



# Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance Région Centre-Val de Loire

Rapport final

BRGM/RP-66590-FR

avril 2016





# Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance Région Centre-Val de Loire

Rapport final

BRGM/RP-66590-FR  
avril 2016

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

V. Petit, JC Martin

<p><b>Vérificateur :</b></p> <p>Nom : P. DURST</p> <p>Date : 20/03/2017</p> <p>Signature :</p> 
--

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

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



**Mots-clés** : Géothermie, Risque Géologique, Cartographie, Code minier, Minime importance, Télédéclaration, Cartes réglementaires, Rhône-Alpes.

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

**Petit V., Martin J.-C.** (2017) - Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Région Centre-Val de Loire. Rapport final BRGM/RP-66590-FR, 71 p., 30 ill., 6 tabl., 3 ann.

## Synthèse

Dans le contexte du développement des énergies renouvelables et de la transition énergétique, la géothermie est une activité promue par le Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (MEEM), notamment dans le cadre des actions de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). Afin de favoriser le recours à la géothermie, de tenir compte des évolutions technologiques et de mieux prendre en compte l'incidence des installations sur l'environnement, la réglementation relative à la géothermie de minime importance a fait l'objet d'une révision en 2015 (décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015).

Une carte a été réalisée à l'échelle nationale, indiquant les zones géographiques où peuvent exister des risques liés à la réalisation d'un forage géothermique. Elle est appelée carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Un guide d'élaboration de cette carte a été mis au point par le MEEM (juillet 2015). Ce guide constitue la méthodologie fixée dans l'arrêté relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance, pris en application de l'article 22-6 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié.

La carte nationale tient compte de neuf phénomènes redoutés pouvant être rencontrés lors de la réalisation des travaux d'un forage géothermique ou lors de l'exploitation d'un gîte géothermique. Elle distingue trois zones selon l'importance des enjeux au regard des intérêts mentionnés aux articles L. 161-1 du code minier :

- les zones dites « rouges » dans lesquelles la réalisation d'ouvrages de géothermie est réputée présenter des dangers et inconvénients graves et ne peuvent pas bénéficier du régime de la minime importance ;
- les zones dites « orange » dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance ne sont pas réputées présenter des dangers et inconvénients graves, mais dans lesquelles il est exigé la production d'une attestation de compatibilité d'un projet de géothermie de minime importance, rédigé par un expert agréé prévue à l'article 22-2 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié ;
- les zones dites « vertes » dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance sont réputées ne pas présenter des dangers et inconvénients graves.

Cette carte nationale est entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> juillet 2015 et est disponible sur le site [www.geothermie-perspectives.fr](http://www.geothermie-perspectives.fr).

L'arrêté du 25 juin 2015, relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance, prévoit la possibilité de réviser régionalement la carte nationale pour apporter plus de précision en matière de connaissance et de localisation des phénomènes redoutés. Dans cette carte régionale, les niveaux d'aléas ou de susceptibilité attribués à chaque phénomène peuvent être différents de ceux de la carte nationale.

Dans l'objectif d'avoir une carte régionale plus précise sur le Centre-Val de Loire, l'ADEME Centre-Val de Loire, la région Centre-Val de Loire et le BRGM ont financé la réalisation de la carte régionale.

L'élaboration de la carte régionale tient compte de phénomènes redoutés pouvant être rencontrés lors de la réalisation des travaux d'un forage géothermique ou lors de l'exploitation du gîte géothermique. Les conséquences considérées peuvent être d'ordre :

- géologique causant, notamment en surface, des désordres sur la solidité des bâtiments situés au voisinage du forage, ou la dégradation des échangeurs géothermiques ou d'autres ouvrages mis en place ;
- environnemental, notamment par la dégradation ou la pollution des eaux souterraines.

Conformément au guide méthodologique, les phénomènes retenus sont :

- affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques ;
- affaissement/ effondrement lié aux cavités (hors mines) ;
- affaissement/ effondrement lié aux cavités minières ;
- mouvement de terrain (ou glissement de terrain) ;
- pollution des sols et/ou des nappes souterraines ;
- artésianisme ;
- mise en communication d'aquifères ;
- remontée de nappe.

Ces phénomènes ont été cotés séparément selon des niveaux établis sur chacune des 159 649 mailles de 500 m de côté couvrant la région. Ils ont été ensuite pondérés par un facteur dit aggravant et sommés afin d'aboutir à des cartes répertoriant les trois zones (rouge, orange, verte) mentionnées précédemment. Cette méthodologie conduit à produire six cartes de zonage réglementaire. Elles correspondent à deux types d'usages géothermiques : exploitation par doublets sur aquifère (échangeur ouvert) et par sondes géothermiques verticales (échangeur fermé), et à trois gammes de profondeur (10 m - 50 m, 10 m - 100 m, 10 m - 200 m).

Par rapport à la carte nationale initiale, la zonation des cartes réglementaires est distincte pour trois gammes de profondeur. Données et connaissances acquises à l'échelle régionale sont prises en compte. La précision apportée par la carte régionale concerne particulièrement les phénomènes intégrant la géométrie des formations géologiques : mise en communication des aquifères et artésianisme. Peu de modifications sont apportées pour les phénomènes peu représentés dans la région tel que le phénomène « évaporites » ou « cavités minières », ou peu renseigné comme la pollution des sols. Le résultat final montre une différenciation nette entre les trois gammes de profondeur. Globalement, la zone verte représente les deux tiers de la surface totale et la zone orange un tiers, sur la tranche 0 - 200 m à la fois pour les doublets et pour les SGV. Le contexte régional n'a pas justifié la création d'une zone rouge, ni sur la carte nationale ni sur la carte régionale.

# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Réglementation applicable à la géothermie de minime importance .....</b>	<b>11</b>
2.1. LE CODE MINIER.....	11
2.2. LES RÉGLEMENTATIONS TERRITORIALISÉES .....	12
<b>3. Méthodologie de réalisation de la carte réglementaire.....</b>	<b>13</b>
3.1. MÉTHODOLOGIE UTILISÉE .....	13
3.2. LA GRILLE UTILISÉE ET SES ATTRIBUTS.....	15
3.3. CALCUL DE COTATION ET ÉLABORATION DES ZONES.....	18
<b>4. Fiches des phénomènes redoutés .....</b>	<b>19</b>
4.1. PHÉNOMÈNE «AFFAISSEMENT/SURRECTION LIÉ AUX FORMATIONS ÉVAPORITIQUES ».....	19
4.1.1. Description du phénomène et occurrences .....	19
4.1.2. Qualification du phénomène .....	19
4.1.3. Données utilisées et traitement .....	19
4.1.4. Cartographie de l'aléa «affaissement/surrection lié aux évaporites» .....	21
4.1.5. Cotation de l'aléa «affaissement/surrection lié aux évaporites» .....	22
4.2. PHÉNOMÈNE «AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT» LIÉ AUX CAVITÉS (HORS MINES)» .....	23
4.2.1. Description du phénomène et occurrences .....	23
4.2.2. Qualification du phénomène .....	23
4.2.3. Cartographie et cotation de l'aléa «affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines)».....	23
4.3. PHÉNOMÈNE «AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIÉ AUX CAVITÉS MINIÈRES» .....	25
4.3.1. Description du phénomène et occurrences .....	25
4.3.2. Qualification du phénomène .....	25
4.3.3. Cartographie de l'aléa «affaissement/effondrement» lié aux cavités minières..	27
4.3.4. Cotation de l'aléa «affaissement/effondrement lié aux cavités minières» .....	28
4.4. PHÉNOMÈNE «MOUVEMENTS DE TERRAINS DE TYPE GLISSEMENT» .....	28
4.4.1. Description du phénomène et occurrences .....	28
4.4.2. Qualification du phénomène .....	28
4.4.3. Données utilisées et traitement.....	29
4.4.4. Cartographie de l'aléa «glissement de terrain» .....	30
4.4.5. Cotation de l'aléa «glissement de terrain».....	30

4.5. PHÉNOMÈNE «POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE» .....	31
4.5.1. Description du phénomène et occurrences .....	31
4.5.2. Qualification du phénomène .....	31
4.5.3. Données utilisées et traitement .....	32
4.5.4. Cartographie de l'aléa «pollution des sols et des nappes d'eau souterraine»...33	
4.5.5. Cotation de l'aléa «pollution des sols et des nappes d'eau souterraine» .....	34
4.6. PHÉNOMÈNE «ARTÉSIANISME».....	34
4.6.1. Phénomène redouté .....	34
4.6.2. Qualification du phénomène .....	34
4.6.3. Données utilisées et traitement .....	35
4.6.4. Cartographie de l'aléa «artésianisme» .....	36
4.6.5. Cartographie de l'aléa «artésianisme» .....	37
4.6.6. Cotation de l'aléa du phénomène artésianisme.....	39
4.7. PHÉNOMÈNE « MISE EN COMMUNICATION D'AQUIFÈRES» .....	40
4.7.1. Phénomène redouté .....	40
4.7.2. Qualification du phénomène .....	40
4.7.3. Données utilisées et traitement .....	40
4.7.4. Cartographie de l'aléa «mise en communication d'aquifères».....	41
4.7.5. Cotation de l'aléa « mise en communication d'aquifères» .....	41
4.8. PHÉNOMÈNE «INONDATION PAR REMONTÉE DE NAPPE».....	43
4.8.1. Phénomène redouté .....	43
4.8.2. Qualification du phénomène .....	43
4.8.3. Données utilisées pour le traitement .....	43
4.8.4. Cartographie de l'aléa remontée de nappe .....	44
4.8.5. Cotation de l'aléa remontée de nappe.....	44
<b>5. Zones réglementaires .....</b>	<b>45</b>
<b>6. Les écarts par rapport au guide .....</b>	<b>49</b>
6.1. PHÉNOMÈNE «AFFAISSEMENT/SURRECTION LIÉ AUX FORMATIONS ÉVAPORITIQUES».....	49
6.2. PHÉNOMÈNE «AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIÉ AUX CAVITÉS (HORS MINES)» .....	49
6.3. PHÉNOMÈNE «AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIÉ AUX CAVITÉS MINIÈRES» .....	49
6.4. PHÉNOMÈNE «AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIÉ AUX MOUVEMENT DE TERRAIN DE TYPE GLISSEMENT» .....	50
6.5. PHÉNOMÈNE «POLLUTION DES SOLS ET/OU DES NAPPES SOUTERRAINES».....	50
6.6. SYNTHÈSE .....	50

<b>7. Zones réglementaires particulières .....</b>	<b>53</b>
7.1. NAEP .....	53
7.2. LES STOCKAGES DE GAZ DE SOLOGNE .....	55
<b>8. Conclusion.....</b>	<b>57</b>
<b>9. Bibliographie .....</b>	<b>59</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 : Carte de situation générale.....	16
Illustration 2 : Table attributaire de la grille.....	18
Illustration 3 : Niveaux de gypses identifiés dans les logs géologiques validés. ....	20
Illustration 4 : Logs géologiques validés avec un faciès évaporitiques entre 10 et 200 m de profondeur.....	21
Illustration 5 : Niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement /surrection lié aux évaporites ». ....	22
Illustration 6 : Niveau d'aléa de présence de cavité. ....	24
Illustration 7 : Titres miniers.....	26
Illustration 8 : Niveau d'aléa de présence de cavités minières.....	27
Illustration 9 : Traitement des données de mouvements de terrain. ....	29
Illustration 10 : Niveau d'aléa du phénomène « mouvement de terrain de type glissement ». ....	30
Illustration 11 : Principe de qualification de l'aléa pollution des sols et des nappes d'eau souterraine. ....	32
Illustration 12 : Localisation des sites BASOL en Centre- Val de Loire (28 novembre 2016).....	32
Illustration 13 : Niveau d'aléa de «Pollution des sols et des nappes d'eau souterraine». ....	33
Illustration 14 : Points artésiens.....	35
Illustration 15 : Niveaux d'aléa du phénomène d'artésianisme par aquifère (document intermédiaire). ....	37
Illustration 16 : Niveaux d'aléa du phénomène artésianisme pour une profondeur 10-50 m.....	38
Illustration 17 : Niveaux d'aléa du phénomène artésianisme pour une profondeur 10-100 m.....	38
Illustration 18 : Niveaux d'aléa du phénomène artésianisme pour une profondeur 10-200 m.....	39
Illustration 19 : Niveaux d'aléa de la mise en communication entre aquifères (0-50 m).....	42
Illustration 20 : Niveaux d'aléa de la mise en communication entre aquifères (0-100 m).....	42
Illustration 21 : Niveaux d'aléa de la mise en communication entre aquifères (0-200 m).....	42
Illustration 22 : Niveaux d'aléa du phénomène d'inondation par remontée de nappe. ....	44
Illustration 23 : Zonage réglementaire relative à la géothermie de minime importance.....	47
Illustration 24 : Cartes réglementaires aux échelles nationale et régionale. ....	51
Illustration 25: Extrait de l'arrêté du 25 juin 2015. ....	53
Illustration 26 : NAEP. Calcaires de Beauce et Albiens. ....	54
Illustration 27 : NAEP. Craie séno-turonienne.....	54

Illustration 28 : NAEP. Cénomaniens.....	54
Illustration 29 : NAEP. Jurassique et Trias.....	54
Illustration 30 : Localisation des stockages de gaz en Sologne.....	55

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Niveaux des aléas et des facteurs aggravants.....	14
Tableau 2 : Champs des Informations générales.....	17
Tableau 3 : Champs des niveaux d'aléa par phénomène.....	17
Tableau 4 : Champs des valeurs résultantes des cartes réglementaires.....	17
Tableau 5 : Champs de la classification des cartes réglementaires.....	17
Tableau 6 : Comparaison des superficies des zones réglementaires des cartes nationales et réglementaires.....	46

## Liste des annexes

Annexe 1 - Cotation des phénomènes pour la carte Centre-Val de Loire.....	61
Annexe 2 - Fiche de synthèse.....	65
Annexe 3 - Données utilisées pour les cartes en Centre-Val de Loire.....	67

# 1. Introduction

Dans le contexte du développement des énergies renouvelables et de la transition énergétique, la géothermie est une activité promue par le Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (MEEM), notamment dans le cadre des actions de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). Afin de favoriser le recours à la géothermie, de tenir compte des évolutions technologiques et de mieux prendre en compte l'incidence des installations sur l'environnement, la réglementation relative à la géothermie de minime importance a fait l'objet d'une révision en 2015 (décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015).

La filière géothermie doit actuellement répondre à deux grands enjeux :

- se développer fortement et conformément aux attentes sur les énergies renouvelables ;
- se développer en tenant compte des incidences sur l'environnement.

Une carte, indiquant les zones géographiques où peuvent exister des risques liés à la réalisation d'un forage géothermique a été réalisée à l'échelle nationale. Elle est appelée carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Un guide d'élaboration de cette carte a été mis au point par le MEEM (juillet 2015). Ce guide constitue la méthodologie fixée dans l'arrêté relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance, pris en application de l'article 22-6 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié.

La carte nationale tient compte d'un ensemble de 9 phénomènes redoutés pouvant être rencontrés lors de la réalisation des travaux d'un forage géothermique ou lors de l'exploitation d'un gîte géothermique. Elle distingue trois zones selon l'importance des enjeux au regard des intérêts mentionnés aux articles L. 161-1 du code minier :

- les zones dites « rouges » dans lesquelles la réalisation d'ouvrages de géothermie est réputée présenter des dangers et inconvénients graves et ne peuvent pas bénéficier du régime de la minime importance ;
- les zones dites « orange » dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance ne sont pas réputées présenter des dangers et inconvénients graves, mais dans lesquelles il est exigé la production d'une attestation de compatibilité d'un projet de géothermie de minime importance, rédigé par un expert agréé prévue à l'article 22-2 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié ;
- les zones dites « vertes » dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance sont réputées ne pas présenter des dangers et inconvénients graves.

Cette carte nationale est entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> juillet 2015 et est disponible sur le site : [www.geothermie-perspectives.fr](http://www.geothermie-perspectives.fr).

L'arrêté du 25 juin 2015, relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance, prévoit la possibilité de réviser régionalement la carte nationale pour apporter plus de précision en matière de connaissance et de localisation des phénomènes redoutés. Dans cette carte régionale, les niveaux d'aléas ou de susceptibilité attribués à chaque phénomène peuvent être différents de ceux de la carte nationale.

Dans l'objectif d'avoir une carte plus précise, à l'échelle de la région Centre-Val de Loire, l'ADEME Centre-Val de Loire, le BRGM et la Région Centre-Val de Loire ont financé la réalisation de la carte régionale. Celle-ci a été exécutée par le BRGM.

L'élaboration de la carte régionale tient compte de 8<sup>1</sup> phénomènes redoutés pouvant être rencontrés lors de la réalisation des travaux d'un forage géothermique ou lors de l'exploitation du gîte géothermique. Conformément au guide méthodologique, les phénomènes retenus sont :

- affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques ;
- affaissement/ effondrement lié aux cavités (hors mines) ;
- affaissement/ effondrement lié aux cavités minières ;
- mouvement de terrain (ou glissement de terrain) ;
- pollution des sols et/ou des nappes souterraines ;
- artésianisme ;
- mise en communication d'aquifères ;
- remontée de nappe.

Les conséquences considérées peuvent être d'ordre :

- géologique causant notamment en surface, des désordres sur la solidité des bâtiments situés au voisinage du forage, ou la dégradation des échangeurs géothermiques ouvrages mis en place ;
- environnemental notamment par la dégradation ou la pollution des eaux souterraines.

En complément de la carte réglementaire, est menée parallèlement la mise à jour de l'atlas géothermique des ressources géothermiques sur nappe et carte du potentiel géothermique sur sonde. Ces deux projets (carte réglementaire et mise à jour de l'atlas) font l'objet d'une convention de recherche et de développement partagé entre l'Agence de Développement et de maîtrise de l'Énergie (ADEME), le BRGM et la région Centre-Val de Loire.

---

<sup>1</sup> Le neuvième phénomène (biseau salé) n'existe pas en Centre-Val de Loire et n'a donc pas été retenu dans la liste des phénomènes redoutés.

## 2. Réglementation applicable à la géothermie de minime importance

### 2.1. LE CODE MINIER

La géothermie est réglementée par le Code minier qui considère comme des mines les gîtes renfermés dans le sein de la terre dont on peut extraire de l'énergie sous forme thermique, notamment par l'intermédiaire des eaux chaudes et des vapeurs souterraines qu'ils contiennent. Le Code minier distingue la géothermie Haute Température (plus de 150 °C) et Basse Température (moins de 150 °C). Les installations de géothermie nécessitent des autorisations de recherche et d'exploitation. Les installations de moins de 200 m de profondeur et des températures inférieures à 25 °C bénéficient d'une dérogation, celles-ci sont soumises à une simple déclaration. Ces dernières sont appelées « géothermie de minime importance ».

#### a) *Géothermie de minime importance*

Les critères de la géothermie de minime importance sont définis dans le paragraphe II de l'article 3 du décret n° 78-498 du 28 mars 1978 modifié. Les conditions de mise en œuvre sont précisées dans le décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains.

Les critères de la géothermie de minime importance sont :

- pour les échangeurs géothermiques fermés : la profondeur du forage est comprise entre 10 et 200 mètres, et la puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW. Les échangeurs ne doivent pas être situés sur une zone rouge ;
- pour les échangeurs géothermiques ouverts :
  - la profondeur du forage est comprise entre 10 et 200 mètres,
  - la puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW,
  - la température de l'eau prélevée en sortie des ouvrages de prélèvement est inférieure à 25 °C,
  - les eaux prélevées sont réinjectées dans le même aquifère et la différence entre les volumes d'eaux prélevés et réinjectés est nulle,
  - les débits prélevés ou réinjectés sont inférieurs au seuil d'autorisation fixé à la rubrique 5.1.1.0 de l'article R. 214-1 du code de l'environnement,
  - les échangeurs ne doivent pas être situés sur une zone rouge.

