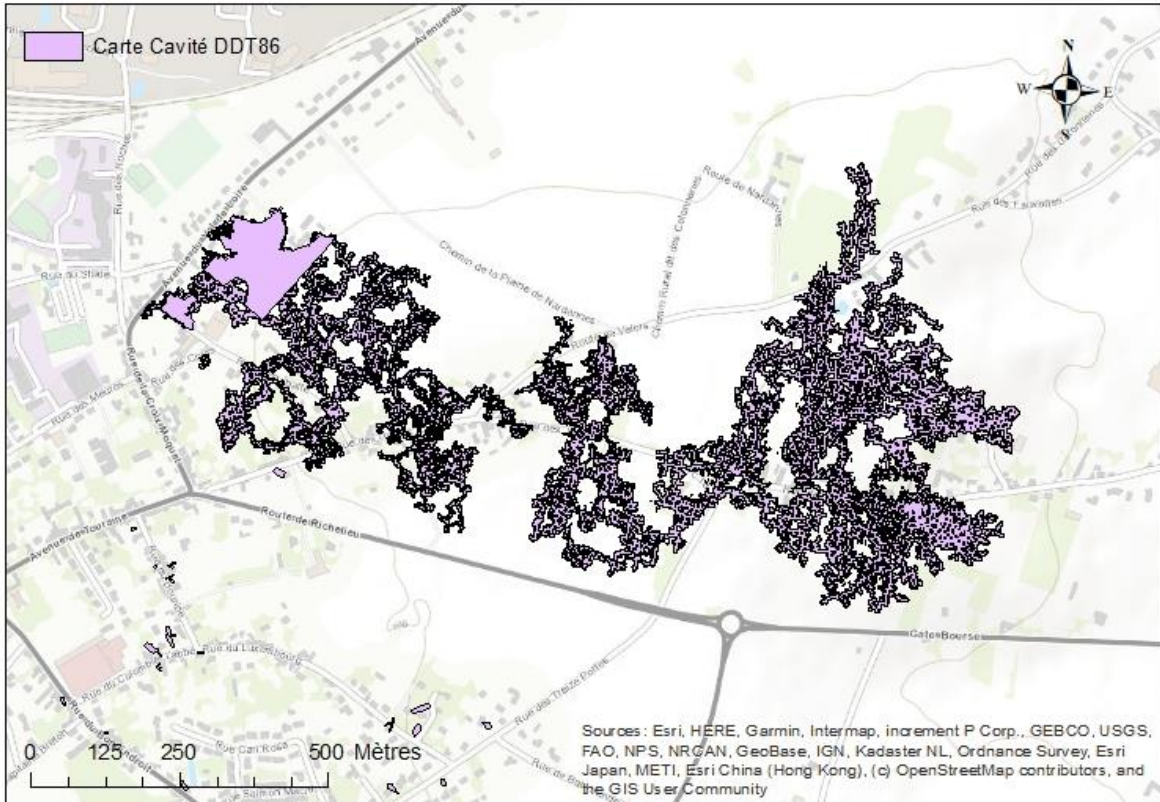


Illustration 12 : Exemple de carte de cavités à géométrie complexe réalisée dans le secteur de Loudun (Nord-Vienne)

Sur toutes les communes qui ne bénéficient pas d'une cartographie détaillée de l'aléa "effondrement" et/ou d'une cartographie précise des cavités, la méthodologie arrêtée repose sur le critère de densité des cavités connues, comme prévue dans la méthodologie nationale. Une zone tampon a été considérée autour des points XY de chaque cavité en fonction du niveau de précision indiqué dans l'inventaire pris en compte, à savoir : emplacement « approché » = tampon de 500 m ; « imprécis » = 250 m ; « précis » = 25 m. Ces zones tampons sont basées sur les données indices de précisions fournis dans les bases de données de cavité disponible sur le site Georisques. Ces zones tampons ont été majorées d'une zone d'influence de 50 m.

Sur cette base, la qualification les critères retenus pour la qualification de l'aléa à la maille de 500 x 500 m sont les suivants :

- susceptibilité forte : > 8 cavités recensées par maille ;
- susceptibilité moyenne : 4 à 8 cavités recensées par maille ;

- susceptibilité faible : présence d'une formation géologique susceptible de contenir des cavités (type karst) et/ou 2 à 3 cavités recensées par maille ;
- susceptibilité nulle : 0 à 1 cavité recensée et pas de formation géologique susceptible d'en contenir.

L'illustration 13 donne un premier aperçu de la cartographie de l'aléa à l'échelle de l'ex-région Poitou-Charentes (départements 16, 17, 79, 86).

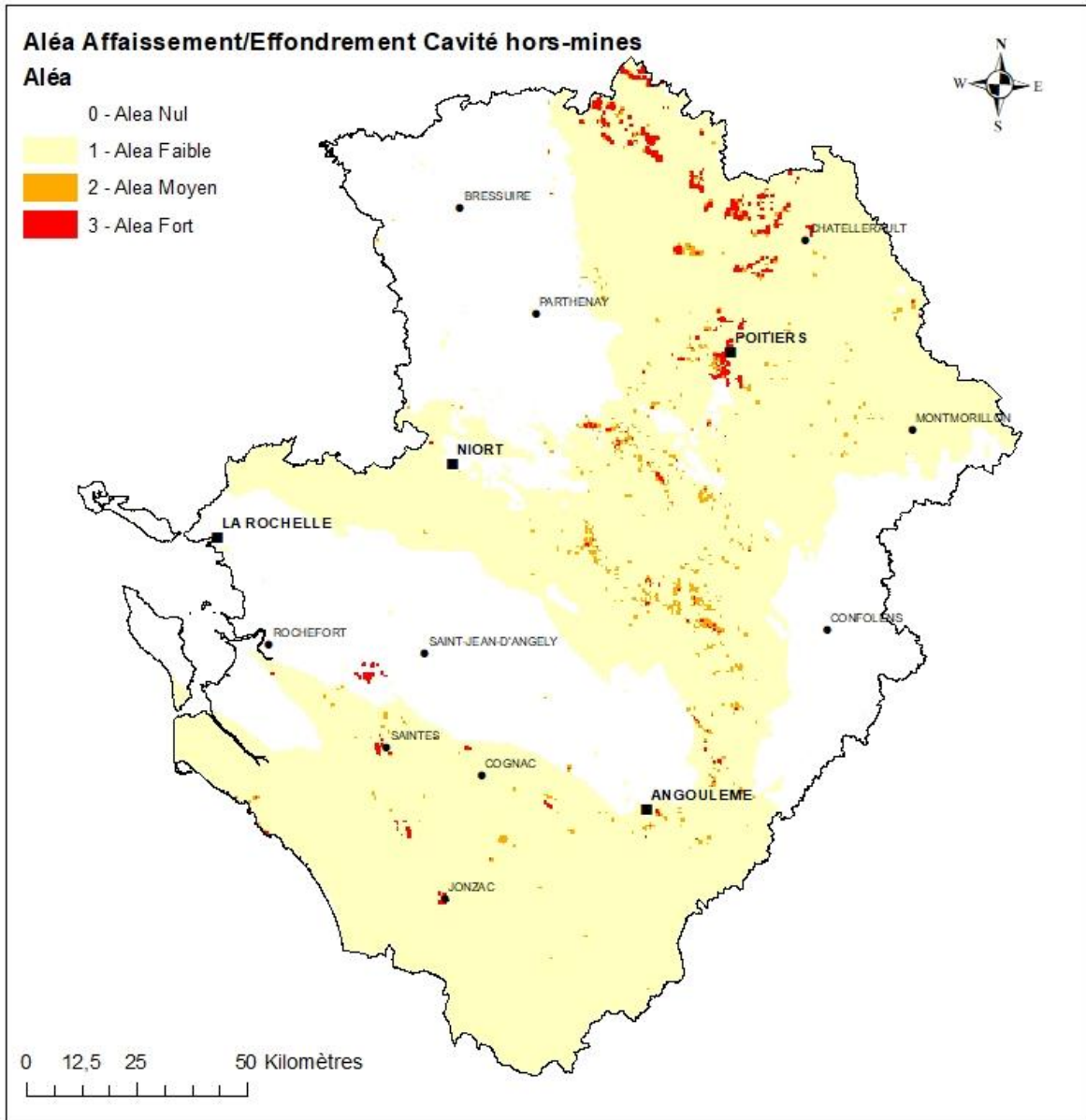


Illustration 13 : Aperçu de la cartographie de l'aléa "affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines)"

4.3.3. Aléa "affaissement/effondrement lié aux cavités d'origine minière"

Phénomène redouté

Il s'agit ici d'effondrements localisés (de type « fontis »), ainsi que des affaissements. De par leur brutalité, les effondrements localisés, potentiellement généralisés à de large surface, sont susceptibles de mettre en péril la sécurité des personnes. Ils génèrent donc un impact plus fort que celui associé aux affaissements (phénomènes plus lents), qui n'induisent un risque économique menaçant principalement les constructions. Dans le cadre d'un projet de géothermie basse température, la foration peut avoir des conséquences sur la tenue des terrains et ainsi provoquer des phénomènes d'affaissement/effondrement dans les zones concernées par des cavités minières. Ces phénomènes pourraient donc être provoqués soit par la foration au cours de la mise en place du dispositif soit, sur toute la durée de vie de l'ouvrage, par la mise en communication d'eau de surface ou d'aquifères superficiels ou profonds avec les cavités à la faveur d'ouvrages souterrains mal réalisés ou difficilement réalisables dans ce contexte.

Il n'existe pas de carte de ce phénomène à l'échelle nationale actuellement en France. Localement, sans prise en compte de la spécificité de la géothermie et de ses interactions avec les cavités minières, des études ont pu être menées sur l'aléa mouvements de terrain liés aux cavités minières au niveau des bassins et concessions miniers ou au niveau communal (PPRM). L'ensemble de ces études est effectué par le Groupement d'Intérêt Public (GIP) Geoderis. Les études sont ensuite archivées par la DREAL

Activités minières disposant d'études sur les aléas

Dans le cadre de la présente étude, les données sur les aléas associés aux activités minières (actuelles et anciennes) ont été fournies par la DREAL Nouvelle-Aquitaine :

- Études d'aléas effectuées par Geoderis :
 - Ambernac et Alloué-Ambarnac (Charente), avec une cartographie précise des risques à partir des plans des travaux miniers ;
 - Bassin de Faymoreau (sur la limite Vendée et Deux-Sèvres) avec une cartographie précise des risques à partir des plans des travaux miniers ;
 - Melle (Deux-Sèvres), avec une cartographie peu précise des risques basée sur les zones de travaux connues mais sans plans miniers précis (exploitations trop anciennes).

La précision de ces données a fait l'objet d'une concertation avec la DREAL Nouvelle Aquitaine, selon les mêmes critères pris en compte pour la cartographie de cet aléa en ex-région Aquitaine (rapport BRGM/RP-67708-FR, 2018) :

- les études détaillées des aléas basées sur des plans miniers précis : il ne leur a pas été adjoint de zone tampon considérant les plans suffisamment précis (sites d'Alloué-Ambarnac et bassin de Faymoreau) ;
- les études de qualification rapide des aléas ne sont en l'état pas basées sur des validations de terrain complètes, et reposent essentiellement sur des données bibliographiques : une zone tampon de 300 m a été appliquée (site de Melle).

