



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Document public



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Cartographie des risques liés à la géothermie de minime importance en Champagne-Ardenne

Rapport final

BRGM/RP-70390-FR

Avril 2021

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM AP19DAT002

B. Durendeu, A. Lombard (*), G. Badinier, M. Chabart, A. Choffel (*)

(*) CEREMA



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

ADEME



AGENCE DE LA
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

 **Cerema**

Document public

Cartographie des risques liés à la géothermie de minime importance en Champagne-Ardenne

Rapport final
BRGM/RP-70390-FR
Avril 2021

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM AP19DAT002

B. Durendeau, A. Lombard (*), G. Badinier, M. Chabart, A. Choffel (*)

(*) CEREMA

Vérificateur :
Nom : P. Durst
Date : 22/03/2021
Signature : 

Approbateur :
Nom : D. Midot
Date : 06/04/2021
Signature : 

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

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctq> ou par ce code :



Mots-clés : Géothermie, Risque géologique, Cartographie, Réglementation, Code minier, Minime importance, Télédéclaration, Champagne-Ardenne

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

B. Durendeu, A. Lombard, G. Badinier, M. Chabart, A. Choffel (2021) - Cartographie des risques liés à la géothermie de minime importance en Champagne-Ardenne. Rapport final. BRGM/RP-70390-FR, 91 p., 39 fig., 10 tabl..

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'Energie et de la Mer (MEEM), notamment dans le cadre des actions de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (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 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 1er juillet 2015 et est disponible sur le site www.geothermies.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 la Champagne-Ardenne, l'ADEME et le Ministère de la Transition écologique ont demandé au CEREMA et au BRGM la transposition territoriale de la cartographie réglementaire relative à la géothermie de minime importance. Les deux organismes ont effectué ce travail conjointement.

L'élaboration de la carte territoriale 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.

Sur la base de leurs connaissances régionales respectives, le CEREMA a travaillé sur les phénomènes d'affaissement /effondrement liés aux cavités (hors mines) et liés aux cavités minières, sur les mouvements de terrain de type glissement et sur les pollutions des sols et des nappes d'eau souterraines, tandis que le BRGM a travaillé sur les phénomènes relatifs à la présence d'évaporites, à l'artésianisme, aux communications entre aquifères et aux remontées de nappes.

Ces phénomènes ont été cotés séparément selon des niveaux établis sur chacune des 102 851 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 (SGV: échangeur fermé), et à trois gammes de profondeur (10 m - 50 m, 10 m - 100 m, 10 m - 200 m).

Le traitement plus approfondi des données des différents phénomènes et le découpage en 3 tranches de profondeur (10 m - 50 m, 10 m - 100 m, 10 m - 200 m) a permis d'apporter une plus grande précision à la carte réglementaire en Champagne-Ardenne.

Les superficies des différentes couleurs (verte, orange et rouge) de chacune des cartes (cartes nationales et cartes régionales pour doublets et pour SGV), présentent quelques différences qui sont détaillés ci-après.

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 territoriale sont prises en compte. La précision apportée par la carte territoriale concerne particulièrement les phénomènes intégrant la géométrie et la localisation des formations géologiques, issues des modèles géologiques et des cartes piézométriques: évaporites, mise en communication des aquifères et artésianisme. La disponibilité de nouvelles données comme les secteurs d'information sur les sols (SIS) apporte beaucoup de modifications pour la carte du phénomène « Pollutions ». La prise en compte des cartes d'aléa amène des changements pour les phénomènes « Mouvements de terrain de type glissement » et « Affaissement/Effondrement lié aux cavités hors mines ». Quelques modifications sont apportées pour les phénomènes dans le territoire tel que le phénomène « Affaissement/Effondrement lié aux cavités minières » par la prise en compte des données des gîtes miniers exploités figurants dans la BSS. La nouvelle édition de 2018 de la cartographie des secteurs sensibles au phénomène de remontées de nappes a modifié la carte du phénomène « Remontée de nappes » impactant uniquement le zonage des cartes des doublets sur aquifère.

Le résultat final montre une différenciation nette entre les trois gammes de profondeur. On constate pour les cartes territoriales une augmentation des zones orange et rouges et une diminution des zones vertes pour les doublets et les SGV. Globalement, la zone verte représente un peu moins des trois quarts de la surface totale, la zone orange un quart et la zone rouge environ 1 %, sur la tranche 10 – 200 m, pour les doublets. Sur cette même tranche de profondeur, pour les SGV, la zone verte représente un peu moins des deux tiers de la surface totale, la zone orange un tiers et la zone rouge un peu moins de 3 %.

Après validation par les services de l'état, ces cartes seront mises en ligne en lien avec un outil de télédéclaration (<https://geothermie.developpement-durable.gouv.fr/>).

Sommaire

1. Introduction	9
2. Réglementation applicable à la géothermie de minime importance	11
2.1. LE CODE MINIER	11
2.2. LES RÉGLEMENTATIONS TERRITORIALISEES À PRENDRE EN CONSIDÉRATION...	12
3. Méthodologie de réalisation de la carte réglementaire.....	13
3.1. CRÉATION DE LA GRILLE DE BASE ET DU MNT.....	18
3.2. CALCUL DE COTATION ET ÉLABORATION DES ZONES	20
4. Création des cartes de phénomènes redoutés	21
4.1. AFFAISSEMENT/SURRECTION LIÉ AUX NIVEAUX ÉVAPORITIQUES	21
4.1.1. Phénomène redouté	21
4.1.2. Carte nationale ou initiale à mettre à jour	21
4.1.3. Cartes révisées Champagne-Ardenne.....	21
4.2. AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIÉ AUX CAVITÉS (HORS MINES)	32
4.2.1. Phénomène redouté	32
4.2.2. Carte nationale ou initiale à mettre à jour	32
4.2.3. Carte révisée Champagne-Ardenne	33
4.3. AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIÉ AUX CAVITÉS MINIÈRES	38
4.3.1. Phénomène redouté	38
4.3.2. Carte nationale ou initiale à mettre à jour	38
4.3.3. Carte révisée Champagne-Ardenne	39
4.4. MOUVEMENTS DE TERRAIN (GLISSEMENT)	41
4.4.1. Phénomène redouté	41
4.4.2. Carte nationale ou initiale à mettre à jour	42
4.4.3. Carte révisée Champagne-Ardenne	42
4.5. POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES SOUTERRAINES.....	45
4.5.1. Phénomène redouté	45
4.5.2. Carte nationale ou initiale à mettre à jour	45
4.5.3. Carte révisée Champagne-Ardenne	47
4.6. MISE EN COMMUNICATION D'AQUIFÈRES	51
4.6.1. Phénomène redouté	51
4.6.2. Carte nationale ou initiale à mettre à jour	51
4.6.3. Carte révisée Champagne-Ardenne	52
4.7. ARTÉSIANISME	59
4.7.1. Phénomène redouté	59
4.7.2. Carte nationale ou initiale à mettre à jour	59

4.7.3. Carte révisée Champagne-Ardenne	61
4.8. INONDATION PAR REMONTÉE DE NAPPE	66
4.8.1. Phénomène redouté	66
4.8.2. Carte nationale ou initiale à mettre à jour	66
4.8.3. Carte révisée Champagne-Ardenne	68
5. Cartes des zones réglementaires régionales relatives à la géothermie de minime importance.....	73
6. Conclusion.....	89
7. Bibliographie	91

Liste des figures

Figure 1 : Cartes réglementaires nationales pour les systèmes fermés (à gauche) et ouverts (à droite) produites à l'échelle nationale et régionale.....	14
Figure 2 : Exemple de construction de cartes réglementaire avec deux aléas.....	17
Figure 3 : Grille de base à l'échelle de la Champagne-Ardenne au pas de 500 m.	18
Figure 4 : Table attributive des grilles de base.	19
Figure 5 : Répartition des forages LGV.....	23
Figure 6 : Délimitations des niveaux de gypse massifs dans le Ludien (Briais, 2016)	24
Figure 7 : Extrait de la carte du Trias de la limite des principaux faciès de la synthèse géologique du bassin de Paris (1980)	25
Figure 8 : Répartition des Logs Géologiques Vérifiés et des points d'affleurements des cartes géologiques utilisés pour le modèle du toit du Keuper	26
Figure 9 : Résultat de la modélisation du toit du Keuper	26
Figure 10 : Répartition des Logs Géologiques Vérifiés et des points d'affleurements des cartes géologiques utilisés pour le modèle du toit du Muschelkalk	27
Figure 11 : Résultat de la modélisation du toit du Muschelkalk	28
Figure 12 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Champagne-Ardenne pour une profondeur jusqu'à 50 m.	29
Figure 13 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Champagne-Ardenne pour une profondeur jusqu'à 100 m.	30
Figure 14 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Champagne-Ardenne pour une profondeur jusqu'à 200 m.	31
Figure 15 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) en Champagne-Ardenne	37
Figure 16 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Champagne-Ardenne.....	40
Figure 17 : Cartographie du phénomène mouvement de terrain (glissement) en Champagne-Ardenne.....	44
Figure 18 : Cartographie du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines en Champagne-Ardenne.....	49
Figure 19 : Concept de superposition des couches aquifères (couleur bleu), des couches imperméables (couleur orange) et des ressources protégées (couleur verte).....	52
Figure 20 : Cartographie des nappes stratégiques et des zones de sauvegarde en Champagne-Ardenne.....	55

Figure 21 : Cartographie de la susceptibilité du phénomène « mise en communication d'aquifères » en Champagne-Ardenne pour des profondeurs jusqu'à 50 m.....	56
Figure 22 : Cartographie de la susceptibilité du phénomène « mise en communication d'aquifères » en Champagne-Ardenne pour des profondeurs jusqu'à 100 m.....	57
Figure 23 : Cartographie de la susceptibilité du phénomène « mise en communication d'aquifères » en Champagne-Ardenne pour des profondeurs jusqu'à 200 m.....	58
Figure 24 : Secteurs d'artésianisme prouvés.....	60
Figure 25 : Cartographie du phénomène artésianisme en Champagne-Ardenne pour des profondeurs jusqu'à 50 m.....	63
Figure 26 : Cartographie du phénomène artésianisme en Champagne-Ardenne pour des profondeurs jusqu'à 100 m.....	64
Figure 27 : Cartographie du phénomène artésianisme en Champagne-Ardenne pour des profondeurs jusqu'à 200 m.....	65
Figure 28 : Couverture des classes selon le type d'agrégation.	66
Figure 29 : Exemple des cartes d'épaisseur de la zone non saturée (ZNS) selon le type d'agrégation.	67
Figure 30 : Exemple de traitement des mailles (couleur violette) identifiée dans la carte initiale comme de niveau faible et sans correspondance avec la carte révisée (niveau faible → maille bleu / niveau nul → maille verte).	69
Figure 31 : Cartographie de la susceptibilité du phénomène remontée de nappe en Champagne-Ardenne.....	70
Figure 32 : Carte réglementaire Champagne-Ardenne 10 - 50 m pour doublets sur nappe.	75
Figure 33 : Carte réglementaire Champagne-Ardenne 10 – 50 m pour SGV.....	77
Figure 34 : Carte réglementaire Champagne-Ardenne 10 – 100 m pour doublets sur nappe.....	79
Figure 35 : Carte réglementaire Champagne-Ardenne 10 – 100 m pour SGV.....	81
Figure 36 : Carte réglementaire Champagne-Ardenne 10 – 200 m pour doublets sur nappe.....	83
Figure 37 : Carte réglementaire Champagne-Ardenne 10 – 200 m pour SGV.....	85
Figure 38 : Comparaison de la répartition des zones réglementaires pour les doublets de la carte initiale et des cartes révisées par tranche de profondeur.	87
Figure 39 : Comparaison de la répartition des zones réglementaires pour les SGV de la carte initiale et des cartes révisées par tranche de profondeur.	87

Liste des tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif des niveaux des phénomènes et des facteurs aggravants proposés pour la cartographie réglementaire nationale.	15
Tableau 2 : Récapitulatif des niveaux des phénomènes et des facteurs aggravants proposés pour la cartographie réglementaire régionale et locale.....	16
Tableau 3 : Caractérisation du phénomène affaissement/surrection lié aux niveaux d'évaporites.	32
Tableau 4 : Caractérisation du phénomène effondrement/affaissement lié aux cavités non minières38	
Tableau 5 : Caractérisation du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités minières.....	41
Tableau 6 : Caractérisation du phénomène mouvements de terrain (glissement).	45
Tableau 7 : Caractérisation de l'aléa pollution des sols et des nappes souterraines.	50
Tableau 8 : Niveaux du phénomène mise en communication d'aquifères.	58
Tableau 9 : Niveaux du phénomène artésianisme.....	65
Tableau 10 : Niveaux du phénomène remontée de nappe70	

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 la Transition Ecologique (MTE / DGPR), notamment dans le cadre des actions de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (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 MEDDE (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 première carte à l'échelle du territoire national est entrée en vigueur depuis le 1^{er} juillet 2015 et est disponible sur le site : <https://www.geothermies.fr/>. Elle comprend deux couches d'information : une relative aux systèmes fermés (type Sondes Géothermique Verticales, SGV) et une relative aux systèmes ouverts (pompages/réinjection en nappe).

L'arrêté du 25 juin 2015, relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance, prévoit la possibilité de réviser localement 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 le cadre du projet de décret relatif aux activités géothermiques de minime importance et dans l'objectif d'avoir une carte plus précise, il a été commandé conjointement au BRGM et au CEREMA la réalisation de cartes de zonages de risque à l'échelle territoriale en Champagne-Ardenne. Cette réalisation a été financée par le Ministère de la Transition écologique (MTE / DGPR), dans le cadre de la convention n° 2201199802 (MTE/DGPR), de l'ADEME dans le cadre de la convention n° 1905C0013, et le BRGM sur sa dotation de Service Public. Ce rapport présente l'élaboration des cartes en Champagne-Ardenne de la région Grand Est.

Dans la convention, il a été arrêté une répartition des phénomènes à étudier entre le BRGM et le CEREMA. Les phénomènes liés aux roches évaporitiques, à l'artésianisme, aux mises en communication entre aquifères et aux remontées de nappe ont été étudiés par le BRGM. Les phénomènes liés aux cavités (hors mines), aux cavités d'origine minière, aux mouvements de terrain (glissements) et aux pollutions des sols et des nappes ont été étudiés par le CEREMA (en partenariat avec le BRGM).

Le BRGM a réalisé le croisement final des couches (ou analyse multicritère) et a élaboré la cartographie réglementaire.

Le poids respectif des différents phénomènes dans l'établissement des deux cartographies finales ainsi que les niveaux d'aléa de chaque phénomène sont identiques à ceux des cartes réalisées précédemment en Alsace et en Lorraine.

Il est à noter que les cartes présentées dans ce rapport n'ont pas encore été validées définitivement par les services de l'Etat.

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. 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 ».

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 géothermiques 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 depuis le site « géothermies.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 « geothermies.fr ».

2.2. LES RÉGLEMENTATIONS TERRITORIALISÉES À PRENDRE EN CONSIDÉRATION

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

La cartographie prend en considération des risques présents dans le sous-sol au regard des travaux de géothermie ainsi que les enjeux, notamment la préservation des nappes d'eau souterraines et les risques de désordres géotechniques.

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

- le phénomène redouté a été décrit, et caractérisé en termes de niveaux aléas (faible, moyen, fort) en présence de cartes d'aléas, ou en termes de probabilité d'occurrence (susceptibilité) en l'absence de cartographie de l'aléa ;
- un facteur de pondération a ensuite été attribué à chaque niveau ;
- un facteur aggravant a ensuite été attribué en fonction de son impact potentiel, ce facteur pouvant être différent selon qu'il s'agit de sondes géothermiques verticales (SGV) ou de doublets sur nappe ;
- enfin, la disponibilité des données a été précisée.

Les phénomènes pris en compte et la méthodologie applicable à chacun peuvent différer selon le niveau de cartographie. En effet, dans un premier temps, une cartographie à l'échelle nationale a été mise en œuvre, accompagnée de cartographies plus fines pour deux régions pilotes (Alsace et Lorraine). Dans un deuxième temps, les autres régions françaises font l'objet d'une cartographie plus fine. Une collectivité territoriale pourra aussi apporter des modifications de la cartographie réglementaire sur, au minimum, 10 % de la surface territoriale de la région ou de sa population.

Deux cartographies ont été réalisées au regard du mode de géothermie choisi, la sonde géothermique verticale ou le prélèvement/réinjection sur nappe.

Les cartes réalisées à l'échelle nationale concernent la tranche 10-200 m. Deux cartes nationales sont donc disponibles.

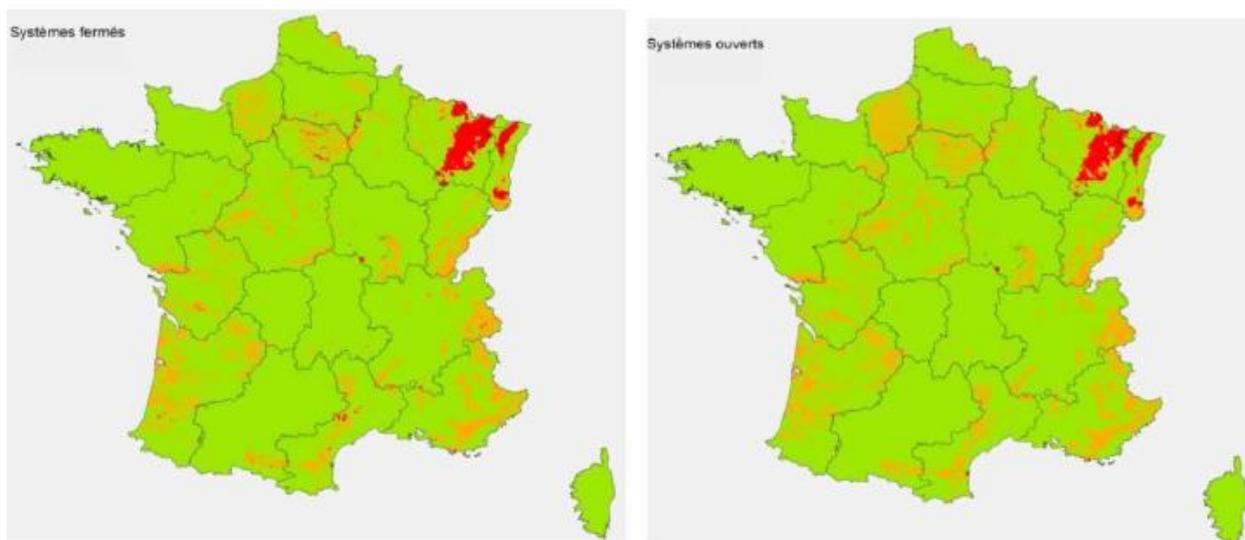


Figure 1 : Cartes réglementaires nationales pour les systèmes fermés (à gauche) et ouverts (à droite) produites à l'échelle nationale et régionale.

Les cartes réalisées à l'échelle régionale ou locale sont construites selon différentes tranches de profondeur : 10-50 m¹, 50-100 m, 100-200 m. Six cartes sont donc disponibles.

La méthodologie utilise une analyse multicritère (c'est à dire basée sur la superposition de plusieurs phénomènes) et les cartes ont été réalisées à l'aide d'un SIG. Chacun des phénomènes identifiés est représenté par une couche spécifique.

Les phénomènes retenus sont :

Pour la carte nationale (8 phénomènes) :

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

S'ajoutent pour la carte régionale ou locale le phénomène suivant (9 phénomènes au total):

- phénomène de biseau salé en bordure de mer le cas échéant (ce phénomène n'est pas pertinent pour la Champagne-Ardenne).

¹ La tranche de 0 à 10 m ne concerne pas le code minier pour la géothermie de minime importance.

Les éléments alimentant chacune des couches sont cotés en fonction de leurs niveaux de sensibilité (fort, moyen, faible ou nul) vis à vis des travaux de forage.

Une valeur de pondération, fonction de l'intensité des phénomènes redoutés (affaissement, effondrement, pollution...), appelé facteur aggravant a ensuite été attribuée à chacune des couches (Tableau 1 et Tableau 2).

Cartographie nationale :

Phénomènes redoutés	Niveaux aléa/susceptibilité du phénomène	Facteur aggravant (doublet sur nappe)	Facteur aggravant (SGV)	Niveau final (doublet sur nappe)	Niveau final (SGV)
affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques	0/3	6	10	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines)	0/1/2/3	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
affaissement/effondrement lié aux cavités minières	0/3	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
mouvements de terrain (glissement)	0/1/2/3	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
pollution des sols et des nappes souterraines	0/1/4/6	3	3	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
artésianisme	0/3	2	4	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
mise en communication d'aquifères	0/1/3	4	4	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
remontée de nappe	0/1	2	0	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
			Niveau final du pixel (500*500m)	Somme	Somme
Classement en zone verte, orange ou rouge, selon la somme	Somme [0 - 14] : Vert		Somme [14 - 42] : Orange		Somme > 42 : Rouge

Tableau 1 : Récapitulatif des niveaux des phénomènes et des facteurs aggravants proposés pour la cartographie réglementaire nationale.

Cartographie régionale et locale :

Phénomènes redoutés	Niveaux aléa/susceptibilité du phénomène	Facteur aggravant (doublet sur nappe)	Facteur aggravant (SGV)	Niveau final (doublet sur nappe)	Niveau final (SGV)
affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques	0/1/5/7	6	10	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines)	0/1/2/3/5/7	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
affaissement/effondrement lié aux cavités minières	0/1/3/5/7	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
mouvements de terrain (glissement)	0/1/2/3/5/7	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
pollution des sols et des nappes souterraines	0/1/4/6/10	3	3	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
artésianisme	0/3/7	2	4	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
mise en communication d'aquifères	0/1/3	4	4	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
remontée de nappe	0/1	2	0	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
biseau salé	0/1/3	2	2		
			Niveau final	Somme	Somme
Classement en zone verte, orange ou rouge, selon la somme	Somme [0 - 13] : Vert		Somme [14 – 41] : Orange		Somme > 41 : Rouge

Tableau 2 : Récapitulatif des niveaux des phénomènes et des facteurs aggravants proposés pour la cartographie réglementaire régionale et locale.

La grille de précision de la carte révisée à l'échelle de la Champagne-Ardenne est la maille (pixel) de 500 x 500 mètres, à l'identique de la carte nationale.

La superposition de l'ensemble des couches permet ainsi d'obtenir la cartographie composée zones vertes, orange et rouges à l'échelle nationale comme régionale et locale. Un exemple est présenté sur la Figure 2.

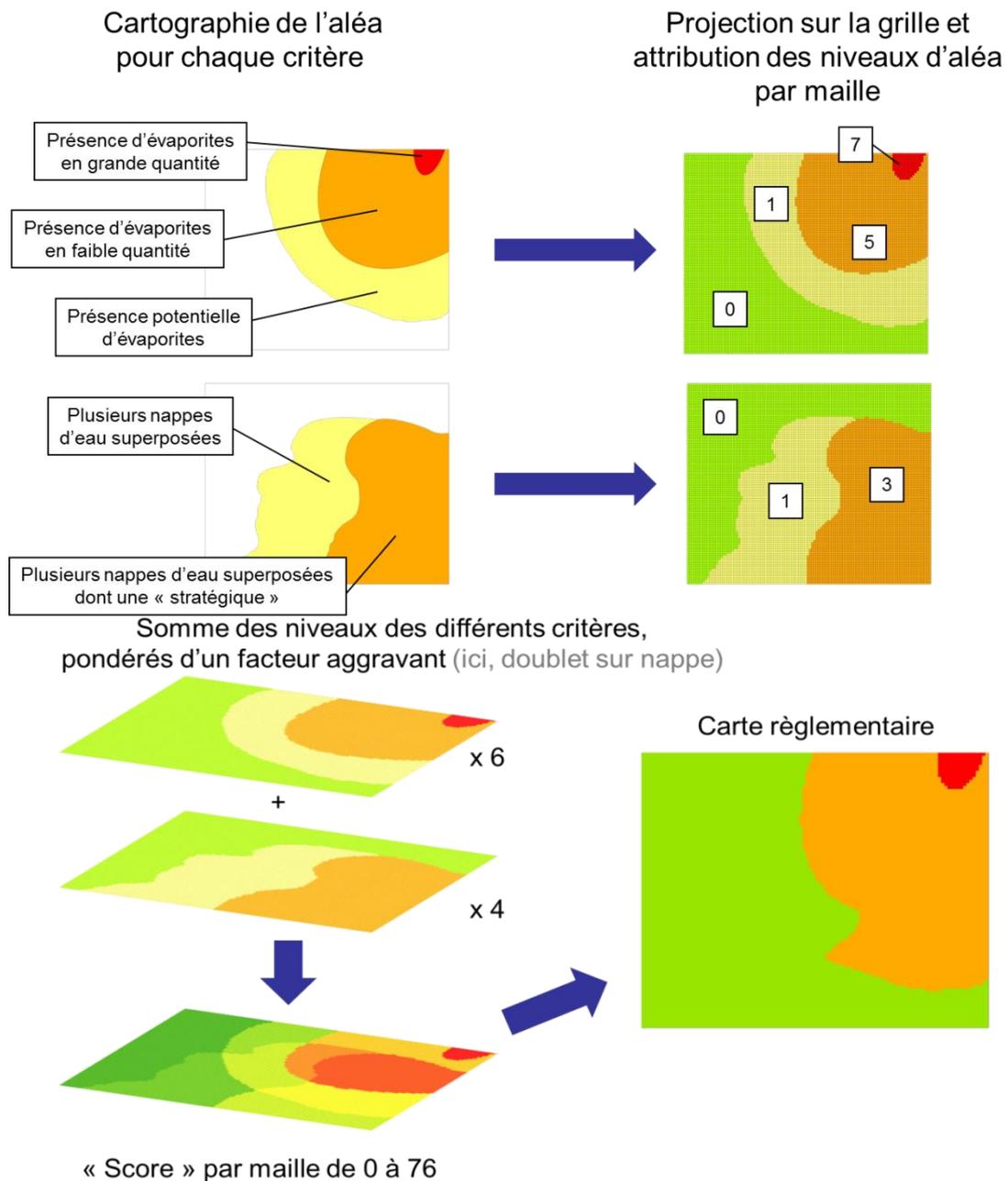


Figure 2 : Exemple de construction de cartes réglementaire avec deux aléas.

Ces zonages réglementaires sont définis selon l'importance des enjeux au regard des intérêts mentionnés aux articles L. 161-1 du code minier. Il est distingué :

- les zones dites vertes qui ne présentent pas d'enjeux identifiés ;
- les zones dites orange dans lesquelles un examen des projets au cas par cas est nécessaire avec l'intervention d'un d'expert pour un avis favorable ;
- les zones dites 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 prévu par l'article L.112-3 du code minier.