La réalisation des travaux de forages géothermique mis en œuvre pour l'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance (aussi dénommés ouverture de travaux d'exploitation d'un gîte géothermique) sont encadrés comme suit :

- préalablement aux travaux de forage, l'activité géothermique répondant aux critères de la géothermie de la minime importance doit être déclarée. Cette démarche doit être réalisée sur le téléservice dédié, accessible sur le site « [géothermie-perspectives.fr](http://geothermie-perspectives.fr) » ;

- les forages doivent être réalisés par une entreprise qualifiée selon les conditions techniques prévues par l'arrêté relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance ;
- la localisation d'un échangeur doit répondre aux prescriptions définies par l'arrêté relatif aux prescriptions générales applicables. En outre, selon la localisation de l'échangeur au regard de la carte des zones réglementaires en matière de géothermie de minime importance, une attestation de compatibilité est jointe à la déclaration. Cela est notamment requis lorsque le projet se situe dans la zone orange.

L'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance et sa cessation d'exploitation doivent être mises en œuvre conformément à l'arrêté relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance. Les travaux de cessation d'exploitation et le changement d'exploitant de la ressource sont à déclarer. Ces démarches peuvent être réalisées par voie dématérialisée. L'ensemble des informations nécessaires à ces démarches est disponible sur le site internet « [geothermie-perspectives.fr](http://geothermie-perspectives.fr) ».

## **2.2. LES RÉGLEMENTATIONS TERRITORIALISÉES**

Les forations envisagées dans le cadre de cette géothermie, 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 les 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 zones 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.

## 3. Méthodologie de réalisation de la carte réglementaire

### 3.1. MÉTHODOLOGIE UTILISÉE

La réalisation de la carte régionale suit la méthode définie dans le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance mis au point par le MEEM. Les caractéristiques du sous-sol et des phénomènes redoutés pouvant être rencontrés lors de travaux de forage des échangeurs géothermiques de minime importance sont pris en compte.

Les phénomènes géologiques, hydrogéologiques et environnementaux (de type affaissement, mouvement de terrain, pollutions, ...) susceptibles d'être rencontrés par la réalisation d'un projet de géothermie de minime importance ont été identifiés. Pour chaque phénomène :

- le phénomène redouté est décrit et caractérisé par des niveaux aléas en lien avec les probabilités d'occurrence (susceptibilité) en l'absence d'une carte de l'aléa, comme c'est le cas en Centre-Val de Loire ;
- une valeur est attribuée à chaque niveau ;
- un facteur aggravant est ensuite attribué en fonction (1) du phénomène redouté et (2) de la technique d'exploitation géothermique employée : échangeur fermé ou échangeur ouvert ;
- la disponibilité des données utilisées est précisée.

Les zones réglementaires GMI, appliquée sur la région Centre-Val de Loire, sont définies par six cartes, correspondant aux deux types d'échangeur (échangeur fermé, échangeur ouvert) et pour les trois intervalles de profondeur (10-50 mètres, 10-100 mètres et 10-200 mètres).

Chaque carte est fondée sur une analyse multicritère, en superposant plusieurs phénomènes. Les cartes ont été réalisées à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG) dans lequel chacun des phénomènes identifiés est représenté par une couche spécifique.

Les phénomènes retenus sont :

- affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques ;
- affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) ;
- affaissement/effondrement lié aux cavités d'origine minière ;
- mouvement de terrain (ou glissement de terrain) ;
- pollution des sols et/ou des nappes. ;
- artésianisme ;
- mise en communication d'aquifères ;
- remontée de nappe.

Le tableau de synthèse Centre-Val de Loire avec les cotations proposées à chaque phénomène décrit dans l'analyse multicritère est présenté dans le Tableau 1, par type

d'échangeur. Les valeurs de la carte nationale et recommandées d'une manière générale pour les cartes régionales sont rappelées.

N° phénomène	Phénomène redouté	Carte	Niveaux aléa										Note maximale	Facteur aggravant		Résultat maximum		
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	DOUBLET	SGV	DOUBLET	SGV
1	Evaporite	Nationale	0	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3	6	10	18	30
		Régionale	0	1	-	-	-	5	-	7	-	-	-	7	6	10	42	70
		Centre	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	6	10	6	10
2	Cavité (nm)	Nationale	0	1	2	3	-	-	-	-	-	-	-	3	2	2	6	6
		Régionale	0	1	2	3	-	5	-	7	-	-	-	7	2	2	14	14
		Centre	0	1	-	-	-	5	-	7	-	-	-	7	2	2	14	14
3	Cavité minière	Nationale	0	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3	2	2	6	6
		Régionale	0	1	-	3	-	5	-	7	-	-	-	7	2	2	14	14
		Centre	0	1	-	3	-	5	-	-	-	-	-	5	2	2	10	10
4	MVT	Nationale	0	1	2	3	-	-	-	-	-	-	-	3	2	2	6	6
		Régionale	0	1	2	3	-	5	-	7	-	-	-	7	2	2	14	14
		Centre	0	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3	2	2	6	6
5	BASOL	Nationale	0	1	-	-	4	-	6	-	-	-	-	6	3	3	18	18
		Régionale	0	1	-	-	4	-	6	-	-	-	10	10	3	3	30	30
		Centre	0	1	-	-	-	-	6	-	-	-	-	6	3	3	18	18
6	Artésianisme	Nationale	0	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3	2	4	6	12
		Régionale	0	-	-	3	-	-	-	7	-	-	-	7	2	4	14	28
		Centre	0	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3	2	4	6	12
7	Comm. Aquif	Nationale	0	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3	4	4	12	12
		Régionale	0	1	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4	4	4	16	16
		Centre	0	1	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4	4	4	16	16
8	Remontée	Nationale	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	0	2	0
		Régionale	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	0	2	0
		Centre	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	0	2	0

Tableau 1 : Niveaux des aléas et des facteurs aggravants.

La grille de précision de la carte révisée à l'échelle régionale Centre-Val de Loire est la maille (pixel) de 500 x 500 mètres, à l'identique de la carte nationale, compte-tenu de la précision des données disponibles.

La superposition de l'ensemble des couches au sein du SIG avec l'application de la pondération des critères associés permet d'obtenir une carte composée de zones vertes, orange et rouges. La carte distingue les zones selon l'importance des enjeux au regard des intérêts mentionnés aux articles L. 161-1 du code minier :

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

Il est rappelé que les périmètres et prescriptions fixés à l'échelle locale par d'autres réglementations relatives à l'usage du sol et du sous-sol doivent être considérés en priorité par les maîtres d'ouvrage, au-delà de la prise en compte des zones réglementaire GMI (vertes, orange et rouges).

Pour chaque couche d'information utilisée pour la carte, sont précisées les métadonnées avec :

- l'identification de l'origine de la donnée (origine de la couche cartographique, origine de la source de la donnée) ;
- la date d'extraction pour les données issues de bases de données.

### **3.2. LA GRILLE UTILISÉE ET SES ATTRIBUTS**

La grille a été créée dans le système géodésique officiel en France, le réseau géodésique français 1993 (RGF93-Lambert93) qui répond à la directive INSPIRE. Le maillage correspond à des pixels de 500 x 500 mètres. Le modèle numérique de terrain (MNT) a été constitué en prenant la moyenne des valeurs de cote d'altitude (valeur Z) du MNT IGN au pas de 25 m sur chaque pixel de 500 x 500 m.

La couverture complète de la région Centre-Val de Loire correspond à 159 649 mailles au total, soit environ 39 500 km<sup>2</sup> (Illustration 1).

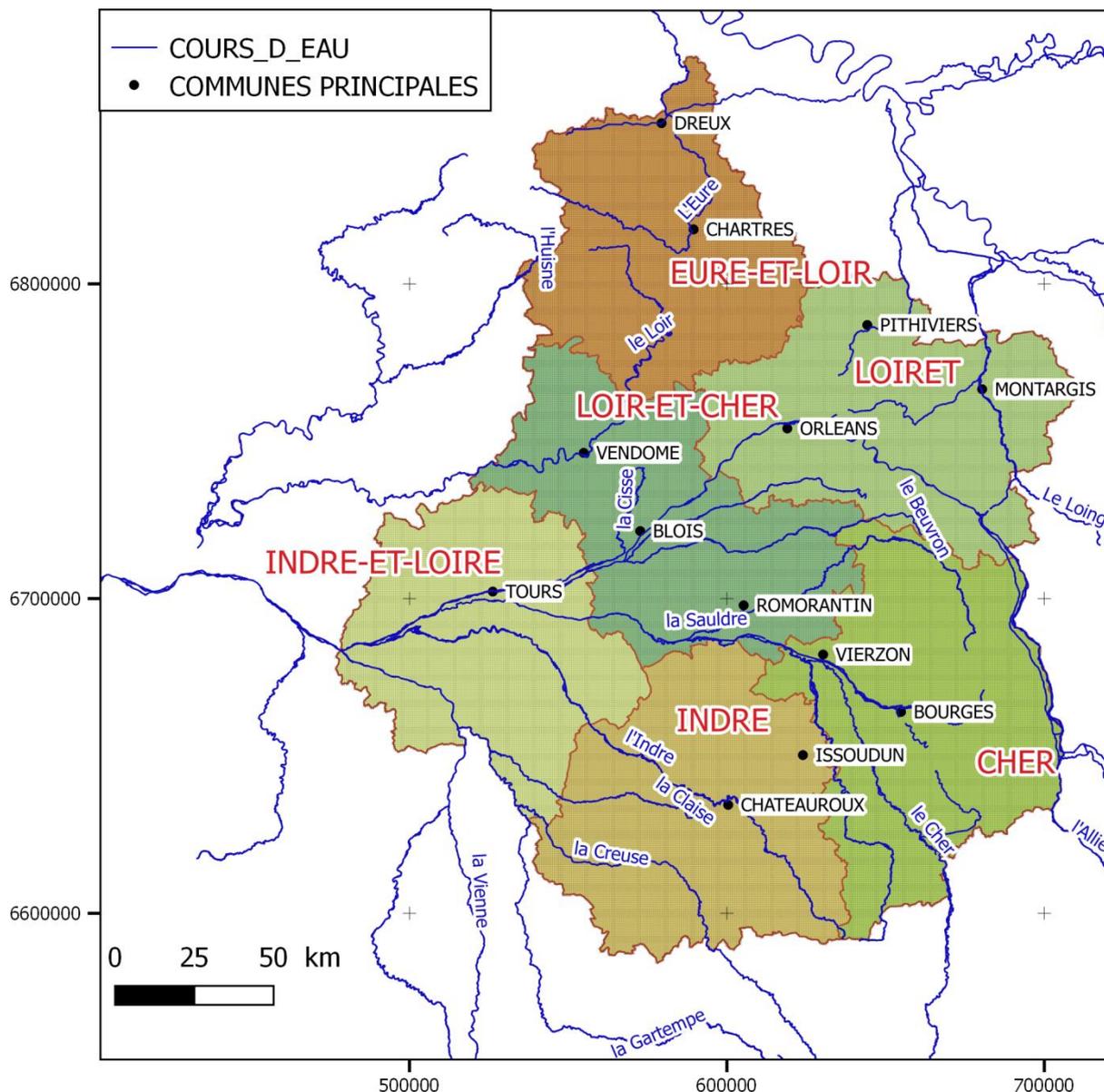


Illustration 1 : Carte de situation générale.

La table attributive de cette grille (au format « shapefile » ou « fichier de formes ») concernent les champs relatifs à la carte réglementaire regroupés dans les tableaux suivants :

- Tableau 2 : Champs des Informations générales ;Tableau 2 : Champs des Informations générales.
- : les champs contiennent la valeur attribuée à l'aléa du champ correspondant au phénomène ;Tableau 3 : Champs des niveaux d'aléa par phénomène.
- : les champs contiennent la somme des niveaux d'aléa pondérés par les facteurs aggravants ;Tableau 4 : Champs des valeurs résultantes des cartes réglementaires.
- : classification en zone verte (=1), en zone orange (=2) et en zone rouge (=3).

Nom du champ	Type	Description
Identifiant	Texte	Identifiant unique attribué à chaque maille.
N_colonne	Entier	Numéro de la colonne du maillage de la maille.
N_ligne	Entier	Numéro de la ligne du maillage de la maille.
X_centre_m	Entier	Coordonnées X de la maille en mètre. Système RGF93/Lambert93. EPSG 2154.
Y_centre_m	Entier	Coordonnées Y de la maille en mètre. Système RGF93/Lambert93. EPSG 2154.
Altitude_T	Entier	Altitude moyenne du sol au sein de la maille en mètre.

Tableau 2 : Champs des Informations générales.

Liste des champs correspondant aux valeurs du niveau d'aléa		
Nom du champ	Type	Phénomène
EVAPO	Entier	Phénomène d'affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques.
CAV_NAT	Entier	Phénomène d'affaissement/effondrement liés aux cavités (hors mine).
CAV_MIN	Entier	Phénomène d'affaissement/effondrement liés aux cavités minières.
MVT	Entier	Phénomène mouvement de terrain (glissement de terrain).
BASOL_50	Entier	Phénomène de pollution des sols et/ou des nappes (entre 10 et 50 m).
BASOL_100	Entier	Phénomène de pollution des sols et/ou des nappes (entre 10 et 100 m).
BASOL_200	Entier	Phénomène de pollution des sols et/ou des nappes (entre 10 et 200 m).
ARTE_50	Entier	Phénomène artésianisme (entre 10 et 50 m).
ARTE_100	Entier	Phénomène artésianisme (entre 10 et 100 m).
ARTE_200	Entier	Phénomène artésianisme (entre 10 et 200 m).
COM_50	Entier	Phénomène de mise en communication d'aquifère (entre 10 et 50 m).
COM_100	Entier	Phénomène de mise en communication d'aquifère (entre 10 et 100 m).
COM_200	Entier	Phénomène de mise en communication d'aquifère (entre 10 et 200 m).
REM	Entier	Phénomène de remontée de nappe.

Tableau 3 : Champs des niveaux d'aléa par phénomène.

Liste des champs correspondant aux valeurs résultantes utilisées pour les cartes réglementaires		
Nom du champ	Type	Description
DOUBLET_50	Entier	Somme des niveaux d'aléa pondérés des facteurs aggravant pour un doublet géothermique entre 10 et 50 mètres de profondeur.
DOUBLE_100	Entier	Somme des niveaux d'aléa pondérés des facteurs aggravant pour un doublet géothermique entre 10 et 100 mètres de profondeur.
DOUBLE_200	Entier	Somme des niveaux d'aléa pondérés des facteurs aggravant pour un doublet géothermique entre 10 et 200 mètres de profondeur.
SVG_50	Entier	Somme des niveaux d'aléa pondérés des facteurs aggravant pour une sonde géothermique verticale entre 10 et 50 mètres de profondeur.
SVG_100	Entier	Somme des niveaux d'aléa pondérés des facteurs aggravant pour une sonde géothermique verticale entre 10 et 100 mètres de profondeur.
SVG_200	Entier	Somme des niveaux d'aléa pondérés des facteurs aggravant pour une sonde géothermique verticale entre 10 et 200 mètres de profondeur.

Tableau 4 : Champs des valeurs résultantes des cartes réglementaires.

Liste des champs correspondant à la classification des cartes réglementaires		
Nom du champ	Type	Description
CL_DOU_50	Entier	Classification pour un doublet géothermique entre 10 et 50 mètres de profondeur.
CL_DOU_100	Entier	Classification pour un doublet géothermique entre 10 et 100 mètres de profondeur.
CL_DOU_200	Entier	Classification pour un doublet géothermique entre 10 et 200 mètres de profondeur.
CL_SVG_50	Entier	Classification pour une sonde géothermique verticale entre 10 et 50 mètres de profondeur.
CL_SVG_100	Entier	Classification pour une sonde géothermique verticale entre 10 et 100 mètres de profondeur.
CL_SVG_200	Entier	Classification pour une sonde géothermique verticale entre 10 et 200 mètres de profondeur.

Tableau 5 : Champs de la classification des cartes réglementaires.

### 3.3. CALCUL DE COTATION ET ÉLABORATION DES ZONES

Les notes finales par pixel sont calculées en fonction des facteurs aggravants, selon les formules suivantes pour l'étude menée en Centre-Val de Loire :

#### Valeur résultante pour les doublets :

$(6 \times \text{« évaporites »}) + (2 \times \text{« cavités non minières »}) + (2 \times \text{« cavités minières »}) + (2 \times \text{« MVT »}) + (3 \times \text{« BASOL »}) + (2 \times \text{« artésianisme »}) + (4 \times \text{« communication aquifère »}) + (2 \times \text{« remontée de nappe »})$ .

#### Valeur résultante pour les SGV :

$(10 \times \text{« évaporites »}) + (2 \times \text{« cavités non minières »}) + (2 \times \text{« cavités minières »}) + (2 \times \text{« MVT »}) + (3 \times \text{« BASOL »}) + (4 \times \text{« artésianisme »}) + (4 \times \text{« communication aquifère »}) + (0 \times \text{« remontée de nappe »})$ .

Les valeurs résultantes sont ensuite regroupées selon les trois classes suivantes :

Classe	Zone	Valeur résultante	
		minimale	maximale
1	verte	0	13
2	orange	14	41
3	rouge	>= 42	

La valeur résultante pour l'intervalle 10-100 m ne pourra être inférieure à celle calculée pour l'intervalle de profondeur 10-50 m. Leur valeur pour l'intervalle 10-200 m ne pourra être inférieure à celle de l'intervalle 10-50 m ni à celle de l'intervalle 10-100 m.

Un extrait de la table attributaire de la grille est présenté ci-dessous :

Maille	EVAPO	CAV_NAT	CAV_MIN	MVT	BASOL_50	BASOL_100	BASOL_200	ARTE_50	COM_50	REM	DOUBLET_50	SVG_50	SVG_100	SVG_200	CL_DOU_50
129353500	0	5	0	0	4	4	4	0	0	0	22	22	22	26	2
134711100	0	5	0	0	0	0	0	3	1	1	22	26	26	38	2
134711200	0	5	0	0	0	0	0	0	1	1	16	14	14	26	2
134711300	0	5	0	0	0	0	0	0	0	1	12	10	14	26	1
134856100	0	5	0	0	0	0	0	0	1	1	16	14	14	26	2
134856200	0	5	0	0	0	0	0	0	0	1	12	10	14	26	1

Illustration 2 : Table attributaire de la grille.

## 4. Fiches des phénomènes redoutés

### 4.1. PHÉNOMÈNE « AFFAISSEMENT/SURRECTION LIÉ AUX FORMATIONS ÉVAPORITIQUES »

#### 4.1.1. Description du phénomène et occurrences

Le phénomène concerne les affaissements, voire les effondrements ou les surrections des terrains de surface, liés soit à la dissolution d'un niveau d'évaporite, soit au gonflement de ce niveau en 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.

#### 4.1.2. Qualification du phénomène

Un exemple de ce phénomène est observé actuellement en Lorraine. Il n'existe pas de cartographie des aléas liés à ce phénomène ni à l'échelle nationale, ni en région Centre-Val de Loire. En l'absence de cartographie, ce phénomène est qualifié en fonction de sa susceptibilité (probabilité d'occurrence).

#### 4.1.3. Données utilisées et traitement

Les données sur les évaporites proviennent de la carte des ressources en matériaux et de la synthèse géologique du Bassin de Paris. Les formations géologiques susceptibles de contenir des faciès évaporitiques ont été recherchées sur l'ensemble de la région. Ils sont peu représentés, contrastant fortement avec les niveaux de gypses très représentés dans la région voisine Île-de-France. Les faciès évaporitiques ont été identifiés au nord et au sud de la région.