Activités minières ne disposant pas d'études sur les aléas

En l'absence de carte d'aléa existante, les données utilisées ont été celles de l'inventaire des Ressources Minières du territoire métropolitain (travail achevé en 1992), répertorié sur le site SIG Mines.

Le SIG Mines recense au total 11 sites d'extraction sur le territoire Poitou-Charentes. À noter toutefois que parmi ces 11 sites sont inclus 2 sites situés à la limite Maine-et-Loire et Deux-Sèvres (mais recensé dans le Maine-et-Loire dans le SIG Mines) et 1 site situé à la limite Haute-Vienne et Charente (mais recensé dans la Haute-Vienne dans le SIG Mines). Ces 3 sites ont été inclus au territoire de la zone d'étude car ils sont à prendre en compte du fait de la zone tampon considérée (voir ci-après).

Il est à noter que ces données d'inventaire ne disposent que d'une localisation ponctuelle : aucune information d'emprise n'est disponible pour les sites du territoire Poitou-Charentes. Les coordonnées XY correspondent uniquement à une localisation approximative du gîte, sans réalité géographique : il peut s'agir des coordonnées du principal du site d'extraction, du barycentre des différents sites, de l'implantation des principales infrastructures. Au vue des décalages observés sur certains sites avec les localisations effectives des extractions, et en concertation avec la DREAL Nouvelle-Aquitaine, il a été appliqué une zone tampon de 1,5 km sur ces localisations. Cette valeur permet de couvrir les incertitudes. Une zone tampon similaire avait été prise en compte pour l'atlas des aléas lié à la GMI de l'ex-région Aquitaine (rapport BRGM/RP-67708-FR, 2018).

Qualification de l'aléa

Pour les activités minières disposant d'une cartographie détaillée de l'aléa, les niveaux d'aléas pour la présente étude ont été attribués selon la méthodologie suivante :

- aléa Fort : zone potentiellement concernée par des phénomènes d'effondrements localisés ou généralisé en lien avec la présence de cavités minières passées (sites ayant fait l'objet d'une étude spécifique par Geoderis) ;
- aléa Faible : zone d'activités minières qui ne bénéficient pas d'une cartographie détaillée de l'aléa "effondrement / affaissement", sur laquelle est considéré qu'une zone d'influence potentielle autour du site, sur laquelle le phénomène ne peut être écarté a priori mais considéré comme faible sur ces emprises (sites recensés dans le SIG Mines) ;
- aléa Nul : zones sans exploitations minières connue.

Les résultats de la cartographie de l'aléa sont représentés sur l'illustration 14.

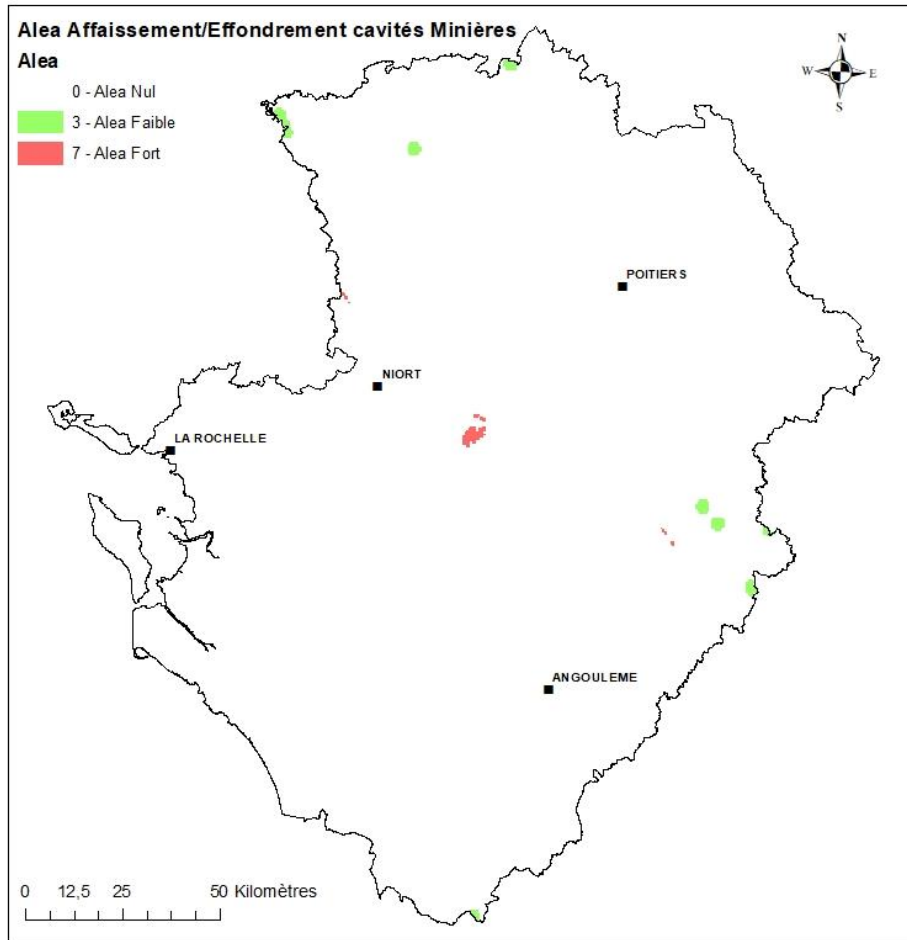


Illustration 14 : Aperçu de la cartographie de l'aléa "affaissement/effondrement lié aux cavités minières"

4.3.4. Aléa "glissement de terrain"

Phénomène redouté

Le phénomène décrit ici correspond à un glissement de terrain. Les zones présentant les conditions géométriques et lithologiques nécessaires à l'occurrence d'un phénomène de type glissement de terrain peuvent rester stables, en l'absence d'un déclencheur du processus. En revanche, la foration au cours de la mise en place du dispositif de géothermie peut être un déclencheur de ce type de phénomène. Il en est de même pour la mise en communication avec des eaux superficielles ou souterraines ou, le fluide caloporteur. Un tel phénomène est donc susceptible de se produire durant la foration ou durant l'exploitation géothermique.

En présence d'une nappe captive, un phénomène de glissement de terrain peut se produire en cas de percement non contrôlé de l'aquifère, avec un processus de saturation en eau d'une couche supérieure préalablement non saturée. Selon les couches lithologiques affectées et la géométrie de celles-ci, cette saturation en eau pourrait être très défavorable à la tenue des terrains. En dehors de la présence d'une nappe captive, le phénomène est réduit, car les volumes potentiellement infiltrés sont moins importants. Cela ne signifie pas qu'il n'y ait pas de phénomène naturel de glissement de terrain, mais que l'impact de la géothermie sur ce phénomène est limité.

Carte initiale

La qualification du phénomène s'est appuyée sur les informations disponibles dans la base de données des mouvements de terrain (BdMVT), disponible sur le portail Géorisques (www.georisques.gouv.fr). La base de données BDMVT gérée par le BRGM mémorise de façon homogène, l'ensemble des informations disponibles en France, sur des situations récentes et sur des événements passés et permet de porter à connaissance des phénomènes.

À l'échelle territoriale les données des plans de prévention des risques naturels ont été utilisées, lorsqu'elles étaient disponibles. Elles ont été recueillies sur le site georisque.gouv.fr. Les DDT(M), ont été sollicitées pour compléter le premier recueil.

Les cartes d'aléa suivantes ont été prises en compte :

- PPR Mouvement de terrain de la vallée du Clain (référence 86DDT20130001), dans le département de la Vienne (86) ;
- PPRN Rivière Charente, commune de Saint Savinien, secteur amont (référence 17DDTM19970005), dans le département de la Charente-Maritime (17) ;
- Carte d'aléa de la commune de Saintes (référence 17DDTM20100002), dans le département de la Charente-Maritime (17) ;

Pour ces cartes d'aléa, seuls les aléas « glissement » et les « multi aléa » comportant des aléas de glissement ont été conservés.

Qualification de l'aléa

Lorsqu'une carte d'aléa est disponible dans la maille de 500 m x 500 m, l'aléa le plus important qualifie l'aléa de la maille. La qualification de l'aléa est la suivante :

- aléa faible (noté 1) ;
- aléa moyen (noté 3) ;
- aléa fort (noté 5).

Un exemple de carte d'aléa dans le secteur de Poitiers (86) est présenté dans l'illustration 15.

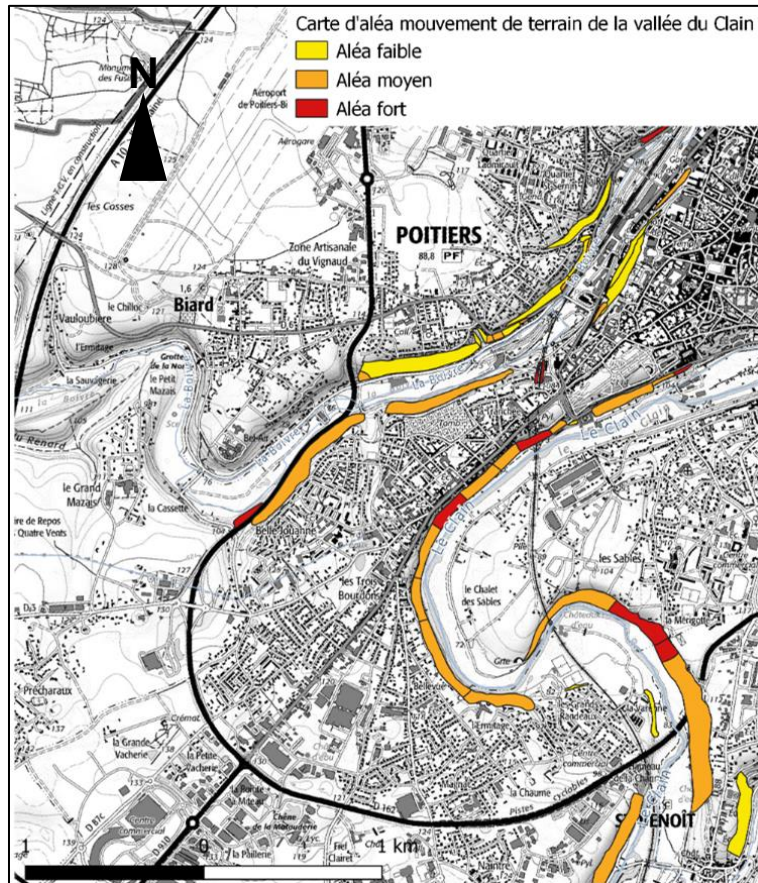


Illustration 15 : Exemple de carte d'aléa mouvement de terrain dans le secteur de Poitiers (86)

En l'absence de cartographie (PPR ou carte d'aléa), la qualification de l'aléa est basée sur la base de données des mouvements de terrain (BdMVT) extraite le 20 avril 2020.

L'emplacement des glissements de terrain recensés sur la BdMVT sur le territoire Poitou-Charentes est présenté sur l'illustration 16.