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).

3.1. CRÉATION DE LA GRILLE DE BASE ET DU MNT

La grille de base 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 médiane des valeurs de cote d'altitude (valeur Z) du MNT IGN au pas de 25 m sur chaque pixel de 500 x 500 m. Les cartes régionales en Champagne-Ardenne ont été constituées à partir d'extraits de cette grille nationale.

La couverture complète en Champagne-Ardenne correspond à 102 851 mailles au total (Figure 3).

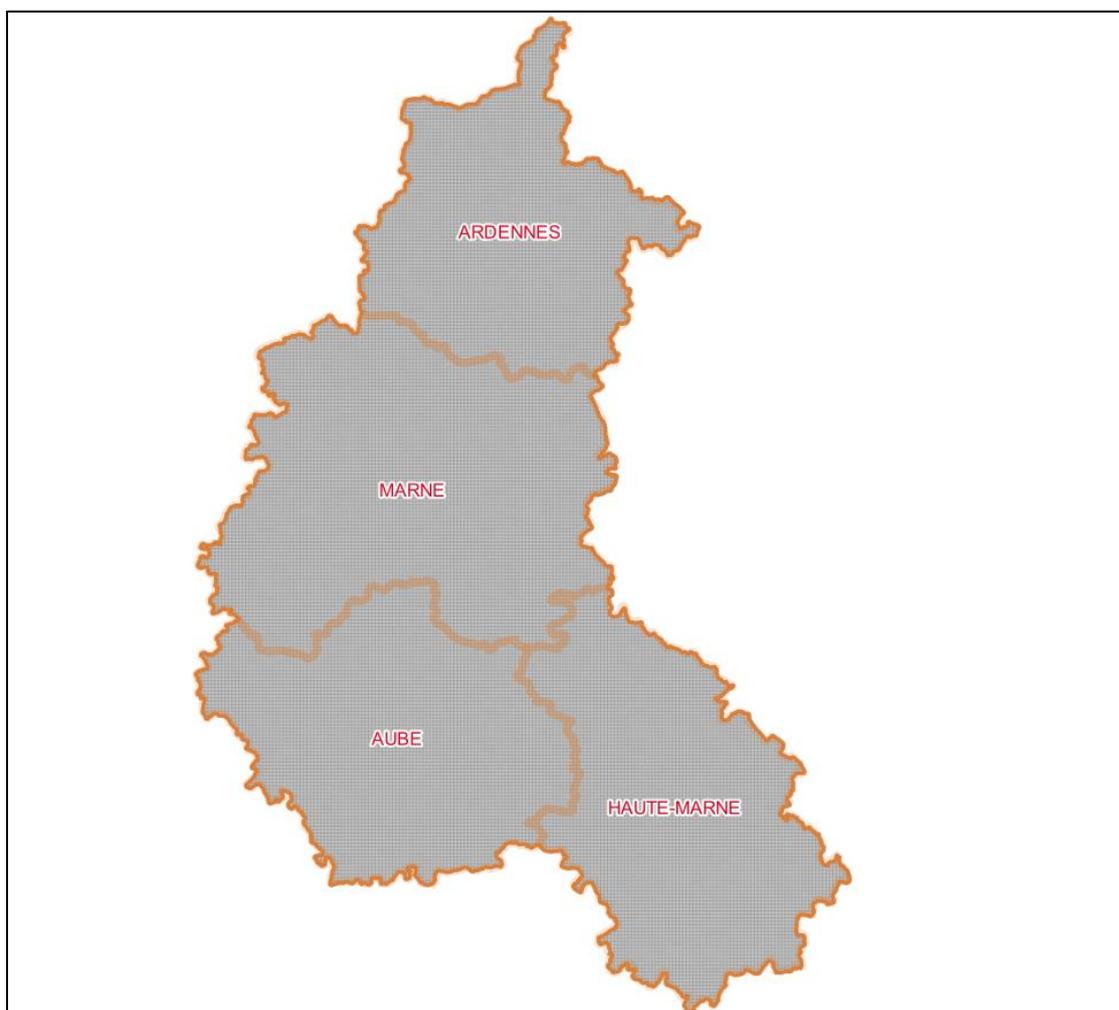


Figure 3 : Grille de base à l'échelle de la Champagne-Ardenne au pas de 500 m.

La table attributaire de cette grille (au format shapefile ou "fichier de formes") comprend, outre les champs obligatoires FID et Shape (Figure 4) :

- maille_n (texte de longueur 20), un identifiant unique à chaque maille de 500*500 m à l'échelle nationale ;
- profondeur (entier court), la tranche de profondeur (50, 100 ou 200) pour les cartes régionales ou locales (-1 pour la carte nationale) ;
- X_RGF93 et Y_RGF93 (entier long), les coordonnées en mètres du centre de chaque maille dans le système RGF93 ;
- Z_NGF (entier court), l'altitude moyenne du sol sur la maille ;
- dix champs (entier court) correspondant aux onze phénomènes redoutés et contenant la valeur attribuée au niveau d'aléa :
 - évaporites : phénomène affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques,
 - cavite_nm : phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines),
 - cav_min : phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités d'origine minière,
 - MVT : phénomène mouvements de terrain (glissement),
 - BASOL : phénomène pollution des sols et des nappes,
 - artésien : phénomène « artésianisme »,
 - com_aquif : phénomène « mise en communication d'aquifères »,
 - remontée : phénomène remontée de nappe,
 - biseau_sal : phénomène de biseau salé en bordure de mer,
 - admin : zone d'exclusion réglementaire ;
- doublet (entier court) ; la somme des niveaux d'aléa pondérés des facteurs aggravants pour les doublets sur nappe ;
- SGV (entier court), la somme des niveaux d'aléa pondérés des facteurs aggravants pour les sondes géothermiques verticales ;
- cl_doublet (entier court), la classification réglementaire pour les doublets sur nappe (1=vert, 2=orange, 3=rouge) ;
- cl_sgv (entier court), la classification réglementaire pour les sondes géothermiques verticales (1=vert, 2=orange, 3=rouge).

Maille	Profondeur	X_RGF93	Y_RGF93	Z_NGF	evaporites	cavite_nm	cav_min	MVT	BASOL	artésien	com_aquif	remontee	biseau_sal	admin	Doublet	SGV	cl_doublet	cl_sgv
135059700	50	869738	6722238	297	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	5	3	1	1
135204500	50	869238	6722738	299	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	5	3	1	1
135204600	50	869738	6722738	295	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1
135204700	50	870238	6722738	305	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1
135204800	50	870738	6722738	311	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
135349400	50	869238	6723238	307	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	5	3	1	1
135349500	50	869738	6723238	301	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1
135349600	50	870238	6723238	299	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1

Figure 4 : Table attributaire des grilles de base.

3.2. 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 Champagne-Ardenne :

Valeur résultante pour les doublets :

$(6 \times \text{"éaporites"}) + (2 \times \text{"cavités non minières"}) + (2 \times \text{"cavités minières"}) + (2 \times \text{"MVT"}) + (3 \times \text{"Basol"}) + (2 \times \text{"artésianisme"}) + (4 \times \text{"communication aquifère"}) + (2 \times \text{"remontée de nappe"})$.

Valeur résultante pour les SGV :

$(10 \times \text{"éaporites"}) + (2 \times \text{"cavités non minières"}) + (2 \times \text{"cavités minières"}) + (2 \times \text{"MVT"}) + (3 \times \text{"Basol"}) + (4 \times \text{"artésianisme"}) + (4 \times \text{"communication aquifère"}) + (0 \times \text{"remontée de nappe"})$.

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.

4. Création des cartes de phénomènes redoutés

4.1. AFFAISSEMENT/SURRECTION LIÉ AUX NIVEAUX ÉVAPORITIQUES

4.1.1. Phénomène redouté

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.

Deux exemples de ce phénomène sont observés actuellement: l'un en Lorraine (Hilsprich), l'autre en Alsace (Lochviller). Il n'existe pas de cartographie des aléas liés à ce phénomène à l'échelle nationale. En l'absence de cartographie, ce phénomène est qualifié en fonction de sa susceptibilité (probabilité d'occurrence).

4.1.2. Carte nationale ou initiale à mettre à jour

La cartographie à l'échelle nationale a été réalisée à partir des cartes géologiques au 1/50 000e vectorisée. L'ensemble des polygones correspondant à des affleurements de formations géologiques susceptibles de contenir des évaporites a été utilisé, en tenant compte d'un tampon de sécurité de 2000 m de manière à prendre en compte la possibilité de retrouver ces niveaux jusqu'à une profondeur de 200 m.

Niveaux :

- 0 : Pas de formation géologique susceptible de contenir des évaporites identifiées dans la tranche 0-200 m ;
- 1 : Présence d'une formation géologique susceptible de contenir des évaporites dans la tranche 0-200 m.

4.1.3. Cartes révisées Champagne-Ardenne

Qualification du phénomène à l'échelle régionale

Il n'existe pas de cartographie des aléas liés à ce phénomène actuellement en Champagne-Ardenne. En l'absence de cartographie, ce phénomène est qualifié en fonction de sa susceptibilité (probabilité d'occurrence).

- **susceptibilité forte** : présence avérée d'un ou plusieurs horizons évaporitiques *en quantité importante*, définie soit à partir d'informations provenant de sondages ou figurant dans les notices de cartes géologiques, soit à dire d'expert sur la base du retour d'expérience ;
- **susceptibilité moyenne** : présence avérée d'un ou plusieurs horizons évaporitiques *en faible quantité*, définie soit à partir d'information provenant de sondages ou figurant dans les notices géologiques, soit à dire d'expert sur la base du retour d'expérience ;
- **susceptibilité faible** : pas d'horizons évaporitiques connus mais formation susceptible d'en contenir ;
- **susceptibilité nulle** : formation ne pouvant pas contenir des horizons évaporitiques.

En Champagne-Ardenne, le seuil entre forte et faible quantité d'horizons évaporitiques a été fixé sur la base de l'épaisseur cumulée des horizons évaporitiques recoupés en sondage. Ce seuil a été fixé, en première approximation, à 2 mètres, quelle que soit la tranche de profondeur considérée. Cette valeur a été retenue sur la base de critères de stabilité : plus les bancs susceptibles d'être dissous / ou hydratés sont épais, plus les dégâts potentiels en surface seront importants. Ce seuil a été appliqué autour des sondages ayant rencontrés des évaporites massives et traduit sous forme d'un cercle centré sur la position du sondage et de rayon égal à une zone d'influence forfaitaire de 2 500 mètres. Le seuil de forte susceptibilité a aussi été appliqué autour des anciennes carrières exploitées de gypse indiquées sur les cartes géologiques au 1/ 50 000 et dans la BSS, comme précédemment pour les sondages.

Dans le cas de la Haute-Marne où la densité d'information est moindre, la différence entre niveaux de susceptibilité forte et moyenne a aussi été définie à dire d'expert, sur la base du retour d'expérience.

Données utilisées à l'échelle régionale

Les données utilisées pour établir les cartographies régionales Champagne-Ardenne sont :

- la carte géologique harmonisée à échelle de 1/50 000 (données vectorisées) ;
- les cartes géologiques imprimées à échelle de 1/50 000 ;
- les coupes lithologiques signalant des évaporites dans les sondages de la Banque de données du Sous-Sol (extraits en janvier 2020) ;
- la base de données du LOGISO (LOGs validés et cartes ISOvaleurs) qui a pour objectif de codifier, harmoniser et valoriser les données de forages de la BSS, dans l'optique de produire à la demande des cartes isovaleurs (isobathes, isopaques, etc.), pour connaître la profondeur des niveaux évaporitiques et les formations susceptibles d'en contenir (extraits en octobre 2019).

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

- les descriptions commençant par les termes gypse, anhydrite, sel ou halite ont été assimilées à des niveaux massifs d'évaporites. Cette méthode est un peu simplificatrice mais permet de traiter rapidement un grand nombre de données et les vérifications effectuées montrent que le résultat final est plutôt fiable ;
- les descriptions contenant, dans le corps des descriptions, les termes : gypse, anhydrite, sel ou halite ont été interprétées comme des évaporites disséminées dans la roche.

Les épaisseurs cumulées des niveaux d'évaporites ont été calculées à partir des passes unitaires de sondages, d'une puissance égale ou supérieure à 50 cm.

Pour chaque tranche de profondeur (10-50 m, 10-100 m et 10-200 m), l'épaisseur cumulée correspond à la somme des passes élémentaires dont la profondeur est incluse dans la tranche considérée. Si une couche d'évaporites massives se termine en dessous de la limite inférieure d'une tranche, elle est considérée dans son épaisseur totale pour le cumul des épaisseurs.

Un jeu de données sur les puissances cumulées d'évaporites par tranche de profondeur a été ainsi constitué.

Traitement des données

L'objectif de la modélisation est de réaliser des cartes (grilles) des toits des formations géologiques porteuses d'évaporites pour 3 tranches de profondeurs (10-50 m, 10-100 m et 10-200 m), avec des mailles de 500 x 500 mètres pour déterminer les mailles contenant les formations susceptibles de contenir des évaporites en Champagne-Ardenne.

Les données bibliographiques et les données de forages ont montré que l'on trouve principalement des évaporites (massives ou disséminées) dans le Trias. Quelques forages ont montré que l'on pouvait en retrouver de manière disséminée dans d'autres formations.

- **Répartition des forages**

Pour réaliser ces cartes, nous avons utilisé les données de forages de la BSS et de LOGISO (Logs Géologiques Vérifiés ou LGV). Parmi ces LGV, certains sont des forages pétroliers. La répartition des LGV (ronds noirs) et des LGV pétroliers (ronds rouges) est présentée sur la figure ci-dessous.

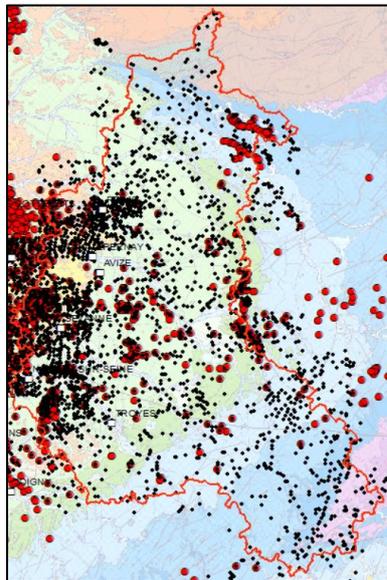


Figure 5 : Répartition des forages LGV

- **Qualité des données de forages**

Pour réaliser les cartes des toits et des épaisseurs, tous les Logs Géologiques Vérifiés disponibles, dont des Logs Géologiques Vérifiés de type « forages pétroliers » (nombreux au centre et jusqu'au nord de la région), ont été pris en compte dans les calculs. Pour certains d'entre eux, les profondeurs des passes ont pour origine la table de rotation qui peut être située à plusieurs mètres au-dessus du sol (5 m en moyenne, parfois 10 m). Pour d'autres, l'origine des profondeurs peut être le sol.

- **Formations retenues pour la réalisation des cartes**

Parmi les données des Logs Géologiques Vérifiés, une sélection des forages contenant l'information lithologique gypse, anhydrite, polyhalite (sulfate de potassium, calcium et magnésium) et sel ou halite, en les classant selon leur nature massive (gypse, halite, ...) ou disséminée (argile gypseuse, dolomie anhydritique, argile salifère, etc...) a été effectuée.

L'étude des Logs Géologiques Vérifiés montre que les principales formations qui sont porteuses d'évaporites dans la région Champagne-Ardenne sont celles du Keuper moyen (MittelKeuper), du Keuper inférieur (Lettenkohle) et du Muschelkalk moyen.

Bien que les principales formations porteuses d'évaporites soient d'âge Keuper moyen et Muschelkalk moyen, les cartes de profondeur des toits qui ont été réalisées dans cette étude sont celles du Keuper et du Muschelkalk (dans leur intégralité) afin d'être cohérent avec le modèle réalisé en Lorraine.

- **Formations non retenues**

Le Ludien

Une vérification de la partie frontalière avec l'Ile-de-France a été effectuée pour vérifier si du gypse était présent dans les formations du Ludien (Priabonien). L'étude des Logs Validés et les travaux de la thèse de Briais (2016) montrent qu'il n'y a pas de gypse en Champagne-Ardenne, que ce soit sous forme massive ou disséminé mais que l'on trouve des formations plutôt carbonatées (Calcaires de Champigny). On trouve les niveaux de gypse massifs dans la région de Château-Thierry, en Picardie et en Ile-de-France.

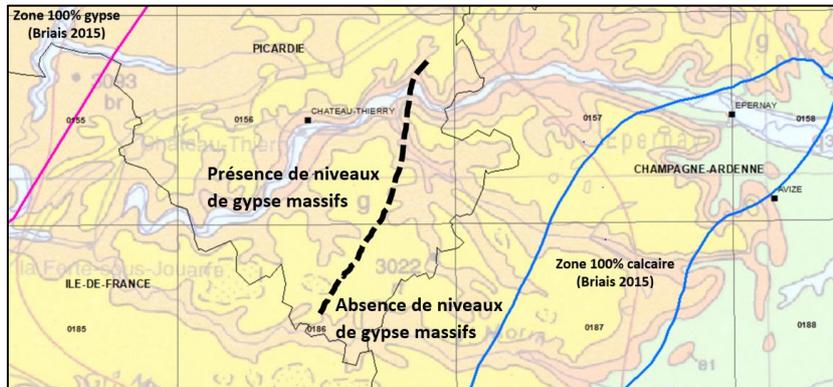


Figure 6 : Délimitations des niveaux de gypse massifs dans le Ludien (Briais, 2016)

- **Autres formations**

D'après les Logs Vérifiés consultés, on trouve également des évaporites dans des formations de l'Albien (Argiles du Gault, Marnes de Brienne, ...), de l'Aptien, du Barrémien, du Turonien et du Toarcien, mais seulement sous forme très disséminée (petits cristaux). Ces formations ne portant pas de niveaux d'évaporites massives, elles n'ont donc pas été retenues dans l'étude.

- **Limite d'extension**

La limite régionale Champagne-Ardenne a servi de limite d'extension pour les interpolations. En ce qui concerne la limite d'extension du Trias, nous avons utilisé la carte de la synthèse géologique du bassin de Paris pour limiter le toit du Keuper et du Muschelkalk dans la partie Nord (limite rose / blanc).

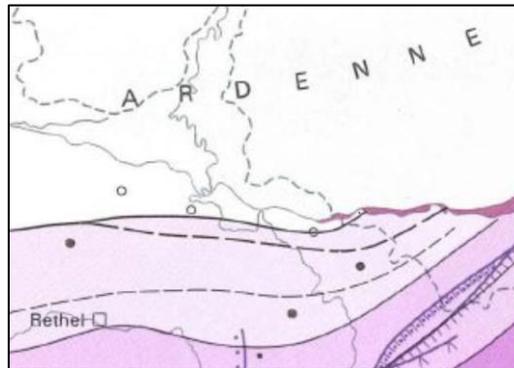


Figure 7 : Extrait de la carte du Trias de la limite des principaux faciès de la synthèse géologique du bassin de Paris (1980)

- **RÉSULTATS DES CARTES DE LA PROFONDEUR DES TOITS**

Toit du Keuper

On trouve principalement des évaporites (sel/halite) dans les formations du MittelKeuper supérieur (« Argiles de Chanville », « Marnes irisées supérieures », « Argiles bariolées dolomitiques ») et moyen (« Argiles bariolées intermédiaires », « Marnes irisées inférieures »), ainsi que de l'anhydrite dans les formations du Keuper inférieur (Lettenkohle). Nous avons choisi de modéliser le toit du Keuper dans son intégralité (Rhétien : « Argiles de Levallois », « Grès rhétiens », « Grès des Vosges », etc...) pour établir une correspondance avec le modèle réalisé en Lorraine. La répartition des Logs Géologiques Vérifiés et des points d'affleurement des cartes géologiques utilisés pour les calculs est présentée sur la figure suivante :

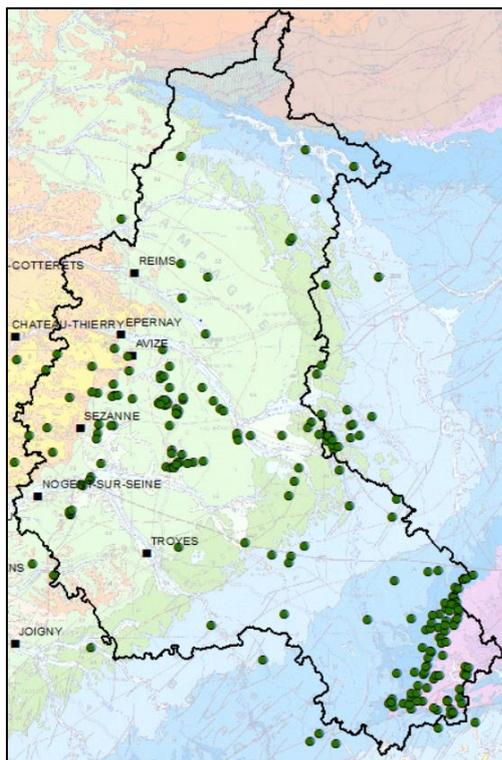


Figure 8 : Répartition des Logs Géologiques Vérifiés et des points d’affleurements des cartes géologiques utilisés pour le modèle du toit du Keuper

Dans la carte présentée ci-dessous, le Keuper affleure dans la partie Sud-Est.

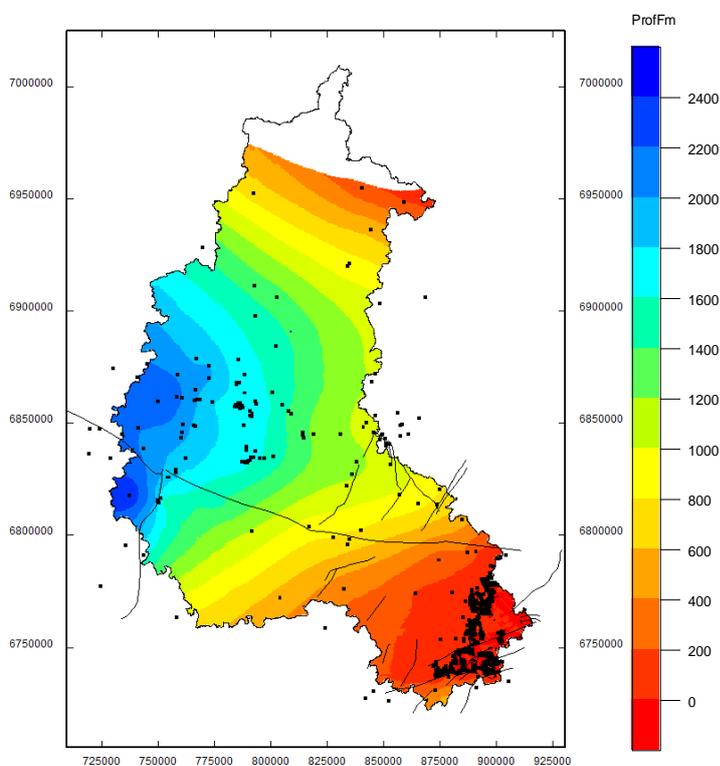


Figure 9 : Résultat de la modélisation du toit du Keuper

Toit du Muschelkalk

Bien que les principales formations porteuses d'évaporites se situent dans le Muschelkalk moyen (« Couches grises » et « Couches rouges de Lorraine » principalement), et comme pour le modèle Lorraine, nous avons choisi de modéliser le toit du Muschelkalk supérieur car des niveaux d'évaporites non négligeables y ont été décrits.

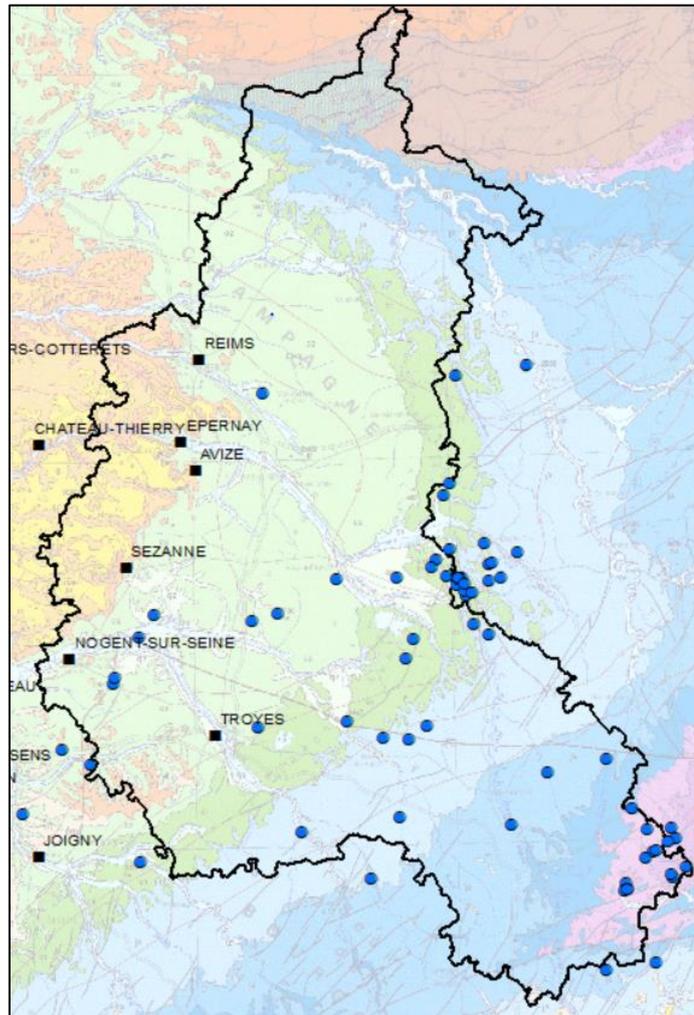


Figure 10 : Répartition des Logs Géologiques Vérifiés et des points d'affleurements des cartes géologiques utilisés pour le modèle du toit du Muschelkalk

Dans la carte présentée ci-dessous, le Muschelkalk affleure dans la partie Sud-Est.