Au nord du département de l'Eure-et-Loir, les marnes vertes indifférenciées (marnes supragypseuses) du Priabonien, notée « e7MSGyp » sur la carte géologique harmonisée régionale sont composée de bas en haut par :

- les marnes bleues d'Argenteuil ;
- les marnes de Pantin ;
- la glaize à Cyrènes ;
- l'argile verte de Romainville.

Deux de ces niveaux contiennent du gypse. Les Marnes bleues d'Argenteuil comportent des intercalations de petits niveaux gypseux (Bancs de chien) vers la base. La puissance des marnes varie de 1 à 9 m. La Glaize à Cyrènes est une formation à alternance de lits marneux ou argileux, fréquemment feuilletés et de petits bancs ou filets de gypse saccharoïde ou pied d'alouette. La puissance de la Glaize varie de 0.5 à 3 m.

Au sud du Cher et de l'Indre, les grès de Saint-Révérien, dolomies, carbonates gypseux, argiles bariolées à la partie supérieure (Rhétien à Carnien-Norien, notés « t5-7SADol » sur la carte géologique régionale harmonisée) contiennent des sables, des grès et des argiles qui prennent un faciès gypseux à l'est.

En complément de ces informations issues des cartes géologiques, les faciès évaporitiques ont été recherchés sur les passes des logs géologiques validés de la région Centre-Val de

Loire. Entre 10 et 200 m, 15 passes réparties sur 6 ouvrages ont été identifiées (Illustration 3 et Illustration 4).

Les gypses et les niveaux gypseux sont identifiés dans le Cénomaniens, les calcaires du Morancez, les calcaires d'Anjou. Cependant, La présence de gypse dans ces formations n'est confirmé ni dans la notice de la carte géologique, ni dans la synthèse géologique du Bassin de Paris. Pour cette raison et compte tenu du faible nombre d'ouvrages concernés (6) sur la Région Centre-Val de Loire, ces ouvrages ne sont pas retenus pour définir un niveau d'aléa pour le phénomène « évaporites ».

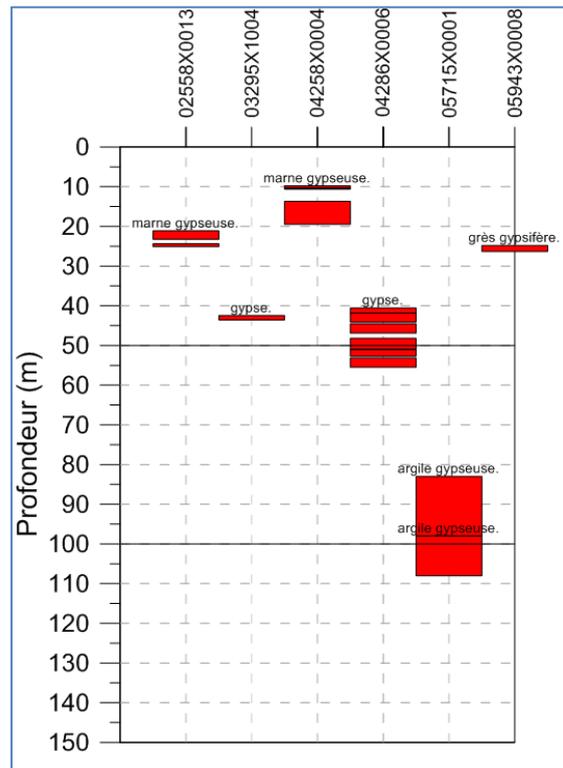


Illustration 3 : Niveaux de gypses identifiés dans les logs géologiques validés.

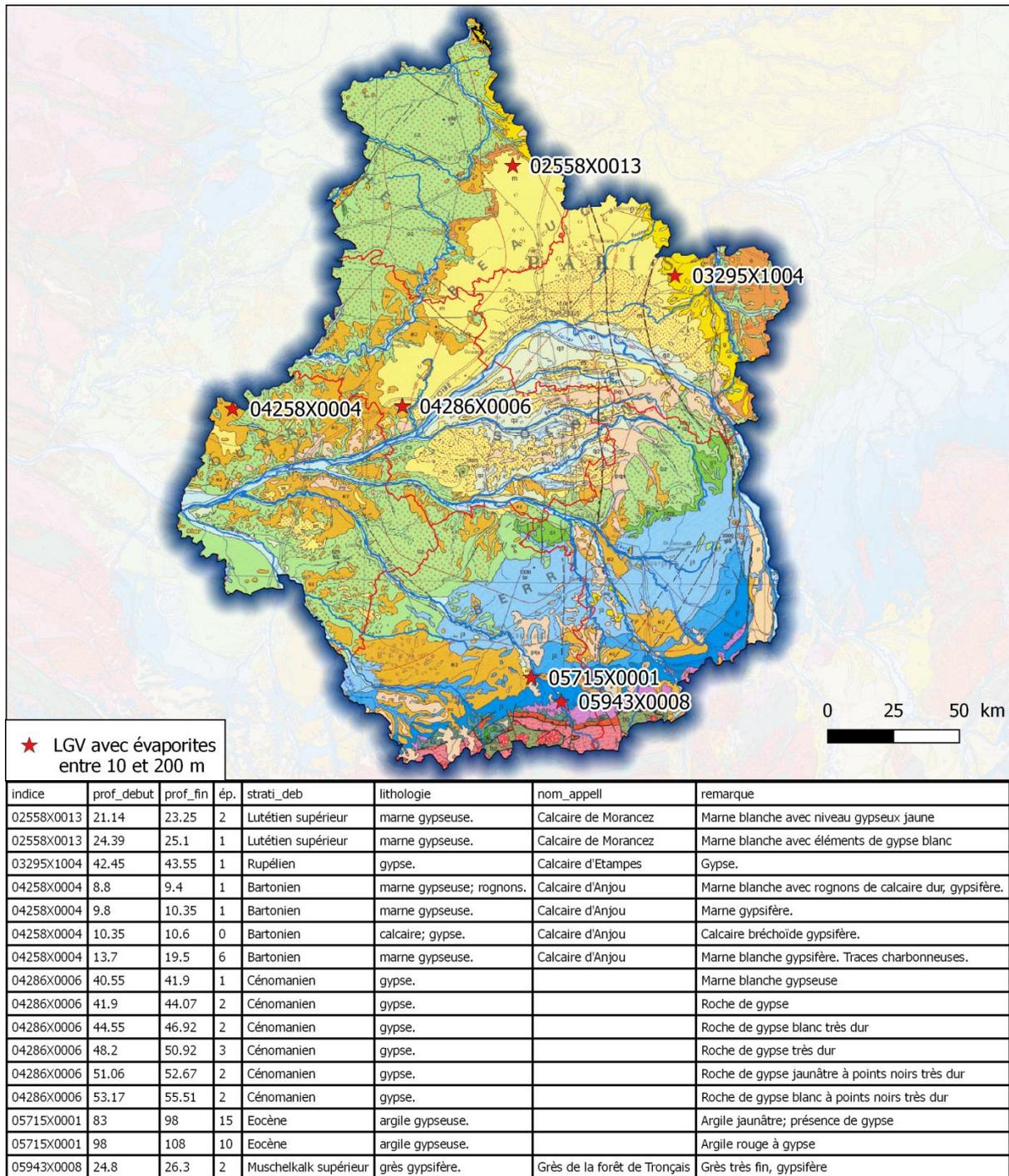


Illustration 4 : Logs géologiques validés avec un faciès évaporitiques entre 10 et 200 m de profondeur.

#### 4.1.4. Cartographie de l'aléa « affaissement/surrection lié aux évaporites »

L'ensemble de ces affleurements élargis sur une zone tampon de 200 m a été classé avec un niveau d'aléa « 1 » (susceptibilité faible). Le classement est le même pour les trois intervalles de profondeur. 3 012 mailles sont affectées d'un niveau d'aléa faible, soit un peu moins de 2 % de la surface totale (Illustration 5).

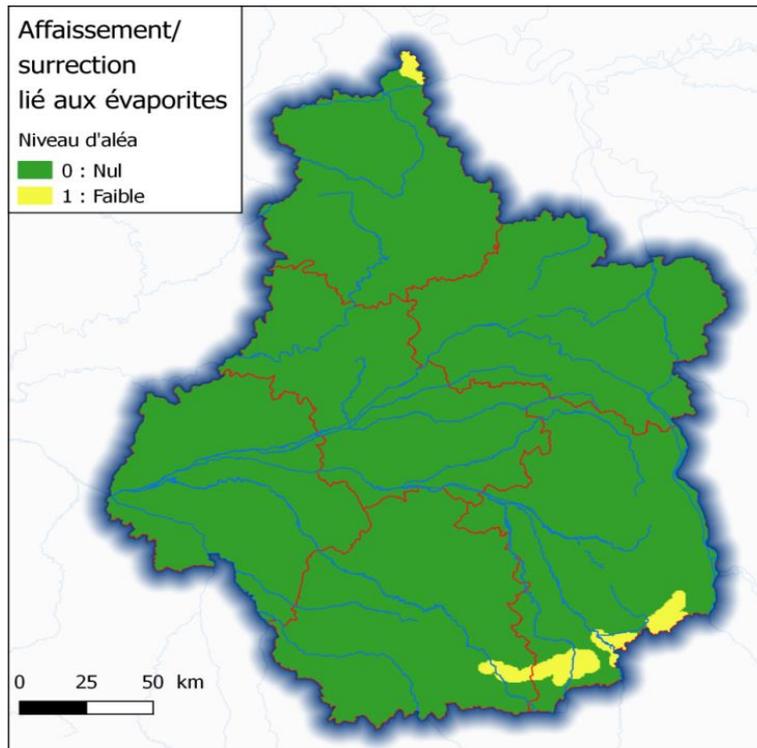


Illustration 5 : Niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement /surrection lié aux évaporites ».

#### 4.1.5. Cotation de l'aléa « affaissement/surrection lié aux évaporites »

Le guide national propose 4 niveaux d'aléa pour les cartes régionales :

		Niveaux aléa										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Evaporite	Nationale	0	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
	Régionale	0	1	-	-	-	5	-	7	-	-	-

Compte-tenu du contexte naturel dans la région Centre-Val de Loire vis-à-vis des évaporites, deux niveaux de susceptibilité (« 0 » et « 1 ») ont été retenus :

Susceptibilité	Nulle	Forte
Valeur du niveau	0	1
Facteur aggravant doublet	6	
Facteur aggravant SGV	10	

Le facteur aggravant les doublets et encore plus pour les SGV sont à un niveau élevé. La valeur résultante de l'aléa affaissement/surrection lié aux évaporites varie entre « 0 » et « 6 », pour les doublets et entre « 0 » et « 10 » pour les SGV.

## 4.2. PHÉNOMÈNE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT » LIÉ AUX CAVITÉS (HORS MINES)

### 4.2.1. Description du phénomène et occurrences

Ces phénomènes d'affaissement ou d'effondrement pourraient être provoqués, soit par la réalisation du forage au cours de la mise en place du dispositif géothermique, 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).

### 4.2.2. Qualification du phénomène

Les cavités naturelles présentes en région Centre-Val de Loire sont issues de dissolution par circulation d'eau dans les formations carbonatées. Elles sont en constante évolution. Deux phénomènes sont particulièrement susceptibles de se produire :

- formation progressive d'une cuvette d'affaissement lorsqu'il y a soutirage de matériaux fins vers le réseau karstique ;
- formation d'un fontis ou effondrement lorsqu'il y a rupture de la partie supérieure d'une cavité.

Les désordres provoqués par les cavités se distinguent des autres phénomènes naturels, en particulier parce que les cavités à l'origine ne sont pas ou sont partiellement accessibles, rendant impossible une approche déterministe, telle qu'utilisée pour d'autres phénomènes naturels.

Les données utilisées sont celles de la base de données cavités dans laquelle 3862 cavités sont recensées (extraction de novembre 2016).

Sur le plan des données disponibles, on ne dispose pas en région Centre-Val de Loire, de cartes d'aléas ou réglementaire ni dans le cadre PPR, ni hors PPR. Lors du projet de recherche « Giskar » (BRGM/RP-62816-FR), les bassins de risques ont été localisés et ont été hiérarchisés vis-à-vis de la susceptibilité à la présence de cavités karstiques. Néanmoins, ce projet a plus porté sur la méthodologie que sur un résultat finalisé sur la région, toutes les données nécessaires n'étant pas disponibles (en particulier celles liées à la nature lithologique du recouvrement). Une deuxième phase de l'étude GISKAR est prévue ultérieurement.

### 4.2.3. Cartographie et cotation de l'aléa « affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) »

Le guide propose 6 niveaux de susceptibilité :

		Niveaux aléa									
Cavité (nm)	Nationale	0	1	2	3	-	-	-	-	-	-
	Régionale	0	1	2	3	-	5	-	7	-	-

Le nombre de cavités par maille a été calculé et a été traduit en susceptibilité d'affaissement/effondrement. Les valeurs proposées par le guide ont été adaptées pour (1)

distinguer les mailles sans cavité et avec une cavité et (2) prendre en compte le contexte du Val de Loire (calcaires de Beauce sous recouvrement alluvial) :

Niveau de susceptibilité	Nul	Très faible	Faible	Moyen	Fort
Valeur du niveau	0	1	2	3	5
Nombre de cavités par maille	0	1	2 à 4	5 à 8	Supérieur à 8 et Val de Loire
Facteur aggravant doublet	2				
Facteur aggravant SGV	2				

La valeur résultante de l'aléa « affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mine) » varie entre « 0 » et « 10 », à la fois pour les doublets et les SGV.

Les trois principaux niveaux de susceptibilité sont 'Nul' (97,7 %), 'très faible' (1,2 %), et 'Fort' (0,7 %). Les valeurs intermédiaires (Très faible à Moyen) sont réparties sur la Beauce, dans la vallée du Loing et dans les zones d'affleurement du Jurassique supérieur et moyen (Illustration 6).

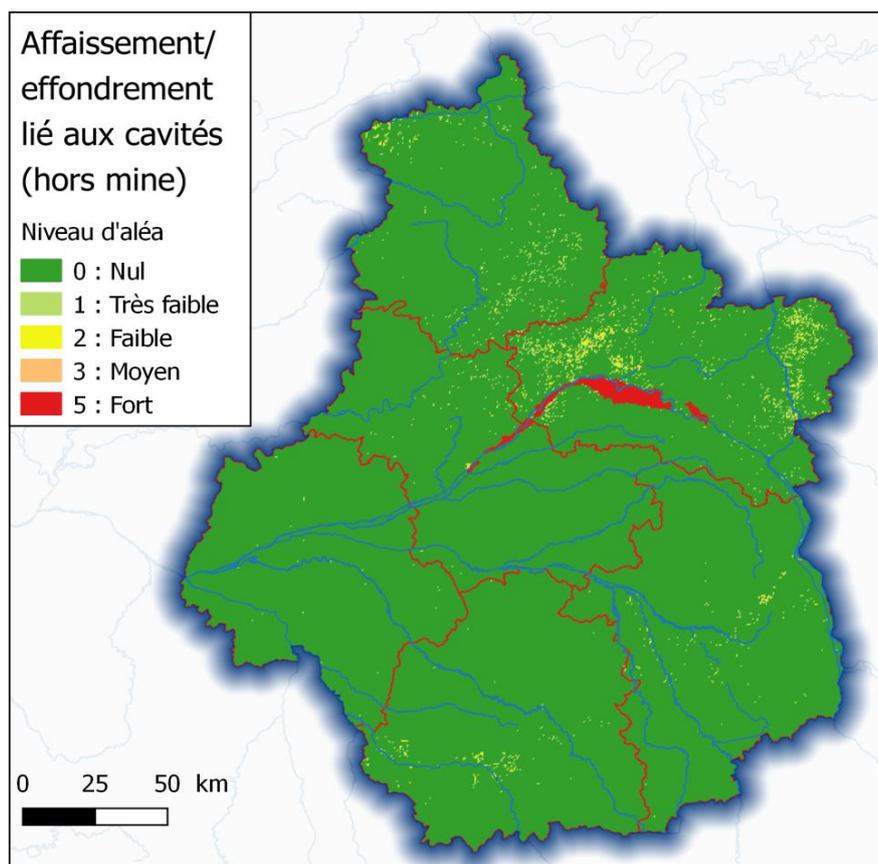


Illustration 6 : Niveau d'aléa de présence de cavité.

### **4.3. PHÉNOMÈNE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIÉ AUX CAVITÉS MINIÈRES »**

#### **4.3.1. Description du phénomène et occurrences**

Il s'agit ici d'effondrements localisés (de type « fontis ») et généralisés ainsi que des affaissements. De par leur brutalité, les effondrements localisés et généralisés 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 généralement qu'un risque économique « en ne mettant en péril que 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.

#### **4.3.2. Qualification du phénomène**

Selon le guide méthodologique, les données à recenser concernant les phénomènes liés aux cavités d'origine minière sont par ordre de priorité :

- les cartes d'aléa ;
- les évènements ponctuels.

##### ***a) Acquisition des données***

La région Centre-Val de Loire est peu minière et les données concernant ce phénomène sont peu nombreuses. Les données disponibles et utilisées pour qualifier l'aléa lié aux cavités minières ont été recueillies auprès de GEODERIS en janvier 2017. Elles consistent en :

- une carte d'aléa autour du site de Rossignol dans l'Indre ;
- les sites et les titres miniers sous forme de tableau excel et de données cartographiques shapefile.

Ces sites ont un statut décrivant leur potentialité vis-à-vis des aléas de mouvements de terrain, d'affaissement et d'effondrement : « risque de mouvement de terrain écarté » et « risque de mouvement de terrain non écarté et jugé non préoccupant ». Les titres miniers sont situés au sud de la région dans les départements de l'Indre et du Cher sur la bordure nord du Massif Central (Illustration 7).

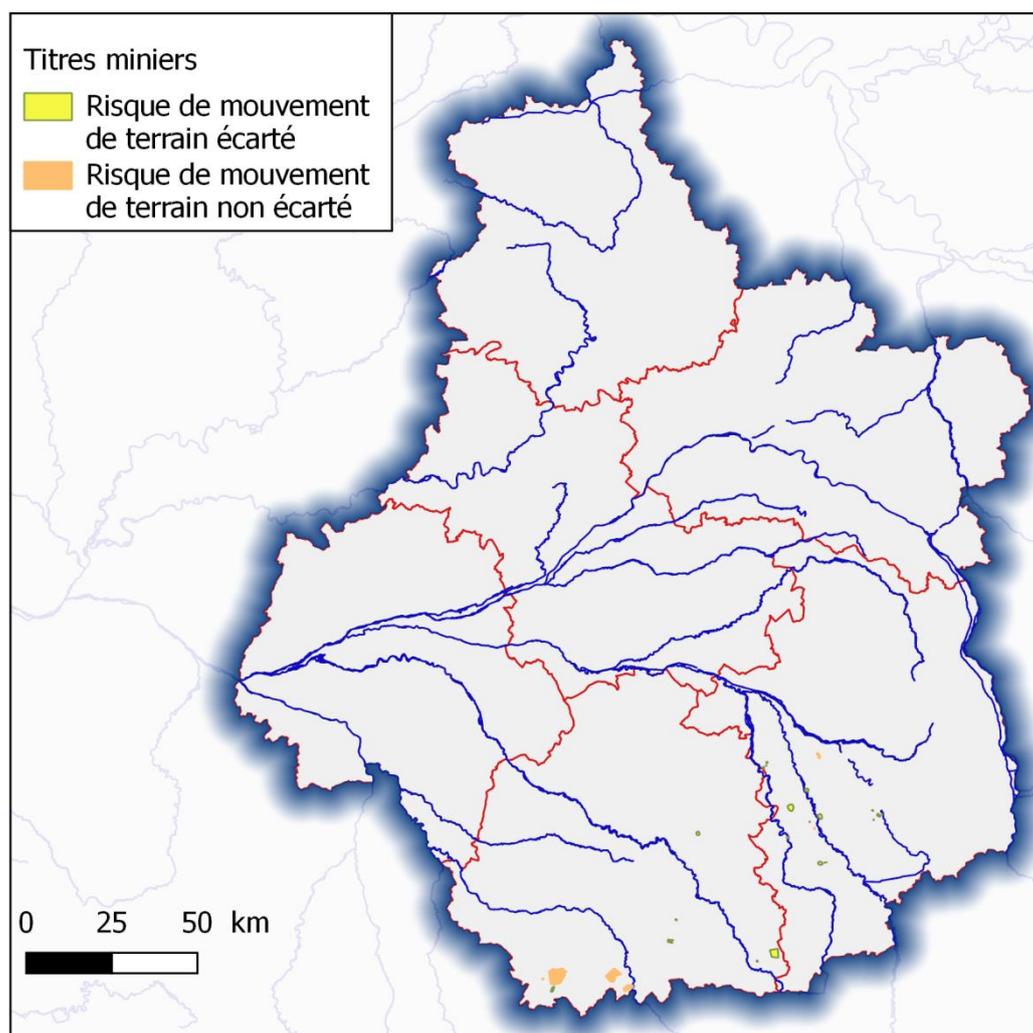


Illustration 7 : Titres miniers.