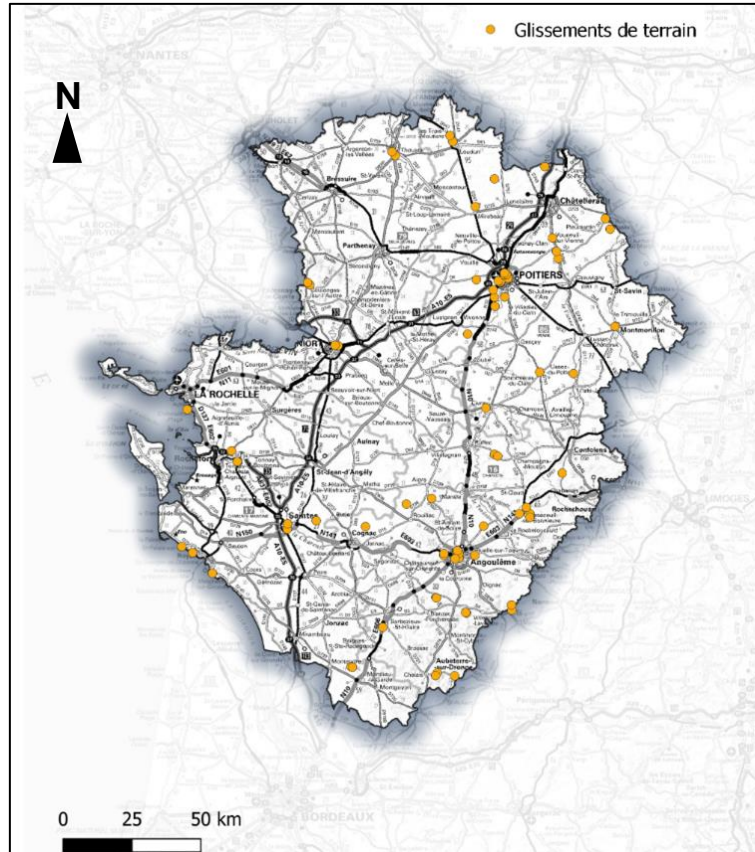


Illustration 16 : Emplacement des glissements de terrain

Le traitement des données a nécessité les étapes suivantes :

- sélection des évènements de type « glissement de terrain » dans la base de données BDMVT (soit 86 glissements sur la zone d'étude) ;
- création d'une zone tampon autour de chaque évènement proportionnelle à l'imprécision de la donnée (mètre, décamètre, hectomètre et kilomètre) plus une zone d'influence de 50 m selon les principes suivants :
 - nn tampon de 50 m pour les évènements possédant une précision métrique ;
 - nn tampon de 60 m pour les évènements possédant une précision décamétrique (correspondant à 50 m + 10 m) ;
 - nn tampon de 150 m pour les évènements possédant une précision hectométrique (correspondant à 50 m + 100 m) ;
 - un tampon de 1050 m pour les évènements possédant une précision kilométrique (50 m+ 1000 m) ;
- Comptage des zones tampon dans chaque maille de 500 m x 500 m.

La qualification de l'aléa est la suivante :

- aléa nul (noté 0) : pas de glissement dans la maille ;
- aléa faible (noté 1) : un glissement recensé par maille ;
- aléa moyen (noté 3) : deux à quatre glissements recensés par maille ;
- aléa fort (noté 5) : cinq à huit glissements recensés par maille ;
- aléa très fort (noté 7) : plus de huit glissements recensés par maille.

Si pour une maille donnée, un aléa défini par une carte d'aléa se superpose à un ou plusieurs glissements, l'aléa de la maille est défini par l'aléa le plus important.

Cartographie de l'aléa « Glissement de terrain »

Les phénomènes de glissement de terrain étant des phénomènes superficiels apparaissant à des profondeurs inférieures à 50 m, leur susceptibilité a été cartographiée sans différencier les intervalles de profondeur.

Pour le territoire Poitou-Charentes, 174 mailles sont classées en aléa faible, 126 en aléa moyen et 42 en aléa fort. Le résultat de la cartographie de cet aléa est illustré dans l'illustration 17 ci-après.

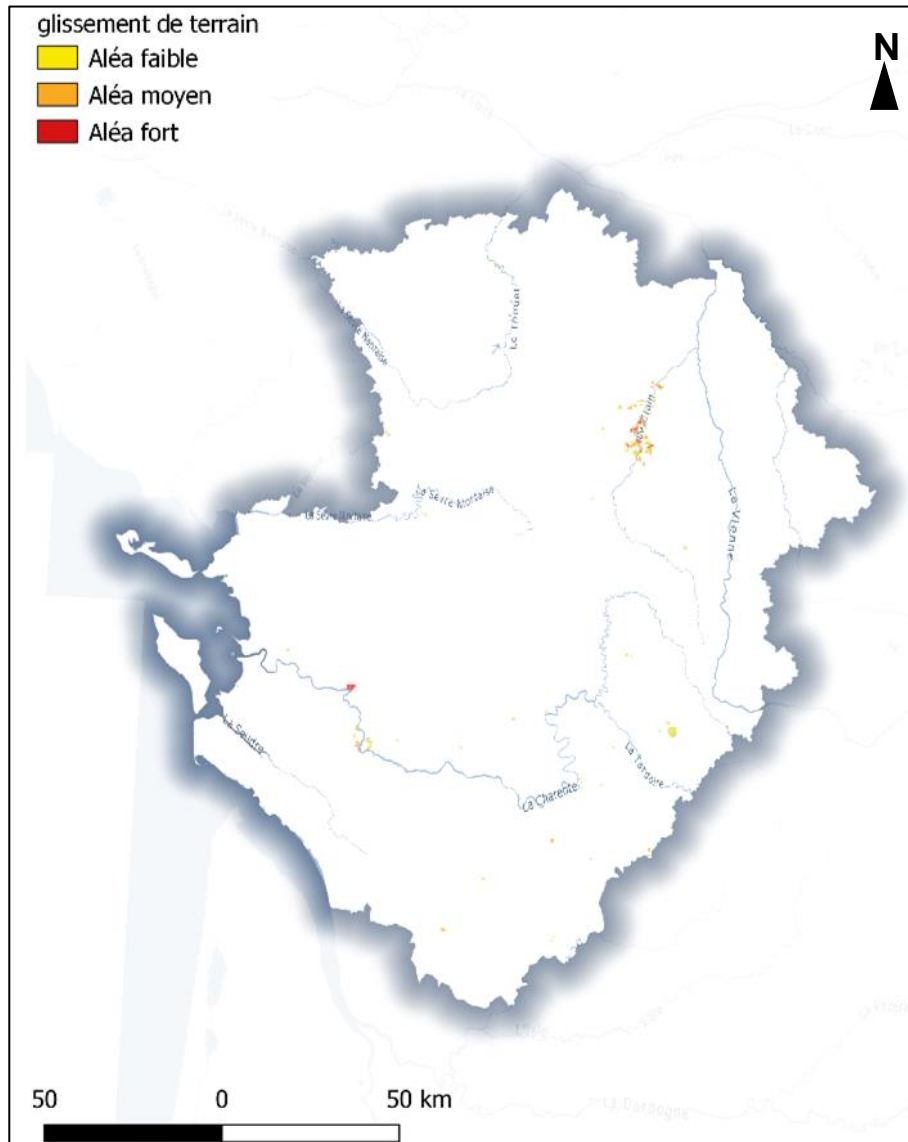


Illustration 17 : Aperçu de la cartographie de l'aléa "mouvements de terrain de type glissement"

4.3.5. Aléa "pollution des sols et des nappes souterraines"

Phénomène redouté

Le phénomène décrit est une « pollution des sols et des nappes par infiltration de polluants depuis la surface ou mise en contact d'aquifères avec des nappes polluées ». Ce phénomène pourrait être provoqué :

- soit par la foration au cours de la mise en place du dispositif géothermique ;
- soit, sur toute la durée de vie de l'ouvrage, par l'infiltration de polluants depuis la surface ou la mise en communication de nappes superficielles polluées avec des aquifères plus profonds, notamment, en cas de défaut d'étanchéité du trou de forage.

Données disponibles

Sur le territoire Poitou-Charentes les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif sont recensés dans la base BASOL, accessible sur le site Georisques.

Chaque site recensé dans BASOL est référencé par sa localisation en un point. Une zone tampon de 500 m de rayon lui a été affectée, pour inclure une zone d'influence.

Le phénomène « pollutions des sols et des nappes souterraines » a été qualifié par :

- la probabilité d'occurrence d'un site BASOL : dans chaque maille la présence de zone tampon d'un site BASOL est prise en compte ;
- de la présence ou non d'un aquifère sous-jacent au site BASOL.

Les valeurs de susceptibilité sont les suivantes :

- susceptibilité nulle (noté 0) : pas de site BASOL dans la maille ;
- susceptibilité faible (noté 1) : présence d'au moins un site BASOL et absence d'aquifère dans la tranche considérée ;
- susceptibilité moyenne (noté 6) : présence d'au moins un site BASOL identifié et présence d'aquifère dans la tranche considérée.

Ces critères de qualification sont présentés dans le Tableau 1. Une méthodologie comparable a été appliquée pour la réalisation de l'atlas réglementaire pour la GMI en région Centre Val de Loire (rapport BRGM RP-66590-FR).

Profondeur (m)	Valeur de la susceptibilité de l'aléa pollution				
	Pas de site BASOL dans la maille	Site BASOL dans la maille	Site BASOL dans la maille	Site BASOL dans la maille	Site BASOL dans la maille
0	0	6	1	1	1
50	0	6	6	1	1
100	0	6	6	6	1
200					
	Présence d'un aquifère				

Tableau 1 : Valeurs de susceptibilité pour l'aléa « pollution des sols et des nappes souterraines »

La carte des sites BASOL a été téléchargée à partir du site Géorisque le 27 avril 2020. Un total de 98 sites a été répertorié sur le territoire Poitou-Charentes. La localisation des sites BASOL est présentée en Illustration 18.