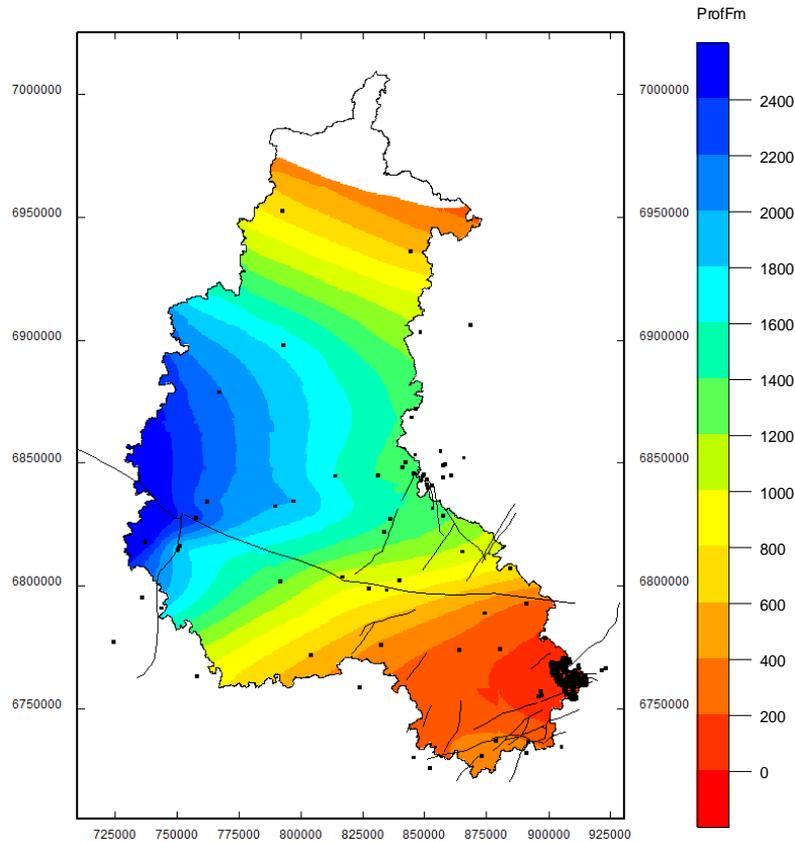


Figure 11 : Résultat de la modélisation du toit du Muschelkalk

La modélisation de la carte sur les puissances cumulées d'évaporites par tranche de profondeur n'a pas été utilisée pour l'étude des susceptibilités forte et moyenne car seuls sept sondages présentaient les caractéristiques d'évaporites massives dans la tranche de profondeur 0-200 m. Un seuil de forte susceptibilité a été appliqué autour des sondages ayant rencontrés des évaporites massives et traduit sous forme d'un cercle centré sur la position du sondage et de rayon égal à une zone d'influence forfaitaire de 2 500 mètres. Le seuil de forte susceptibilité a aussi été appliqué autour des anciennes carrières exploitées de gypse indiquées sur les cartes géologiques au 1/ 50 000 et dans la BSS, selon la méthode appliquée précédemment pour les sondages.

Les sondages ayant rencontré des évaporites disséminées ont permis de déterminer les zones de moyenne susceptibilité qui se traduisent aussi sous forme d'un cercle centré sur la position du sondage et de rayon égal à une zone d'influence forfaitaire de 2500 mètres.

Cartographie régionale du phénomène « affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques »

La susceptibilité du phénomène « affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques » a été cartographiée pour 3 gammes de profondeur : 10-50 m, 10-100 m, 10-200 m.

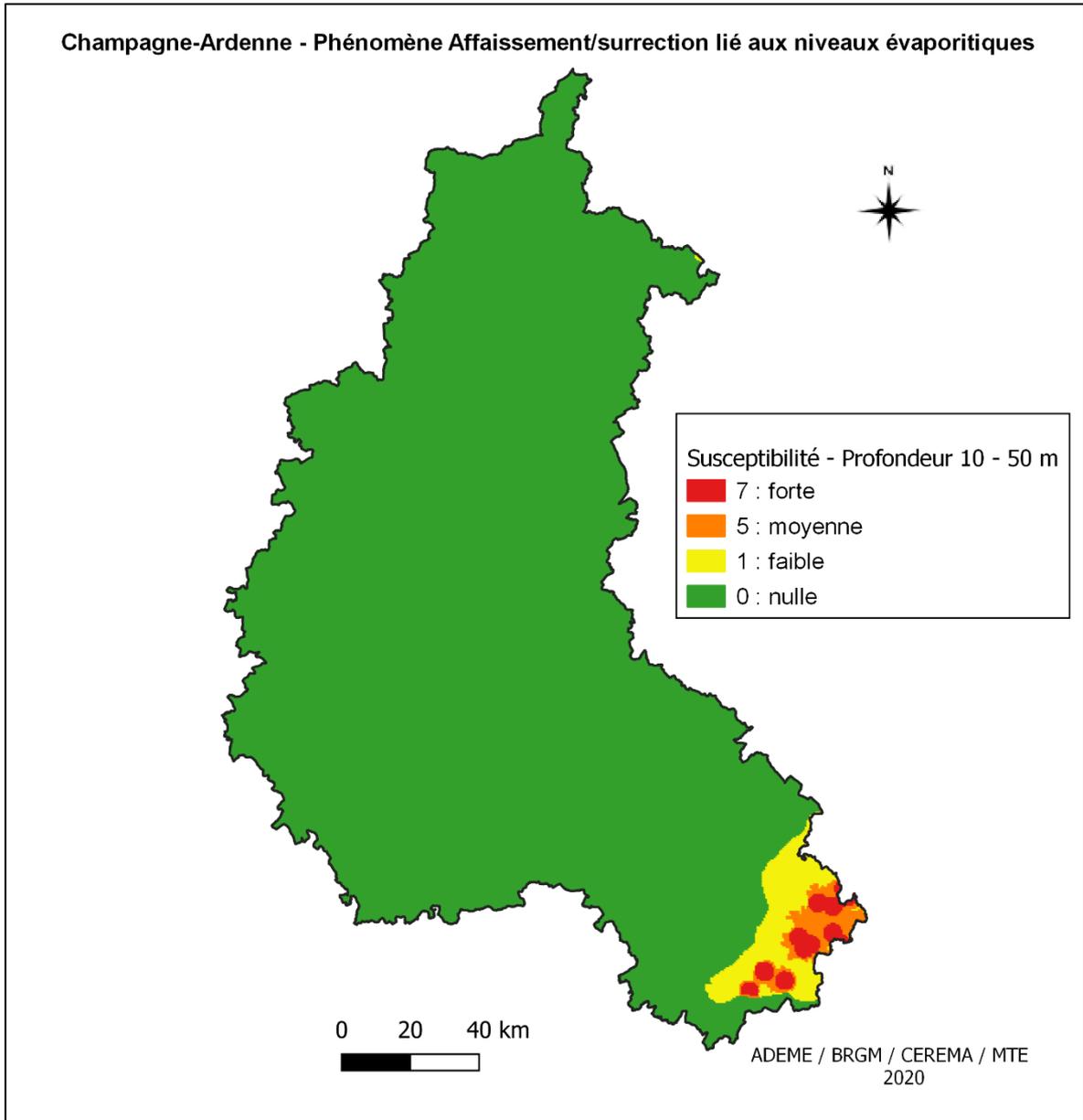


Figure 12 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Champagne-Ardenne pour une profondeur jusqu'à 50 m.

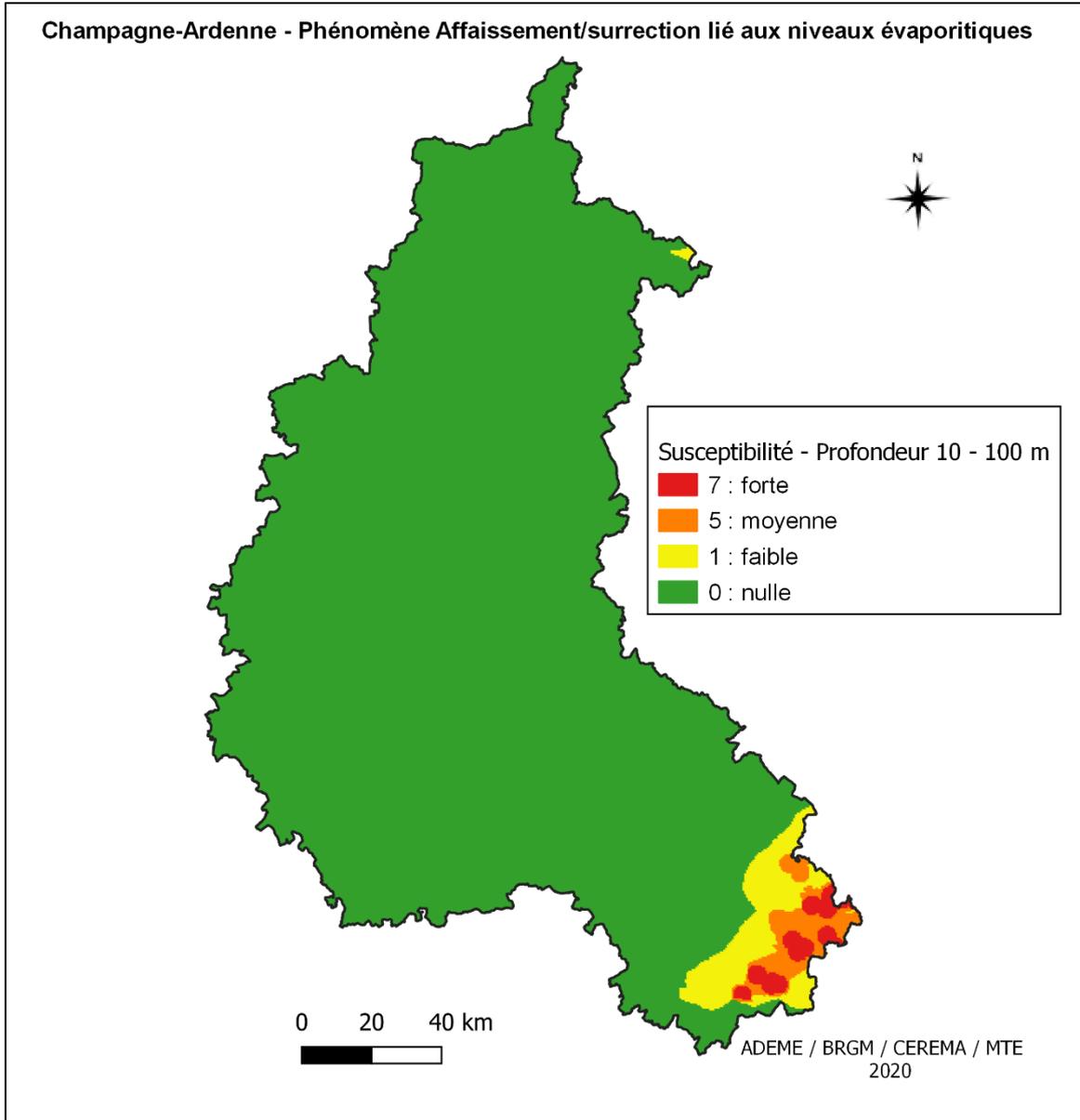


Figure 13 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Champagne-Ardenne pour une profondeur jusqu'à 100 m.

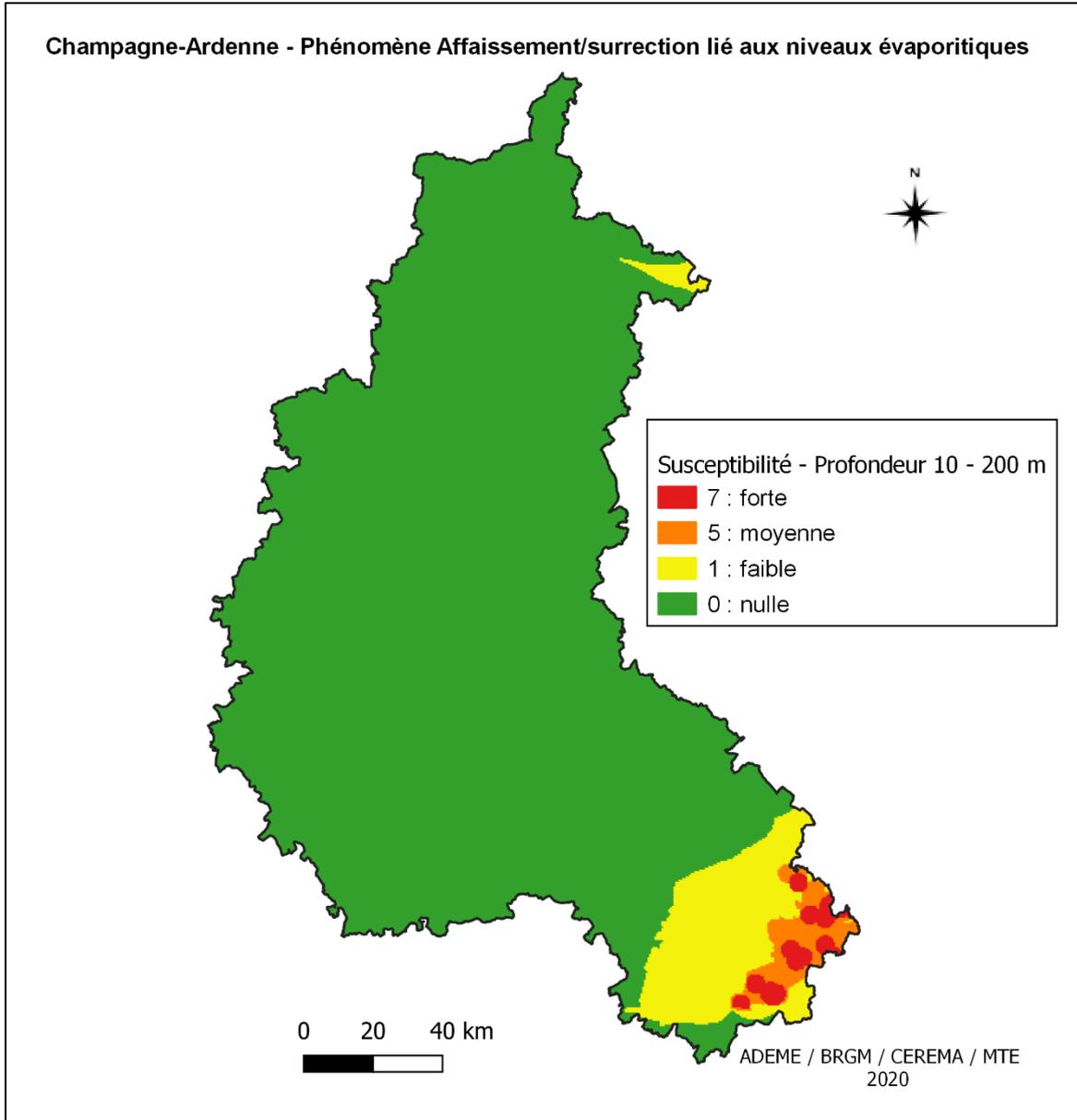


Figure 14 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Champagne-Ardenne pour une profondeur jusqu'à 200 m.

Pour établir la cartographie réglementaire, chaque niveau de susceptibilité a été pondéré par un facteur d'autant plus élevé que le niveau est fort.

Susceptibilité	Nul	Faible	Moyen	Fort
Facteur de pondération	0	1	5	7

Tableau 3 : Caractérisation du phénomène affaissement/surrection lié aux niveaux d'évaporites.

Compte tenu des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le facteur aggravant potentiel est estimé de **niveau fort** (6) pour les doublets sur nappe à **très fort** (10) pour les sondes géothermiques verticales (SGV).

4.2. AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIÉ AUX CAVITÉS (HORS MINES)

4.2.1. Phénomène redouté

Ces phénomènes d'affaissement ou d'effondrement pourraient être provoqués, 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 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).

Un exemple de désordres liés à une cavité a été identifié à Bromley en Grande-Bretagne. Une formation sableuse a progressivement glissé dans une cavités karstique sous-jacente. Il en a résulté un affaissement et des dégâts importants sur le bâti.

4.2.2. Carte nationale ou initiale à mettre à jour

La base de données BD Cavités mémorisant de façon homogène l'ensemble des cavités souterraines abandonnées en France métropolitaine "hors mines" a été utilisée, ainsi que les cartes géologiques au 1/50 000 pour les formations géologiques susceptibles de contenir des cavités (karsts).

Niveaux :

- 0 : Nombre de cavités recensées : entre 0 et 1 (pixel de 500*500 m) et pas de formation géologique susceptible d'en contenir ;
- 1 : Nombre de cavités recensées : entre 2 et 4 (pixel de 500*500 m) ou présence d'une formation géologique susceptible d'en contenir ;
- 2 : Nombre de cavités recensées : entre 5 et 8 (pixel de 500*500 m) ;
- 3 : Nombre de cavités recensées > 8 (pixel de 500*500 m).

4.2.3. Carte révisée Champagne-Ardenne

Qualification du phénomène à l'échelle régionale

Il existe 3 cartes d'aléas liées à ce phénomène en Champagne Ardennes : sur le secteur de Châlons-en-Champagne (51), sur une partie du territoire de la commune de Chancenay (52) et sur la commune d'Haybes (08).

En application de la méthodologie nationale, en présence d'une carte d'aléa, la qualification du phénomène est la suivante :

- **niveau fort** : zone potentiellement concernée par des effondrements localisés, généralisés ou en masse ;
- **niveau moyen** : zone potentiellement concernée par un aléa affaissement progressif ;
- **niveau faible** : zone concernée par des cavités mais qui ne peuvent engendrer que des mouvements résiduels de faible ampleur ou zone sans cavités connues mais susceptible d'en contenir (exemple de présence de formation carbonatée) ;
- **niveau nul** : zone non susceptible de contenir des cavités.

Les deux cartes d'aléas disponibles en Champagne Ardenne ne distinguent pas les types de mouvements de terrains générés par la présence de cavités (effondrement, affaissement, etc.). La méthodologie a donc été adaptée pour qualifier l'aléa « GMI » à partir des cartes d'aléas des Plans de Prévention des Risques cavités souterraines (PPR). Dans un souci de représentativité de l'aléa « cavité géothermie » et de prise en compte de la susceptibilité de présence de cavités, la qualification du phénomène a été établie comme suit :

Secteur de Châlons-en-Champagne :

- **niveau fort** : zones concernées par un aléa fort ou très fort sur la carte d'aléa du PPR ;
- **niveau moyen** : zones concernées par un aléa moyen sur cavités avérées ou aléa moyen susceptible de contenir des cavités sur la carte d'aléa PPR ;
- **niveau Faible** : zones concernées par un aléa faible et zones concernées par un aléa supposé nul à faible sur la carte d'aléa PPR.

Commune de Chancenay :

- **niveau fort** : zones concernées par un aléa fort sur la carte d'aléa du PPR ;
- **niveau moyen** : zones concernées par un aléa moyen ou un aléa Faible à moyen sur la carte d'aléa PPR ;
- **niveau faible** : zones concernées par un aléa nul à faible sur la carte d'aléa PPR.

Pour les ardoisières d'Haybes (08), la qualification du phénomène a été établie comme suit :

- **niveau fort** : zone potentiellement concernée par des effondrements localisés, généralisés ou en masse ;
- **niveau moyen** : zone potentiellement concernée par un aléa affaissement progressif ;
- **niveau faible** : zone concernée par des cavités mais qui ne peuvent engendrer que des mouvements résiduels de faible ampleur ou zone sans cavités connues mais susceptible d'en contenir ;
- **niveau nul** : zone non susceptible de contenir des cavités.

À noter que le rapport BRGM n'identifie pas de zones concernées par des mouvements résiduels de faible ampleur.

En dehors des territoires couverts par les cartes d'aléas, ce phénomène est qualifié en fonction de sa susceptibilité (probabilité d'occurrence). Elle est basée sur la densité de cavités recensées dans un pixel de 500 m par 500 m ainsi que sur la présence de formations géologiques susceptibles de contenir des cavités.

- **susceptibilité forte** : Nombre de cavités recensées > 8 (pixel de 500*500 m) ;
- **susceptibilité moyenne** : Nombre de cavités recensées : entre 5 et 8 (pixel de 500*500 m) ;
- **susceptibilité faible** : Nombre de cavités recensées : entre 2 et 4 (pixel de 500*500 m) ou présence d'une formation géologique susceptible d'en contenir ;
- **susceptibilité nulle** : Nombre de cavités recensées : entre 0 et 1 (pixel de 500*500 m) et pas de formation géologique susceptible d'en contenir.

Sur le territoire couvert par la cartographie de la susceptibilité de présence de cavités souterraines à Reims, Bezannes, Cormontreuil et Saint-Léonard (51), le phénomène affaissement / effondrement lié aux cavités souterraines a été qualifié de la façon suivante :

- **niveau fort** : zones concernées par une susceptibilité forte ou très forte ;
- **niveau moyen** : zones concernées par une susceptibilité moyenne ;
- **niveau faible** : zones concernées par une susceptibilité faible.

Données utilisées à l'échelle régionale

Les données utilisées en Champagne-Ardenne sont :

- la carte d'aléa cavités souterraines de la commune de Chancelay (52) réalisée par le BRGM dans le cadre de l'élaboration du PPR mouvements de terrains sur cette commune (Rapport BRGM/RP-52789-FR, 2003) ;
- la carte d'aléa cavités souterraines réalisée par le BRGM dans le cadre de l'élaboration du PPR cavités du secteur de Chalons-en-Champagne (51), qui couvre les communes de Compertrix, Coolus, Fagnières, Recy, Saint-Gibrien, Saint-Martin-sur-le-Pré, Saint-Memmie et Sarry (Rapport BRGM/RP-59896-FR, 2011) ;
- la cartographie de l'aléa effondrement sur le bassin de Haybes (08) réalisée par le BRGM (Rapport BRGM/RP-68690-FR, 2019) ;
- la BD Cavités (Les enregistrements sont disponibles depuis le site <https://www.georisques.gouv.fr> au format csv). Afin de disposer des fichiers exhaustifs contenant les précisions de localisation, une extraction spécifique a été fournie en mars 2020 par les gestionnaires de la base au BRGM Orléans ;
- la BD MVT : les enregistrements ont été réalisés à partir du site BDMVT en novembre 2019 : <https://saisiebdmvt.brgm.fr/MvtTerrain/>. Le CEREMA étant partenaire du BRGM pour l'alimentation de la base de données mouvements de terrain, Le site de saisie a été utilisé préférentiellement à Géorisques pour permettre l'exhaustivité des données et vérifier notamment les données mal ou non localisées. La carte géologique harmonisée à échelle de 1/50 000 (données vectorisées) ;
- la cartographie de la susceptibilité de présence de cavités souterraines à Reims, Bezannes, Cormontreuil et Saint-Léonard (51) (Rapport BRGM/RP-67746-FR, 2018).

Traitement spécifique des données :

L'ensemble des données issues des bases BD cavité et BD MVT ont fait l'objet d'une vérification de localisation en les croisant notamment avec la BDTOPO pour vérifier la commune de rattachement. Les corrections nécessaires ont été apportées le cas échéant en utilisant les informations contenues dans les fiches détaillées des bases de données, et ponctuellement les archives papier du BRGM issues de inventaires départementaux et de l'établissement de la base de données cavités.

Les données non localisées (qui n'apparaissent pas sur les sites d'information publics en raison de l'imprécision de localisation) et qui sont associées aux coordonnées du centroïde de la commune, n'ont pas été prises en compte pour le calcul de la densité de cavités.

Les données utilisées issues de la BD MVT sont les effondrements de terrain, qui peuvent être dus à la présence d'une cavité. Afin d'éviter d'éventuels doublons d'informations entre la BD cavités et la BDMVT qui engendreraient une augmentation « artificielle » de la densité de cavité par maille, les données ont été traitées spécifiquement. Une recherche des entités BD cavités et BD MVT situés à une distance de moins de 25 m (précision de localisation des cavités lors de l'établissement des bases de données) a été réalisée. Il a été convenu que si deux entités de même nature (effondrement) se situaient à moins de 25 m l'une de l'autre, une seule des deux était conservée, celle issue de la BD cavité qui en général a une meilleure précision (mise à jour plus récente de la BD cavités sur la région).

Le substratum de l'ex-région Champagne-Ardenne est constitué majoritairement (à l'exception du massif ardennais) de terrains calcaires susceptibles de contenir des cavités souterraines. La prise en compte d'un aléa faible pour toutes les formations calcaires en plus de la prise en compte de la densité des entités des bases de données cavités et mouvements de terrain, conduirait à générer un niveau d'aléa « artificiellement » plus élevé. Pour définir un aléa affaissement / effondrement lié aux cavités souterraines représentatif de la réalité et dans un souci de cohérence avec les cartes régionales limitrophes (Ile de France, Lorraine) il a été convenu de ne pas prendre en compte la susceptibilité de présence de cavités liées aux informations sur le substratum de la carte géologique harmonisée.

À l'issue de la réalisation d'une première version des cartes d'aléas, il a été convenu de prendre en compte la carte de susceptibilité de cavités souterraines de la commune de Reims, plus représentative que le calcul de densité de cavités par maille de 500 m par 500 m à partir des bases de données dans ce secteur.

Toujours dans un souci de représentativité de l'aléa affaissement / effondrement lié aux cavités souterraines hors mines, des corrections du niveau d'aléa par maille ont été faites :

- dans le secteur de Reims pour prendre en compte la transition entre les mailles couvertes par la carte de susceptibilité de cavités souterraines et les mailles couvertes par les bases de données ;
- dans les communes d'Epernay, Ay-Champagne et Châlons-en-Champagne, pour prendre en compte l'extension des nombreuses caves à champagne sur des distances supérieures à 50 m (localisées dans la BD cavité par l'entrée des caves), l'aléa des mailles contenant une seule cave est modifié en susceptibilité faible lorsque la susceptibilité était nulle.

Lorsque qu'une carte d'aléa cavités souterraines existe, l'aléa est traduit cartographiquement en reprenant les contours des zones d'aléas qui intègrent déjà la précision de positionnement.

Le même principe a été repris pour le report cartographique des zones de susceptibilité de présence de cavités souterraines du secteur de Reims.

L'aléa affaissement/effondrement lié aux cavités est traduit sous forme d'un cercle centré sur la position présumée de la cavité et de rayon égal à :

- soit la zone d'influence réelle de la cavité (extension de la cavité si connue ou calculée à partir du diamètre, de la profondeur et d'un angle d'influence de 45 degrés pour les effondrements), augmentée de la précision de positionnement ;
- soit une zone d'influence forfaitaire de 50 m, augmentée de la précision de positionnement.

Cartographie régionale du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités non minières »

Les cavités souterraines non minières peuvent être d'origine naturelle (cavités karstiques) ou creusées par l'homme (extraction de matériaux, ouvrages de guerre, etc.)

La majeure partie des cavités souterraines liées à d'anciennes extractions de matériaux (crayères / caves de Champagne, pierre de taille dans les calcaires du lutétien, ardoisières,...) ou les anciens ouvrages civils et militaires (caves, sapes de guerres, tranchées de la première guerre mondiale) se situant dans la tranche de profondeur 0-50 m, l'aléa déterminé a été appliqué aux 3 tranches de profondeur considérées par la méthodologie (10-50, 10-100 et 10-200 m) suivant la règle d'héritage de l'aléa de la zone sus-jacente lorsque celui-ci est plus élevé.