### **b) Traitement des données**

Pour les besoins de la cartographie de l'aléa affaissement/effondrement lié aux cavités minières, les titres miniers ont été répartis de la manière suivante :

- zones sans exploitation minière (niveau d'aléa 'nul' : 0) ;
- zones exploitées qui ne peuvent engendrer en surface que des mouvements résiduels de faible importance (niveau d'aléa 'faible' : 1) ;
- zones potentiellement concernées par des phénomènes d'affaissement progressif (phénomènes lents) (niveau d'aléa 'moyen' : 3) ;
- zones potentiellement concernée par des phénomènes d'effondrements localisés et généralisés en lien avec une exploitation minière passée ou actuelle (niveau d'aléa 'fort' : 5).

#### 4.3.3. Cartographie de l'aléa « affaissement/effondrement » lié aux cavités minières

Ensuite, ces valeurs ont été transférées aux mailles correspondantes. Les données de base représentant une surface englobant les exploitations minières potentielles, il n'y a pas lieu d'intégrer une zone tampon autour de ces zones.

La susceptibilité du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières » a été cartographiée pour une gamme de profondeur 10-200 m (Illustration 8). Les mailles avec des niveaux supérieurs à '0' sont relativement peu nombreuses en raison de la faible activité minière en région Centre-Val de Loire : 145 sont en niveau faible, 181 en niveau moyen et 2 en niveau fort (Illustration 8). 99,8 % de la surface de la région sont classés en risque nul.

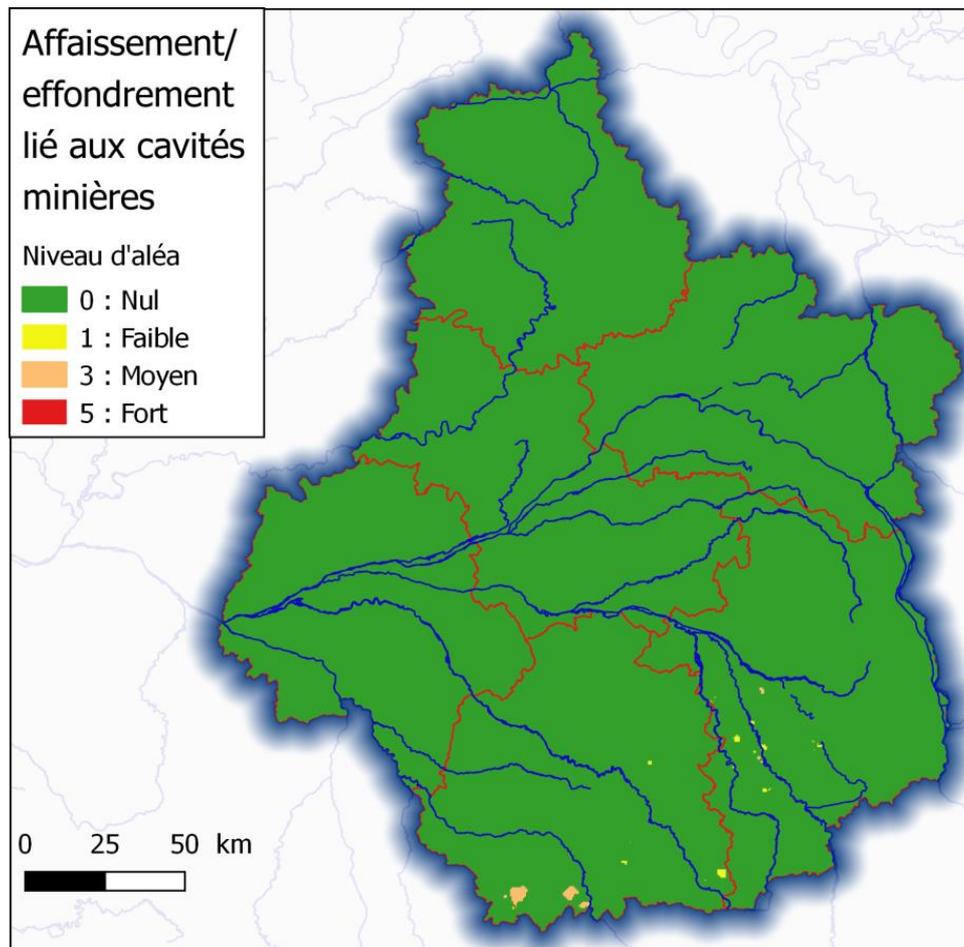


Illustration 8 : Niveau d'aléa de présence de cavités minières.

#### 4.3.4. Cotation de l'aléa « affaissement/effondrement lié aux cavités minières »

Le guide propose 5 niveaux de susceptibilité à l'échelle régionale :

Cavité minière	Nationale	0	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
	Régionale	0	1	-	3	-	5	-	7	-	-	-

Sur la région Centre-Val de Loire, le niveau de valeur « 7 » n'a pas été utilisé en raison de l'absence de sites correspondant à ce niveau élevé. Quatre niveaux de susceptibilité sont donc conservés :

Susceptibilité	Nulle	Faible	Moyen	Forte
Valeur du niveau	0	1	3	5
Facteur aggravant doublet	2			
Facteur aggravant SGV	2			

La valeur résultante de l'aléa « affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mine) » varie entre « 0 » et « 10 », à la fois pour les doublets et les SGV.

#### 4.4. PHÉNOMÈNE « MOUVEMENTS DE TERRAINS DE TYPE GLISSEMENT »

##### 4.4.1. Description du phénomène et occurrences

Le phénomène décrit ici correspond aux glissements de terrain. Les zones présentant les conditions géométriques et lithologiques nécessaires au déclenchement 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 type glissement de terrain. Il en est de même pour la mise en communication entre eaux superficielles, souterraines et fluide caloporteur. Un tel phénomène est susceptible de se produire durant la foration ou 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 d'une couche supérieure qui ne l'était pas. Selon les couches lithologiques affectées et la géométrie de celles-ci, ce phénomène 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 a pas de phénomène naturel de glissement de terrain, mais l'impact de la géothermie sur ce phénomène est limité.

##### 4.4.2. Qualification du phénomène

Selon le guide méthodologique, les données à recenser sont celles de la base de données des mouvements de terrain, BDMVT, accessible sur le portail Géorisques ([www.georisques.gouv.fr/dossiers/mouvements-de-terrain](http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/mouvements-de-terrain)). Cette base, 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.

#### 4.4.3. Données utilisées et traitement

On ne dispose pas en région Centre-Val de Loire de document de type carte d'aléas des plans de prévention des risques, à l'échelle régionale ou départementale. Les seules données utilisées seront donc celles de la base de données mouvement de terrain du BRGM (BDMVT) extraite en novembre 2016.

Les étapes suivantes ont été suivies pour le traitement des données (Illustration 9) :

- sélection des évènements de type « glissement de terrain » dans la base BDMVT ;
- création d'une zone tampon de 100 m autour du point localisant le glissement ;
- comptage des zones tampon dans chaque maille.

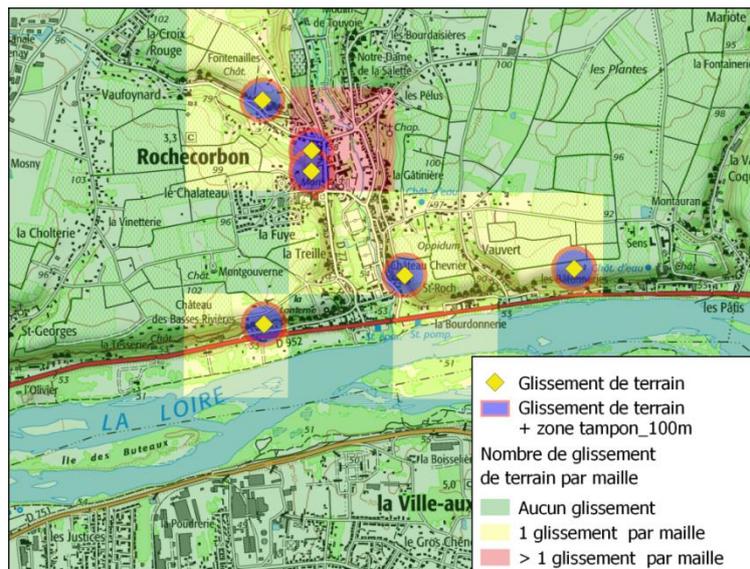
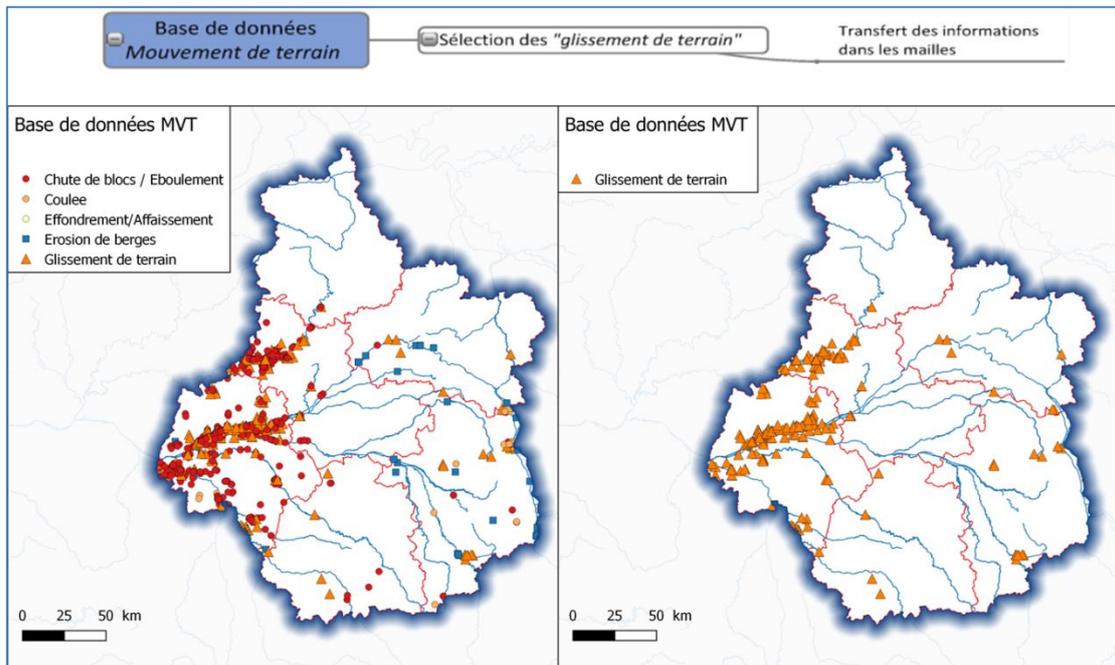


Illustration 9 : Traitement des données de mouvements de terrain.

#### 4.4.4. 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. 293 mailles sont classées en aléa faible et 48 en aléa moyen. Elles se situent principalement en Indre-et-Loire (Illustration 10).

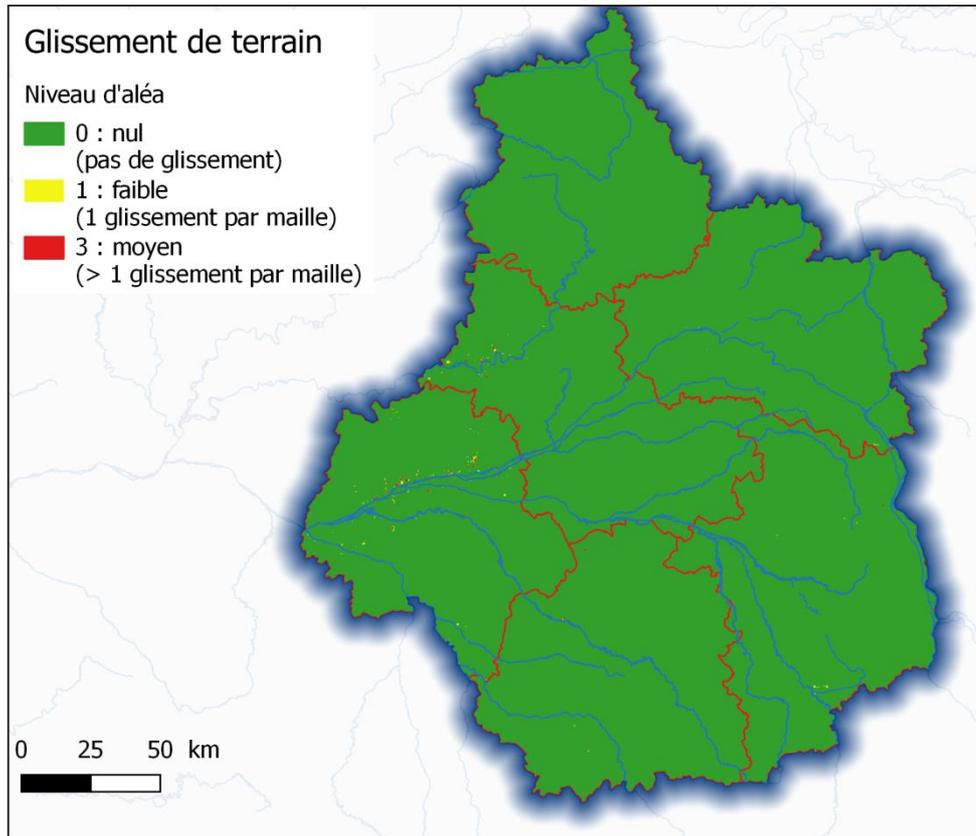


Illustration 10 : Niveau d'aléa du phénomène « mouvement de terrain de type glissement ».

#### 4.4.5. Cotation de l'aléa « glissement de terrain »

Le guide propose 6 niveaux d'aléa pour les cartes régionales :

		Niveaux aléa									
MVT	Nationale	0	1	2	3	-	-	-	-	-	-
	Régionale	0	1	2	3	-	5	-	7	-	-

Sur la région Centre-Val de Loire, les mailles concernées par des glissements de terrain sont peu nombreuses : 293 mailles contiennent un glissement de terrain (en intégrant la zone tampon) et 48 en contiennent plusieurs. Cette répartition a conduit à choisir 3 niveaux d'aléa parmi les 6 proposés au niveau national :

Susceptibilité	Nulle	Faible	Moyenne
Valeur du niveau	0	1	3
Facteur aggravant doublet		2	
Facteur aggravant SGV		2	

Compte tenu des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le facteur aggravant potentiel est estimé de niveau faible (2) pour les doublets sur aquifère et les sondes géothermiques verticales, soit une valeur maximale résultante de 6.

À noter : les problèmes de retrait-gonflement des formations argileuses de surface et de gonflement des formations profondes ne sont pas pris en compte et il ne paraît pas pertinent de le faire.

## **4.5. PHÉNOMÈNE « POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE »**

### **4.5.1. Description du phénomène et occurrences**

Ce phénomène de pollution des sols et des nappes par infiltration de polluants depuis la surface ou mise en contact d'aquifères avec des nappes polluées 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.

### **4.5.2. Qualification du phénomène**

Dans la région Centre-Val de Loire, les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif sont recensés dans la base de données BASOL.

Chaque site BASOL est connu par sa localisation en un point. Une zone tampon (rayon) de 500 m lui est affectée, pour inclure une surface autour de ce point.

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

- de la probabilité d'occurrence d'un site BASOL : chacun des sites est connu par sa localisation en un point qui est ensuite élargi avec une zone tampon de rayon 500 m. Les présences de ces zones tampons sont comptabilisées dans chaque maille ;
- de la présence ou non d'un aquifère sous-jacent au site BASOL.

Les valeurs de susceptibilité sont les suivantes (Illustration 11) :

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

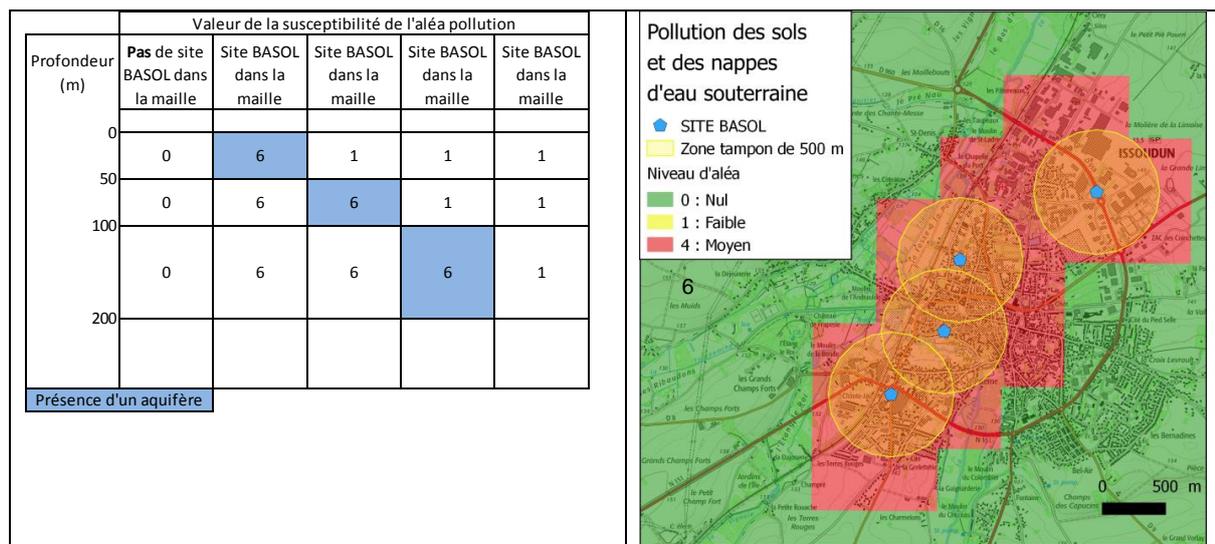


Illustration 11 : Principe de qualification de l'aléa pollution des sols et des nappes d'eau souterraine.

#### 4.5.3. Données utilisées et traitement

Pour connaître la pollution avérée ou suspectée, liée aux sites industriels, nous utilisons la base de données nationale BASOL (base des sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif : <http://BASOL.developpement-durable.gouv.fr/>).

247 sites BASOL ont été extraits par la DREAL le 28 novembre 2016. Leur répartition est indiquée

Illustration 12.