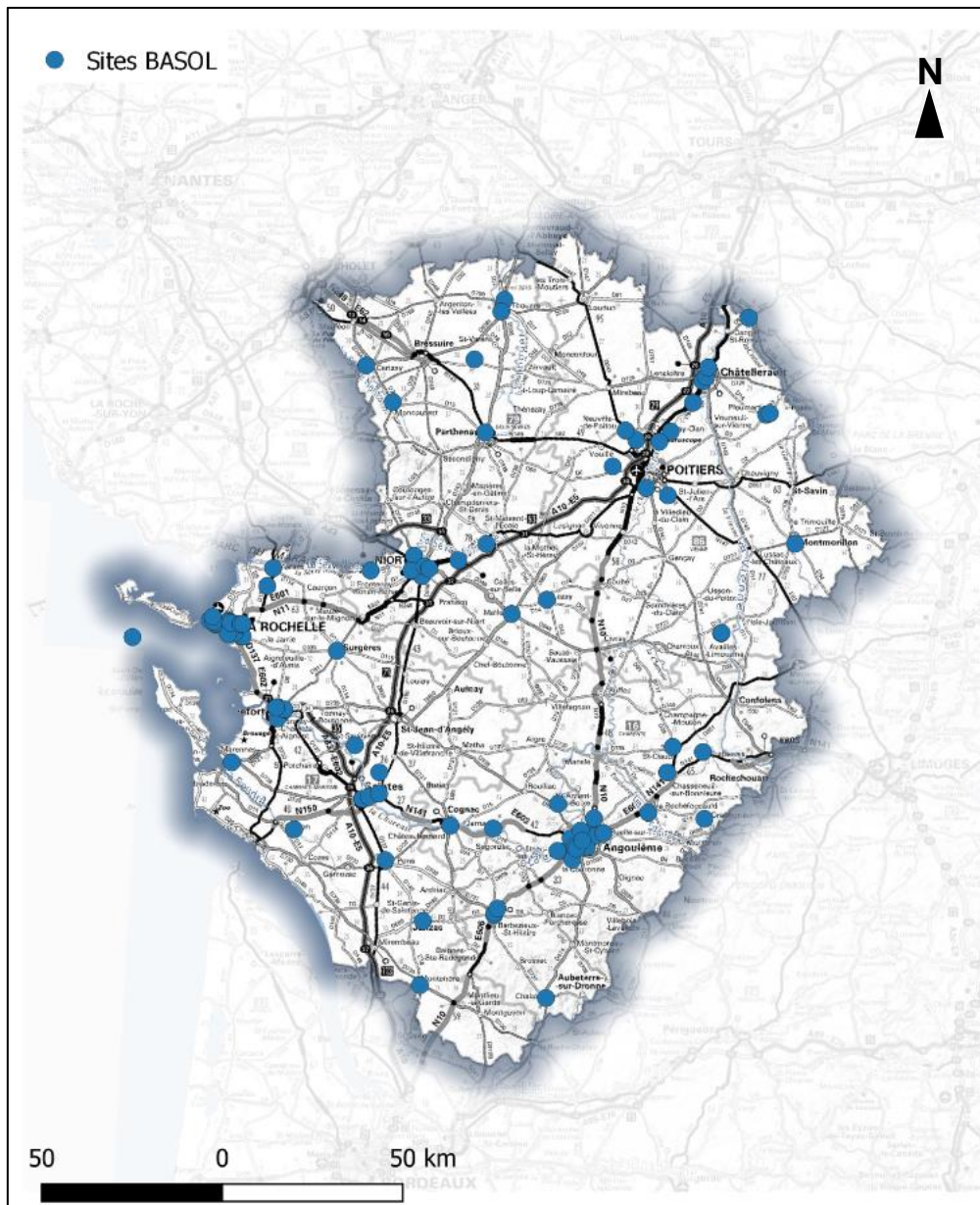


Illustration 18 : emplacement des sites BASOL

Cartographie de l'aléa « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine »

La présence d'une formation aquifère sur les tranches de profondeur 0-50 m, 0-100 m et 0-200 m par maille de 500m x 500 m a été fournie par le BRGM, sur la base des modèles hydrogéologiques établis dans le cadre des modèles Jurassique (BRGM/RP-64816-FR) et Crétacé (BRGM/ RP-70193-FR).

La susceptibilité du phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine » a été cartographiée pour les trois intervalles de profondeur : 0-50 m, 0-100 m et 0-200 m. Pour exemple, la cartographie de l'aléa pollution sur la tranche 0-50 m est proposée en Illustration 19. La susceptibilité à 0-50 m influence directement les tranches inférieures. Elle présente 666 mailles classées en susceptibilité moyenne et 31 mailles en susceptibilité faible. 99,3 % de la surface de la région Poitou-Charentes est classée en susceptibilité nulle.

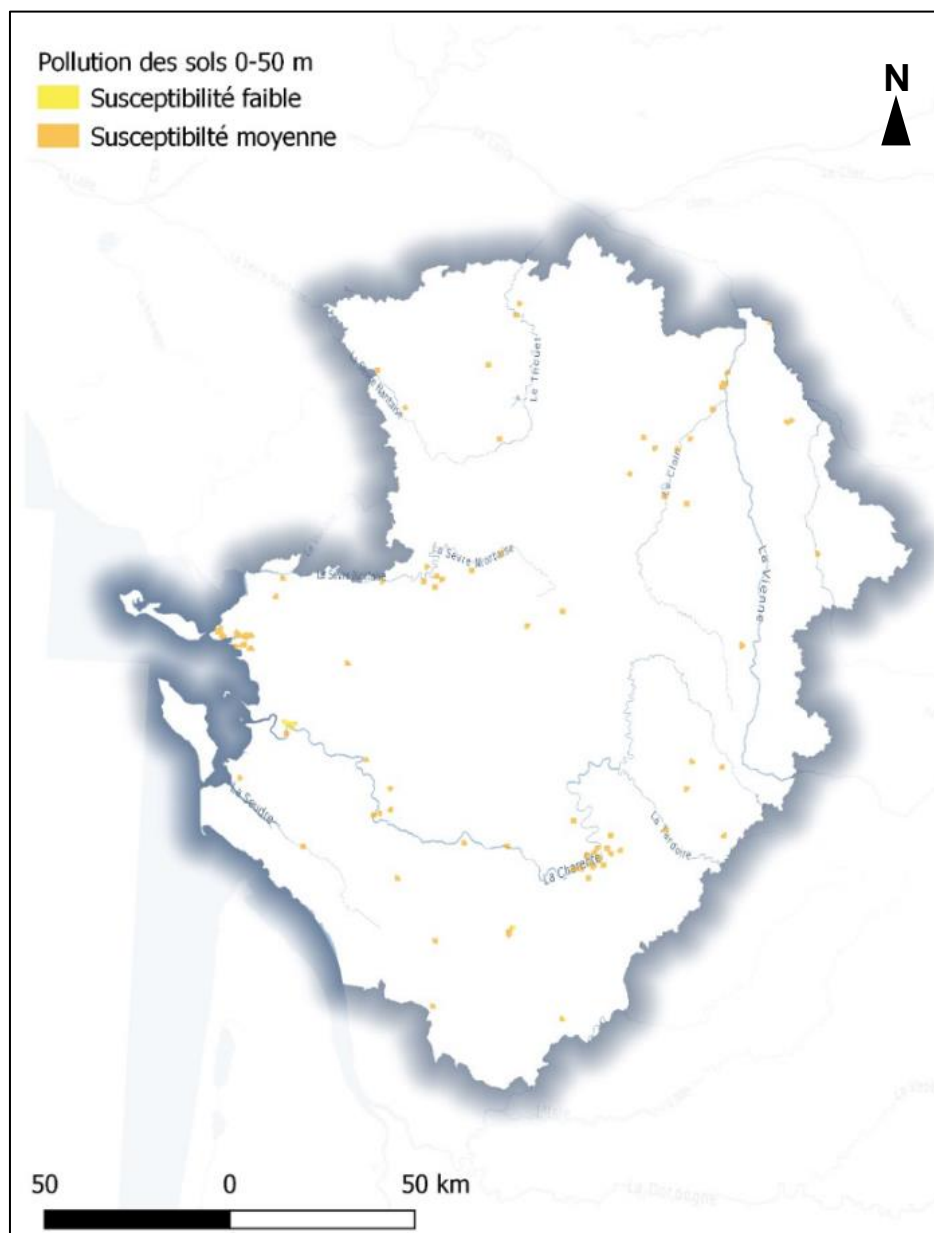


Illustration 19 : Aperçu de la cartographie de l'aléa "pollution des sols et des nappes d'eau souterraine" sur la tranche 0-50m

4.3.6. Aléa "artésianisme potentiel"

Phénomène redouté

L'artésianisme est l'aptitude d'un aquifère captif à permettre la remontée d'eau spontanée par des ouvrages (puits, forages). Cette remontée d'eau en surface peut ainsi entraîner des écoulements d'eau sur le sol, et/ou une déstabilisation d'une formation superficielle. L'aquifère concerné a ainsi une surface piézométrique située au-dessus de la surface du sol.

Données disponibles

Il n'existe pas de carte à l'échelle nationale ou régionale de ce phénomène.

Sur le territoire Poitou-Charentes (départements 16, 17, 79, 86), les données disponibles sont de deux types :

- données piézométriques simulées dans le domaine sédimentaire : issues des modèles hydrodynamiques Crétacé du sud des Charentes et du Jurassique ;
- données ponctuelles identifiant les forages artésiens dans la banque du sous-sol ;
- données ponctuelles de mesures piézométriques des réseaux nationaux de suivi des niveaux d'eau souterraines accessible sur ADES.

Une bonne corrélation entre l'occurrence de forages artésiens et les mailles des modèles identifiant des nappes potentiellement artésiennes a été observée. Ceci a validé l'utilisation des données des modèles pour la caractérisation de cet aléa.

Dans une approche sécuritaire, le choix a été fait de prendre en compte dans les résultats des modèles hydrodynamiques la mesure piézométrique moyenne simulée par maille d'un modèle sur l'ensemble durant la période des hautes-eaux (décembre à mars de chaque année), sur la période 2000-2011 pour le modèle Jurassique et 2000-2018 pour le modèle Crétacé.

Un risque d'artésianisme a été considéré à partir du moment où la cote piézométrique mesurée dépassait 1 m sous le niveau du sol.

Qualification de l'aléa

Trois niveaux d'aléa ont été définis, sur l'emprise des deux modèles et pour chacune des tranches 0-50 m, 0-100 m, 0-200 m :

- aléa fort (noté 7): présence de plus de un aquifère présentant un niveau piézométrique simulé au-dessus du sol dans la tranche considérée ;
- aléa moyen (noté 3): présence d'un aquifère présentant un niveau piézométrique simulé supérieur à 1 m sous le sol dans la tranche considérée ;
- aléa nul (noté 0): absence d'aquifère captif identifié ou présence d'aquifère(s) présentant un niveau piézométrique simulé au-delà de 1 m sous le sol dans la tranche considérée.

Les cartographies finales, déclinées en fonction de la profondeur, sont présentées sur l'illustration 20.

Afin de valider les résultats disponibles, des comparaisons ont été effectuées avec les chroniques piézométrique des piézomètres de suivi DCE et disponible dans ADES. Pour les zones présentant les risques d'artésianisme les plus élevés (en particulier les zones du marais Poitevin et le secteur sud des Charentes) les comparaisons ont donné des résultats globalement cohérents.

À noter également que quelques piézomètres du réseau DCE présentaient des cotes piézométriques dépassant le niveau du sol dans des zones présentées sans aquifère artésien d'après les modèles hydrodynamiques du BRGM sur la tranche 0-200m de profondeur (zone sud du jurassique supérieur en Charente-Maritime en particulier). Après consultation des données disponibles sur les points concernés, il s'agit d'ouvrages peu profonds (<50 m) dans des

formations majoritairement alluvionnaires et en fond de vallée, présentant des niveaux piézométriques au-dessus du niveau du sol en période de hautes eaux. Il s'agit donc plus de phénomènes de débordements de nappe (traités par ailleurs dans un aléa spécifique) que d'artésianisme à proprement parler. Ces points n'ont donc pas été considérés dans le calcul d'aléa.

Pour finir il est important de préciser que les travaux de modélisation hydrodynamique des formations Jurassique et Crétacé ont été effectués à des périodes différentes (achevés en 2015 pour le modèle Jurassique et 2020 pour le modèle Crétacé).