Il est convenu en termes de représentation, qu'un aléa élevé, présent en surface, c'est-à-dire dans le niveau de 10 m à 50 m de profondeur, décrit un risque pour la réalisation d'un ouvrage de GMI dans cette tranche d'épaisseur. Tout ouvrage qui traverse cette tranche d'épaisseur, c'est-à-dire les niveaux 10 m -100 m et 10 m - 200 m est soumis à l'aléa de la première zone. Cette règle d'héritage de l'aléa le plus élevé de la couche sus-jacente pour la restitution finale de la carte finale des zones peut se schématiser dans ce cas de la manière suivante : si l'aléa de la zone 10 m - 50 m est supérieur aux aléas des zones suivantes, alors il s'impose aux zones plus profondes et les cartes d'aléas sont identiques.

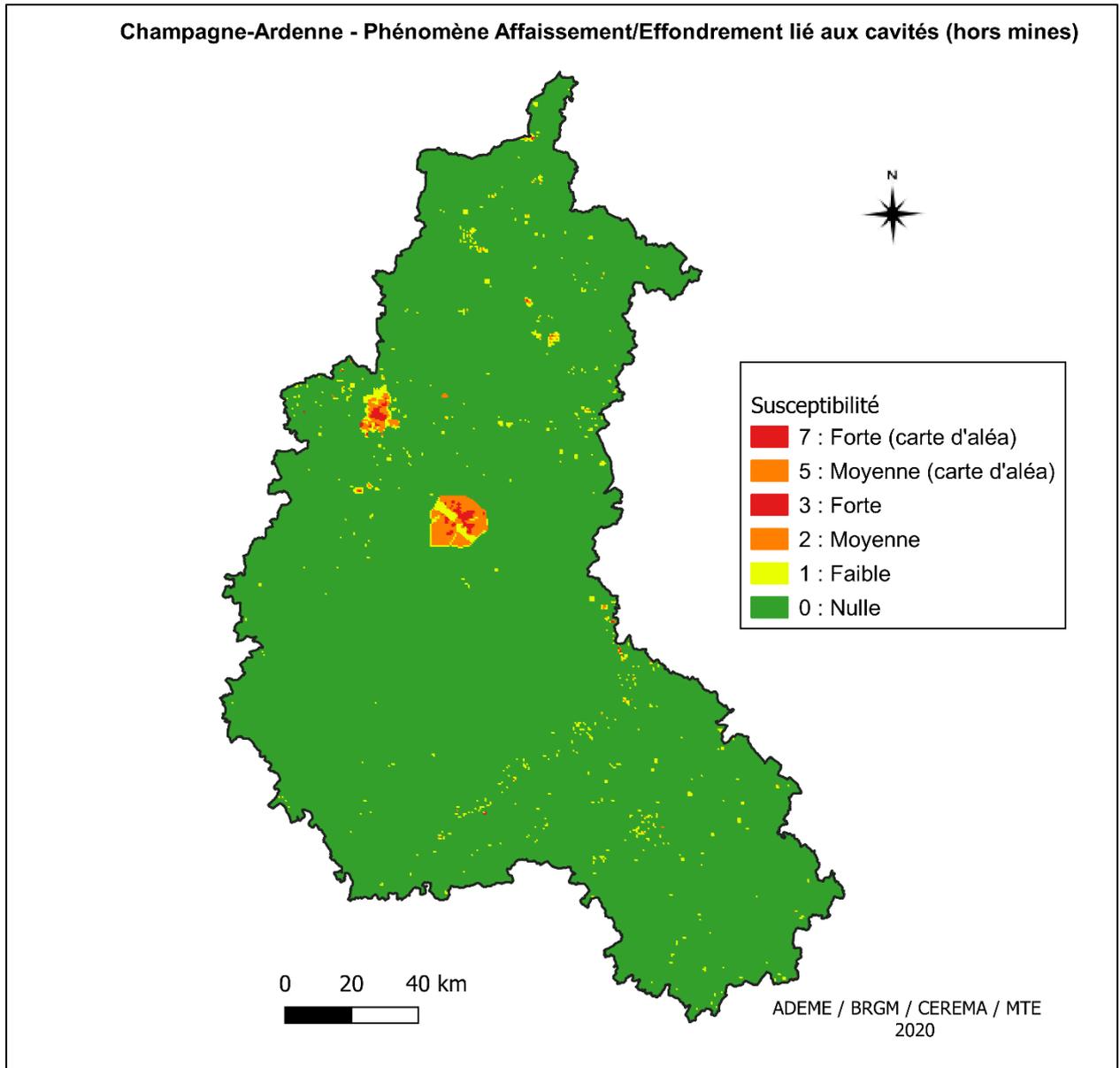


Figure 15 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) en Champagne-Ardenne

Pour établir la cartographie réglementaire, chaque niveau de susceptibilité a été pondéré d'une valeur d'autant plus élevée que le niveau est fort.

Susceptibilité	Nul	Faible	Moyen	Fort
Valeur du niveau d'aléa lorsqu'une carte d'aléa est disponible	0	1	5	7
Valeur du niveau d'aléa à partir des bases de données (BD Cavités et BD MVT)	0	1	2	3

Tableau 4 : Caractérisation du phénomène effondrement/affaissement lié aux cavités non minières

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 nappe et les sondes géothermiques verticales.

4.3. AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIÉ AUX CAVITÉS MINIÈRES

4.3.1. Phénomène redouté

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 induisent 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'affaissements / effondrement dans les zones concernées par les 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. Carte nationale ou initiale à mettre à jour

Au niveau national, les données de la base « Mines et exploitations » qui contient les sites miniers ayant fait l'objet d'exploitations à une époque quelconque ont été utilisées. Un rayon d'influence de 5 km a été pris en compte.

Niveaux :

- 0 : Pas de site minier recensé dans un rayon de 5 km ;
- 1 : un ou plusieurs sites miniers recensés dans un rayon de 5 km.

4.3.3. Carte révisée Champagne-Ardenne

Qualification du phénomène à l'échelle régionale

En Champagne-Ardenne, il n'existe pas de grands bassins miniers ayant fait l'objet d'études détaillées des aléas par Géodéris. En revanche certaines couches géologiques ont fait l'objet d'exploitations minières ponctuelles (horizons ferrifères dans les calcaires du Jurassique inférieur ou moyen, divers métaux dans les Ardennes).

En l'absence de cartographie de l'aléa, on distinguera :

- les zones influencées par les exploitations où le phénomène d'affaissement/ effondrement ne peut être écarté *a priori*. Compte tenu de l'imprécision des données (voir ci-dessous), la susceptibilité (probabilité d'occurrence) sera considérée comme faible ;
- les zones non influencées par les exploitations où le phénomène d'affaissement/ effondrement peut être écarté *a priori*, la susceptibilité est considérée comme nulle.

Données utilisées en Champagne-Ardenne

Les données utilisées pour l'ex-région Champagne-Ardenne sont :

- la base de données Sigmimes des « Mines et exploitations » gérée par le BRGM ;
- les données traitées de la carte d'aléa du phénomène affaissement / effondrement cavités minières de Lorraine pour prendre en compte les zone d'influences des mines ou exploitations limitrophes de la Champagne-Ardenne ;
- les gîtes miniers exploités référencés dans la banque de données du sous-sol BSS gérée par le BRGM.

Traitement des données

Les données de type « indice » ont été écartées de l'étude car elles correspondent à des indices géologiques d'existence d'une ou plusieurs substances minières qui n'ont pas systématiquement fait l'objet d'une exploitation ultérieure. En revanche les données de type « gîte » ou « exploitation » ont été utilisées après un traitement des doublons éventuels (certains sites miniers pouvant être référencés dans les deux catégories).

Les gîtes miniers référencés dans la BSS mais non exploités ont été exclus.

Une zone tampon de 5 000 m a été tracée autour de l'emplacement présumé des mines, afin de couvrir la zone potentiellement influencée par les exploitations.

Cartographie du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Champagne-Ardenne

La susceptibilité du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières » a été cartographiée pour 3 gammes de profondeur : 10-50 m, 10-100 m, 10-200 m.

Les exploitations recensées dans la base mines et exploitations possèdent probablement des galeries, descenderies ou autres ouvrages à faible profondeur dans la tranche 10-50 m. En l'absence de connaissance détaillée de ces exploitations sur des profondeurs plus importantes, l'aléa déterminé a été appliqué aux 3 tranches de profondeur considérées par la méthodologie (10-50, 10-100 et 10-200 m) suivant la règle d'héritage de l'aléa de la zone sus-jacente lorsque celui-ci est plus élevé.

Il est convenu en termes de représentation, qu'un aléa élevé, présent en surface, c'est-à-dire dans le niveau de 10 m à 50 m de profondeur, décrit un risque pour la réalisation d'un ouvrage de GMI dans cette tranche d'épaisseur. Tout ouvrage qui traverse cette tranche d'épaisseur, c'est-à-dire les niveaux 10 m -100 m et 10 m - 200 m est soumis à l'aléa de la première zone. Cette règle d'héritage de l'aléa le plus élevé de la couche sus-jacente pour la restitution finale de la carte finale des zones peut se schématiser dans ce cas de la manière suivante : si l'aléa de la zone 10 m - 50 m est supérieur aux aléas des zones suivantes, alors il s'impose aux zones plus profondes et les cartes d'aléas sont identiques.

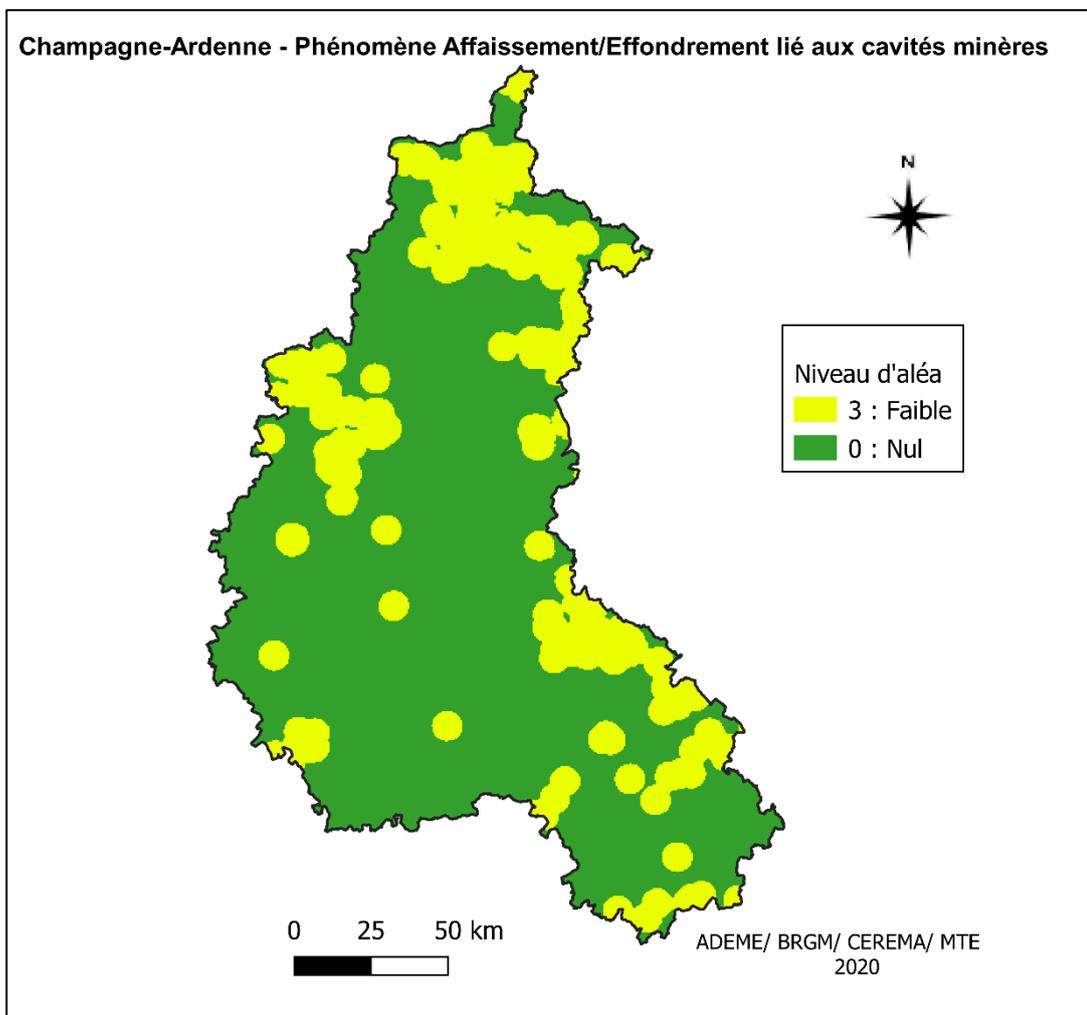


Figure 16 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Champagne-Ardenne.

Pour établir la cartographie réglementaire, chaque niveau de susceptibilité a été pondéré par un facteur d'autant plus élevé que le niveau est fort. Le facteur de pondération est également fonction de la précision des données de départ.

Par manque de connaissances, les niveaux moyens et forts ne pourront pas être définis pour les sites figurant dans la base de données « Mines et exploitations ».

Aussi, la pondération du niveau faible a été augmentée par rapport aux cartes d'aléa pour prendre en compte que, localement, la configuration correspondant au niveau fort des cartes d'aléa pourrait être rencontrée dans les zones d'influence des exploitations recensées de la base « Mines et exploitations ».

Niveaux aléa / susceptibilité du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort
Valeur du niveau d'aléa à partir de cartes d'aléa minier (sans objet en Champagne-Ardenne)	0	1	5	7
Valeur du niveau d'aléa à partir de la base « Mines et exploitations »	0	3	--	--

Tableau 5 : Caractérisation du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités minières.

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 nappe et les sondes géothermiques verticales.

4.4. MOUVEMENTS DE TERRAIN (GLISSEMENT)

4.4.1. Phénomène redouté

Le phénomène correspond au glissement 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 ce type de phénomène. Il en est de même pour la mise en communication avec des eaux superficielles ou souterraines ou le fluide caloporteur. Un tel phénomène est donc susceptible de se produire pendant la foration ou durant l'exploitation géothermique.

En présence d'une nappe captive, un phénomène de glissement de terrain peut se produire en cas de percement non contrôlé de l'aquifère, avec un processus de saturation d'une couche supérieure qui ne l'était pas, ce qui, selon les couches lithologiques affectées et la géométrie de celles-ci, 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 que l'impact de la géothermie sur ce phénomène est limité.

4.4.2. Carte nationale ou initiale à mettre à jour

La qualification du phénomène est basée sur les données de la BDMVT. Cette base de données recense 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.

Niveaux d'aléa / de susceptibilité du phénomène :

- 0 : pas de mouvements de terrain recensés (pixel 500*500 m) ;
- 1 : 1 à 4 glissements recensés (pixel 500*500 m) ;
- 2 : 5 à 8 glissements recensés (pixel 500*500 m) ;
- 3 : plus de 8 glissements recensés (pixel 500*500 m).

4.4.3. Carte révisée Champagne-Ardenne

Qualification du phénomène à l'échelle régionale

En Champagne-Ardenne, certaines communes ou groupes de communes ont fait l'objet d'une cartographie de l'aléa glissements de terrain.

Aussi, en fonction des données initiales disponibles, le phénomène mouvements de terrain a été qualifié différemment.

En présence d'une cartographie de l'aléa, la qualification est la suivante :

- **niveau fort** : dans les zones cartographiées en aléa « fort » ;
- **niveau moyen** : dans les zones cartographiées en aléa « moyen » ;
- **niveau faible** : dans les zones cartographiées en aléa « faible » ;
- **niveau nul** : dans les zones cartographiées en aléa « nul ».

En l'absence de cartographie de l'aléa, le phénomène est qualifié en fonction de sa susceptibilité (probabilité d'occurrence). Elle est basée sur la densité de mouvements de terrain recensés dans un pixel de 500 m par 500 m.

- **susceptibilité forte** : plus de 8 glissements recensés (pixel 500*500 m) ;
- **susceptibilité moyenne** : 5 à 8 glissements recensés (pixel 500*500 m) ;
- **susceptibilité faible** : 1 à 4 glissements recensés (pixel 500*500 m) ;
- **susceptibilité nulle**: pas de mouvements de terrain recensés (pixel 500*500 m).

Données utilisées en Champagne-Ardenne

Les données utilisées pour l'ex-région Champagne-Ardenne sont :

- la cartographie des aléas glissement de terrain et chute de blocs rocheux, versants des communes de Fontaine et Bar-sur-Aube (10) réalisée par le BRGM : rapport BRGM/RP-65268-FR ;
- la cartographie de l'aléa mouvements de terrain Côte d'Ile de France réalisée par le BRGM : rapports BRGM/RP-54064-FR, BRGM/RP-55189-FR et BRGM /RP-57666-FR ;
- la cartographie de l'aléa mouvements de terrain, Communes de Louvières et Nogent (52) réalisée par le BRGM : rapport BRGM/RP-57261-FR ;
- la BD MVT : les enregistrements ont été réalisés à partir du site BDMVT en novembre 2019 : <https://saisiebdmvt.brgm.fr/MvtTerrain/>. Le CEREMA étant partenaire du BRGM pour l'alimentation de la base de données mouvements de terrain, le site de saisie a été utilisé préférentiellement à Géorisques pour permettre l'exhaustivité des données et vérifier notamment les données mal ou non localisées ;
- la carte géologique harmonisée à échelle de 1/50 000 (données vectorisées BdCharm-50).

Traitement des données

Les données issues de la base BD MVT ont fait l'objet d'une vérification de localisation en les croisant notamment avec la BDTOPO pour vérifier la commune de rattachement. Les corrections nécessaires ont été apportées le cas échéant en utilisant les informations contenues dans les fiches détaillées de la base de données.

Les données non localisées (qui n'apparaissent pas sur les sites d'information publics en raison de l'imprécision de localisation) et qui sont associées aux coordonnées du centroïde de la commune, n'ont pas été prises en compte pour le calcul de la densité de mouvements de terrain.

Cependant, 34 glissements, enregistrés avec une précision « commune » dans la base, ont pu être relocalisés car situés et représentés sur la carte géologique au 1/50 000, feuille de Monthois (dans le secteur de Grandham et Châtel Chéhéry). Ils ont été intégrés avec une précision de positionnement de 100 mètres.

Les glissements de terrain recensés dans la BD MVT, sont représentés sous forme de points autour desquels a été tracée une zone tampon, de rayon égal à une zone d'influence forfaitaire de 100 m, augmentée de la précision de positionnement.

Les glissements de terrain dont les dimensions sont précisées dans la base de données sont représentés par des points autour desquels est tracée une zone tampon, de rayon égal à la plus grande dimension connue du glissement augmentée de la précision de positionnement.

Lorsque qu'une carte d'aléa mouvements de terrain existe, l'aléa est traduit cartographiquement en reprenant les contours des zones d'aléas qui intègrent déjà la précision de positionnement.

Cartographie du phénomène glissements de terrain en Champagne-Ardenne

Les glissements de terrain étant des phénomènes superficiels, apparaissant en surface et impactant des profondeurs inférieures à 50 m, l'aléa déterminé a été appliqué aux 3 tranches de profondeur considérées par la méthodologie (10-50, 10-100 et 10-200 m) suivant la règle d'héritage de l'aléa de la zone sus-jacente lorsque celui-ci est plus élevé.

Il est convenu en termes de représentation, qu'un aléa élevé, présent en surface, c'est-à-dire dans le niveau de 10 m à 50 m de profondeur, décrit un risque pour la réalisation d'un ouvrage de GMI dans cette tranche d'épaisseur. Tout ouvrage qui traverse cette tranche d'épaisseur, c'est-à-dire les niveaux 10 m - 100 m et 10 m - 200 m est soumis à l'aléa de la première zone. Cette règle d'héritage de l'aléa le plus élevé de la couche sus-jacente pour la restitution finale de la carte finale des zones peut se schématiser dans ce cas de la manière suivante : si l'aléa de la zone 10 m - 50 m est supérieur aux aléas des zones suivantes, alors il s'impose aux zones plus profondes et les cartes d'aléas sont identiques.

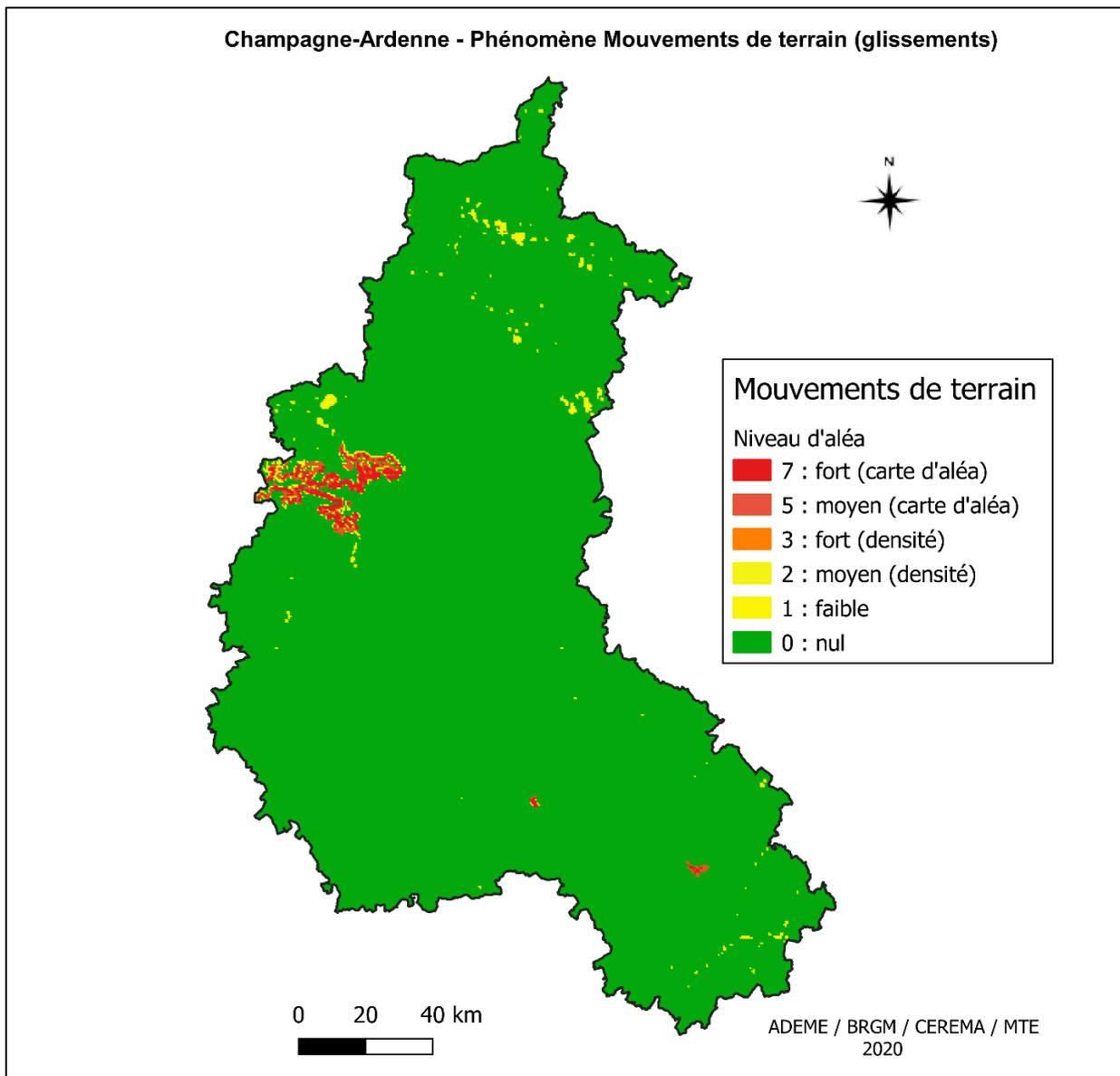


Figure 17 : Cartographie du phénomène mouvement de terrain (glissement) en Champagne-Ardenne.

Pour établir la cartographie réglementaire, chaque niveau de susceptibilité a été pondéré par un facteur d'autant plus élevé que le niveau est fort.

Les facteurs de pondération sont également fonction de la précision des données de départ. Les niveaux d'aléa définis à l'issue d'une étude spécifique auront un poids plus fort que ceux issus d'un simple traitement statistique.

Niveaux aléa / susceptibilité du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort
Cartes d'aléa glissements de terrain	0	1	5	7
Cartes de densité basées sur la BDMVT	0	1	2	3

Tableau 6 : Caractérisation du phénomène mouvements de terrain (glissement).

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 nappe et les sondes géothermiques verticales.

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. POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES SOUTERRAINES

4.5.1. Phénomène redouté

Le phénomène « 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 la 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. Carte nationale ou initiale à mettre à jour

Au niveau national, seul les sites et sols pollués issus de BASOL ont été utilisés. Les pondérations propres à caractériser les niveaux sont définis selon différentes informations obtenus par la base BASOL transmise par le ministère :

Une distinction est faite sur le type de polluants en considérant de façon plus importante les sites avec des polluants non métalliques (hors Mercure). Les pollutions sont listées dans quatorze colonnes respectives « polluants sols et nappe » et « Polluant nappes » :

- Hg (Mercure) ;
- Sulfates, Chlorures, Ammonium ;
- BTEX, Hydrocarbures, TCE, H A P, PCB, PCT ;
- Solvants halogénés et Solvants non halogénés ;
- Pesticides.

Ces sites sont classés en classe moyen (niveau 4) ou en classe forte (niveau 6) lorsqu'un impact direct a été constaté dans les eaux souterraines (source : colonne « Impacts constatés___Teneurs anormales dans les eaux souterraines » dans la base BASOL)

Les sites présentant uniquement des polluants de type métallique sont classés au niveau 1.

Les sites classés comme :

- site « banalisable » (pour un usage donné), pas de contrainte particulière après diagnostic, ne nécessite pas de surveillance ;
- site libre de toutes restrictions, travaux réalisés, aucune restriction, pas de surveillance nécessaire ;

n'ont pas été retenus (511 points).

Niveaux :

- **0** : pas de sites BASOL répertoriés ou présence d'un site BASOL classé comme traité et libre de toute restriction ;
- **1** : présence d'un site BASOL présentant une pollution d'origine métallique ;
- **4** : présence d'un site BASOL présentant une pollution d'origine non métallique (ou mercure) ;
- **6** : pollution avérée de la nappe à partir des données BASOL.

L'inventaire au niveau national des panaches de pollution dans les eaux souterraines n'est pas disponible actuellement. Il existe des zones de pollutions très importantes non encore cartographiées ou non validées, par exemple dans la vallée du Rhône et dans les régions PACA, Alsace

Sur environ 5000 sites BASOL transmis, les 2/3 sont cartographiés selon un point spécifique du site industriel. La localisation d'environ du tiers restant est limitée à la connaissance de la commune.