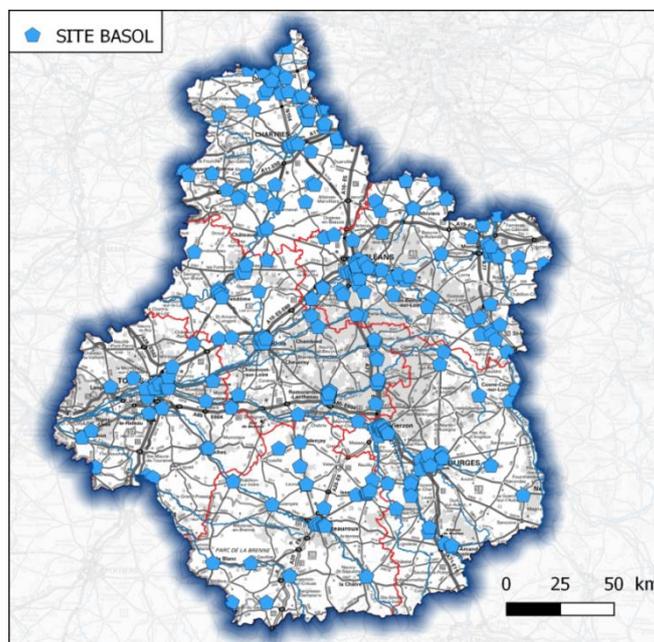


Illustration 12 : Localisation des sites BASOL en Centre- Val de Loire (28 novembre 2016).

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

La présence et la profondeur des aquifères ont été extraites du modèle géologique du Centre-Val de Loire.

La probabilité d'occurrence du phénomène « pollution des sols et des nappes souterraines » a été cartographiée pour 3 intervalles de profondeur : 10-50 m, 10-100 m, 10-200 m. Il est constaté toutefois que les différences de zonages entre les cartes sont faibles puisque les sites BASOL sont majoritairement situés dans des vallées, où l'aquifère est à moins de 50 m de profondeur.

Plus de 98 % de la surface est classé en risque 'nul'. Ce phénomène concerne donc une faible surface mais il reste important de le prendre en considération lorsqu'un projet se situe à proximité d'un site BASOL (38 mailles en aléa faible et 2011 en aléa moyen). Illustration 13.

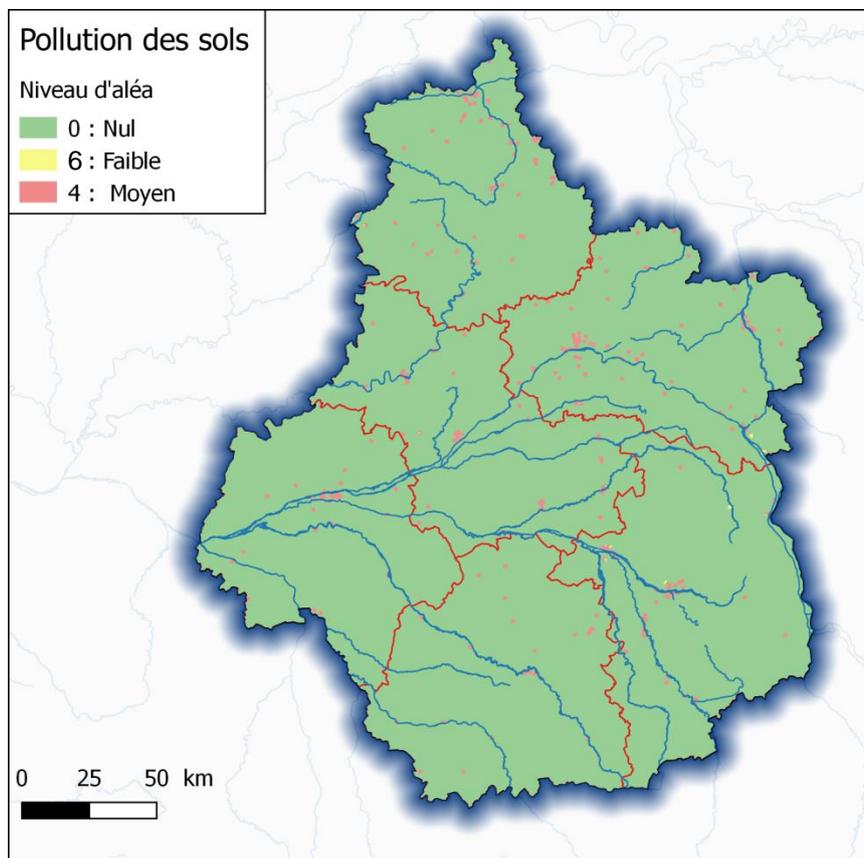


Illustration 13 : Niveau d'aléa de « Pollution des sols et des nappes d'eau souterraine ».

#### 4.5.5. Cotation de l'aléa « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine »

Le guide propose 5 niveaux d'aléa pour les cartes régionales :

BASOL	Nationale	0	1	-	-	4	-	6	-	-	-
	Régionale	0	1	-	-	4	-	6	-	-	10

Sur la région Centre-Val de Loire, 2049 mailles sont concernées par la proximité d'un site BASOL.

3 niveaux d'aléa ont été retenus parmi les 5 proposés au niveau régional :

Susceptibilité	Nulle	Faible	Moyenne
Valeur du niveau	0	1	6
Facteur aggravant doublet	3		
Facteur aggravant SGV	3		

Compte tenu des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le facteur aggravant potentiel est estimé au niveau « 3 » pour les doublets sur aquifère et pour les sondes géothermiques verticales. Les mailles avec sites BASOL sur nappe auront donc une valeur résultante à « 18 » et seront classées, dans le zonage réglementaire, au moins en zone orange (comprise entre 14 et 41).

#### 4.6. PHÉNOMÈNE « ARTÉSIANISME »

##### 4.6.1. Phénomène redouté

L'artésianisme se définit comme *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 provoquer des écoulements d'eau sur le sol, et/ou une déstabilisation d'une formation superficielle. L'aquifère concerné a une surface piézométrique située au-dessus de la surface du sol. Il n'existe pas de carte à l'échelle nationale de ce phénomène actuellement en France.

##### 4.6.2. Qualification du phénomène

La qualification est établie ainsi :

- **susceptibilité forte** : présence d'un aquifère artésien connu ;
- **susceptibilité moyenne** : présence d'un aquifère ayant un niveau piézométrique proche de la surface du sol dans la tranche de terrain considérée ;
- **susceptibilité nulle** : pas d'aquifère artésien connu dans la tranche de terrain considérée.

La susceptibilité est cartographiée pour les trois gammes de profondeur 10-50 m, 10-100 m et 10-200 m.

### 4.6.3. Données utilisées et traitement

En région Centre-Val de Loire, l'artésianisme est peu développé. Ce phénomène existe mais reste très limité. Il n'a pas été cartographié à l'échelle de la région. La qualification du phénomène pour la carte de géothermie de minime importance s'est donc appuyée sur la comparaison entre le niveau piézométrique des aquifères et l'élévation du terrain. Un complément a été apporté à partir des forages artésiens des bases de données BSS et BSSEAU. Cependant peu d'ouvrages artésiens sont référencés dans ces bases : 5 points d'eau sont indiqués comme « Artésien », 3 en BSS comme « FORAGE-ARTESIEN » et 2 comme « PUIITS-ARTESIEN ». 6 autres points connus, car appartenant au réseau de suivi piézométrique, ont également été pris en compte. Le nombre de forages artésiens par rapport aux forages non artésiens est très faible (Illustration 14). Sur le terrain, un forage artésien est donc entouré à proximité par des forages non artésiens traduisant l'extension limitée du phénomène.

Les résultats sont fournis pour chacune des trois tranches de profondeur. Deux niveaux de susceptibilité sont retenus : nul ('0') et moyen ('3'). Le niveau élevé ('7') n'a pas été conservé car il n'y a pas de zone artésienne franche et étendue en Centre-Val de Loire. Les zones où les formations géologiques affleurent sont considérées comme ayant une susceptibilité nulle.

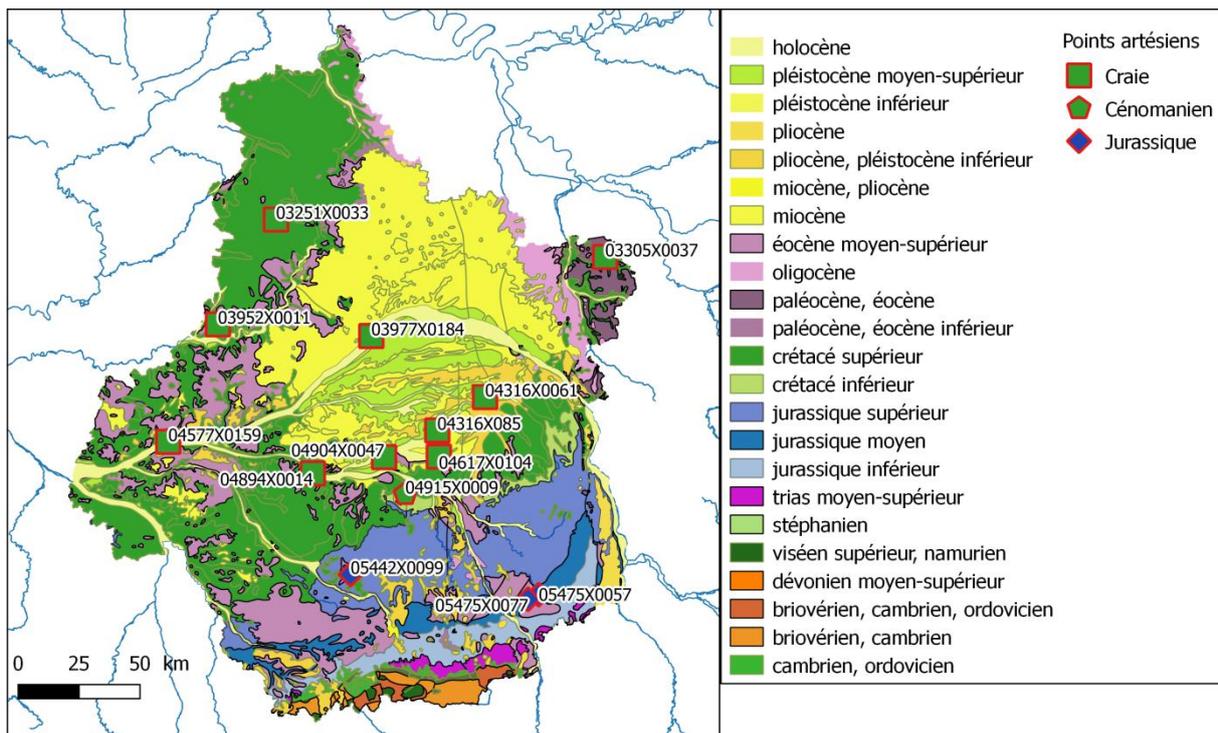


Illustration 14 : Points artésiens.

Le niveau de l'aléa artésianisme a été qualifié pour les aquifères des calcaires de Beauce, de la craie, du Cénomaniens et du Jurassique.

Pour le premier, on dispose d'une délimitation réalisée à partir des isopièzes des hautes eaux 2004 (BRGM/RP-54715-FR). Les zones identifiées, sous les sables et argiles de Sologne, ont été reprises dans les mailles avec un niveau de susceptibilité moyen.

Pour les 3 autres aquifères, la susceptibilité du phénomène artésianisme a été attribuée de la manière suivante :

- 1<sup>e</sup> étape : calcul sur chaque maille de la différence entre la cote topographique du sol et le niveau piézométrique. Si cette différence est positive (niveau d'eau sous la surface du sol), le niveau d'aléa est alors « nul » sur la maille. Si cette différence est négative ou nulle, le niveau d'aléa attribué est « moyen » ;
- 2<sup>e</sup> étape : ces valeurs de susceptibilité sont ensuite affectées à une tranche de profondeur (0-50 m, 50-100 m et 100-200 m) en fonction de la profondeur du toit de l'aquifère ;
- 3<sup>e</sup> étape : les valeurs « aléa moyen » sont reportées des tranches les moins profondes vers les tranches plus profondes : si un risque d'artésianisme est rencontré dans les 50 premiers mètres, ce risque existe aussi pour un projet géothermique à plus de 50 m. Par contre, un risque d'artésianisme à plus de 50 m n'affectera pas un projet à moins de 50 m.

Ensuite, pour chaque tranche de profondeur, on retient la valeur maximale des valeurs calculées pour chaque aquifère.

Enfin, les forages artésiens identifiés sont utilisés pour définir des zones à proximité avec un risque moyen : une zone tampon de 500 m est tracée autour de ces points et toutes les mailles interceptant cette zone sont affectées d'un aléa moyen.

#### **4.6.4. Cartographie de l'aléa «artésianisme»**

##### **a) Cartographie par aquifère**

À titre indicatif, l'illustration 15 présente les résultats de l'aléa par aquifère pour la tranche de profondeur 0-200 m. Les zones avec un niveau d'aléa de l'artésianisme des calcaires de Beauce sont issues de mesures ponctuelles de la campagne hautes eaux de 2004. Celles des autres nappes sont issues des calculs à partir des données par maille du SIGES (cote du sol et cotes piézométriques). Les zones de la craie apparaissent dans les points bas topographiques (vallées). Il en est de même pour le Cénomaniens d'une manière moins marquée. Lorsque les formations du Jurassique s'enfoncent vers l'intérieur du Bassin parisien, le niveau piézométrique, libre et inférieur à la cote du sol, devient captif puis légèrement artésien. À l'affleurement, le Jurassique peut être légèrement artésien en présence de marnes du Callovien.

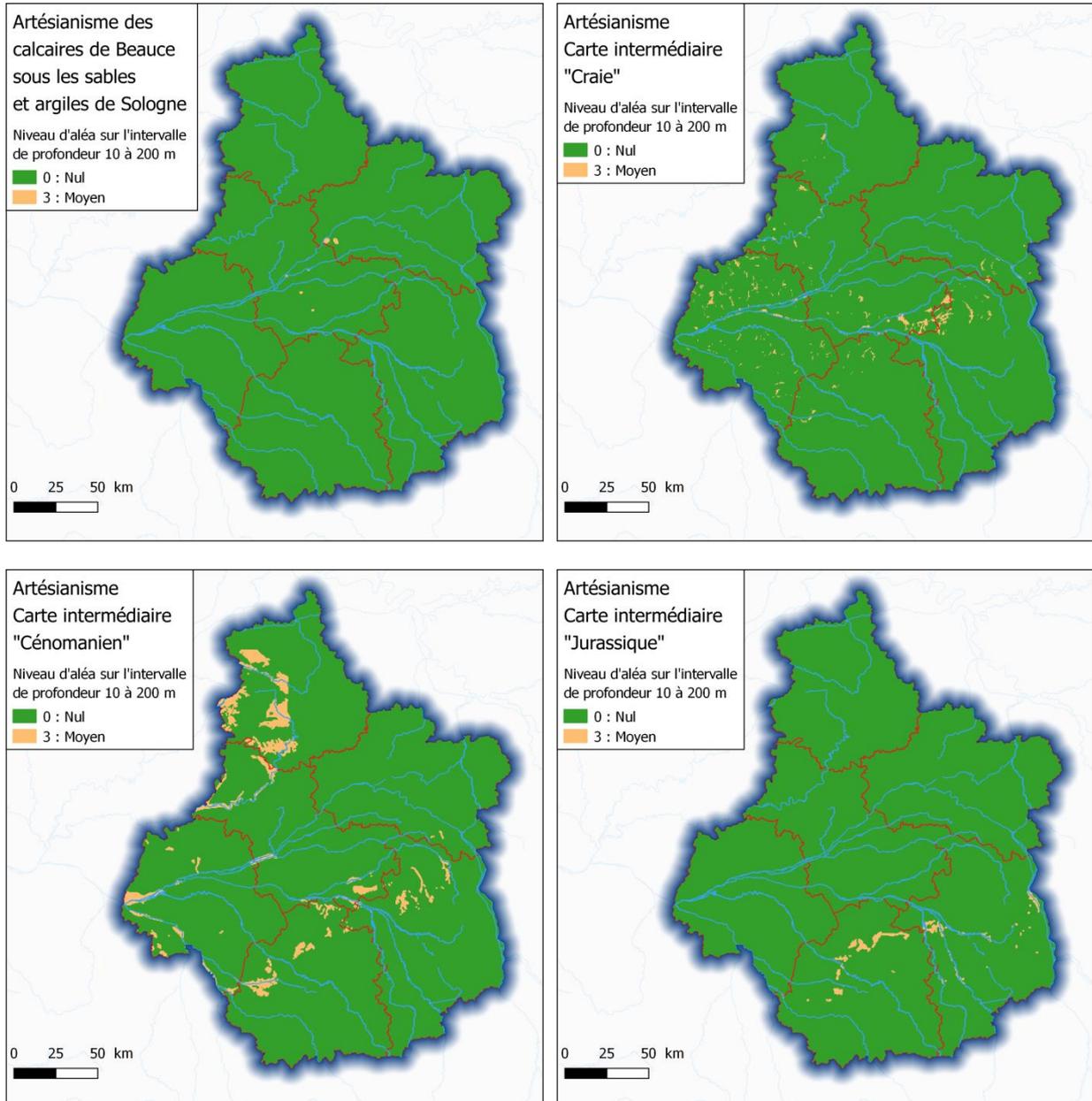


Illustration 15 : Niveaux d'aléa du phénomène d'artésianisme par aquifère (document intermédiaire).

#### 4.6.5. Cartographie de l'aléa « artésianisme »

Les niveaux d'aléa ont été évalués par intervalle de profondeur, en prenant en compte les aléas de chaque aquifère, puis ont été agrégés pour déterminer la valeur finale (Illustration 16 à Illustration 18) où le niveau de susceptibilité moyen couvre 1,2 % de la surface.

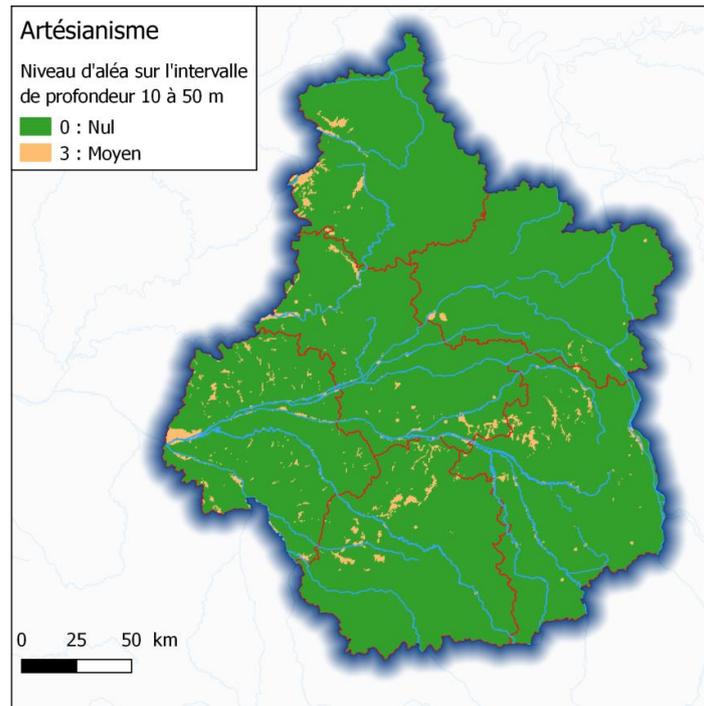


Illustration 16 : Niveaux d'aléa du phénomène artésianisme pour une profondeur 10-50 m.