En particulier le modèle Jurassique a été fait selon un maillage 1000 x 1000 m, contre 500 x 500 m pour le modèle Crétacé. Un travail de redécoupage à la maille 500 x 500 m a donc été fait sur les zones couvertes par le modèle Jurassique afin de faire la correspondance avec l'atlas GMI. Par défaut, les valeurs à risque maximum ont été retenues pour chaque maille, dans un but sécuritaire. Il faut également préciser que par conséquent les résultats sur la zone couverte par le modèle Jurassique (secteur nord des départements 16 et 17 et l'ensemble du 86) sont moins précis que sur la zone couverte par le modèle Crétacé (sud des départements 16 et 17).

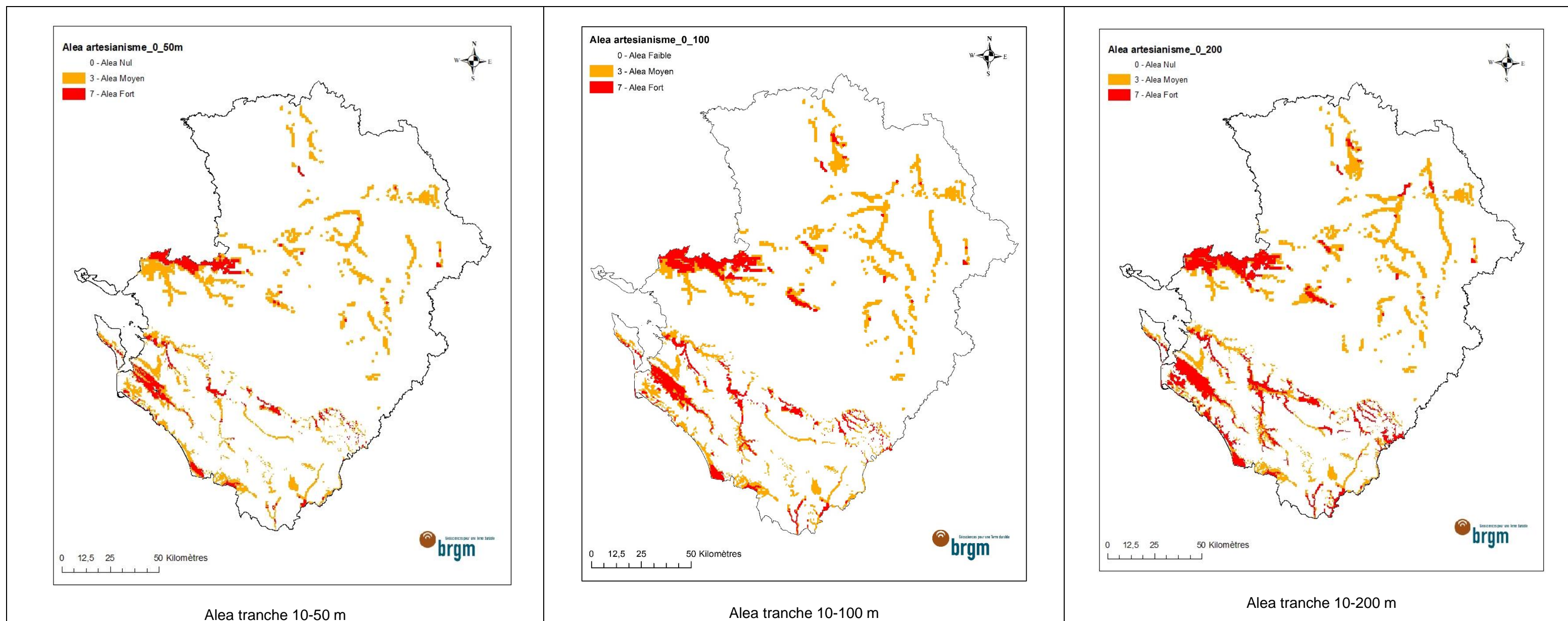


Illustration 20 : Aperçu des cartographies de l'aléa "artésianisme potentiel"

4.3.7. Aléa "mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères"

Phénomène redouté

Le phénomène redouté est une mise en communication verticale entre deux aquifères, suivie d'un écoulement de l'eau d'un aquifère dans un autre pouvant entraîner :

- une dégradation de la qualité de l'eau dans un des aquifères si l'autre est pollué ou se caractérise par une eau présentant un faciès géochimique différent ;
- la baisse du niveau piézométrique dans un aquifère pouvant entraîner des assèchements de captages voisins, voire des désordres géotechniques ;
- l'augmentation du niveau piézométrique d'un aquifère superficiel pouvant entraîner une remontée d'eau à la surface et une inondation potentielle.

Le phénomène est d'autant plus fort que la différence de potentiel hydraulique entre les aquifères est marquée.

Données disponibles

Un inventaire exhaustif des profondeurs limites des formations aquifères et aquitards a été réalisé lors de la construction des modèles hydrogéologique 3D du BRGM des formations du Crétacé du sud des Charentes et du Jurassique (rapports BRGM RP-64816-FR et RP-70193-FR). Cet inventaire a été utilisé avec d'évaluer le nombre d'aquifères présents sur les tranches 0-50 m, 0-100m et 0-200m. Les zones non couvertes par ces modèles ont été complétées par les données issues de l'inventaire BDLISAV2.

Qualification de l'aléa

La méthodologie nationale propose deux niveaux d'aléas distincts en cas de traversée de plusieurs aquifères, en distinguant par une susceptibilité supérieure les aquifères considérés comme stratégiques. Au vue des enjeux quantitatifs et qualitatifs sur les ressources en eau souterraine sur le territoire de l'ancienne région Poitou-Charentes, cette distinction ne sera pas faite et l'ensemble des aquifères sera considéré comme stratégique.

La qualification reposera sur deux niveau d'aléa :

- aléa nul (noté 0): pas plus d'un aquifère dans la tranche de terrain considérée ;
- aléa fort (noté 3): plus d'un aquifère dans la tranche de terrain considérée.

Les résultats des calculs sont représentés sur l'illustration 21.

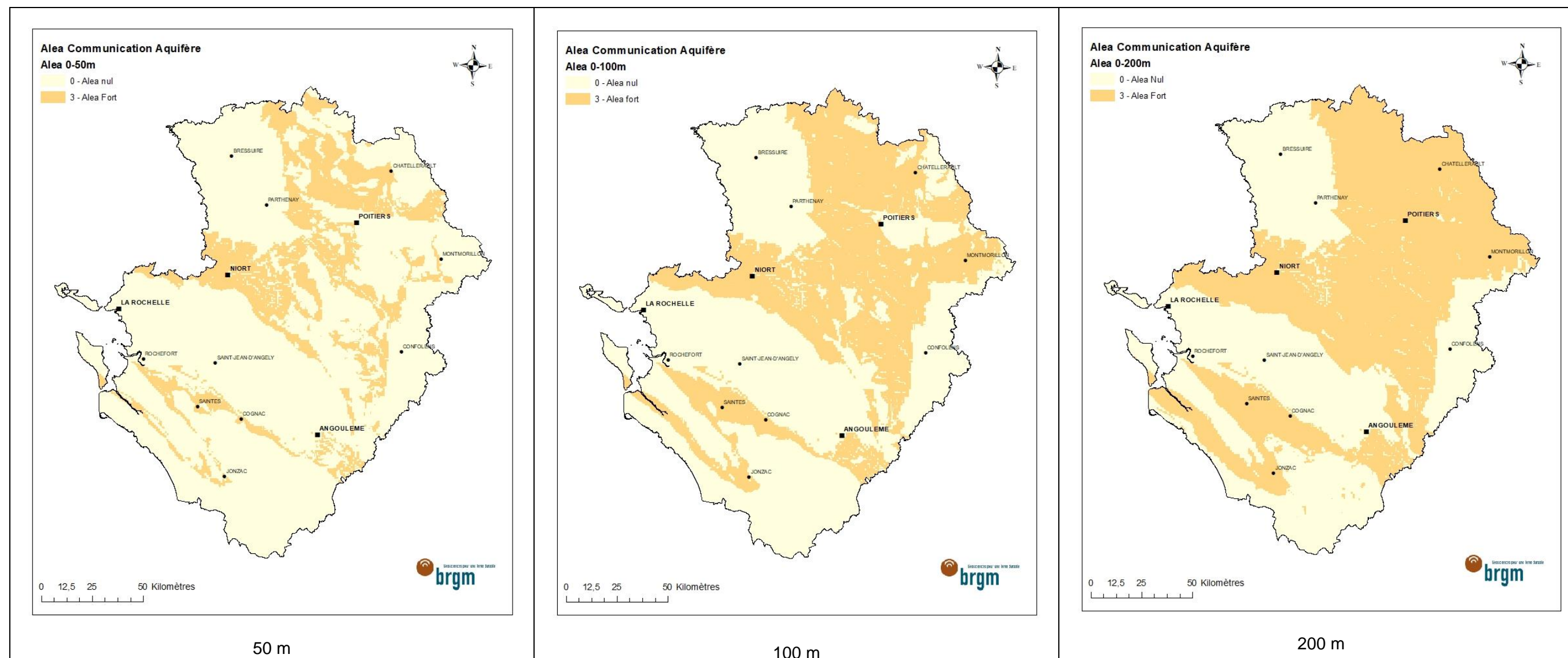


Illustration 21 : Aperçu des cartographies de l'alea "mise en communication des eaux souterraines"

4.3.8. Aléa "remontée de nappe"

Phénomène redouté

Le phénomène d'inondation par remontée de nappe correspond à une remontée de nappe due à une surcote pouvant être provoquée par la réinjection d'eau dans le cadre du fonctionnement d'un doublet géothermique. Ce phénomène est susceptible de provoquer une inondation des terrains en surface, voire une déstabilisation géotechnique.

Dans le cadre des travaux cartographiques de l'aléa risque d'inondation par remontée de nappe, la création de deux classes a été réalisée à partir de l'épaisseur de la zone non saturée (ZNS), calculée pour des mailles de 100 x 100 mètres.

Données disponibles

La qualification du phénomène d'inondation par remontée de nappe à l'échelle régionale peut s'appuyer sur la cartographie nationale (travail réalisé et publié par le BRGM en 2018 rapport BRGM/RP-68354-FR). Les données disponibles à la maille 100 x 100 mètres ont été agrégées à la maille 500 x 500 mètres pour correspondre au maillage utilisé pour l'atlas réglementaire pour la GMI.

Qualification de l'aléa "remontée de nappe".

Deux niveaux d'aléa ont été définis :

- aléa faible (noté 1) : profondeur de la zone non saturée < 5 m ;
- aléa nul (noté 0) : profondeur de la zone non saturée > 5 m.

Le résultat est présenté sur l'illustration 22.