En cas de localisation exacte (correspondant à env. 3000 cellules) l'emplacement d'un site BASOL dans une cellule de grille permet de classer la cellule selon le niveau de susceptibilité la plus importante rencontré.

En cas de localisation par centroïde de la commune, le site BASOL impacte la totalité des cellules situées dans la commune avec un niveau de susceptibilité faible (quel que soit le niveau du site). En conséquence, 617 sites présentant une pollution avérée de la nappe (niveau 6) sont reclassés en niveau 1 afin de ne pas impacter trop fortement l'ensemble de la commune, tout en conservant l'information.

Remarque concernant la base BASOL :

Pour certains sites, plusieurs coordonnées existent et ne sont pas toujours en cohérence (projection en Lambert II étendu ou Lambert 93 pour le centroïde de l'installation ou l'adresse et à défaut le centroïde de la commune). Une vérification systématique a été entreprise de manière à s'assurer, *a minima*, que le site soit localisé dans la commune correspondante.

4.5.3. Carte révisée Champagne-Ardenne

Qualification du phénomène à l'échelle régionale

En Champagne-Ardenne, 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.

En région Champagne-Ardenne il n'y a pas de panache de pollution connu, il n'existe donc pas de modélisation et de cartographie d'éventuels panaches de pollution.

Le phénomène « pollutions des sols et des nappes souterraines » a été donc qualifié en fonction de sa susceptibilité (probabilité d'occurrence) :

- **susceptibilité forte** : pollution avérée de la nappe à partir des données BASOL et présence d'aquifère ;
- **susceptibilité moyenne** : présence d'un site BASOL et présence d'aquifère ;
- **susceptibilité faible** : présence d'un site BASOL et absence d'aquifère ;
- **susceptibilité nulle** : pas de sites BASOL répertoriés.

Lorsque des secteurs d'information sur les sols (SIS) ont été élaborés, le niveau de susceptibilité du phénomène « Pollution des sols et des nappes d'eau souterraines » prend en compte les paramètres suivants :

- la connaissance ou pas de l'existence d'une pollution des sols et/ou de la nappe d'eau (pollution avérée, pollution non exclue, pollution exclue) ;
- la nature des polluants en présence ;
- si les terrains ou la nappe d'eau ont fait l'objet d'une réhabilitation, il convient de distinguer si la réhabilitation des sols et/ou des nappes d'eau a été effectuée en vue d'un usage d'habitation ou équivalent, ou d'un usage d'activités ou équivalent (industrielle, artisanale, ...). Seules les réhabilitations réalisées sont à considérer (à défaut des réhabilitations identifiées comme « en cours » ou « à définir »). Lorsque le nouvel usage n'est pas connu, le niveau « activité ou équivalent » est retenu.

Données utilisées en Champagne-Ardenne

- données issues de la base de données 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/>) . Cette base est mise à jour régulièrement, les données utilisées pour la cartographie du phénomène pollution des sols sont issues de l'extraction effectuée le 06 mars 2020 ;
- fichier des sites BASOL relocalisés par le BRGM ;
- données issues des secteurs d'information sur les sols (SIS) : les données SIS ont été fournies par CEREMA Ile-de-France qui a appuyé la DREAL Grand Est pour définition des SIS en région Grand Est en 2018 ;
- données complémentaires SIS issues du site Géorisques (<https://www.georisques.gouv.fr/>) pour prendre en compte les mises à jour intervenues entre 2018 et 2020). L'extraction des données a été réalisée le 2 juillet 2020 ;

- référentiel hydrogéologique BD-LISA (Base de données des Limites des Systèmes Aquifères) qui fournit les contours des entités hydrogéologiques françaises ainsi que les logs vérifiés de la BSS et les modèles géologiques et hydrogéologiques locaux ont été utilisés pour la région Champagne-Ardenne. Les données utilisées sont les données ayant fait l'objet de l'analyse des logs BSS et modèles locaux par le BRGM pour déterminer la profondeur des aquifères dans le cadre de l'élaboration de la cartographie du phénomène « mise en communication d'aquifères ».

Traitement des données

Pour certains sites BASOL, plusieurs coordonnées existent et ne sont pas toujours en cohérence (projection en Lambert II étendu ou Lambert 93 pour le centroïde de l'installation ou l'adresse et à défaut le centroïde de la commune). Le BRGM ayant réalisé une vérification systématique de manière à s'assurer, à minima, que le site soit localisé dans la commune correspondante, les données BASOL extraites de la base ont été corrigées avec le fichier de relocalisation transmis par le BRGM.

Pour prendre en compte la présence d'un éventuel panache de pollution non encore connu à ce jour, une zone tampon de 500 m a été tracée autour de chaque point BASOL.

Les données issues des secteurs d'information sur les sols (SIS), représentant des parcelles cadastrales (la plupart du temps de surface importante), il n'a pas été nécessaire de tracer une zone tampon, la surface des parcelles identifiées en SIS permettant de prendre en compte la présence d'un éventuel panache de pollution.

L'éventuelle réhabilitation des parcelles concernées par les SIS, qui impacte la valeur de l'aléa attribuée, a été vérifiée d'une part, dans les fiches détaillées accessibles sur le site <https://www.georisques.gouv.fr/>, et d'autre part, auprès de la DREAL Grand Est. Au premier août 2020, aucun site n'a fait l'objet d'une réhabilitation.

Cartographie du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines en Champagne-Ardenne

En région Champagne-Ardenne, la susceptibilité du phénomène « pollution des sols et des nappes souterraines » a été cartographiée pour 3 gammes de profondeur : 10-50 m, 10-100 m, 10-200 m.

En raison de la présence de plusieurs aquifères à différentes profondeurs, sur l'ensemble du territoire régional, les cartes 10-50 sont similaires pour les trois tranches de profondeur (10-50 m, 10-100 m et 10-200 m).

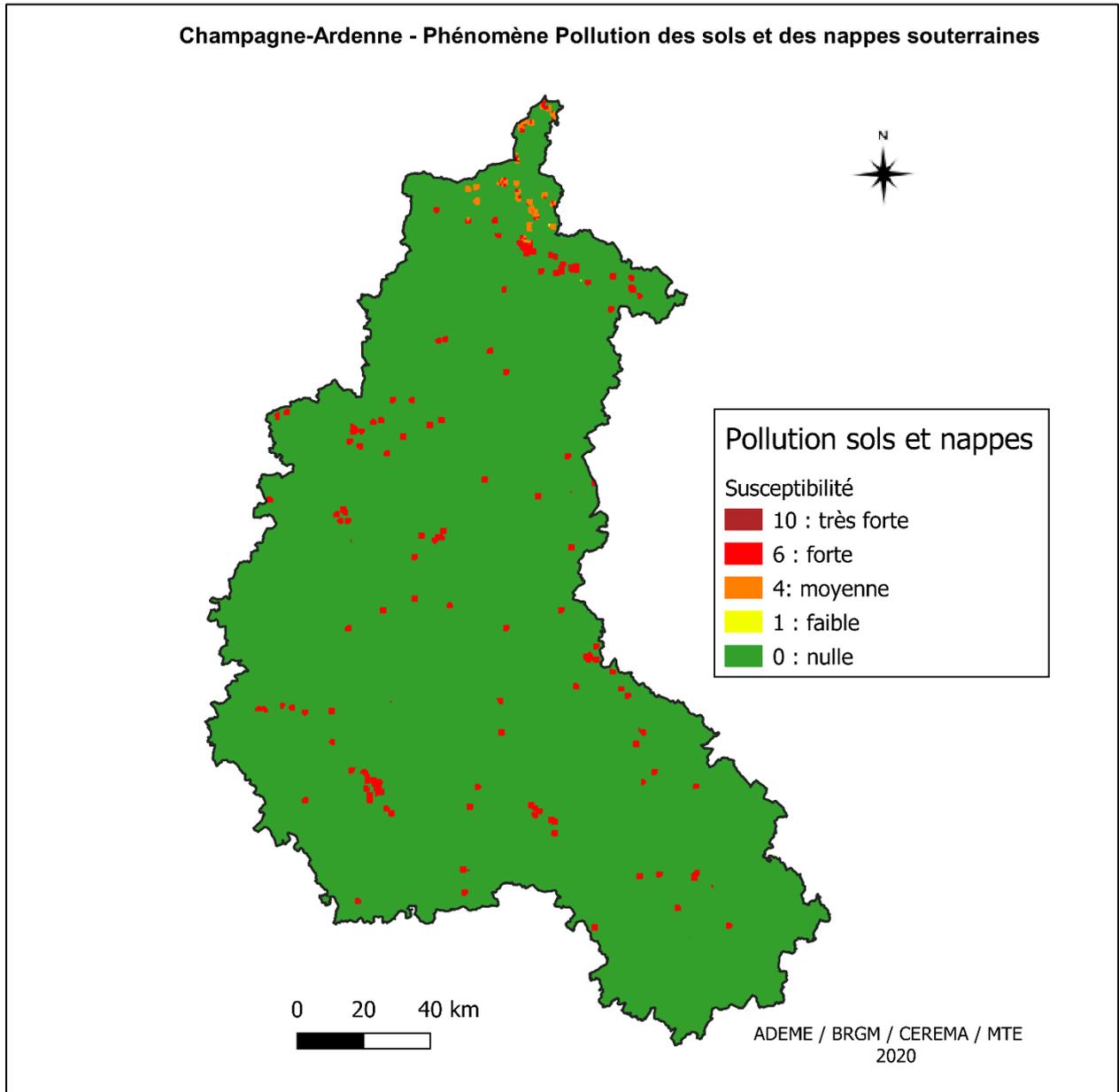


Figure 18 : Cartographie du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines en Champagne-Ardenne.

Pour établir la cartographie réglementaire, chaque niveau de susceptibilité a été pondéré par un facteur d'autant plus élevé que le niveau est fort.

Le facteur de pondération est également fonction de la précision des données de départ : les données issues de la base BASOL où la pollution n'est pas forcément avérée auront un poids moindre que les panaches où la pollution est avérée et cartographiée.

Pour mémoire les panaches de pollution n'ont pas fait l'objet d'une cartographie en Champagne-Ardenne.

Susceptibilité du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort	Très fort
BASOL	0	1	4	6	--
Panaches de pollutions (sans objet sur la région Champagne-Ardenne)				6	10
SIS	-	1	4	6	10

Tableau 7 : Caractérisation de l'aléa pollution des sols et des nappes souterraines.

Phénomène pollution des sols et des nappes		Niveau d'aléa/Susceptibilité du phénomène	Polluant Non métallique ou mercure	Niveau d'aléa/Susceptibilité du phénomène	Si Réhabilitation	Niveau d'aléa/Susceptibilité du phénomène
Pollutions des sols avérées	Impacts sur la nappe avérés	6	OJI	10	Activités ou équivalent	6
					Habitation ou équivalent	1
			NON	6	Activités ou équivalent	4
					Habitation ou équivalent	1
	Impacts sur la nappe non exclus	4	OJI	6	Activités ou équivalent	4
					Habitation ou équivalent	1
			NON	4	Activités ou équivalent	4
					Habitation ou équivalent	1
Impacts sur la nappe exclus	1		1		1	
Pollutions des sols non exclus	Impacts sur la nappe avérés	6	OJI	10	Activités ou équivalent	6
					Habitation ou équivalent	1
			NON	6	Activités ou équivalent	4
					Habitation ou équivalent	1
	Impacts sur la nappe non exclus	1	OJI	4	Activités ou équivalent	4
					Habitation ou équivalent	1
			NON	1	Activités ou équivalent	1
					Habitation ou équivalent	1
Impacts sur la nappe exclus	1		1		1	
Pollutions des sols avérées ou non exclus	Absence de nappe	1		1		1

Tableau 8 : Tableau d'attribution de la valeur du niveau d'aléa pour les données SIS.

En cas de différence de valeur d'aléa d'une maille à partir des données BASOL ou SIS, la valeur la plus élevée a été retenue.

Compte tenu des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le facteur aggravant potentiel est estimé de niveau **moyen (3)** pour les doublets sur nappe et les sondes géothermiques verticales.

4.6. MISE EN COMMUNICATION D'AQUIFÈRES

4.6.1. Phénomène redouté

Le phénomène pris en compte dans la cartographie réglementaire correspond à une mise en communication verticale entre deux aquifères suivie d'un écoulement de l'eau d'un aquifère dans l'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 de ce phénomène actuellement en France.

On connaît au moins deux exemples de désordres liés à la mise en communication d'aquifères :

- le transfert d'une pollution présente sur un aquifère superficiel vers un aquifère inférieur à La Saussaye en région Centre ;
- l'assèchement de plusieurs puits dû à l'écoulement d'un aquifère superficiel vers un aquifère inférieur à Rennigen en Allemagne.

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

4.6.2. Carte nationale ou initiale à mettre à jour

Le référentiel des aquifères BD-LISA², certains atlas des potentiels géothermiques superficiels et des modèles hydrogéologiques ont été utilisés pour identifier ce phénomène. Ces atlas et modèles indiquent la géométrie et les profondeurs des différentes couches aquifères permettant de définir l'existence de deux aquifères dans les premiers 200 mètres. Lorsque aucun atlas ou modèle n'était disponible ou s'il ne contenait pas les données nécessaires, les aquifères notoirement plus profonds que 200 m dans un secteur ont été écartés à dire d'expert.

² Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères

Niveaux d'aléa / de susceptibilité du phénomène :

Afin de préciser ces niveaux d'aléa, la base de données du référentiel BDLISA a été utilisée pour définir ces niveaux de risque. Le référentiel BDLISA niveau régional (NV2) définit les différentes formations qu'elles soient aquifères (couleur bleu) ou imperméables (couleur orange). Les aquifères définis comme nappes à réserver à l'alimentation en eau potable (NAEP définies dans les SDAGEs), c'est-à-dire les ressources aquifères stratégiques pour les AEP futures, sont indiqués en couleur verte.

Sur la verticale, les entités sont ordonnées suivant un ordre croissant (ordre 1 pour les entités affleurantes, ordre 2 pour les entités situées juste au-dessous...). Le nombre d'ordres à prendre en compte dans l'intervalle 0 à 200 m a été défini à titre expert en s'appuyant sur la connaissance des logs géologiques des formations aquifères et la géométrie de ces formations. Si au moins deux aquifères apparaissent dans l'intervalle considéré, une communication entre nappes est possible. Ainsi, le niveau d'aléa est :

- 0 : s'il n'existe pas plus d'un aquifère dans la tranche de terrain considérée (0-200 m) ;
- 1 : s'il existe au moins deux aquifères présents dans la tranche de terrain considérée (0-200 m) ;
- 3 : s'il existe au moins deux aquifères dont 1 défini comme NAEP dans la tranche de terrain considérée (0-200 m).

Ordre 1	1	1		1	1				1				1	1	1	1				
Ordre 2					1	1				1	1		1	1	1				1	1
Ordre 3									1						1	1	1	1	1	
Ordre 4									1				1	1	1	1				1
Ordre 5										1	1	1	1	1				1	1	1
Sup Nappes Ord 1-5	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	3	3	0	3	1	1

Figure 19 : Concept de superposition des couches aquifères (couleur bleu), des couches imperméables (couleur orange) et des ressources protégées (couleur verte).

4.6.3. Carte révisée Champagne-Ardenne

Qualification du phénomène à l'échelle régionale

Sur la région Grand Est, seuls les territoires Lorrain et Alsace disposent de cette cartographie du phénomène « mise en communication d'aquifères ». La qualification du phénomène sur le territoire Champagne-Ardenne sera basée sur la probabilité d'avoir un ou plusieurs aquifères dans la gamme de profondeur considérée et sur l'usage et/ou l'importance des aquifères qui pourraient être mis en connexion : alimentation en eau potable, ressource stratégique etc.

La susceptibilité a été établie comme suit :

- **susceptibilité moyenne (4)** : présence de plusieurs aquifères dont une ressource stratégique NAEP dans l'intervalle considéré ;
- **susceptibilité faible (1)** : présence de nappes superposées dans l'intervalle considéré ;
- **susceptibilité nulle (0)** : absence d'aquifère ou présence d'un seul aquifère dans l'intervalle de profondeur considéré.

Données utilisées en Champagne-Ardenne

Pour la présence d'aquifère, le référentiel BDLISA qui fournit les contours des entités hydrogéologiques françaises ainsi que les logs géologiques vérifiés de la BSS et les modèles géologiques et hydrogéologiques locaux ont été utilisés.

L'atlas des potentiels géothermiques des aquifères, disponible en Champagne-Ardenne, a fourni des données sur la profondeur (www.geothermies.fr).

L'identification des aquifères définis comme nappes à réserver à l'alimentation en eau potable, c'est-à-dire les ressources aquifères stratégiques pour les AEP futures (NAEP) a été réalisée sur la base des informations disponibles dans les 3 SDAGEs 2016-2021 couvrant le territoire Champagne-Ardenne et d'une actualisation éventuelle après contact avec les acteurs opérationnels des Agences de l'Eau et de la DREAL.

- **Bassin Rhône-Méditerranée**

Le [SDAGE Rhône-Méditerranée 2016-2021](#) (orientation fondamentale N°5^E) identifie 124 masses d'eau souterraine stratégiques sur le bassin pour l'alimentation en eau potable dont une soixantaine a déjà fait l'objet d'une caractérisation en vue de définir des zones de sauvegarde³. Sur le territoire Champagne-Ardenne, deux masses d'eau sont concernées avec des zones de sauvegarde déjà identifiées⁴ :

- DG152 - Calcaires jurassiques du châillonnais et seuil de Bourgogne entre Ouche et Vingeanne ;
- DG123 - Calcaires jurassiques des plateaux de Haute-Saône.

- **Bassin Seine-Normandie**

Le [SDAGE Seine-Normandie 2016-2021](#) (orientation N°28) identifie 10 masses d'eau ou partie de masses d'eau concernées par les nappes stratégiques à réserver à l'alimentation en eau potable future, dont 3 sur le territoire Champagne-Ardenne :

- HG006 - Alluvions de la Bassée ;
- HG218 - Albien-néocomien captif.

³ A l'échelle desquelles les efforts doivent être portés pour éviter ou limiter les pressions qui pourraient porter atteinte à ces ressources en volume et en qualité et autoriser pour l'avenir l'implantation de nouveaux captages ou champs captants.

⁴ Cartographie disponible – état d'avancement au 31/07/2018

Il n'y a eu aucun travail de mise à jour concernant les ressources stratégiques depuis le SDAGE 2016. Les modifications envisagées en 2022 avec le futur SDAGE 2022-2027 portent sur la mise en cohérence avec le nouveau référentiel Masse d'eau. Sur le territoire de Champagne-Ardenne, 2 nouvelles masses d'eau sont susceptibles d'être identifiées comme « stratégique » (HG007 et HG008)⁵. Le SDAGE Seine-Normandie 2016-2021 n'introduit pas la notion de zone de sauvegarde (facultative selon la DCE), il n'y a donc pas de zone de sauvegarde a proprement dit sur ce territoire.

- **Bassin Rhin-Meuse**

Le [SDAGE Rhin-Meuse 2016-2021](#) (T1 O1-1 D9) identifie des « enveloppes maximales des zones restant à déterminer en vue de leur utilisation pour l'alimentation en eau potable dans le futur ». Dans ces zones de signalement, qui présentent un intérêt stratégique potentiel pour l'eau potable pourront être délimitées des « zones à préserver en vue de leur utilisation pour l'alimentation en eau potable dans le futur ».

Sur le district Meuse, on distingue :

- 2 enveloppes restant à déterminer :
 - nappe alluviale de la Meuse en amont de Charleville-Mézières ;
 - nappe des calcaires du Dogger : substitution SAGE GTI.
- 3 zones de sauvegarde pour l'alimentation en eau potable :
 - nappe alluviale de la Meuse en aval de Charleville-Mézières ;
 - nappe des grès du Lias d'Hettange libre ;
 - nappe des grès du Lias d'Hettange sous couverture.

Le zonage est en cours d'actualisation pour le SDAGE 2022-2027, avec des modifications notables en prévision : nouvelles zones pour des projets en AEP futur, anciennes zones qui ne sont plus d'actualité (projet réalisé ou projet abandonné), modification de la zone alluviale de la Meuse avec l'ajout d'une zone au sud de Charleville-Mézières.

⁵ Etude BRGM en cours

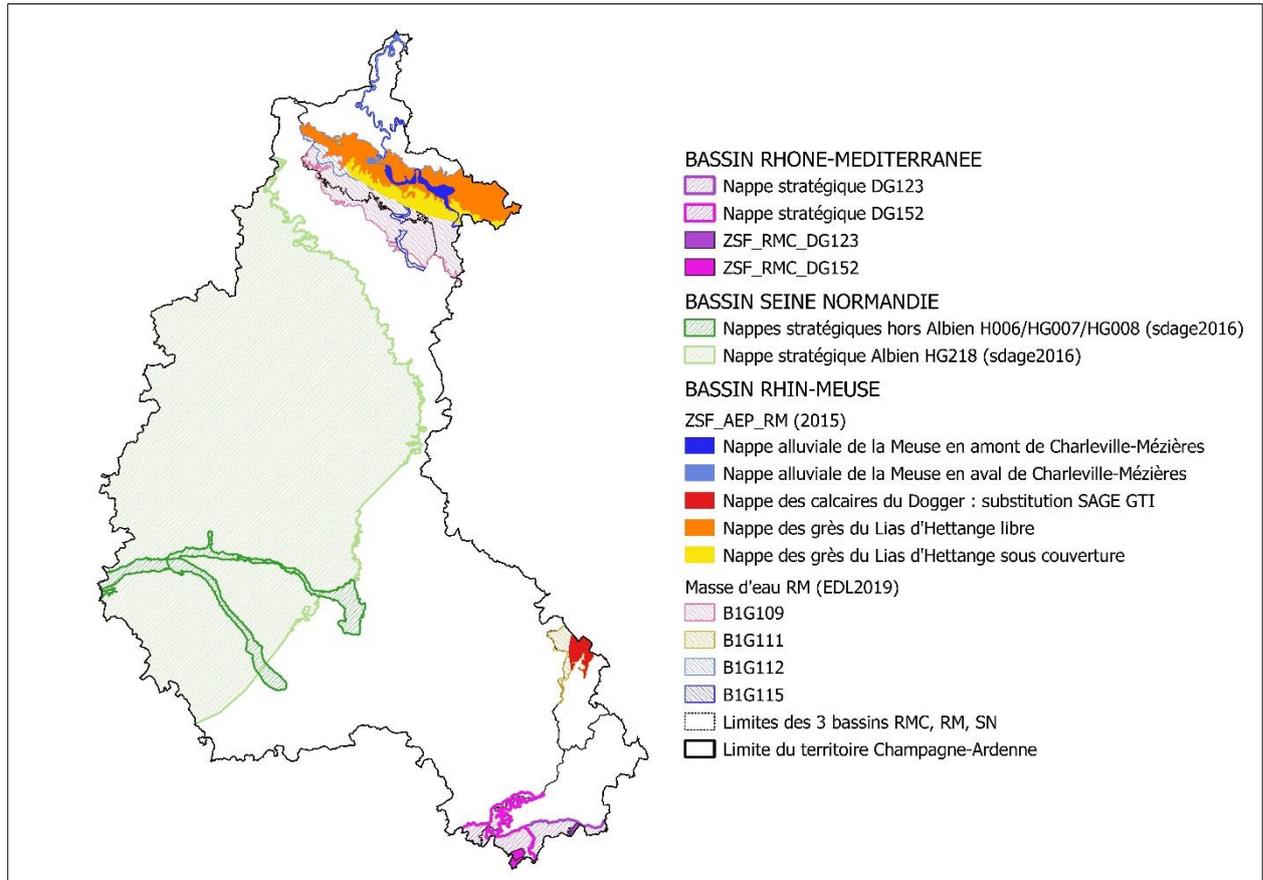


Figure 20 : Cartographie des nappes stratégiques et des zones de sauvegarde en Champagne-Ardenne.

Cartographie sur la susceptibilité du phénomène mise en communication d'aquifères en Champagne-Ardenne

En Champagne-Ardenne, la susceptibilité du phénomène « mise en communication d'aquifères » a été cartographiée pour 3 gammes de profondeur : 10-50 m, 10-100 m, 10-200 m.

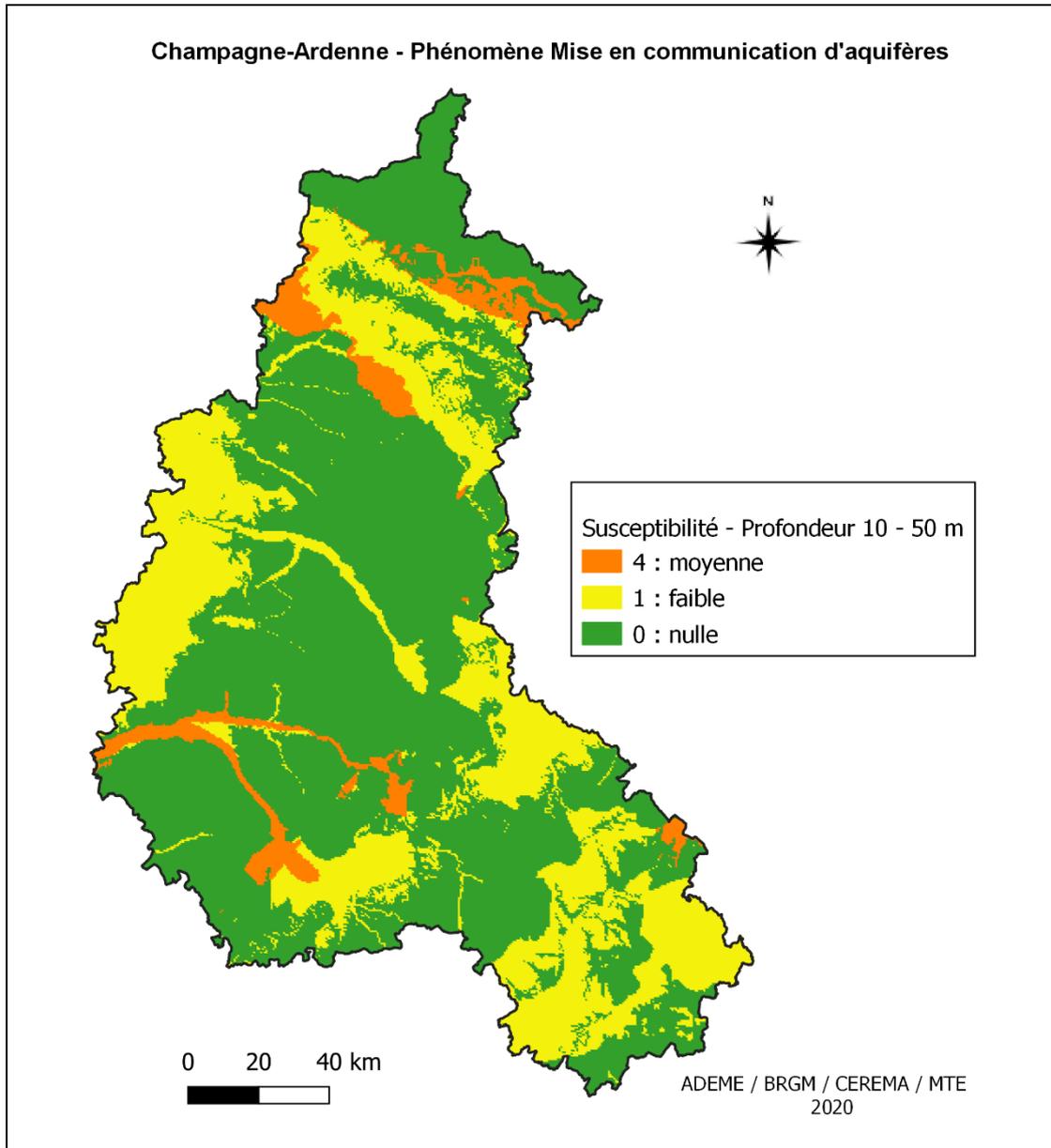


Figure 21 : Cartographie de la susceptibilité du phénomène « mise en communication d'aquifères » en Champagne-Ardenne pour des profondeurs jusqu'à 50 m.