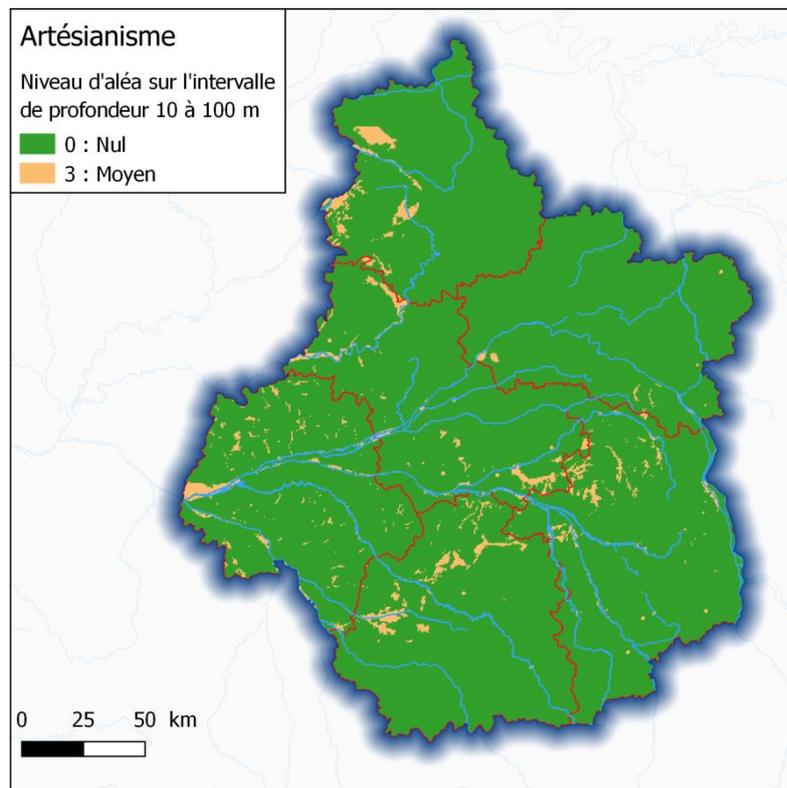


Illustration 17 : Niveaux d'aléa du phénomène artésianisme pour une profondeur 10-100 m.

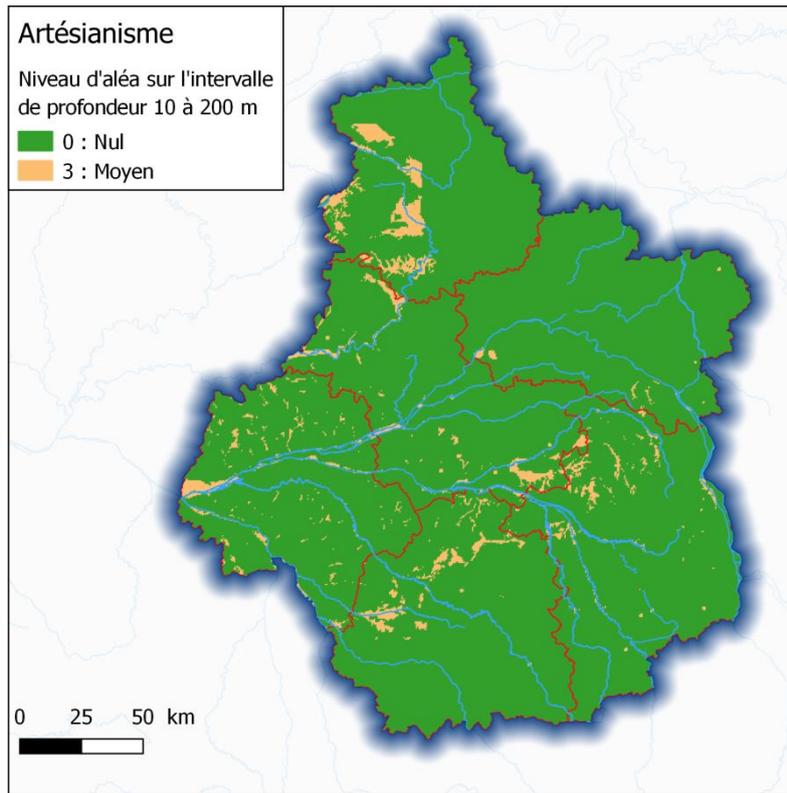


Illustration 18 : Niveaux d'aléa du phénomène artésianisme pour une profondeur 10-200 m.

#### 4.6.6. Cotation de l'aléa du phénomène artésianisme

Le guide propose 3 niveaux de susceptibilité :

Artésianisme	Nationale	0	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
	Régionale	0	-	-	3	-	-	-	7	-	-	-

En région Centre – Val de Loire, comme il n'y a pas de zone d'artésianisme importante, le niveau fort (« 7 ») n'est pas utilisé :

Niveau de susceptibilité	Nul	Moyen
Valeur du niveau	0	3
Facteur aggravant doublet	2	
Facteur aggravant SGV	4	

La valeur résultante de l'aléa « artésianisme » varie entre « 0 » et « 6 » pour les doublets géothermiques et entre « 0 » et « 12 » pour les sondes géothermiques verticales.

## 4.7. PHÉNOMÈNE « MISE EN COMMUNICATION D'AQUIFÈRES »

### 4.7.1. Phénomène redouté

Le phénomène redouté est la 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.

Il n'existe pas de carte nationale de ce phénomène actuellement en France.

Le phénomène est d'autant plus fort que la différence de niveau piézométrique entre les aquifères est importante.

### 4.7.2. Qualification du phénomène

Le phénomène de mise en communication entre aquifères n'est pas cartographiée en région Centre-Val de Loire. La qualification du phénomène est donc basée sur la probabilité d'avoir un ou plusieurs aquifères dans l'intervalle de profondeur considéré.

La susceptibilité a été établie ainsi en Centre-Val de Loire avec les critères suivants :

- **susceptibilité nulle** : absence d'aquifère ou présence d'un seul aquifère ;
- **susceptibilité faible** : présence de deux nappes superposées ;
- **susceptibilité forte** : présence de plus de deux nappes superposées.

La susceptibilité est cartographiée pour les trois intervalles de profondeur prévus par le guide.

### 4.7.3. Données utilisées et traitement

Les données utilisées pour la représentation de la communication entre aquifères proviennent du modèle géologique, complété pour les formations non modélisées par les contours de la BDLISA ou modifié pour le Jurassique. Dans cette formation sont considérés comme aquifère, (1) le Jurassique supérieur et moyen lorsqu'ils sont affleurants et (2) le Jurassique moyen sous couverture. Le Jurassique supérieur n'est pas considéré comme aquifère lorsqu'il est sous couverture. Les cotes du toit du Dogger ont été reprises de l'étude Géoporec.

Dix aquifères sont considérés in fine :

- alluvions de la Loire au nord de Jargeau (extrait de 900AB) ;
- sables et argiles de Sologne (104AE03) ;
- calcaires de Touraine (113AC09) ;
- calcaires du Berry (113AC07) ;
- argiles à silex (119AE) ;

- craie cénomanienne (123BY01) ;
- calcaires de Beauce (Modèle) ;
- craie sénonienne (modèle) ;
- sables cénomaniens (modèle) ;
- sables albiens (modèle) ;
- calcaires du Dogger (étude Géoporec).

Le nombre d'aquifère est calculé dans chaque maille et pour chaque intervalle de profondeur en fonction des côtes du toit et du mur et de la présence ou non d'un des aquifères de surface repérés par leur contour BDLISA.

Les alluvions sont prises en compte dans l'évaluation de cet aléa. Leurs relations avec les aquifères sous-jacents n'étant pas connus précisément, seules les alluvions de la Loire en amont de Chateauneuf, où les marnes du Burdigalien sont présentes, sont considérées comme indépendantes des autres aquifères. Ailleurs, on a considéré pour cet aléa que les alluvions étaient en relation hydraulique avec l'aquifère sous-jacent, donc en dehors du risque potentiel de connexion via un forage.

#### 4.7.4. Cartographie de l'aléa « mise en communication d'aquifères »

L'aléa du phénomène de mise en communication des eaux souterraines entre des aquifères différents est cartographié pour la région Centre-Val de Loire sur les illustrations suivantes pour les trois intervalles de profondeur. La surface en aléa fort varie de 2 % de 10 à 50 m, à 37 % de 10 à 200 m.

#### 4.7.5. Cotation de l'aléa « mise en communication d'aquifères »

Le guide propose 3 niveaux d'aléa pour les cartes régionales :

Comm. Aquif	Nationale	0	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-
	Régionale	0	1	-	-	4	-	-	-	-	-	-

Sur la région Centre-Val de Loire, ces trois niveaux sont conservés :

Susceptibilité	Nulle	Faible	Moyenne
Valeur du niveau	0	1	4
Facteur aggravant doublet	4		
Facteur aggravant SGV	4		

Compte tenu des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le facteur aggravant potentiel est estimé au niveau « 4 » pour les doublets sur aquifère et pour les sondes géothermiques verticales, soit une valeur maximale résultante de 16.

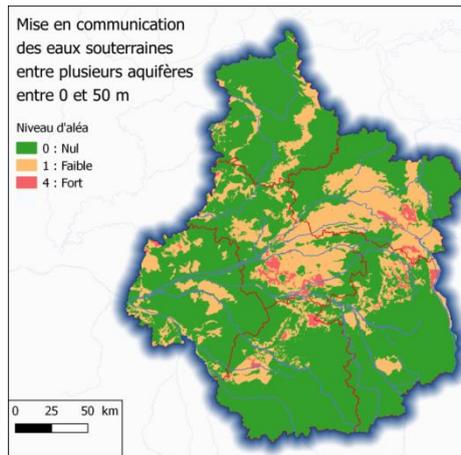


Illustration 19 : Niveaux d'aléa de la mise en communication entre aquifères (0-50 m).

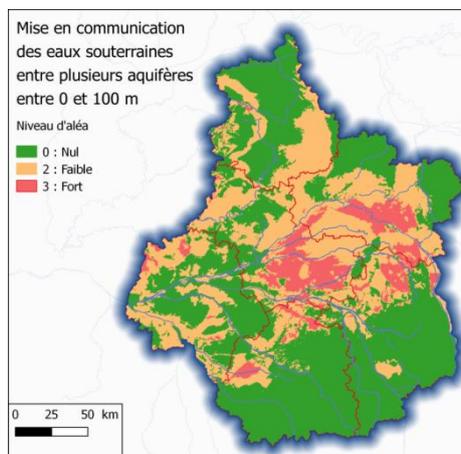


Illustration 20 : Niveaux d'aléa de la mise en communication entre aquifères (0-100 m).

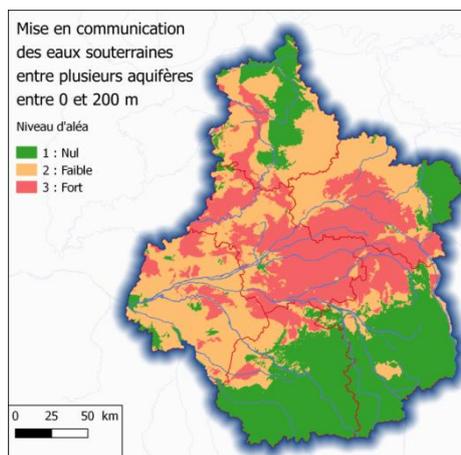


Illustration 21 : Niveaux d'aléa de la mise en communication entre aquifères (0-200 m).

## 4.8. PHÉNOMÈNE « INONDATION PAR REMONTÉE DE NAPPE »

### 4.8.1. Phénomène redouté

Le phénomène décrit correspond à une remontée de nappe due à une surcote provoquée potentiellement 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.

### 4.8.2. Qualification du phénomène

Une étude sur les risques d'inondation par remontée de nappe en France a été réalisée par le BRGM pour le MEDDE (Atlas des remontées de nappes en France métropolitaine, BRGM/RP54414-FR, 2006) et a fait l'objet d'une diffusion des résultats dans le site internet <http://www.inondationsnappes.fr>.

Le risque d'inondation par remontée de nappe dans cet atlas a été classé en 5 classes de sensibilité : très faible, faible, moyenne, forte et très forte. Les résultats sont présentés par maille de 250 x 250 m. À partir de ces données, les deux classes prévues par le guide méthodologique ont été créées avec la méthode suivante : calcul de la moyenne des valeurs de sensibilité par maille et séparation en deux classes au seuil de 3. Cette valeur permet de lier l'aléa nul du guide méthodologique aux sensibilités très faible et faible de l'atlas qui intègre de fait l'aléa qualifié de « nul ».

Il a été distingué :

- **niveau faible** : présence d'un aquifère où un niveau piézométrique a déjà été observé entre 0 et 5 mètres sous la surface du sol en hautes eaux ;
- **niveau nul** : pas d'aquifère ayant un niveau piézométrique déjà observé à moins de cinq mètres sous la surface du sol en hautes eaux.

L'inondation par remontée de nappe étant un phénomène superficiel, apparaissant à des profondeurs inférieures à 50 m, sa susceptibilité a été cartographiée pour une seule gamme de profondeur : 10-200 m.

### 4.8.3. Données utilisées pour le traitement

Les données proviennent de l'étude citée ci-avant.

#### 4.8.4. Cartographie de l'aléa remontée de nappe

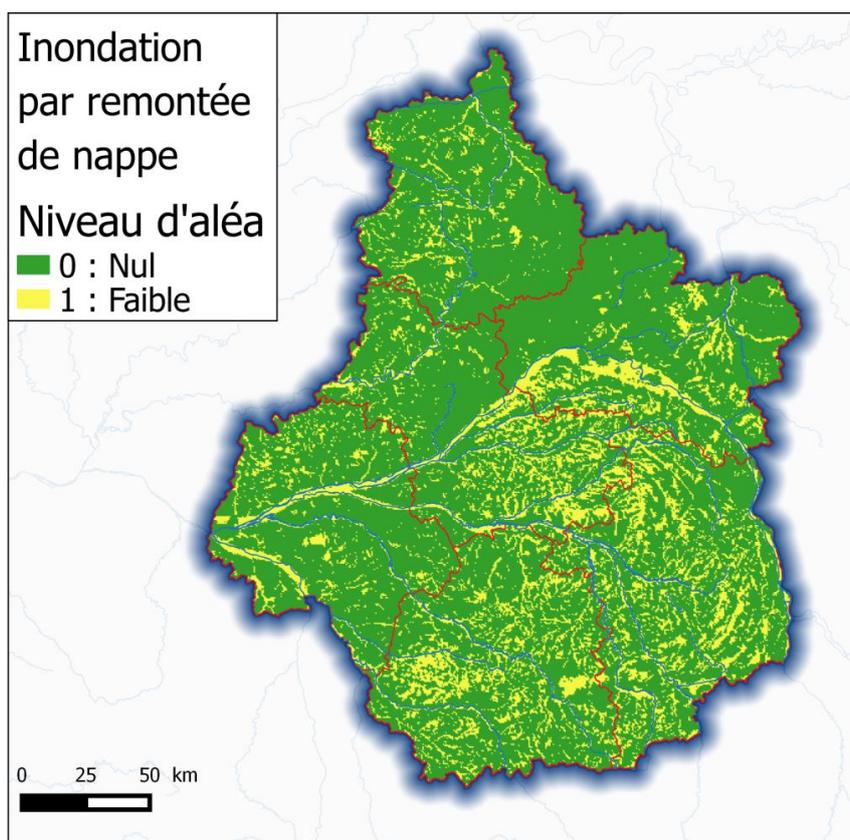


Illustration 22 : Niveaux d'aléa du phénomène d'inondation par remontée de nappe.

#### 4.8.5. Cotation de l'aléa remontée de nappe

Les valeurs de niveau d'aléa/susceptibilité fournies par le guide (0 et 1) ont été retenues en Centre Val-de-Loire :

Niveaux aléa / susceptibilité	Nul	Faible
Valeur du niveau	0	1
Facteur aggravant doublet	2	
Facteur aggravant SGV	0	

Le facteur aggravant est estimé à un niveau faible (« 2 ») pour les doublets. Ce risque est considéré comme « nul » pour les sondes géothermiques verticales.

## 5. Zones réglementaires

Sur chaque maille est calculée une note pour chacun des huit phénomènes selon la cotation décrite au chapitre 3.3. Cette note est ensuite multipliée par le facteur aggravant lié au dispositif retenu (doublet ou sonde géothermique verticale). En additionnant les huit notes, on obtient ainsi une valeur finale qui détermine le classement de la maille en zone réglementaire verte ou orange ou rouge. Ces calculs sont effectués pour trois tranches de profondeur. Il en résulte six cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance correspondant :

- aux deux dispositifs géothermiques évalués ;
- pour trois tranches de profondeur.

Les six cartes réalisées sont présentées Illustration 23. La répartition des superficies des zones verte, orange et rouge obtenues, calculée à partir du nombre de mailles concernées, est indiquée dans le Tableau 6. Peu de mailles (< 0.04 %) sont classées en zone rouge. Logiquement, les zones vertes diminuent en fonction de la profondeur au profit des zones orange. Les répartitions entre zones nationales et régionales [10-100 m] sont similaires, ce qui montre (1) la cohérence globale entre carte nationale et régionale et (2) et des nuances en fonction de la profondeur apportées par la carte régionale.

L'écart entre les zones réglementaires pour les doublets et pour les SVG résulte de la prise en compte différente pour trois phénomènes. Pour les SVG, évaporites et artésianisme ont un facteur aggravant plus élevé et les remontées de nappe ne sont pas intégrées dans le calcul. Il y a donc deux facteurs majorant et un facteur minorant. Au final, les surfaces délimitées pour les doublets et pour les SVG sont proches car :

- « évaporites » et « artésianisme » couvrent une faible superficie ;
- les notes « évaporites » et « remontée de nappe » sont minimales, c'est-à-dire égales à 1.

	Surface (%)	Note maximale	Facteur aggravant doublet	Facteur aggravant SVG
Evaporites	2	1	6	10
Artésianisme	1.2	3	2	4
Remontée de nappe	20	1	2	0

L'absence de prise en compte de la remontée de nappe pour les SGV entraîne le classement de certaines mailles en zone orange pour les doublets en zone verte pour les SGV. Les autres phénomènes ont une valeur identique des facteurs aggravants pour les doublets et pour les sondes.

Type d'usage	Profondeur	Superficie des zones réglementaires (en %)		
		selon la carte régionale	selon la carte nationale	
		%	%	
Doublet	10 - 50 m	96%	86%	Zone verte
	10 - 100 m	90%		
	10 - 200 m	71%		
Sonde	10 - 50 m	95%	89%	
	10 - 100 m	87%		
	10 - 200 m	69%		
Doublet	10 - 50 m	4%	14%	Zone orange
	10 - 100 m	10%		
	10 - 200 m	29%		
Sonde	10 - 50 m	5%	11%	
	10 - 100 m	13%		
	10 - 200 m	31%		
Doublet	10 - 50 m	0.00%	0%	Zone rouge
	10 - 100 m	0.01%		
	10 - 200 m	0.03%		
Sonde	10 - 50 m	0.00%	0%	
	10 - 100 m	0.01%		
	10 - 200 m	0.04%		

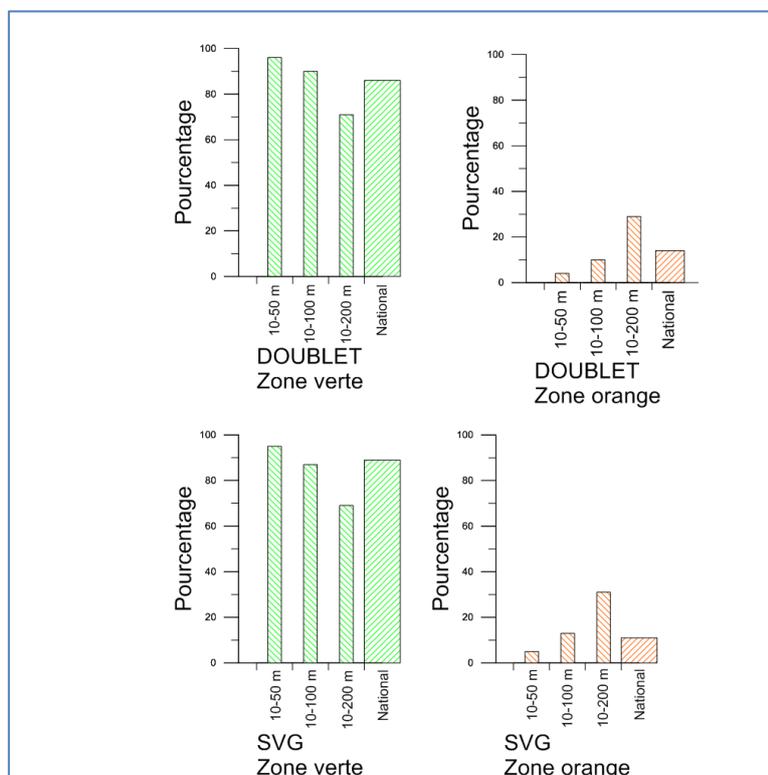


Tableau 6 : Comparaison des superficies des zones réglementaires des cartes nationales et réglementaires.