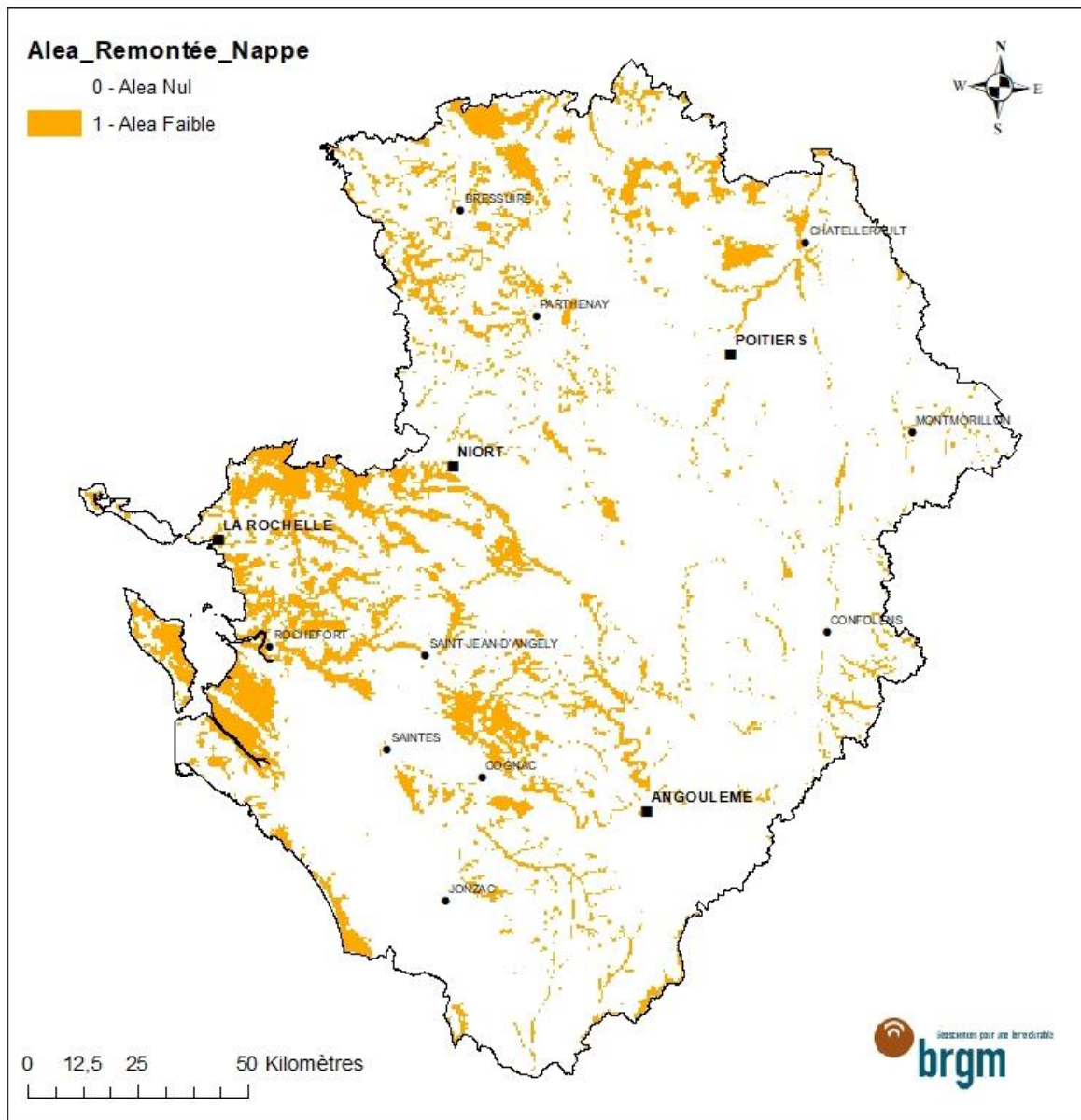


Illustration 22 : Aperçu de la cartographie de l'aléa "remontée de nappe"

4.3.9. Aléa "biseau salé"

Phénomène redouté

En zone côtière, la nappe d'eau douce est en contact direct avec la nappe d'eau salée plus dense. Le simple fait de trop pomper, ou le défaut d'alimentation d'une nappe à la suite d'une période moins pluvieuse, suffit à permettre à l'eau salée de "polluer" une nappe d'eau douce utilisée pour l'irrigation, l'industrie ou l'eau potable, ou surtout conduit au déplacement de l'interface eau salée/eau douce.

La remontée du biseau salé vers l'intérieur des terres constitue un phénomène difficilement réversible, l'eau salé se comportant comme une "limite étanche". Une fois que le biseau s'est déplacé, le gradient hydraulique requis pour le faire reculer est bien plus important que la situation

d'équilibre initiale. Ainsi les aquifères littoraux sont le lieu de rencontre de deux types d'eaux souterraines :

- des eaux douces provenant de l'infiltration des précipitations et des eaux de ruissellement au niveau de la surface continentale ;
- des eaux salées qui imprègnent les terrains au voisinage des côtes ou qui pénètrent les cours d'eau au niveau des estuaires, pouvant ainsi donner lieu à la salinisation des eaux souterraines.

Les aquifères littoraux sont donc en contact avec l'eau salée d'origine marine, qui envahit plus ou moins les formations géologiques côtières : l'eau douce, d'une densité moindre que l'eau salée, « flottant » sur l'eau salée. L'intrusion d'eau salée prend la forme d'un biseau plongeant vers l'intérieur des terres, appelé communément « biseau salé ». L'interface entre ces deux types d'eau va évoluer au cours du temps en fonction de facteurs naturels (précipitations, niveau marin) mais peut aussi être perturbée par l'exploitation des aquifères.

L'envahissement, même provisoire, d'une partie d'un aquifère par de l'eau salée peut durablement altérer la qualité de l'eau de celui-ci.

Données disponibles

Seul le département de la Charente-Maritime (17) possède une limite littorale dans la zone d'étude. Il n'existe pas d'étude globale de quantification de l'aléa associé aux intrusions d'eau salée à l'échelle du territoire national ou à l'échelle du département Charente-Maritime.

La seule étude disponible est la définition des zones à risque du SAGE Nappes Profondes, dans l'Eocène au nord du territoire de la Gironde (pointe du Médoc et estuaire) qui couvre une faible partie du sud du territoire de la Charente-Maritime. Sur ce secteur, la présence d'eaux minéralisées peut être liée à des intrusions effectives, mais peut également être l'héritage de l'invasion d'horizons peu perméables par l'eau de mer lors de la transgression flandrienne (opérée lors de la dernière glaciation datée d'il y a environ 19 000 ans), il s'agit donc d'une « paléonappe » salée.

Bien que n'ayant pas encore fait l'objet d'étude globale à l'échelle du département de Charente-Maritime, cette problématique est connue dans de nombreuses zones de la façade littorale du département, notamment dans les zones d'estuaires et/ou de marais salants.

Cependant les données disponibles pour évaluer l'aléa de ce phénomène sont très éparses. Ainsi seulement quelques valeurs élevées de conductivité et/ou de concentrations en chlorures peuvent être constatées dans les piézomètres de suivi qualité disponible dans la base ADES, de manière isolée et à proximité du littoral ou de zones de marais salants (utilisées notamment pour la conchyliculture). Les points de mesures et concentrations maximales mesurées en chlorures sont présentées dans la Illustration 23.

Ces données ont été complétées sur la base des connaissances locales du BRGM où la problématique d'intrusion salée est connue. Les zones concernées par cette problématique dans la zone d'étude sont les suivantes :

- îles de Ré et d'Oléron ;
- l'ensemble de la zone des marais salants de l'embouchure de la Seudre ;
- zone des marais salants de Rochefort ;
- marais salants de la rive nord de l'estuaire de la Gironde ;
- limite sud du marais Poitevin ;
- secteur ouest de La Rochelle (zone industrielle de Chef de Baie en particulier).

Une zone à risque de 500 m le long de la limite littorale a également été considérée par défaut.

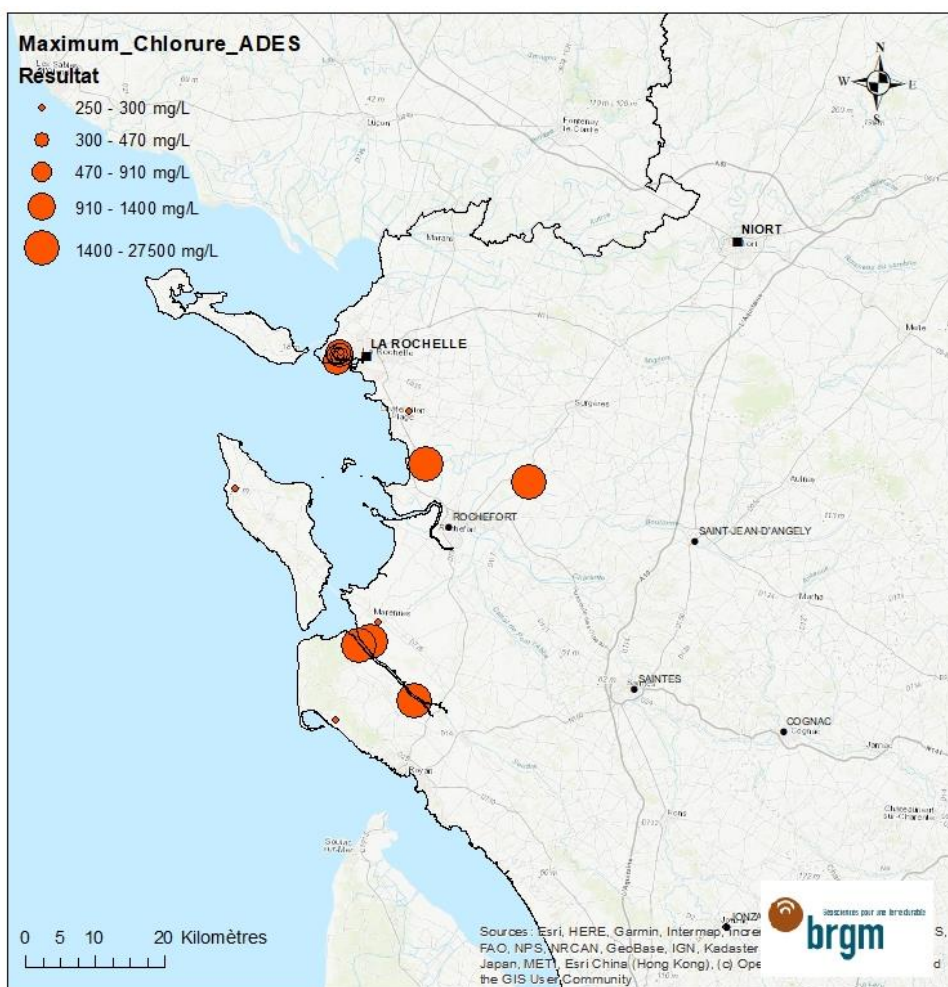


Illustration 23 : Données disponibles sur les concentrations maximales en chlorures mesurées en Charente-Maritime et disponible dans la base de données ADES

Qualification de l'aléa

En l'état actuel des connaissances, l'aléa "biseau salé" ne peut être quantifié précisément tant le niveau de risque est extrêmement variable selon les sites (configuration de l'aquifère, intensité des pompages, etc.). Par conséquent, seul des zones à risque sont identifiées, afin de renseigner sur ce risque, mais sans quantification plus spécifique.

L'implantation d'un doublet géothermique à proximité est en effet susceptible de la déplacer, il est par conséquent important de considérer cet aléa. Des études spécifiques selon les zones devront être à envisager pour évaluer cet aléa le cas échéant.

Deux classes ont été considérées :

- aléa faible : zone à risque identifiée ;
- aléa nul : hors zone à risque de salinisation.