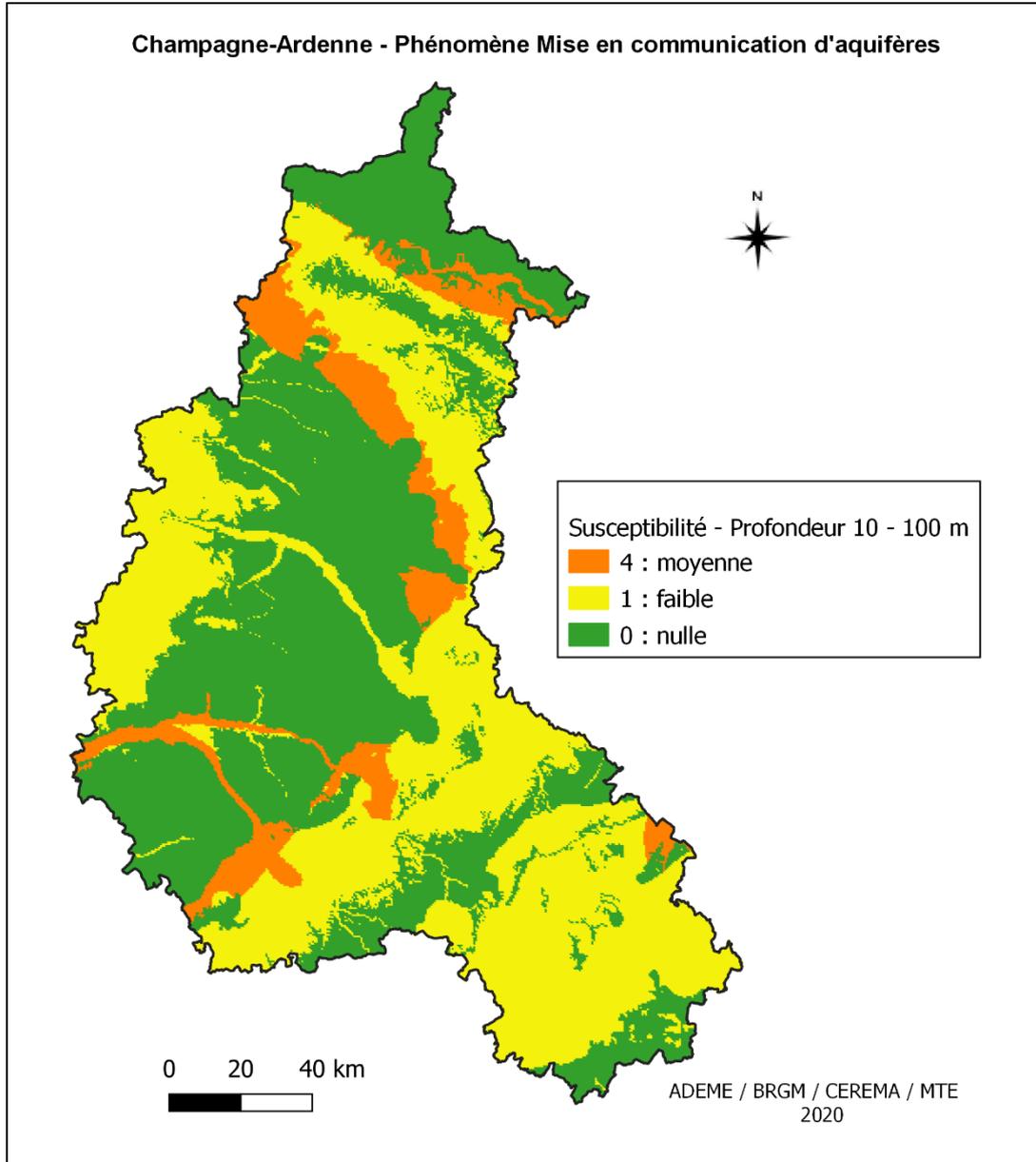


Figure 22 : Cartographie de la susceptibilité du phénomène « mise en communication d'aquifères » en Champagne-Ardenne pour des profondeurs jusqu'à 100 m.

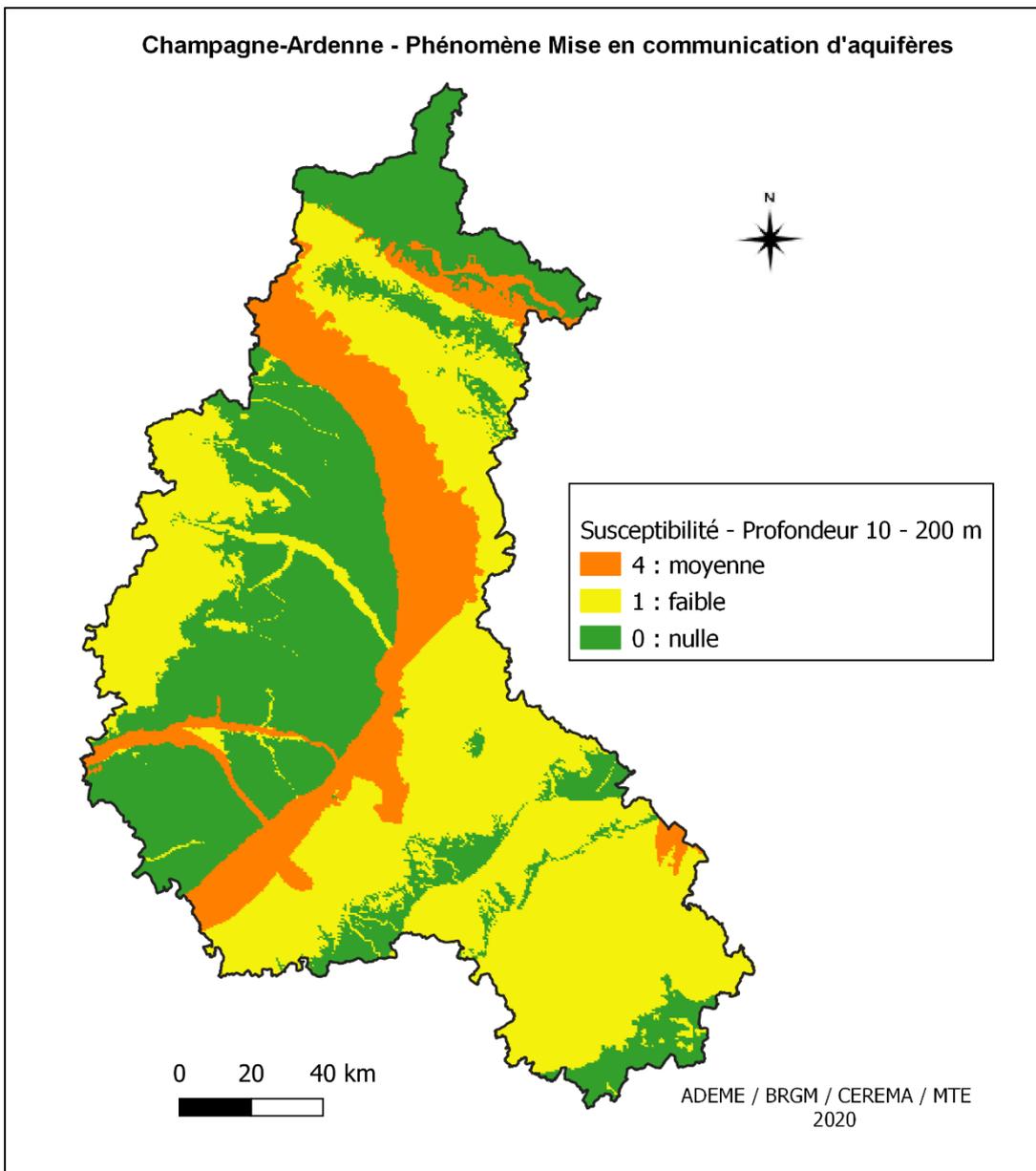


Figure 23 : Cartographie de la susceptibilité du phénomène « mise en communication d'aquifères » en Champagne-Ardenne pour des profondeurs jusqu'à 200 m.

Pour établir la carte réglementaire, chaque niveau de susceptibilité a été affecté d'une valeur d'autant plus élevée que le niveau est fort :

Niveau d'aléa / susceptibilité du phénomène	Nul		Faible	Moyen
Valeur du niveau d'aléa	0		1	4

Tableau 8 : Niveaux du phénomène mise en communication d'aquifères.

Compte tenu des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le **facteur aggravant potentiel** est estimé de **niveau moyen (4)** pour les doublets sur nappe et les sondes géothermiques verticales.

4.7. ARTÉSIANISME

4.7.1. Phénomène redouté

Le phénomène pris en compte dans la carte des zones réglementaire relative à la géothermie de minime importance (GMI) est l'aptitude d'un aquifère captif à permettre la remontée d'eau spontanée par des ouvrages (puits, forages), caractéristique nommée l'artésianisme. Cette remontée d'eau en surface peut ainsi entraîner des écoulements d'eau sur le sol, et/ou une déstabilisation d'une formation superficielle. L'aquifère concerné a ainsi une surface piézométrique située au-dessus de la surface du sol.

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

4.7.2. Carte nationale ou initiale à mettre à jour

Lorsqu'une carte à une échelle locale, une synthèse sous forme d'atlas existe, et/ou si un modèle hydrogéologique a permis de mettre en évidence ce phénomène, ils ont été utilisés pour la carte.

À défaut, une requête à partir de la Banque du Sous-Sol a été utilisée pour identifier des indices ponctuels d'artésianisme observés (niveau de la nappe supérieur au sol se traduisant par une profondeur négative, artésianisme signalé au moment de la réalisation de l'ouvrage, etc...).

Les atlas des potentiels géothermiques superficiels suivants comportent actuellement des données piézométriques permettant d'identifier des secteurs à risque d'artésianisme :

- Aquitaine (données issues des modèles hydrogéologiques Nord Aquitain (MONA V3.3) et Sud Adour Garonne (MSAG V1) ;
- Centre (jusqu'à 100 m de profondeur) ;
- Midi-Pyrénées (pour les Sables Inframassiques) ;
- Picardie ;
- Nord-Pas-de-Calais (jusqu'à 100 m de profondeur).

Les cartes piézométriques locales ou modèles hydrogéologiques locaux ont été utilisés pour les régions :

- Centre avec les données de la Beauce sous Sologne ;
- Poitou-Charentes avec les données issues du Modèle Crétacé (Campanien jusqu'au Jurassique supérieur).

Lorsque cela n'est pas le cas, une extraction de la BSS a été utilisée pour faire apparaître les indices ponctuels d'artésianisme observés.

- 1) les données ponctuelles issues de la BSS-EAU permettent de compléter la grille de l'aléa selon :
 - le champ « Nature » du forage, avec l'appellation 'FORAGE-ARTESIEN' ou 'PUITS-ARTESIEN' ou alors dont le lieu-dit contient le mot 'ARTESIEN' (570 points). Tous ces points ont été utilisés, bien que dans certaines régions (par exemple en Bretagne) de nombreux points artésiens sont liés à un abus de langage : ils ne sont pas artésiens mais les agriculteurs et les foreurs de la région avaient l'habitude d'appeler les forages des « puits artésiens »;
 - **des chroniques piézométriques avec une profondeur de nappe proche de la surface (valeurs négatives= au-dessus de la surface)**. Si au moins une mesure pour un point d'eau est négative alors il a été extrait dans le fichier.
- 2) les données ponctuelles des forages AEPs, qui précisent
 - « Artésien » dans le champ « Mode gisement » (140 points) ou ;
 - « Captif » dans le champ « Mode gisement » pour les forages définies dans le champ « Nature » 'Source' (55 points).

Seules les mailles contenant directement un point artésien sont impactées. Il est difficile à l'échelle nationale de définir une règle unique permettant d'étendre la zone affectée à partir d'un point.

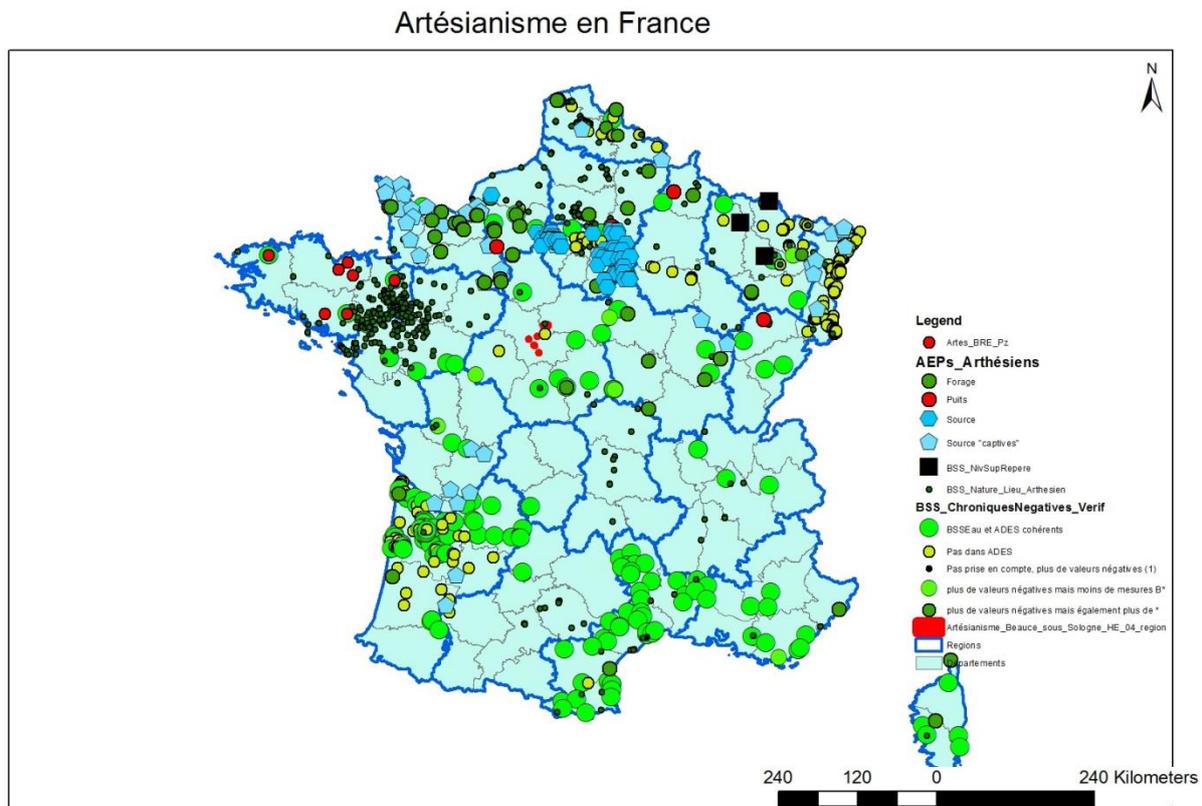


Figure 24 : Secteurs d'artésianisme prouvés.

De nombreuses zones ne sont pas couvertes par des données de surface (issue de modèles) ou des données ponctuelles (forages). L'aléa n'est ainsi que partiellement renseignée.

Niveaux d'aléa / de susceptibilité du phénomène :

- 0 : pas d'aquifère artésien connu dans la tranche 0-200 m,
- 3 : présence d'un aquifère ayant un niveau piézométrique connu pour être supérieur à la surface du sol dans la tranche 0-200 m.

4.7.3. Carte révisée Champagne-Ardenne

Qualification du phénomène à l'échelle régionale

Sur la région Grand Est, seuls les territoires Lorrain et Alsace disposent de cette cartographie du phénomène d'artésianisme. La qualification du phénomène en Champagne-Ardenne est donc basée sur le retour d'expérience et sur la comparaison entre le niveau piézométrique des aquifères et l'élévation du terrain. Elle a été établie comme suit :

- **niveau fort (7)** : présence d'un aquifère artésien connu (retour d'expérience) ;
- **niveau moyen (3)** : présence d'un aquifère ayant un niveau piézométrique connu pour être supérieur à la surface du sol dans la tranche de terrain considérée ;
- **niveau nul (0)** : pas d'aquifère artésien connu dans la tranche de terrain considérée.

Données utilisées en Champagne-Ardenne

En Champagne-Ardenne, ont été utilisés :

- les ouvrages artésiens recensés dans la BSS en mars 2020 ;
- les chroniques piézométriques dans ADES en mars 2020;
- les cartes géologiques harmonisées à échelle de 1/50 000 (données vectorisées) ;
- le MNT au pas de 50 m de l'IGN ;
- le référentiel BDLISA qui fournit les contours des entités hydrogéologiques françaises ainsi que les logs géologiques vérifiés de la BSS et les modèles géologiques et hydrogéologiques locaux ont été utilisés pour la présence d'aquifère ;
- l'atlas des potentiels géothermiques des aquifères, disponible en Champagne-Ardenne, pour l'obtention des données sur la profondeur (www.geothermies.fr);
- les 17 cartes piézométriques des aquifères de l'Albien, du Néocomien, de la craie du Crétacé supérieur, du Lutétien, de l'Yprésien et des calcaires de Champigny téléchargées fin 2019 sur le SIGES Seine-Normandie (sigesn.brgm.fr), de l'aquifère du Dogger disponible sur le SIGES Rhin-Meuse (sigesrm.brgm.fr) et de l'aquifère de l'Albien étudié par le BRGM en 2018.

En détail, les isopièzes utilisées pour le phénomène « artésianisme » sont les suivantes :

- carte des hautes eaux de l'Éocène supérieur dans le secteur de la Brie, année 1967 ;
- carte des hautes eaux de l'Éocène supérieur dans le secteur de la Brie, année 1974 ;
- carte des basses eaux de la nappe des calcaires de Champigny, année 2003 ;

- carte des hautes eaux de la nappe des calcaires de Champigny, année 2004 ;
- carte de la nappe de l'Éocène inférieur dans le secteur de la Brie, année 1974 ;
- cartes piézométriques basses eaux 2013 et hautes eaux 2014 des nappes du Lutétien et de l'Yprésien supérieur dans le Bassin Parisien ;
- carte de la nappe de la Craie dans le bassin de Paris par Albinet, année 1967 ;
- carte des hautes eaux de la Craie en Champagne-Ardenne, année 2002 ;
- carte des basses eaux de la Craie en Champagne-Ardenne, année 2002 ;
- carte de la nappe de la Craie séno-turonienne dans le sud-est du Bassin parisien, basses eaux de l'année 2011 ;
- carte de la nappe de l'Albien dans le bassin de Paris, année 1997 ;
- carte de la nappe de l'Albien dans le bassin de Paris, année 2018 ;
- carte de la nappe du Néocomien dans le bassin de Paris, année 1997 ;
- carte de la nappe des calcaires du Dogger : la piézométrie moyenne interannuelle avant l'ennoyage du bassin ferrifère.

Traitement des données

La susceptibilité moyenne du phénomène artésianisme a été attribuée à partir des isopièzes de la manière suivante :

1^{re} étape : interpolation des isopièzes pour obtenir des points avec la cote piézométrique puis affectation de la cote piézométrique à la maille correspondante en fonction de la localisation géographique et de l'étendu de l'aquifère.

2^{ème} 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".

3^{ème} 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.

Les indices d'artésianisme recensés ponctuellement dans la BSS ont été repris dans les mailles avec un niveau de susceptibilité fort et ont été étendus à partir de critères topographiques (extension à une même altitude que les sondages) dans un rayon de 2 500 mètres.

Cartographie de la susceptibilité au phénomène d'artésianisme en Champagne-Ardenne

En Champagne-Ardenne, la susceptibilité du phénomène « artésianisme » a été cartographiée pour 3 gammes de profondeur : 10-50 m, 10-100 m, 10-200 m.

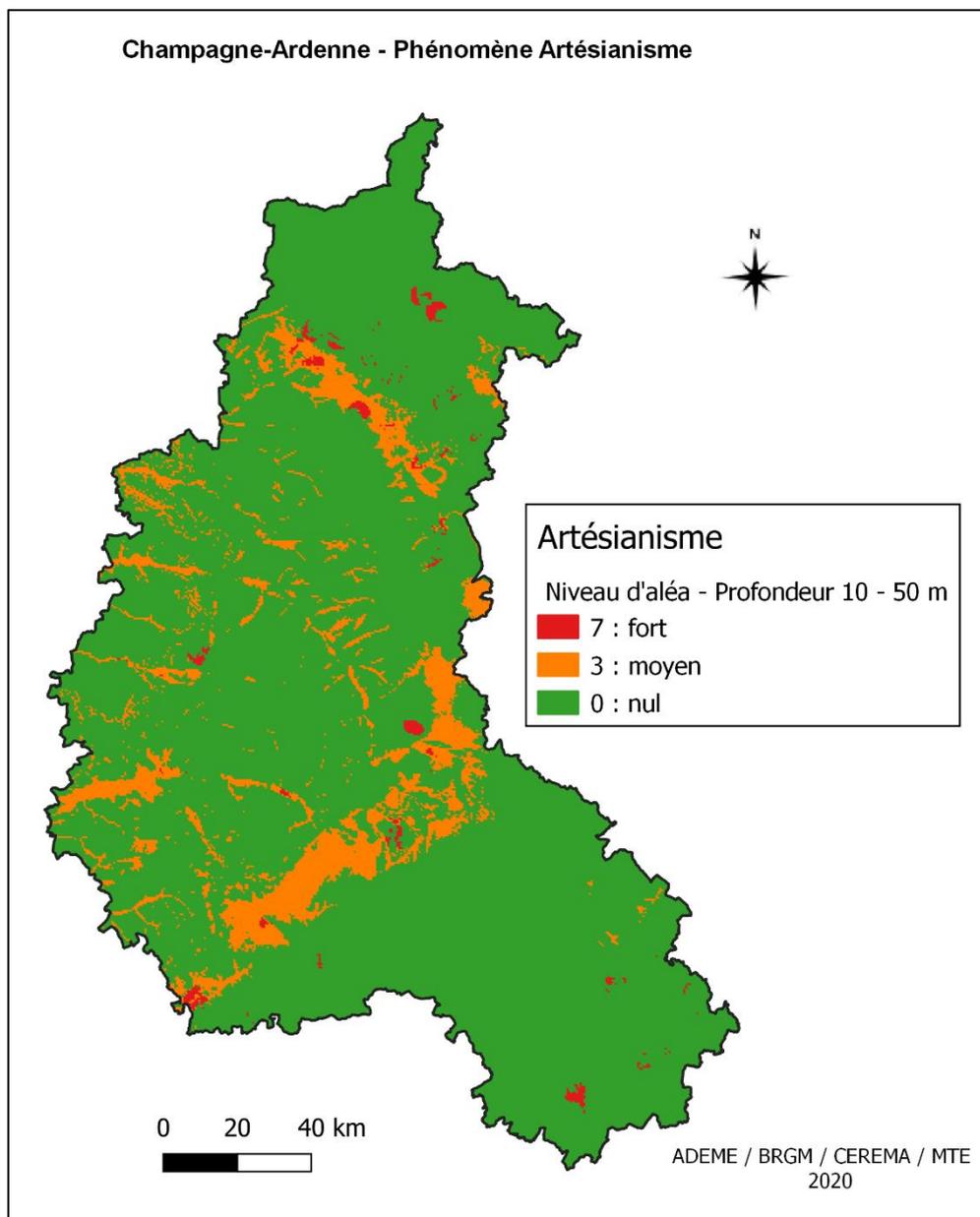


Figure 25 : Cartographie du phénomène artésianisme en Champagne-Ardenne pour des profondeurs jusqu'à 50 m.