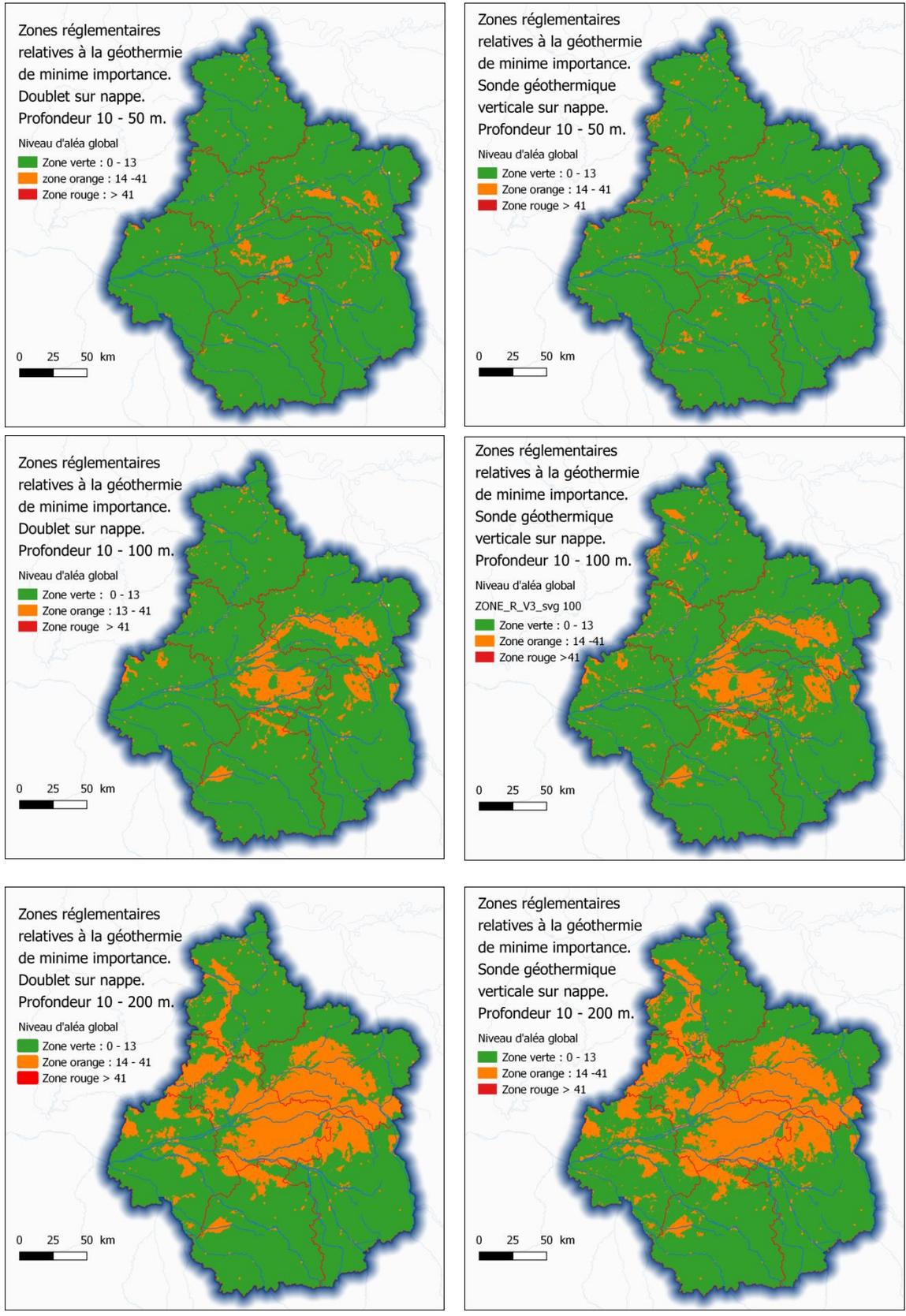


Illustration 23 : Zonage réglementaire relative à la géothermie de minime importance.



## 6. Les écarts par rapport au guide

Ce chapitre synthétise les écarts de l'étude vis-à-vis du guide national qui sont expliqués dans le corps du rapport pour les phénomènes traités.

### 6.1. PHÉNOMÈNE « AFFAISSEMENT/SURRECTION LIÉ AUX FORMATIONS ÉVAPORITIQUES »

Le guide propose quatre valeurs de niveau (0, 1, 5 et 7) pour les formations évaporitiques. Seuls les deux premiers niveaux de susceptibilité ont été retenus pour être appliqués en région Centre-Val de Loire. Cette réduction (non utilisation des niveaux « 5 » et « 7 ») s'explique par la faible présence d'évaporites contrairement à la région voisine d'Ile de France. Leur présence, entre 0 et 200 m, indiquée dans les coupes géologiques validées concerne uniquement 6 ouvrages, sur des épaisseurs limitées et souvent mélangée à d'autres roches. Il n'y a donc pas lieu d'utiliser la gamme entière des valeurs.

Compte-tenu de la qualification spécifique du phénomène adoptée en Centre-Val de Loire, seuls deux niveaux (0 et 1) ont été retenus.

Susceptibilité	Nulle	Forte
Valeur du niveau	0	1

### 6.2. PHÉNOMÈNE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIÉ AUX CAVITÉS (HORS MINES) »

Le guide propose six niveaux de susceptibilité. En région Centre-Val de Loire, cinq niveaux ont été jugés suffisants pour distinguer correctement les différentes densités de cavité par maille, et la zone du Val de Loire connue pour la présence importante de cavité.

Niveau de susceptibilité	Nul	Très faible	Faible	Moyen	Fort
Valeur du niveau	0	1	2	3	5

### 6.3. PHÉNOMÈNE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIÉ AUX CAVITÉS MINIÈRES »

Le guide propose 5 niveaux de susceptibilité. Sur la région Centre-Val de Loire, l'activité minière est réduite et ne justifie pas l'utilisation de tous les niveaux prévus. La valeur maximale (« 7 ») n'a pas été retenue.

Susceptibilité	Nulle	Faible	Moyen	Forte
Valeur du niveau	0	1	3	5

#### **6.4. PHÉNOMÈNE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIÉ AUX MOUVEMENT DE TERRAIN DE TYPE GLISSEMENT »**

Le guide propose 6 niveaux de susceptibilité. Sur la base des connaissances disponibles (BD Cavités) en Centre – Val de Loire, les 3 premiers niveaux ont été conservés.

Susceptibilité	Nulle	Faible	Moyenne
Valeur du niveau	0	1	3

#### **6.5. PHÉNOMÈNE « POLLUTION DES SOLS ET/OU DES NAPPES SOUTERRAINES »**

Le guide propose 5 niveaux d'aléa pour les cartes régionales. Les 3 niveaux conservés en Centre-Val de Loire permettent de hiérarchiser la présence de 247 sites BASOL compte tenu du niveau d'information les concernant.

Susceptibilité	Nulle	Faible	Moyenne
Valeur du niveau	0	1	6

#### **6.6. SYNTHÈSE**

La cartographie à l'échelle régionale a apporté une plus grande précision dans la délimitation des zones réglementaires.

La carte nationale retient en zone orange les zones identifiées avec évaporites. À l'échelle régionale, il a été pris en compte que les évaporites étaient mélangées à d'autres roches et à des concentrations faibles. Les niveaux de susceptibilité à 5 et 7 ont été écartés pour ne conserver que les niveaux «0» et «1». La présence d'évaporites entraîne le classement de zones en orange uniquement pour les cartes des sondes géothermiques verticales.

Dans la carte régionale, le secteur du Val de Loire dans la région d'Orléans a été classé en niveau d'aléa fort pour le risque lié aux cavités hors mine. Ailleurs, il n'y a pas de différences marquées, les sources d'information des deux cartes étant similaires. Le constat est identique pour la susceptibilité aux glissements de terrain.

La susceptibilité due aux cavités minières est plus précise sur la carte régionale car elle repose sur la zonation des titres miniers. Les différences restent cependant peu marquées car la région Centre-Val de Loire a peu d'activité minière.

La susceptibilité aux pollutions des sols est similaire pour les deux échelles de carte. En effet, le passage à l'échelle régionale n'apporte pas la précision attendue car les données de base restent peu détaillées à l'échelle régionale.

L'artésianisme influe peu sur la carte réglementaire que ce soit au niveau national (niveau «0» sur la région Centre-Val de Loire) ou régional (moins de 1 % de la surface en niveau d'aléa moyen).

La susceptibilité à la mise en communication entre aquifère présente une forte différence entre les deux échelles. En effet, les formations sédimentaires sont majoritaires sur la région et elles sont le siège d'aquifères superposés. Onze aquifères ont été retenus pour cette

évaluation. Ensuite, les cotes altimétriques du modèle géologique ont servi à l'évaluation du risque sur toutes les mailles. C'est un risque qui augmente fortement avec la tranche de profondeur considérée. Ce risque est jugé fort : niveau d'aléa fixé à '4'. C'est ce paramètre qui justifie principalement les différences entre la carte nationale et la carte régionale pour la tranche 0-200 m (Illustration 24).

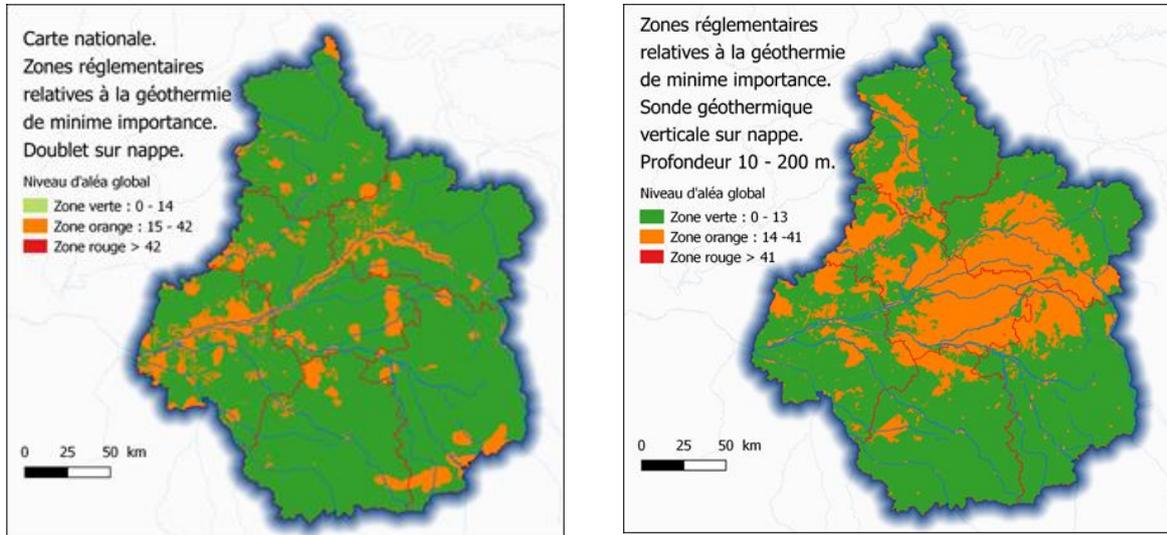


Illustration 24 : Cartes réglementaires aux échelles nationale et régionale.



## 7. Zones réglementaires particulières

**Arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance précise** en particulier dans son paragraphe 2.2.2. que l'exploitant d'un gîte géothermique de minime importance doit respecter les objectifs et les dispositions des schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux et les règlements des schémas d'aménagement et de gestion des eaux.

Les projets de géothermie doivent respecter également la réglementation concernant des zones protégée par la loi pour d'autres motifs. Cet aspect n'étant pas prise en compte dans les présentes cartes, deux types de réglementation sont rappelés dans ce chapitre (à titre indicatif et à titre d'exemple car non exhaustif).

### 7.1. NAEP

Les NAEP sont des nappes à réserver dans le futur à l'alimentation en eau potable et donc non utilisables pour des projets de géothermie en doublet. C'est en effet une protection qualitative du milieu qui est recherchée, pas nécessairement quantitative. Le SDAGE mentionne la restriction des prélèvements mais ne traite pas de l'accès à ces nappes avec des sondes géothermiques verticales ce qui sous-entend qu'il en laisse la possibilité.

L'arrêté du 25 juin 2015 relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance précise dans son paragraphe 5 que les réglementations spécifiques sont indépendantes de la carte des zones réglementaires en cours de réalisation (Illustration 25). Il ne sera donc pas tenu compte des zones de NAEP dans la cotation des niveaux d'aléa des phénomènes redoutés. Les zones des NAEP seront toutefois indiquées dans une couche à part et à titre uniquement indicatif.

#### 5.2 - Les réglementations territorialisées à prendre en considération

Les forations envisagées dans le cadre de la géothermie de très basse température 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. Les réglementations notamment sur certaines zones du territoire sont à prendre en compte. 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 les SAGE ainsi que les périmètres qui disposent de servitudes d'utilité publique encadrant l'utilisation du sol et du sous-sol.

**Les réglementations, non exhaustives, décrites ci-après sont indépendantes de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Elles devront être prises en compte lors de la réalisation d'un forage de géothermie.**

*Illustration 25 : Extrait de l'arrêté du 25 juin 2015.*

Les nappes suivantes sont concernées (Illustration 26 à Illustration 29) :

- calcaires de Beauce captifs et calcaires d'Étampes captifs (MESO FRGG135 et FRGG136) ;
- craie séno-turonienne captive ;
- Cénomaniens captifs ;
- Jurassique moyen et supérieur captif.

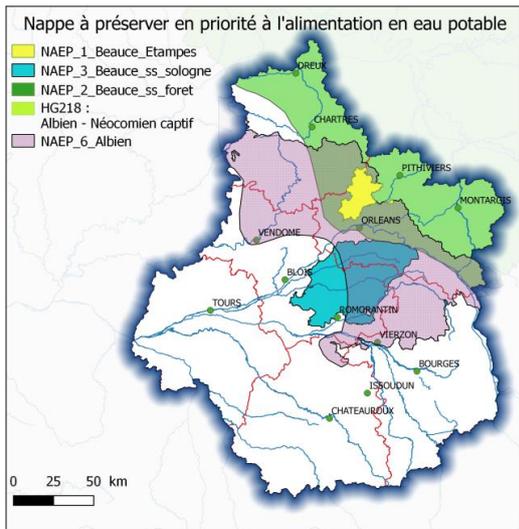


Illustration 26 : NAEP. Calcaires de Beauce et Albien.

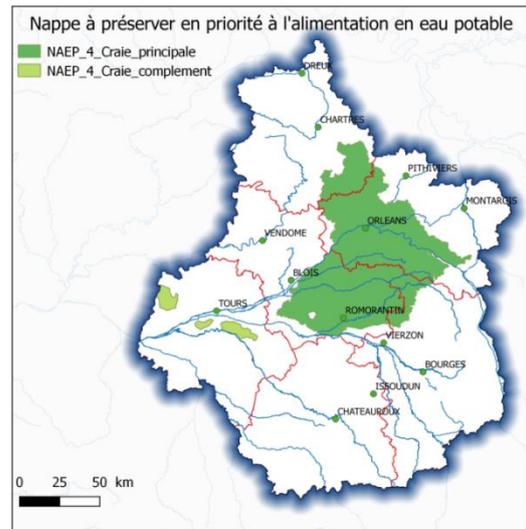


Illustration 27 : NAEP. Craie séno-turonienne.

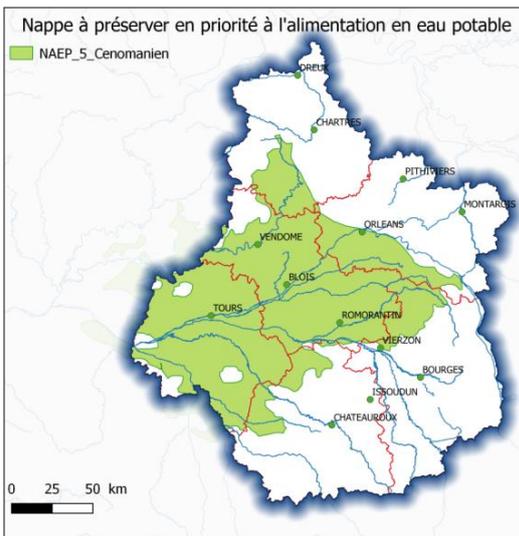


Illustration 28 : NAEP. Cénomaniien.

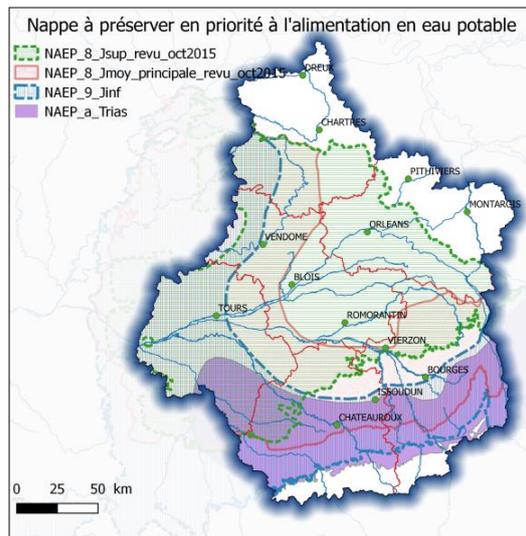


Illustration 29 : NAEP. Jurassique et Trias

## 7.2. LES STOCKAGES DE GAZ DE SOLOGNE

Il existe trois stockages de gaz en Sologne. Il s'agit des stockages de Chémery, Céré-La-Ronde et de Soings-en-Sologne. Ces stockages sont situés principalement dans le département du Loir-et-et-Cher, une partie du stockage de Céré-la-Ronde empiète sur le département de l'Indre-et-Loire.