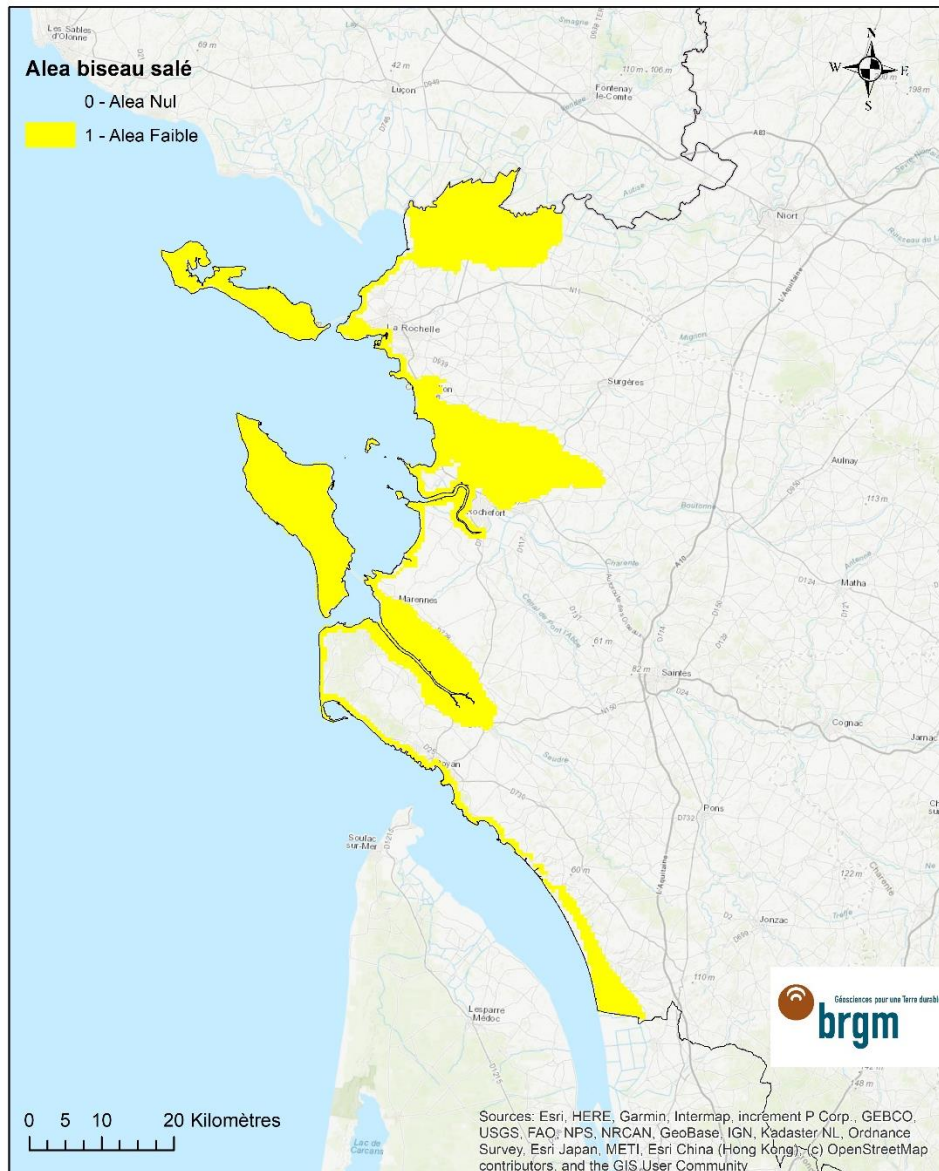


Illustration 24: Aperçu de la cartographie de l'aléa "biseau salé"

4.4. TRAITEMENT FINAL ET ÉDITION DES CARTES RÉGLEMENTAIRES

Le traitement final a été effectué conformément au guide national, moyennant les adaptations au contexte local pour l'aléa évaporite (voir chapitre 4.3.1), en appliquant les facteurs de pondération et les facteurs aggravants présentés dans le Tableau 2.

	Déclinaison profondeur	Facteurs de pondération					Facteur aggravant	
		Aléa très faible	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa fort	Aléa très fort	Forage d'eau	Sonde géothermique
Affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques	oui	-	1	3	5	7	6	10
Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines)	non	-	1	2	3	-	2	2
Affaissement/effondrement lié aux cavités d'origine minière	non	-	3	5	7	-	2	2
Glissement de terrain	non	1	2	3	5	7	2	2
Pollution des sols et des eaux souterraines	oui	-	1	6			3	3
Artésianisme potentiel	oui	-	-	3	7	-	2	4
Mise en communication des eaux souterraines	oui	-	-	3		-	4	4
Remontée de nappe	non	-	1	-		-	2	0
Biseau salé	non	-	1	-	4	-	4	0

Tableau 2 : Facteurs de pondération et facteurs aggravants appliqués par type d'aléa

Les aperçus des zonages réglementaires finaux sont donnés sur l'illustration 25 pour les échangeurs ouverts et sur l'illustration 26

Illustration 25

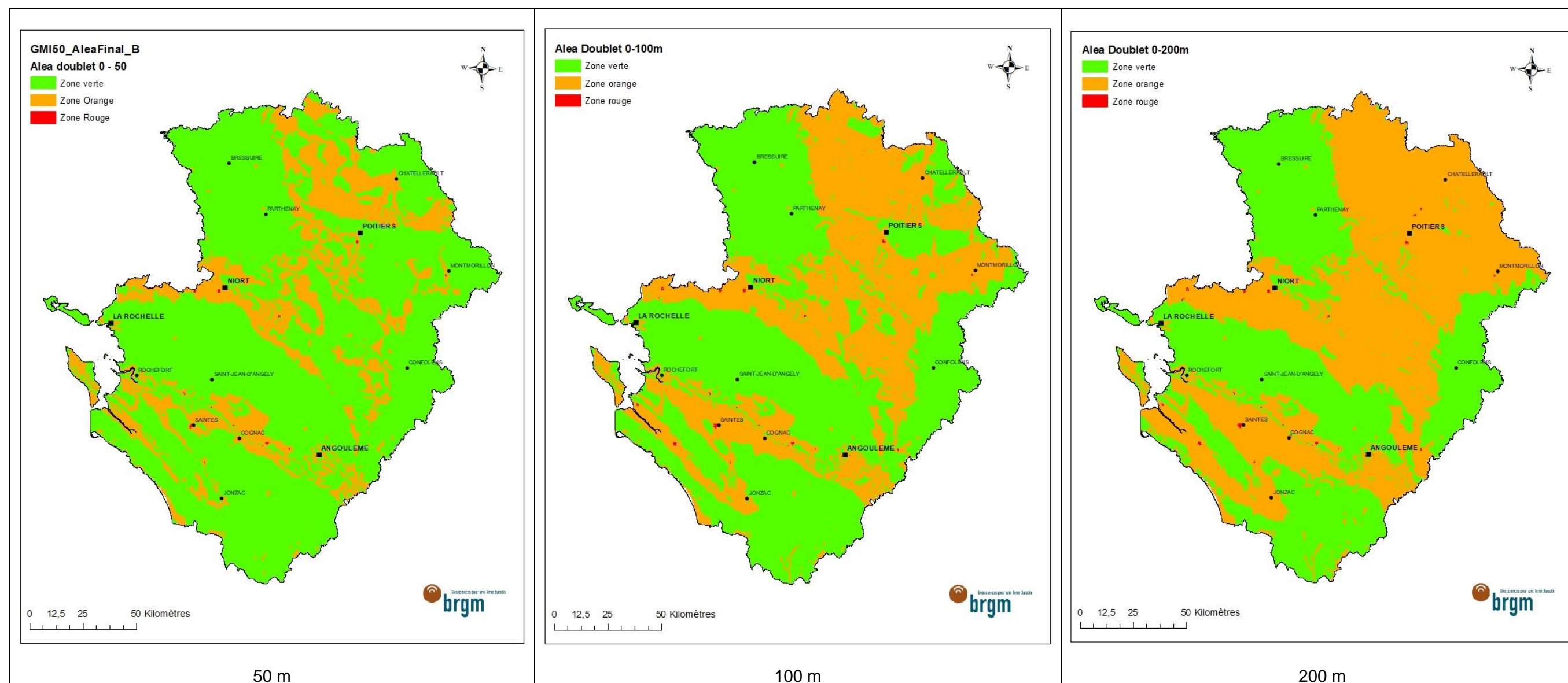
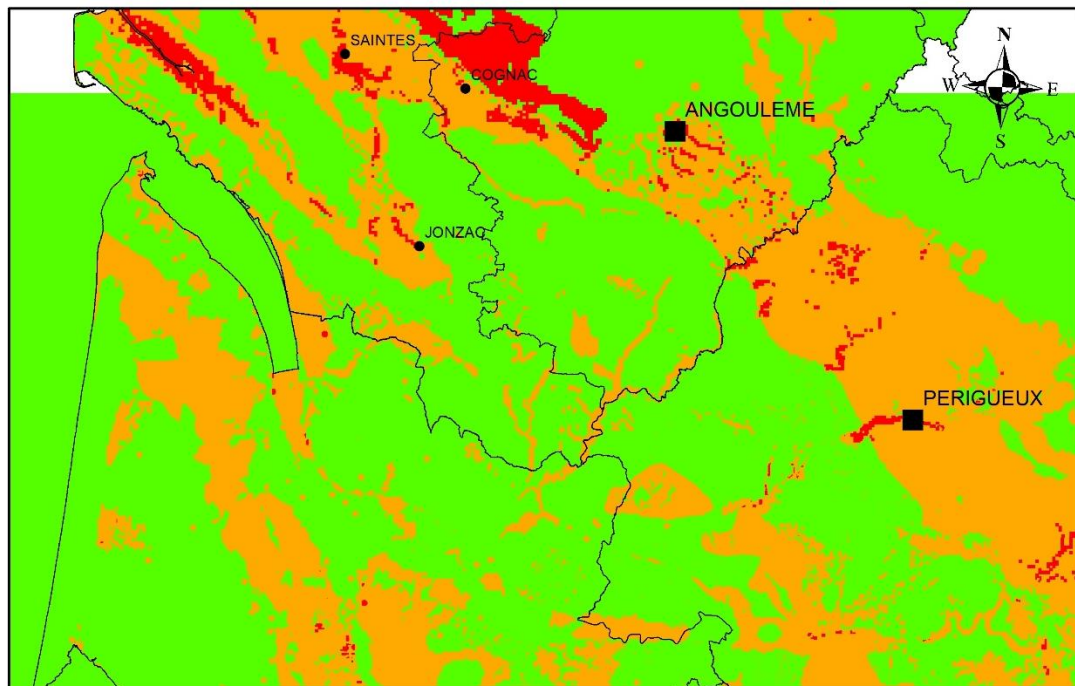


Illustration 25 : Aperçu des zonages finaux pour les échangeurs ouverts

4.5. COHÉRENCE RÉGIONALE

La comparaison des cartes finales du territoire Poitou-Charentes avec celles de l'ex-région Aquitaine (réalisée en 2018), à la limite entre les départements de Charente Maritime et de Gironde ainsi que la limite entre la Dordogne et la Charente, figure sur l'illustration 27 et l'illustration 28. Il apparaît une bonne cohérence globale des cartographies, notamment sur toute la limite entre les deux départements, où les zones orange, liées principalement à l'aléa "artésianisme potentiel" et « mise en communication d'aquifère » sont concordantes.