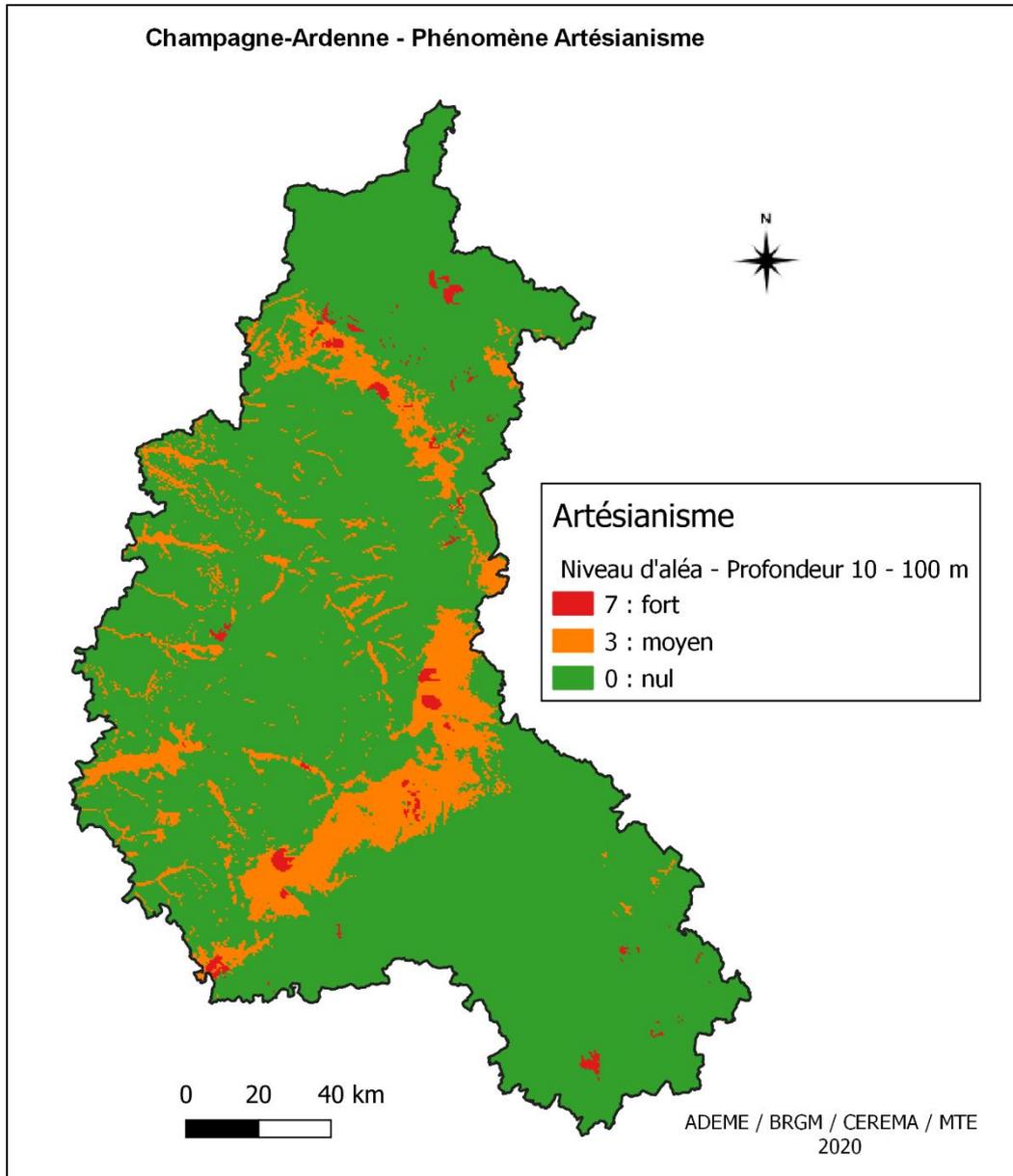


Figure 26 : Cartographie du phénomène artésianisme en Champagne-Ardenne pour des profondeurs jusqu'à 100 m.

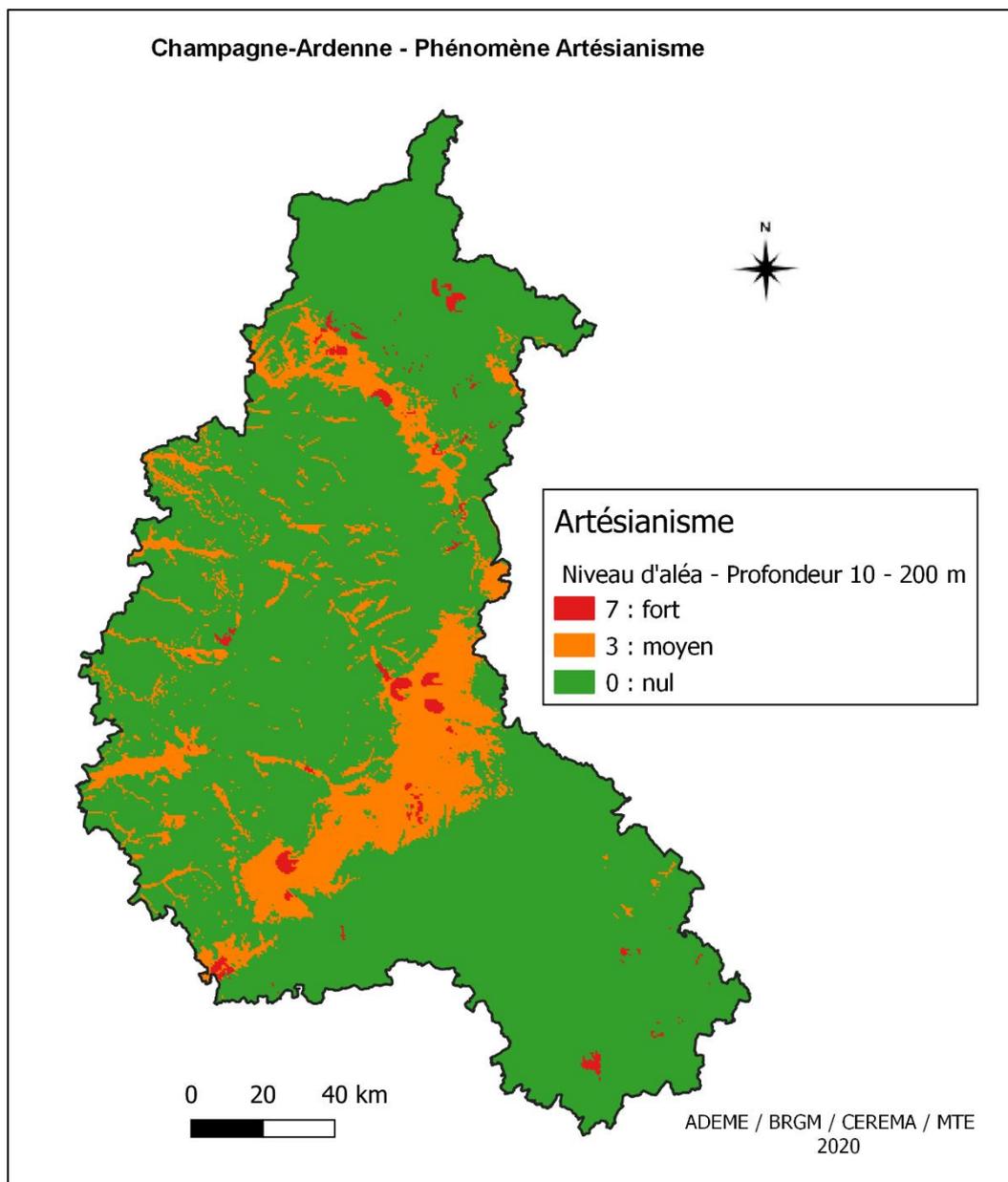


Figure 27 : Cartographie du phénomène artésianisme en Champagne-Ardenne pour des profondeurs jusqu'à 200 m.

Pour établir la cartographie réglementaire, chaque niveau de susceptibilité a été pondéré par un facteur d'autant plus élevé que le niveau est fort.

Susceptibilité du phénomène	Nul	Moyen	Fort
Facteur de pondération	0	3	7

Tableau 9 : Niveaux du phénomène artésianisme.

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 nappe et **moyen (4)** pour les sondes géothermiques verticales.

4.8. INONDATION PAR REMONTÉE DE NAPPE

4.8.1. Phénomène redouté

Le phénomène pris en compte dans la carte des zones réglementaire relative à la géothermie de minime importance (GMI) est la 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. Carte nationale ou initiale à mettre à jour

Un travail sur les risques d'inondation par remontée de nappe en France a été réalisé par le BRGM et a pu être utilisé dans le cadre de cette analyse de risques.

La création de deux classes a été réalisée à partir de l'épaisseur de la zone non saturée (ZNS) calculée pour des mailles de 100x100 m⁶. Des tests d'agrégation vers une maille nationale de 500 m ont montré que les zones basses comme les vallées sont les mieux prises en compte avec le calcul de maxima. Une agrégation des mailles par médiane montre de nombreuses zones ne prenant pas en compte les vallées, problème lié à leurs surfaces trop faibles. Pourtant, ces zones peuvent générer un risque de remontée de nappe (Figure 28 et Figure 29).

La méthode des maxima, plus conservatrice, a été retenue. La surface couverte par l'aléa faible présente 50 % avec cette méthode (contre 21 % par la médiane).

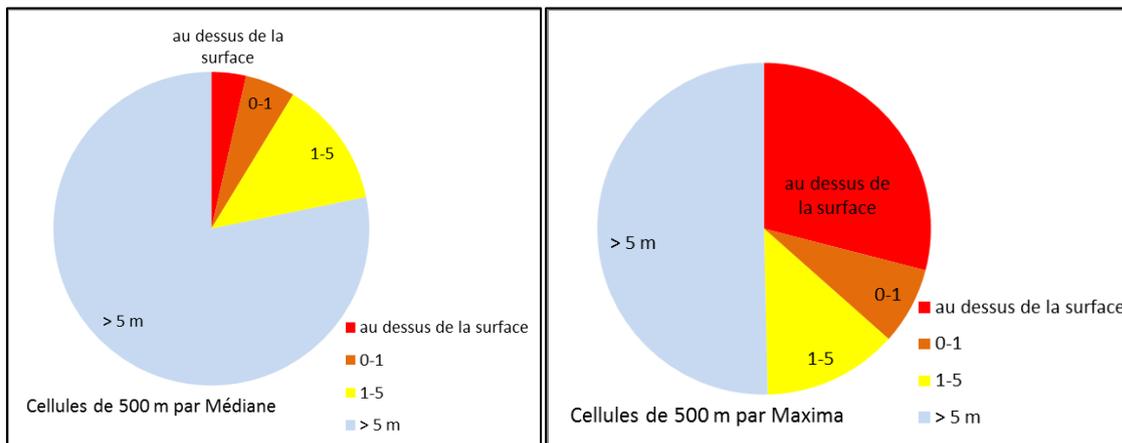


Figure 28 : Couverture des classes selon le type d'agrégation.

⁶ https://www.georisques.gouv.fr/dossiers/inondations/cartographie_remontee_nappe

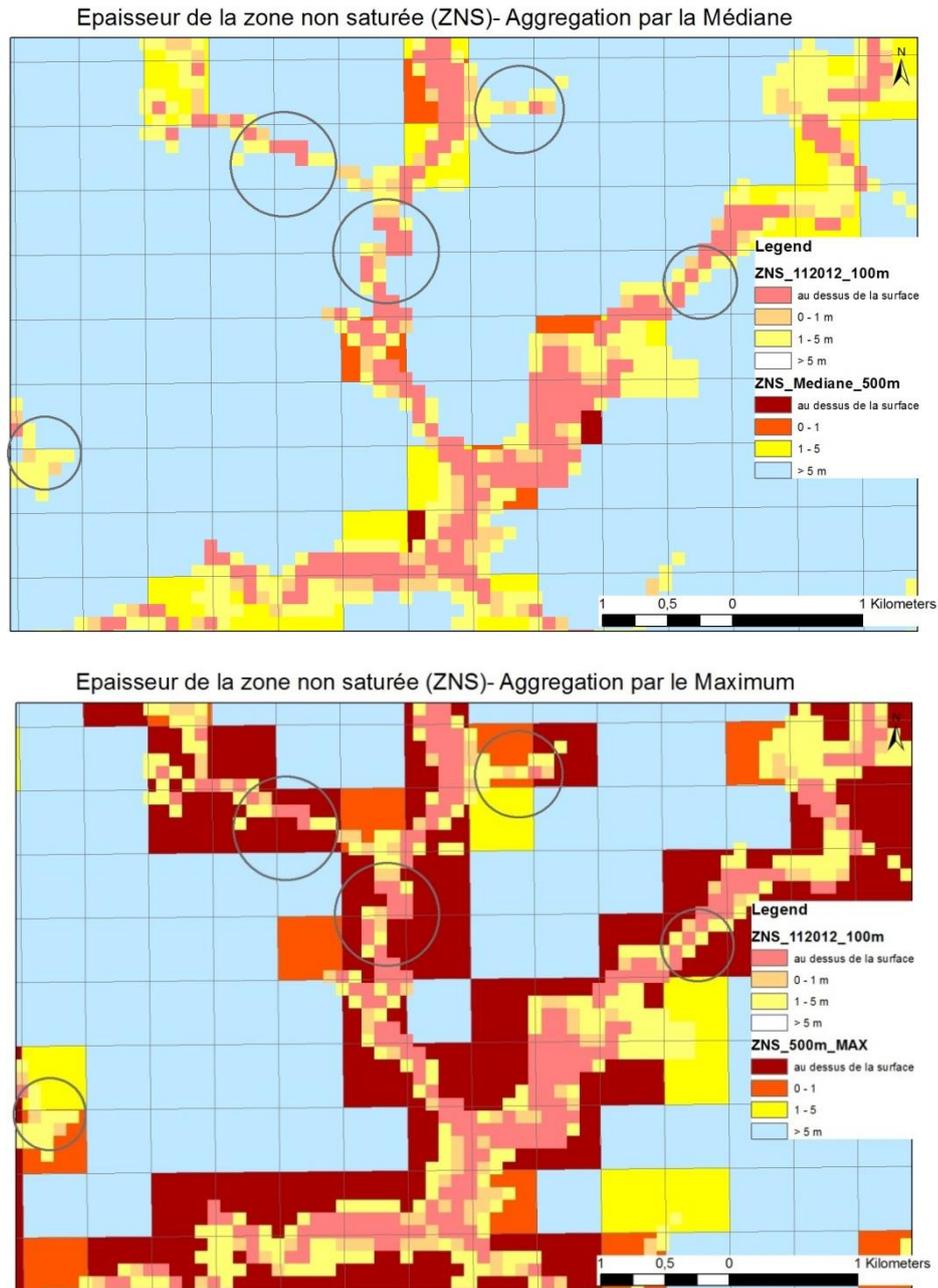


Figure 29 : Exemple des cartes d'épaisseur de la zone non saturée (ZNS) selon le type d'agrégation.

Niveaux d'aléa / de susceptibilité du phénomène :

- 0 : pas d'aquifère ayant un niveau piézométrique connu pour être à moins de cinq mètres de la surface du sol en hautes eaux ;
- 1 : présence d'un aquifère ayant un niveau piézométrique connu pour être entre zéro et cinq mètres de la surface du sol en hautes eaux.

4.8.3. Carte révisée Champagne-Ardenne

Qualification du phénomène à l'échelle régionale

La qualification du phénomène d'inondation par remontée de nappe à l'échelle régionale est la même qu'à l'échelle nationale. Elle est basée sur les données du site www.georisques.gouv.fr.

Il a été distingué :

- **niveau faible (1)** : présence d'un aquifère ayant un niveau piézométrique connu pour être entre zéro et cinq mètres de la surface du sol en hautes eaux ;
- **niveau nul (0)** : pas d'aquifère ayant un niveau piézométrique connu pour être à moins de cinq mètres de la surface du sol en hautes eaux.

Données utilisées en Champagne-Ardenne

Les données utilisées proviennent de la cartographie des secteurs sensibles au phénomène de remontées de nappes, éditée en 2018, disponible sur le site www.georisques.gouv.fr.

La carte proposée pour la Métropole et la Corse, permet de localiser les zones où il y a de fortes probabilités d'observer des débordements par remontée de nappe. La réalisation de la carte des zones sensibles aux inondations par remontée de nappe reste un exercice délicat qui « in fine » comporte de fortes incertitudes dues à :

- une accumulation d'informations manquantes, incomplètes ou imprécises ;
- l'ordre de grandeur des valeurs recherchées ;
- la complexité des milieux mis en jeu.

Afin de parvenir à une information spatialement cohérente notamment en limite des territoires de la Lorraine à l'est et de l'Île de France à l'ouest, les données obtenues ont été corrigées au besoin (Figure 30). De même, les mailles caractérisées dans la carte initiale de niveau faible (1) qui n'apparaissaient pas dans la carte révisée, ont été examinées de plus près afin de valider le choix final (0 ou 1). Le critère principal a été de maintenir la cohérence et la continuité spatiale par rapport aux données géologiques (tracé des cours d'eau, extension des alluvions réservoirs et des alluvions non productives).

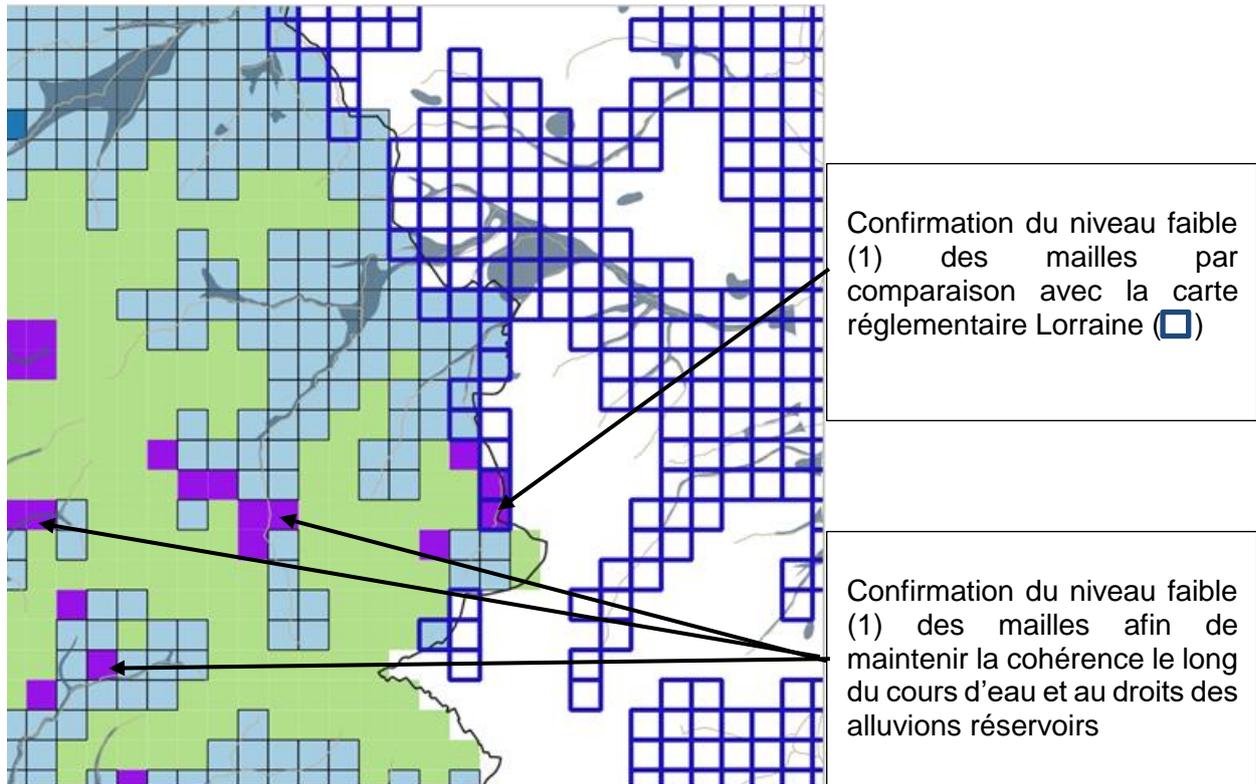


Figure 30 : Exemple de traitement des mailles (couleur violette) identifiée dans la carte initiale comme de niveau faible et sans correspondance avec la carte révisée (niveau faible → maille bleu / niveau nul → maille verte).

Cartographie de la susceptibilité du phénomène inondation par remontée de nappe en Champagne-Ardenne

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 : 0-200 m.

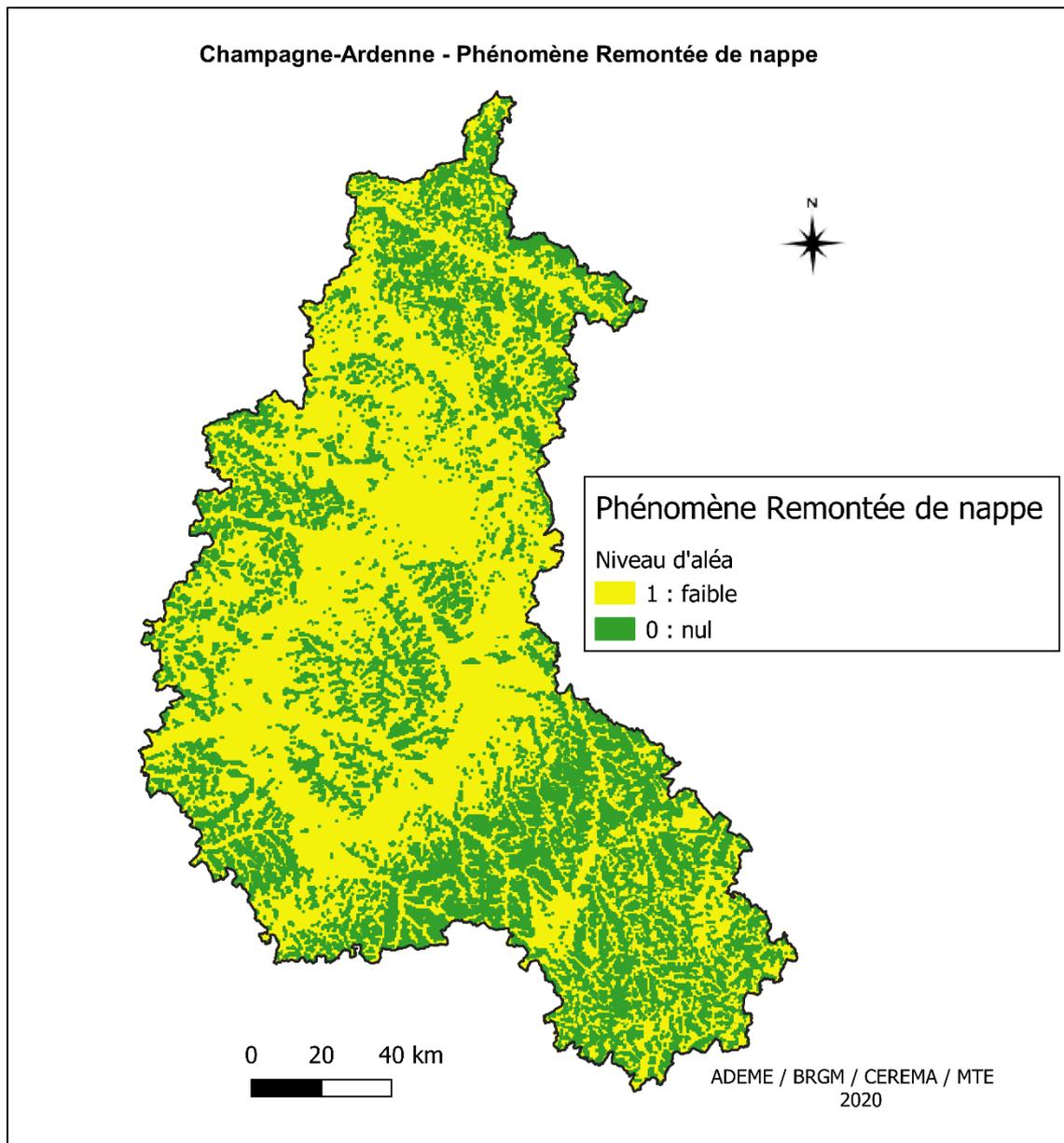


Figure 31 : Cartographie de la susceptibilité du phénomène remontée de nappe en Champagne-Ardenne.

Pour établir la carte réglementaire, chaque niveau de susceptibilité a été affecté d'une valeur d'autant plus élevée que le niveau est fort.

Niveau d'aléa / susceptibilité du phénomène	Nul	Faible
Valeur du niveau d'aléa	0	1

Tableau 10 : Niveaux du phénomène remontée de nappe

Compte tenu de la nature du phénomène redouté et des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le **facteur aggravant potentiel** est estimé de :

- **niveau nul (0)** pour les sondes géothermiques verticales (absence de réinjection dans le sous-sol) ;
- **niveau moyen (2)** pour les doublets sur nappe.

5. Cartes des zones réglementaires régionales relatives à la géothermie de minime importance

Conformément à la méthodologie exposée dans le chapitre 3 du présent rapport, les notes finales ont été calculées pour chaque pixel (maille de 500 x 500 m) en fonction de la cotation attribuée (niveaux et facteurs aggravants), aboutissant à un classement en zone verte, orange ou rouge. Ainsi, six cartes ont été réalisées en fonction de la tranche de profondeur (10-50 m, 10-100 m et 10-200 m) et du type d'ouvrage géothermique envisagé : échangeur ouvert (doublet sur nappe) et échangeur fermé (SGV).

Les six cartes sont présentées ci-après (figures 32 à 37).

La comparaison de la répartition des superficies des zones vertes, orange et rouges obtenues, calculée à partir du nombre de mailles concernées avec la carte réglementaire nationale initiale, est indiquée pour les deux types d'ouvrages géothermiques dans les figures 38 et 39. Logiquement, les zones vertes diminuent en fonction de la profondeur au profit des zones orange et rouges.

L'écart entre les zones réglementaires pour les doublets et pour les SVG résulte de la prise en compte différente pour trois phénomènes.

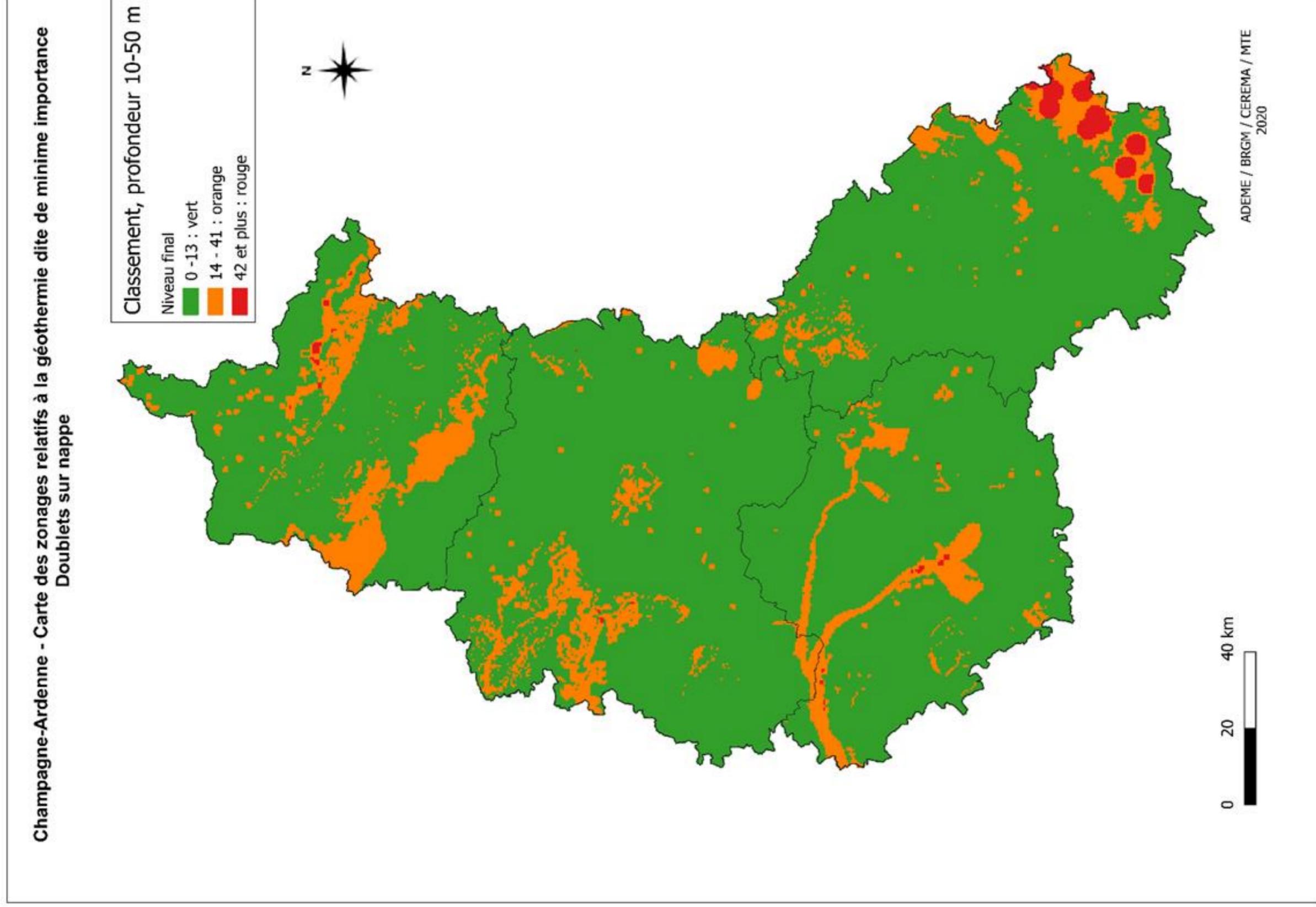


Figure 32 : Carte réglementaire Champagne-Ardenne 10 - 50 m pour doublets sur nappe.