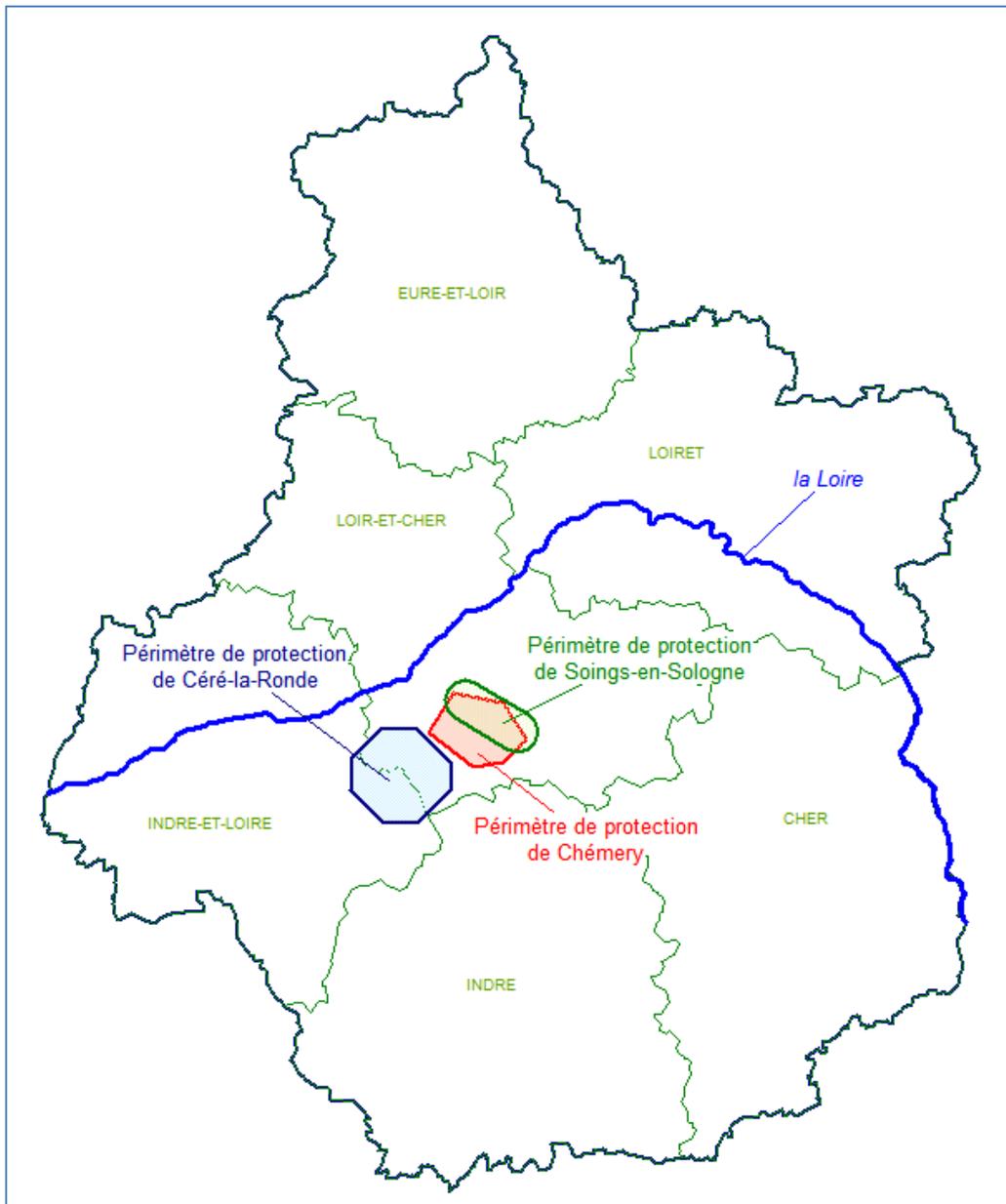


Illustration 30 : Localisation des stockages de gaz en Sologne.

Les stockages de gaz sont réalisés dans les formations géologiques aquifères des sables et grès du Trias sous les marnes et calcaires argileux du Lias. La profondeur moyenne des stockages est d'environ 920 m.

Les servitudes attachées aux sites de stockage.

Le décret du 25 octobre 1971 autorisant Gaz de France à exploiter un stockage souterrain de gaz combustible dans la région de Contres-Chémery (Loir-et-Cher) indique dans son article 6 :

**Art. 6. — Tout travail atteignant une profondeur supérieure à 700 mètres dans le sous-sol des périmètres de stockage et de protection devra faire l'objet d'une autorisation préfectorale préalable.**

Le décret du 3 décembre 1986 autorisant Gaz de France à exploiter un stockage souterrain de gaz combustible dans la région de Soings-en-Sologne (Loir-et-Cher) indique dans son article 6 :

**Art. 6. – Tout travail dans le sous-sol du périmètre de stockage et du périmètre de protection excédant une profondeur de 700 mètres, qui ne serait pas entrepris par le titulaire de l'autorisation, doit faire l'objet d'une autorisation préalable du commissaire de la République du département de Loir-et-Cher.**

**Cette servitude devra être reportée en annexe au plan d'occupation des sols des communes intéressées, dans les conditions prévues par les articles L. 126-1 et R. 123-36 du code de l'urbanisme.**

Le décret du 14 janvier 1992 autorisant Gaz de France à exploiter un stockage souterrain de gaz combustible dans la région de Céré-la-Ronde (Indre-et-Loire) indique dans son article 6 :

« Tout travail dans le sous-sol du périmètre de stockage ou du périmètre de protection excédant une profondeur de 350 mètres qui ne serait pas réalisé par le titulaire de l'autorisation est soumis à autorisation préalable des préfets des départements d'Indre-et-Loire ou de Loir-et-Cher.

Cette servitude devra être reportée en annexe au plan d'occupation des sols des communes intéressées, dans les conditions prévues aux articles L.126-1 et R.123-36 du code de l'urbanisme ».

Ainsi les installations de géothermie de minime importance, moins de 200 m de profondeur, ne sont pas concernées par les servitudes liées à la profondeur des ouvrages dans les périmètres de protection et de stockages des trois sites de stockage de gaz.

## 8. Conclusion

Afin de favoriser le recours à la géothermie, de tenir compte des évolutions technologiques et de mieux prendre en compte l'incidence des installations sur l'environnement, la réglementation relative à la géothermie de minime importance a fait l'objet d'une révision en 2015 (décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015).

Il existe une carte réalisée à l'échelle nationale, indiquant les zones géographiques où peuvent exister des risques liés à la réalisation d'un forage géothermique. Elle est appelée carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Un guide d'élaboration de cette carte a été mis au point par le MEEM (juillet 2015). Ce guide constitue la méthodologie fixée dans l'arrêté relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance, pris en application de l'article 22-6 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié.

L'arrêté du 25 juin 2015, relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance, prévoit la possibilité de réviser régionalement la carte nationale pour apporter plus de précision en matière de connaissance et de localisation des phénomènes. Les niveaux d'aléas ou de susceptibilité attribués à chaque phénomène peuvent être différents entre la carte nationale et la carte révisée.

Dans l'objectif d'avoir une carte régionale plus précise, à l'échelle de la région Centre-Val de Loire, l'ADEME Centre-Val de Loire, la région Centre-Val de Loire et le BRGM ont financé la réalisation de la carte régionale qui a été réalisée par le BRGM.

L'élaboration de la carte régionale tient compte de huit phénomènes redoutés pouvant être rencontrés lors de la réalisation des travaux d'un forage géothermique ou lors de l'exploitation du gîte géothermique. Conformément au guide méthodologique, les phénomènes retenus en Centre-Val de Loire sont :

- affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques ;
- affaissement/ effondrement lié aux cavités (hors mines) ;
- affaissement/ effondrement lié aux cavités minières ;
- mouvement de terrain (ou glissement de terrain) ;
- pollution des sols et/ou des nappes souterraines ;
- artésianisme ;
- mise en communication d'aquifères ;
- remontée de nappe.

Ces phénomènes ont été cotés séparément selon des niveaux établis sur chacune des 159 649 mailles de 500 m de côté couvrant la région. Ils ont été ensuite hiérarchisés selon des facteurs dits aggravants afin d'aboutir à des cartes répertoriant les trois zones (rouge, orange, verte) mentionnées précédemment. Au total, six cartes de zonage réglementaire ont été réalisées. Elles correspondent à deux types d'usages géothermiques : exploitation par doublets sur aquifère (échangeur ouvert) et par sondes géothermiques verticales (échangeur fermé), et à trois gammes de profondeur (10 m - 50 m, 50 m - 100 m, 100 m - 200 m).

Par rapport à la carte nationale initiale, la zonation des cartes réglementaires est distincte pour les trois gammes de profondeur. Données et connaissances acquises à l'échelle régionale sont prises en compte. La précision apportée par la carte régionale concerne

particulièrement les phénomènes intégrant la géométrie des formations géologiques, issue du modèle géologique du Sigès : mise en communication des aquifères et artésianisme. Peu de modifications sont apportées pour les phénomènes peu représentés dans la région tel que le phénomène « évaporites » ou « cavités minières », ou peu renseigné comme la pollution des sols. Le résultat final montre une différenciation nette entre les trois gammes de profondeur. Globalement, la zone verte représente les deux tiers de la surface totale et la zone orange un tiers, sur la tranche 0-200m, à la fois pour les doublets et pour les SGV. La zone rouge en contexte régional est quasi inexistante (inférieure à 0,04 % de la surface au maximum).

Après validation des critères par les services de l'État et publication d'un arrêté « carte régionale » par le préfet, les cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance en Centre-Val de Loire sont mises à disposition sur le site internet <http://www.geothermie-perspectives.fr>.

## 9. Bibliographie

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

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

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

Castany G., Margat J. (1977) - Dictionnaire français d'hydrogéologie. Éditions du BRGM. 248 p.

Foucault A., Raoult J.-F. (2001) - Dictionnaire de Géologie. 5<sup>ème</sup> édition. Éditions Dunod. 379 p.

Grenelle 2 : loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 - art. 188. « L'État rend publiques les informations dont il dispose sur les risques de pollution des sols. Ces informations sont prises en compte dans les documents d'urbanisme lors de leur élaboration et de leur révision ».

Guilemin C., Roux J. C. (1992) - La pollution des eaux souterraines en France. Bilans des connaissances, impacts et moyens de prévention. Manuels et Méthodes n° 23, Éditions BRGM, 262 p.

Lemière B., Seguin J.J., Le Guern C., Guyonnet D., Baranger F. (2001) - Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes - application dans un contexte d'évaluation détaillée des risques pour les ressources en eau (convention MATE-DPPR 13/1999 - étude 3). EDIT/978-2-7159-0912-8.

Martin.J.C., Bacquet.I., Tourliere.B., Gomez.E., Gateau.C. (2007) - Atlas sur la géothermie très basse énergie en région Centre. Rapport BRGM/RP-55088-FR.

Mégnien C., Mégnien F. (1980) - Synthèse géologique du Bassin de Paris. Mémoire BRGM n° 101.

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

Thauvin M., Colin S., Saint-Martin M. (2011) - Carte des ressources en matériaux de la région Centre. Elaboré dans le cadre de la révision des Schémas Départementaux des carrières. Rapport BRGM/RP-59248-FR, 121p.

Urban S, Vandenbroucke H., Jauffret D. *et al.* (2009) - PNIGRA : Programme National des Inventaires Géothermiques Régionaux sur Aquifères. Rapport final BRGM/RP-57915-FR, 195 p., 85 fig., 32 tab., 2 ann.

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

Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Région Centre-Val de Loire

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

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

# **Annexe 1**

## **Cotation des phénomènes pour la carte Centre-Val de Loire**



Phénomènes redoutés	Niveaux aléa/ susceptibilité du phénomène	Facteur aggravant (échangeur ouvert)	Facteur aggravant (échangeur fermé)	Niveau final (échangeur ouvert)	Niveau final (échangeur fermé)
Affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques	0/1	6	10	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Affaissement/ effondrement lié aux cavités (hors mines)	0/1/5/7	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Affaissement/ effondrement lié aux cavités minières	0/1/3/5	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Mouvement de terrain (ou glissement de terrain)	0/2/3	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Pollution des sols et/ou des nappes souterraines, liée aux sites industriels	0/1/4	3	3	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Artésianisme	0/3	4	4	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Mise en communication d'aquifères	0/1/4	4	4	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Remontée de nappe	0/1	2	0	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
			<b>Niveau final</b>	<b>Somme</b>	<b>Somme</b>
<b>Classement en zone verte, orange ou rouge, selon la somme</b>	<b>Somme [0 - 13] : Vert</b>		<b>Somme [14 - 41] : Orange</b>		<b>Somme &gt; 41 : Rouge</b>



## Annexe 2

### Fiche de synthèse

#### Objet

Maître d'ouvrage :

Type de carte : Régionale  Locale

Emprise géographique de la carte (région, département, communauté de communes, commune) :

Pourcentage de la surface ou de la population du territoire concernée par cette emprise géographique :

Date de réalisation : \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Type de carte actuellement en vigueur sur cette emprise géographique.

Nationale  Régionale

Date de réalisation de la carte actuellement en vigueur : \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

#### Rapport

Fourniture d'un rapport contenant :

Description du travail effectué.

Oui  Non

Documentation des sources de données utilisées.

Oui  Non

Justification des éventuels écarts par rapport à la méthodologie.

Oui  Non  Sans objet

Cartes pour chaque phénomène et chaque tranche de profondeur.

Oui  Non

Cartes réglementaires finales (Doublets sur nappe et sondes géothermiques verticales aux trois tranches de profondeur, soit six cartes).

Oui  Non

#### Système d'information géographique

Fourniture d'un SIG conforme au modèle fourni. Trois fichiers de formes (shapefiles) correspondant aux trois tranches de profondeur.

Oui  Non

Taille de pixel utilisée.

500 × 500  250 × 250  100 × 100

#### Méthodologie

Respect de la méthodologie pour la construction de la carte de chaque phénomène. Pour tous les phénomènes, les données utilisées doivent être au moins aussi précises que celle de la version de la carte actuellement en vigueur sur l'emprise géographique concernée. Le cas échéant, certains phénomènes pourront reprendre la carte actuellement en vigueur de façon inchangée.

Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques.

Oui  Non  Écart justifié  Inchangé

Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines).

Oui  Non  Écart justifié  Inchangé

Affaissement/effondrement lié aux cavités minières.

- |  |                              |   |                                   |
|--|------------------------------|---|-----------------------------------|
| Oui <input type="checkbox"/>   | Non <input type="checkbox"/> | Écart justifié <input type="checkbox"/> | Inchangé <input type="checkbox"/> |
| Mouvements de terrain (glissement).  |                              |   |                                   |
| Oui <input type="checkbox"/>   | Non <input type="checkbox"/> | Écart justifié <input type="checkbox"/> | Inchangé <input type="checkbox"/> |
| Pollution des sols et des nappes souterraines.                                     |                              |   |                                   |
| Oui <input type="checkbox"/>   | Non <input type="checkbox"/> | Écart justifié <input type="checkbox"/> | Inchangé <input type="checkbox"/> |
| Artésianisme.  |                              |   |                                   |
| Oui <input type="checkbox"/>   | Non <input type="checkbox"/> | Écart justifié <input type="checkbox"/> | Inchangé <input type="checkbox"/> |
| Mise en communication d'aquifères.   |                              |   |                                   |
| Oui <input type="checkbox"/>   | Non <input type="checkbox"/> | Écart justifié <input type="checkbox"/> | Inchangé <input type="checkbox"/> |
| Remontée de nappe.   |                              |   |                                   |
| Oui <input type="checkbox"/>   | Non <input type="checkbox"/> | Écart justifié <input type="checkbox"/> | Inchangé <input type="checkbox"/> |
| Biseau salé.   |                              |   |                                   |
| Oui <input type="checkbox"/>   | Non <input type="checkbox"/> | Écart justifié <input type="checkbox"/> | Inchangé <input type="checkbox"/> |
| Respect de la méthodologie de pondération et d'addition des différents phénomènes. |                              |   |                                   |
| Oui <input type="checkbox"/>   | Non <input type="checkbox"/> |   |                                   |

**Remarques :**

Nom, prénom :

Date :

Signature :

## Annexe 3

# Données utilisées pour les cartes en Centre-Val de Loire

Phénomènes redoutés	Données utilisées	Sites ou services consultés
<b>Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques</b>	Carte géologique harmonisée au 1/50 000 Logs vérifiés de la BSS (niveaux évaporitiques) Carte des ressources en matériaux de la Région Centre (BRGM/RP-59248-FR) Retour d'expérience	BRGM
<b>Affaissement/effondrement liés aux cavités (hors mines)</b>	Base de données BDcavités. Projet Giskar (BRGM/RP-62816-FR) Carte géologique harmonisée au 1/50 000 (données vectorisées). Retour d'expérience	BRGM BDcavités dans Géorisques ( <a href="http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/cavites-souterraines">www.georisques.gouv.fr/dossiers/cavites-souterraines</a> )
<b>Affaissement/effondrement liés aux cavités minières</b>	Carte d'aléa Base de données « Mines et exploitations »	BRGM GEODERIS
<b>Mouvements de terrain (glissement de terrain).</b>	Base de données « Mouvement de terrain »	BRGM BDMVT dans Géorisques ( <a href="http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/mouvements-de-terrain">www.georisques.gouv.fr/dossiers/mouvements-de-terrain</a> )
<b>Pollution des sols et des nappes souterraines, liée aux sites industriels</b>	Recensement des sites ou nappes pollués : base de données BASOL Référentiel hydrogéologique (BD-LISA) Atlas sur la géothermie très basse énergie des aquifères de la région Centre-Val de Loire (site internet et rapport BRGM/RP-55088 -FR) Modèles géologiques et hydrogéologiques locaux	BASOL ( <a href="http://www.BASOL.developpement-durable.gouv.fr">www.BASOL.developpement-durable.gouv.fr</a> ) DREAL, BRGM Atlas des potentiels géothermiques ( <a href="http://www.geothermie-perspectives.fr">www.geothermie-perspectives.fr</a> ). BD-LISA : Sandre ( <a href="http://www.sandre.eaufrance.fr">www.sandre.eaufrance.fr</a> ), Ades ( <a href="http://www.ades.eaufrance.fr">www.ades.eaufrance.fr</a> ) ou eaufrance ( <a href="http://www.eaufrance.fr">www.eaufrance.fr</a> ).
<b>Phénomène artésianisme</b>	Atlas sur la géothermie très basse énergie des aquifères de la région Centre-Val de Loire (site internet et rapport BRGM/RP-55088 -FR) Modèle géologique de la Région Centre - Val de Loire SIGES Centre-Val de Loire Les niveaux piézométriques et les niveaux du sol recensés dans la BSS. Carte géologique harmonisée au 1/50 000 (données vectorisées). Les cartes piézométriques locales. Retour d'expérience.	BRGM Atlas des potentiels géothermiques ( <a href="http://www.geothermie-perspectives.fr">www.geothermie-perspectives.fr</a> ) BD-LISA : Sandre ( <a href="http://www.sandre.eaufrance.fr">www.sandre.eaufrance.fr</a> ), Ades ( <a href="http://www.ades.eaufrance.fr">www.ades.eaufrance.fr</a> ) ou eaufrance ( <a href="http://www.eaufrance.fr">www.eaufrance.fr</a> ).

<p><b>Mise en communication d'aquifère</b></p>	<p>Modèle géologique de la Région Centre-Val de Loire Référentiel hydrogéologique (BD-LISA), SIGES Centre-Val de Loire</p>	<p>BRGM BD-LISA : Sandre (<a href="http://www.sandre.eaufrance.fr">www.sandre.eaufrance.fr</a>), Ades (<a href="http://www.ades.eaufrance.fr">www.ades.eaufrance.fr</a>) ou eaufrance (<a href="http://www.eaufrance.fr">www.eaufrance.fr</a>). <a href="http://sigescen.brgm.fr/">http://sigescen.brgm.fr/</a></p>
<p><b>Remontée de nappe</b></p>	<p>Cartographie remontée de nappe</p>	<p>BRGM Remontée de nappes : <a href="http://www.inondationsnappes.fr">http://www.inondationsnappes.fr</a></p>



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique**

3, avenue Claude-Guillemain  
BP 36009

45060 - Orléans Cedex 2 - France

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

**Direction régionale Centre-Val de Loire**

3, avenue Claude-Guillemain  
BP 36009

45060 - Orléans Cedex 2 - France

Tél. : 02 38 64 31 92