Les quelques disparités qui apparaissent sont liées à la précision des données. En effet, l'aléa « artésianisme potentiel » a été évalué au niveau du département de la Charente via le modèle hydrodynamique des formations du Crétacé du BRGM, terminé en 2020 à la maille de 500 x 500 m. De telles données n'étaient pas disponibles au moment de la confection de l'atlas côté Dordogne et Gironde. Les données côté Charentes sont donc potentiellement sensiblement plus précises.



GMI100_Poitou-Charentes_Aquitaine

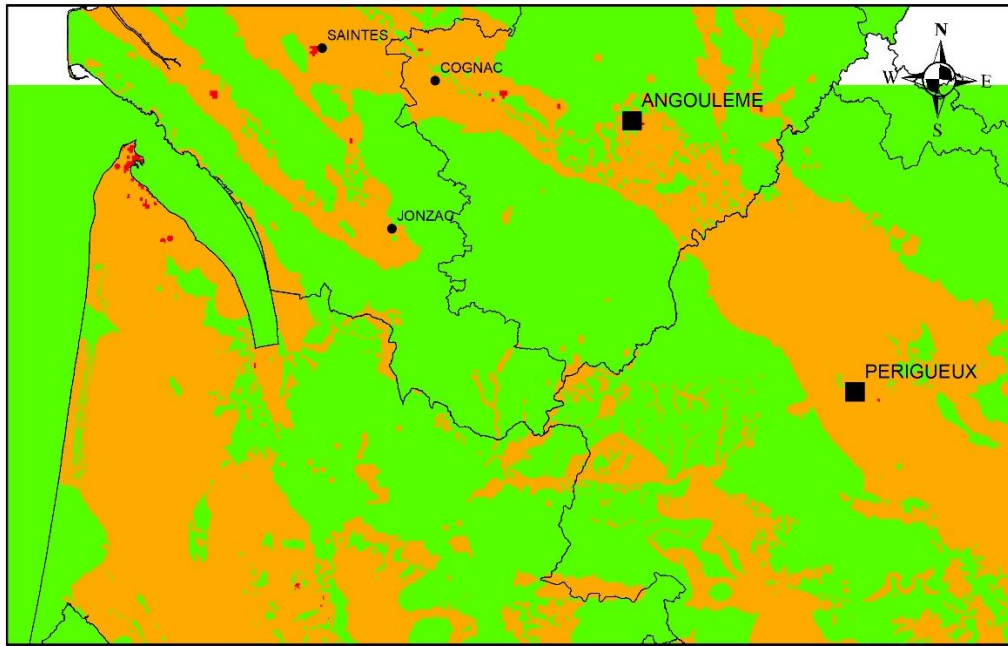
ALEA_SGV

- Zone verte
- Zone orange
- Zone rouge



0 12,5 25 50 Kilomètres

Illustration 27 : Zonages réglementaires finaux à la limite entre les ex-régions Poitou-Charentes et Aquitaine sur la tranche 0-100m pour la configuration SGV



GMI100_Poitou-Charentes_Aquitaine

ALEA Doublet

- Zone verte
- Zone orange
- Zone rouge



Illustration 28 : Zonages réglementaires finaux à la limite entre les ex-régions Poitou-Charentes et Aquitaine pour les systèmes ouverts sur la tranche 0-100m

5. Bilan

Ce travail a permis de réaliser l'atlas des zones réglementaires pour l'exploitation de la Géothermie de Minime Importance (GMI), en complément de l'atlas du potentiel géothermique (rapport BRGM/RP-67708-FR) et sur le territoire du Limousin (rapport BRGM/RP-65706-FR), tous deux réalisés en 2018.

Par ailleurs, la déclinaison de la cartographie réglementaire relative à la géothermie de minime importance à l'échelle régionale a imposé l'intégration de nombreuses spécificités sur chacun des aléas identifiés. Cela a notamment nécessité la sollicitation des services de l'État, DREAL et DDT(M), sur plusieurs thématiques, et la mobilisation de nombreuses ressources bibliographiques et cartographiques issues de projets régionaux.

Les zonages finaux montrent la part significative des zones orange sur le territoire (Tableau 3), qui s'avèrent supérieures à celle de la carte nationale, notamment à 200 m de profondeur.

Le principal facteur influençant la note finale est le risque de mise en communication d'aquifères, en lien avec la superposition de nombreuses formations aquifères dans certaines zones, en particulier dans le secteur nord de la Charente Maritime et de la Vienne.

L'artésianisme potentiel apparaît également comme un aléa important, en particulier dans les fonds de vallées. Ce risque ressort particulièrement dans le secteur du marais Poitevin et dans le sud de la Charente Maritime dans les vallées de la Charente et de la Seudre.

L'aléa lié au risque de mouvement de terrain par dissolution de formations évaporites s'avère également particulièrement important dans certaines zones.

Ces deux aléas (« artésianisme » et « évaporites ») s'avèrent particulièrement discriminants pour la configuration « Sonde Géothermique Verticale » (SGV – système fermé) en comparaison avec la configuration « Doublet sur nappe » (système ouvert).

Ce résultat s'explique par la méthodologie nationale appliquée, prenant en compte des facteurs aggravants plus importants pour technique de la SGV pour ces deux aléas (respectivement de 4 et 10 pour la configuration SGV contre 6 et 2 en configuration doublet sur nappe). Ces facteurs aggravants plus importants pour la configuration SGV ont été appliqués dans la méthodologie nationale du fait des techniques de forage utilisées pour cette configuration, qui compliquent les potentielles adaptations possibles en cas d'occurrence d'un de ces phénomènes.

À noter la très faible proportion de zones « rouge » pour la cartographie des aléas en configuration « doublet sur nappe ». En effet les quelques zones identifiées ressortent pour la majeure partie en lien avec les risques de pollution des eaux souterraines autour des sites BASOL identifiés ponctuellement.

Filière	Profondeur maximum	Part du territoire régional couverte par chaque zone réglementaire (%)		
		Zone verte	Zone orange	Zone rouge
Système ouvert	50 m	77,3	22,7	0,1
	100 m	58,6	41,3	0,1
	200 m	46,2	53,7	0,1
Système fermé	50 m	74,7	22,7	2,6
	100 m	56,8	39,1	4,1
	200 m	45,1	49,6	5,3

Tableau 3: Taux de couverture des zonages réglementaires finaux, par filière et par gamme de profondeur

Les zonages finaux sont globalement cohérents avec ceux réalisés en 2018 pour l'ex-Aquitaine. Les quelques disparités visibles montrent l'influence notable que peut avoir la qualité des données à disposition, qui peut être fluctuante selon les découpages administratifs.

Suite au rendu du présent rapport, le Conseil Régional de Nouvelle-Aquitaine portera une demande officielle de révision des zonages réglementaires auprès du Préfet de Région. L'instruction sera conduite conformément à l'arrêté du 25/06/2015, et mènera notamment à une consultation des comités de bassin puis du public.

À leur entrée en vigueur, les cartes réglementaires seront valorisées dans le portail cartographique du site <https://www.geothermies.fr/viewer/> et seront notamment accessibles via l'espace régional <https://www.geothermies.fr/regions/nouvelle-aquitaine>.

6. Bibliographie

Abasq L., Platel J.P., Cabaret O. (2020) – Actualisation 2000-2018 du modèle hydrogéologique des aquifères du Crétacé du sud des Charentes, rapport BRGM/RP-70193-FR (à paraître)

Allier D., Brugeron A., Mardhel V. (2018) - Cartographie préliminaire de l'épaisseur moyenne de la zone non saturée, à l'échelle du 1/100 000^{ème} sur la France Métropolitaine. rapport BRGM/RP-68354-FR

Barrière J., Ayache B., Compère F., Corber P. (2018) – Cartographie des zonages réglementaires de géothermie de minime importance vis-à-vis des risques géologiques et compléments à l'atlas du potentiel géothermique de l'Aquitaine. Rapport final. BRGM/RP-67708-FR, 80 p., 34 ill., 5 tabl.

Bézègues-Courtade S., Durst P., avec la collaboration de Garnier F. et Demutrecy T., (2012), Impacts potentiels de la géothermie très basse énergie sur le sol, le sous-sol et les aquifères – synthèse bibliographique. Rapport final. BRGM/RP-59837-FR

Cerema, Ineris (2017) - Dissolution naturelle du gypse dans le sous-sol – Analyse et gestion des aléas mouvements de terrain de type affaissement et effondrement. INERIS 17-164710-03375A. 34p.

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.

Durst P., Midot, D., Schomburgk, Fourniguet G., Herboux M., Barras A.V (2014) – Cartographie des Risques liés à la géothermie de minime importance. Rapport final. BRGM/RP-63616-FR, 100 p., 55 fig., 10 tabl., 3 ann.

Herboux.M ; Kreziak C. ; Durst P ; Midot D. ; Schomburgk S ; Martin J.C. ; Cochery R.; Fourniguet G. ; Barras A.-V. (2015) - Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance - Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, ADEME, BRGM, CEREMA. 83 p.

Herboux M., Kreziak C., Durst P., Martin J.C., Cochery C., Midot C. (2013) – Méthodologie d'une cartographie des contraintes et des risques géologiques liés aux ofrages géothermiques de minime importance. Rapport final. BRGM/RP-61768-FR, 41 p., 14 fig., 11 tab.

Ineris (2014) – Evaluation de l'aléa mouvements de terrain lié à la dissolution du gypse que les Communes de Sevrans, Villepinte et Tremblay, Seine-Saint-Denis, Ile –de-France. Rapport d'étude DRS-13-130829-04972B. 90p.

Marchais, E. ; Bichot, F. (2005) - CPER 2000-2006. Référentiels piézométriques. Phase 3. Piézométries de l'aquifère du Dogger. BRGM/RP-53847-FR, 73 p. 25 fig., 2 cartes, 2 pht

Mardhel, Vincent ; Genna, Antonin ; Touchard.F. ; Compere, F.; Thinon-Larminach, M. (2018) - Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Région Limousin. Rapport final. BRGM/RP-65706-FR, 88 p.

Paroissien, J. B. ; Brugeron, A. (2015) - Synthèse de la construction du référentiel hydrogéologique Français BDLISA V1. Rapport final. BRGM/RP-65369-FR, 33 p., Ann.

Paroissien, J. B. ; Brugeron, A.; Sedan-Miegemolle, O. ; Renaud.C. ; Quique.R. ; Taffoureau, E. (2015) - Référentiel hydrogéologique Français BDLISA version 1: Présentation du référentiel. Principe de construction et mise en oeuvre. Rapport final. BRGM/RP-65370-FR, 84 p.

Petit, V. ; Martin, J.C. (2016) - Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Région Centre - Val de Loire. Rapport final. BRGM/RP-66590-FR, 71 p., 3 ann.

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

Thinon-Larminach, M. ; Ribot V. ; Dörfliger N. ; Bichot F. ; Subra P. ; Karnay G. (2008) - Recherche de la limite entre les bassins versants de la Charente et du Clain. Rapport Final. BRGM/RP-55573-FR, 118 p.

Touchard F. , Karnay G. , Bichot F. en collaboration **Borot B.** (2004) – CPER 2000-2006 – Phase 2 – Outils pour la gestion de l'aquifère de l'Infra-Toarcien – Réalisation de deux forages et modélisation géologique de l'aquifère – Rapport BRGM RP-52713-FR, 59 p., 28 fig., 9 tab., 6 ann.



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