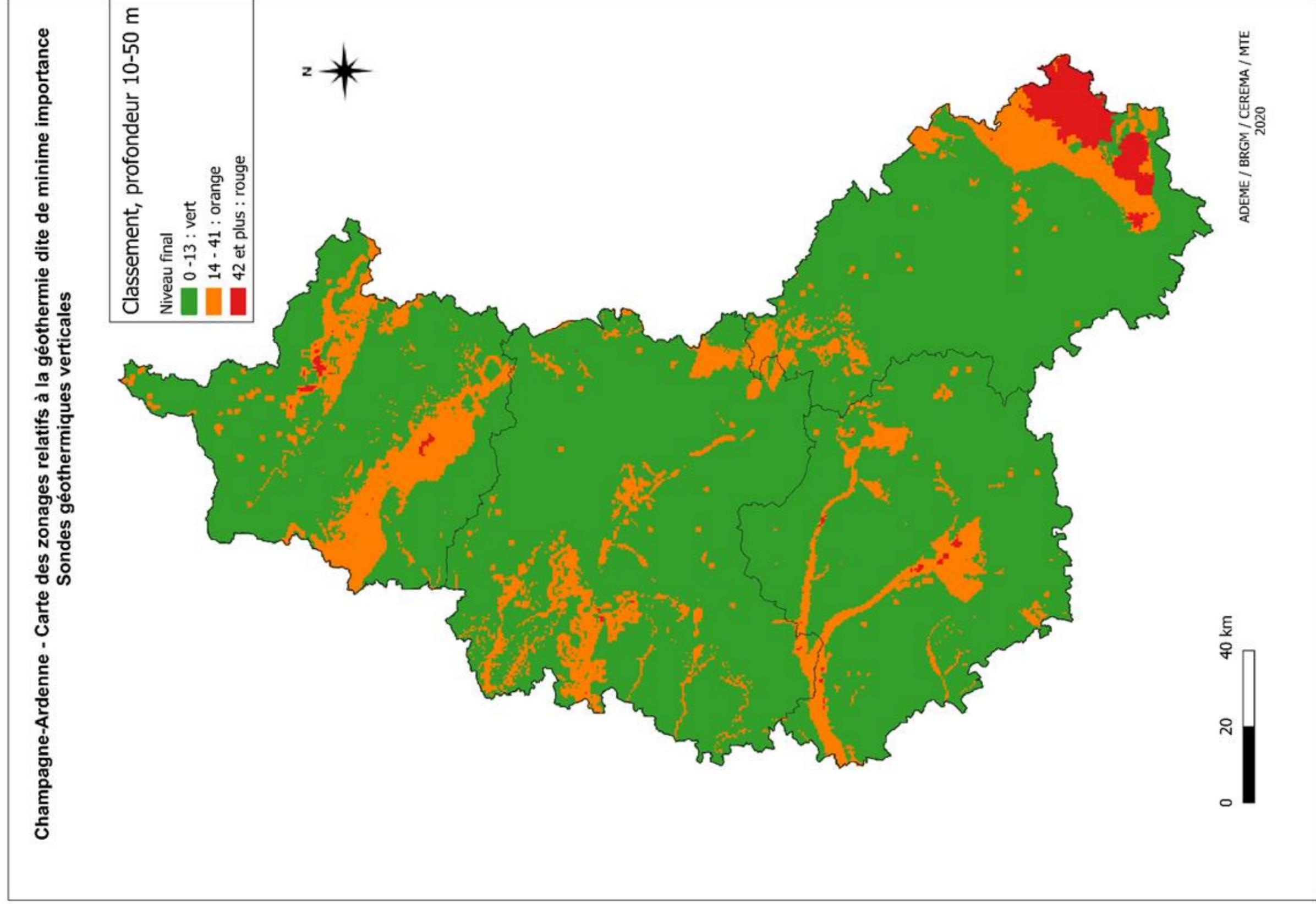


Figure 33 : Carte réglementaire Champagne-Ardenne 10 – 50 m pour SGV.

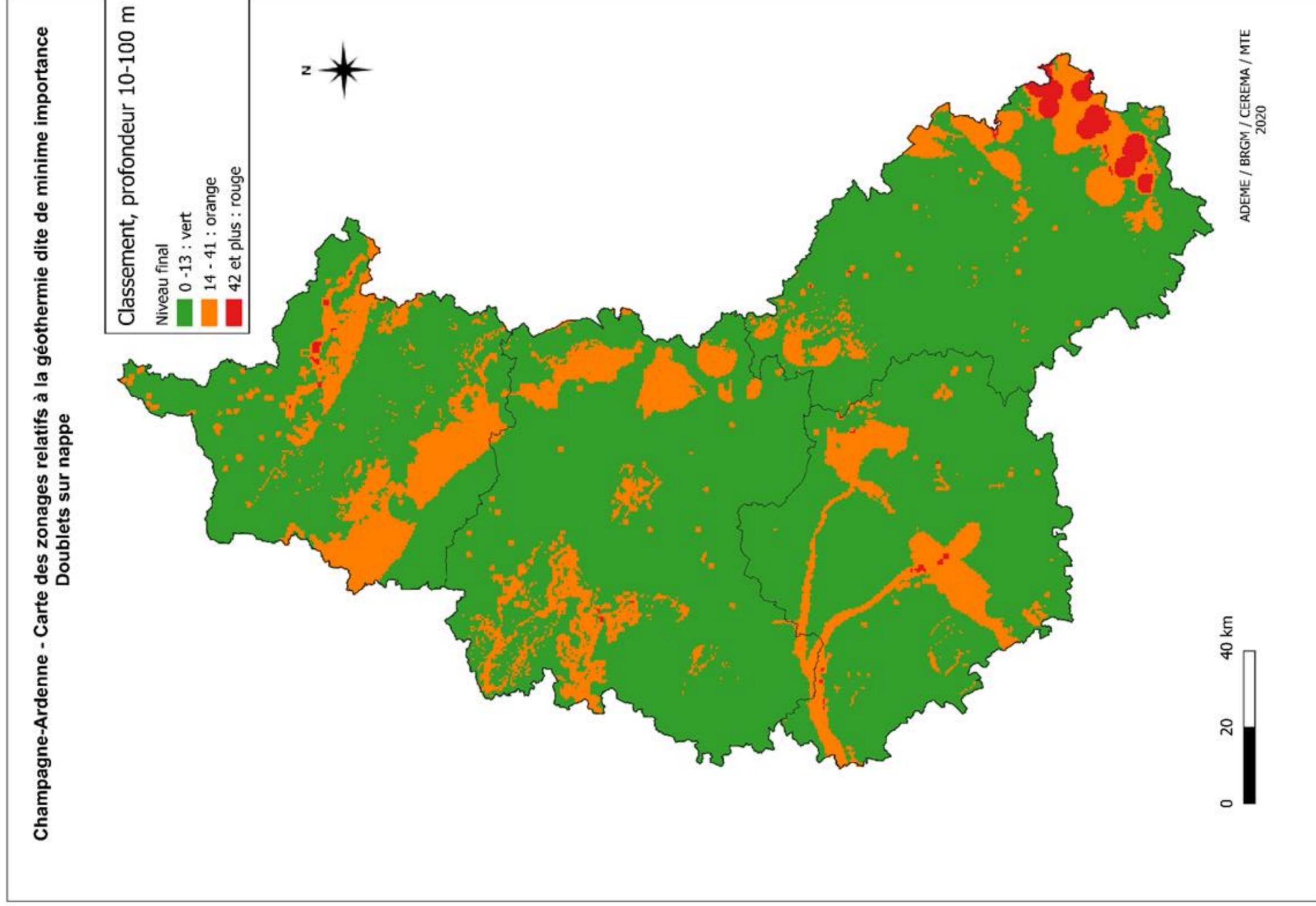


Figure 34 : Carte réglementaire Champagne-Ardenne 10 – 100 m pour doublets sur nappe.

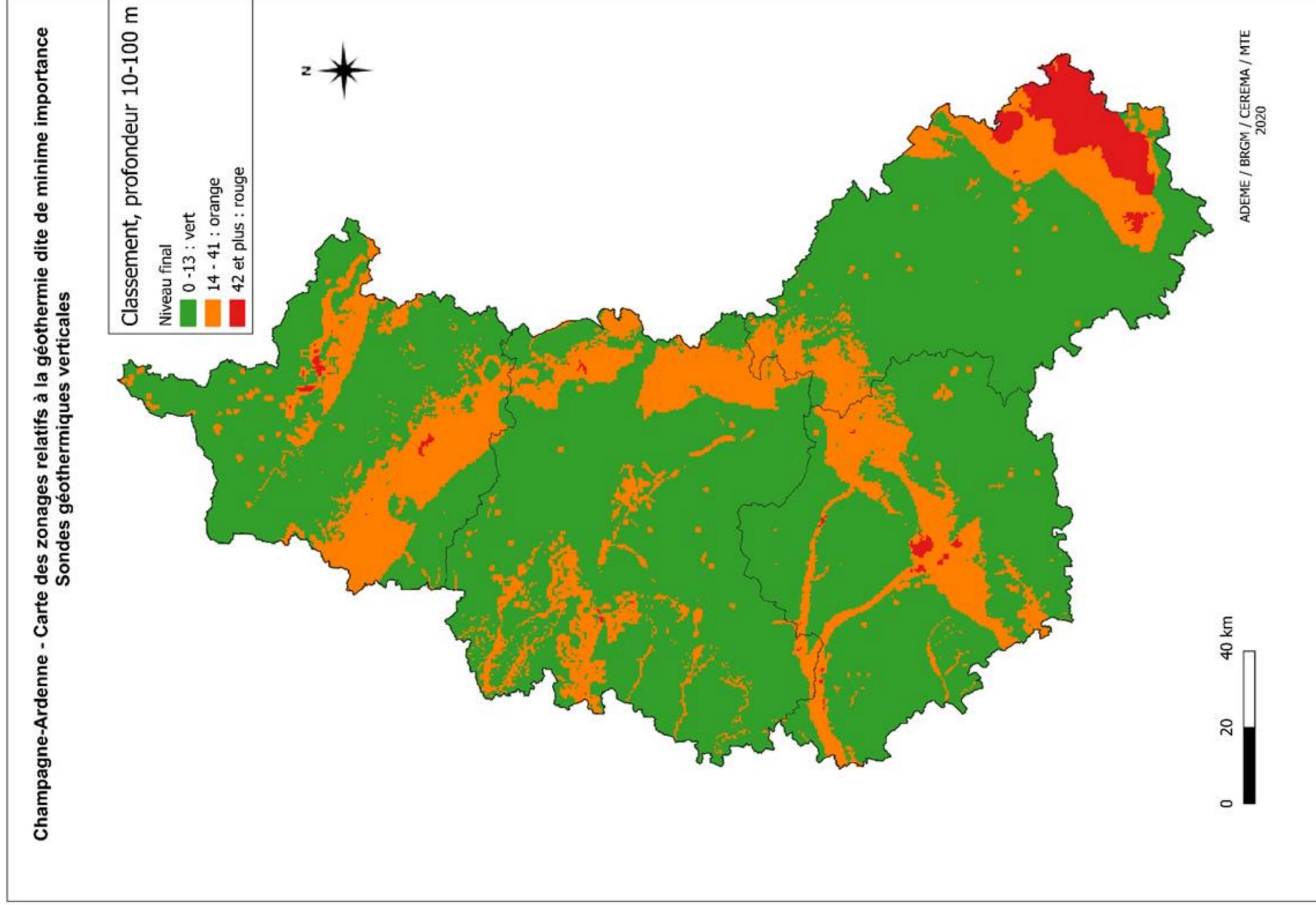


Figure 35 : Carte réglementaire Champagne-Ardenne 10 – 100 m pour SGV.

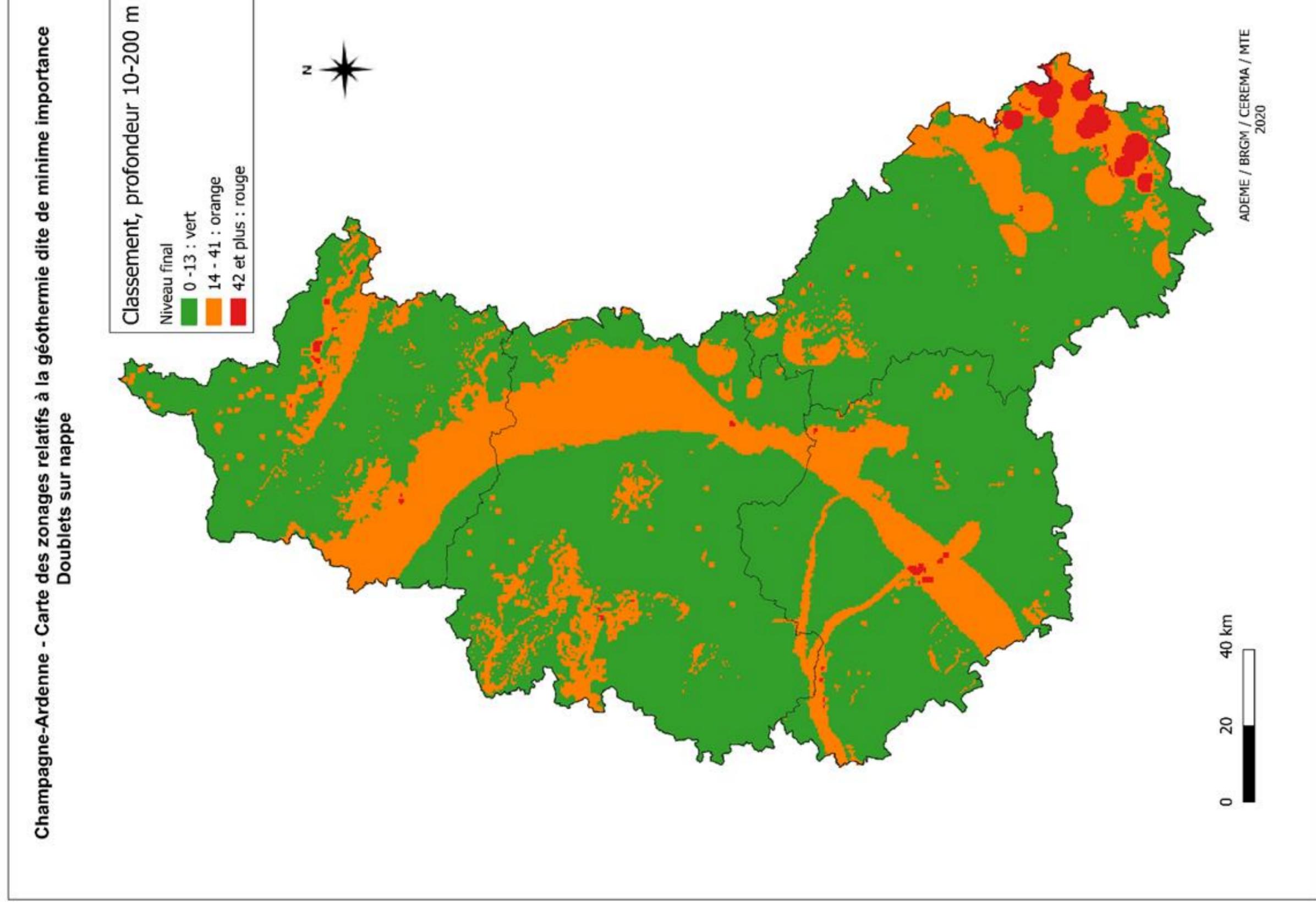


Figure 36 : Carte réglementaire Champagne-Ardenne 10 – 200 m pour doublets sur nappe.

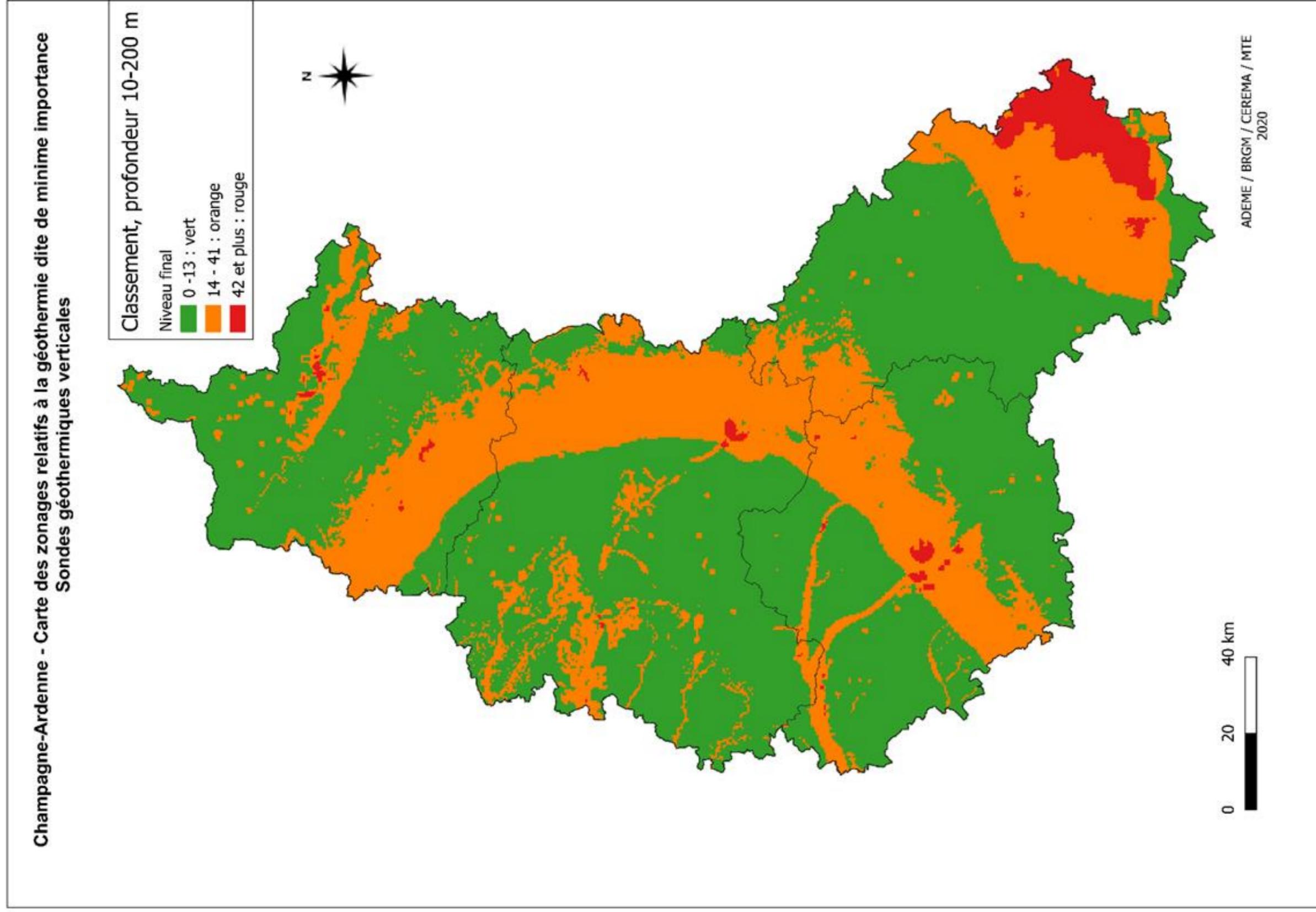


Figure 37 : Carte réglementaire Champagne-Ardenne 10 – 200 m pour SGV.

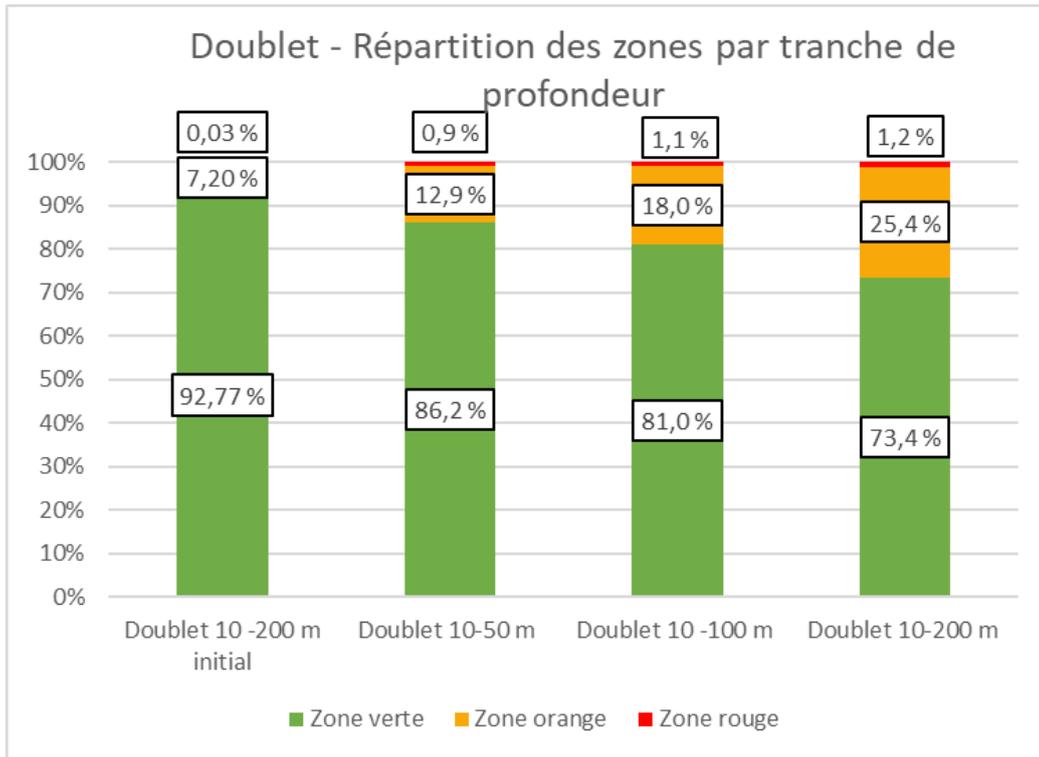


Figure 38 : Comparaison de la répartition des zones réglementaires pour les doublets de la carte initiale et des cartes révisées par tranche de profondeur.

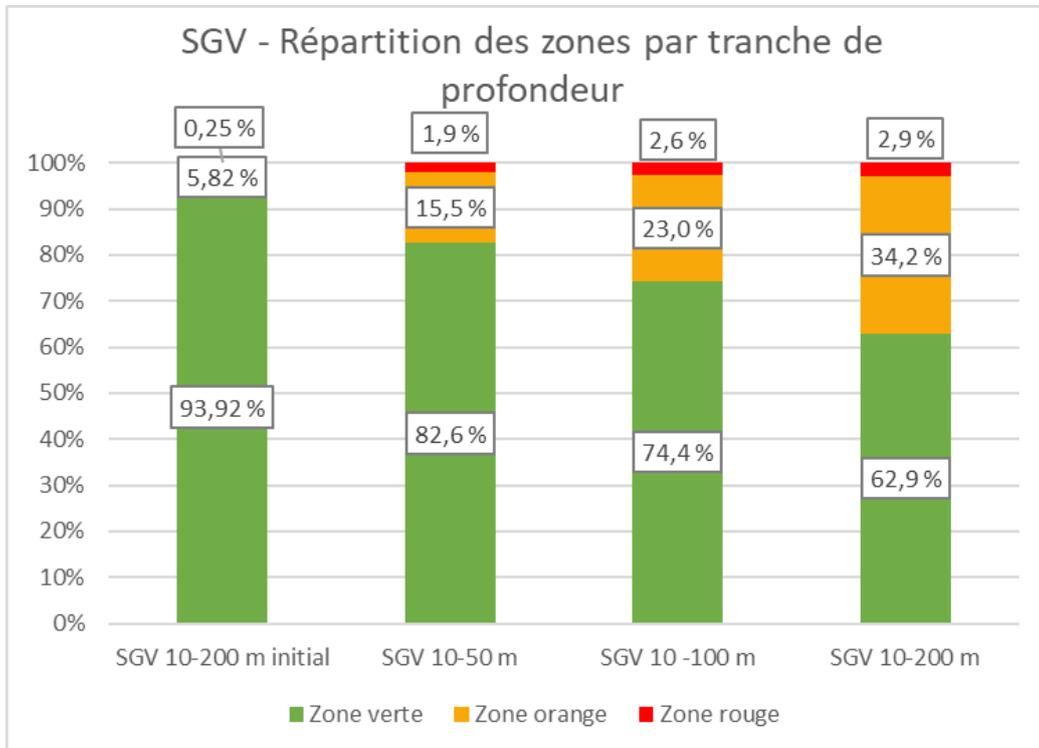


Figure 39 : Comparaison de la répartition des zones réglementaires pour les SGV de la carte initiale et des cartes révisées par tranche de profondeur.

6. Conclusion

Afin 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 carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance réalisée à l'échelle nationale en 2015, indiquant les zones géographiques où peuvent exister des risques liés à la réalisation d'un forage géothermique, a été révisée lors de cette étude à l'échelle de la Champagne-Ardenne pour apporter plus de précision en matière de connaissance et de localisation des phénomènes en s'appuyant sur le guide d'élaboration 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 révision en Champagne-Ardenne de la carte réglementaire nationale a été réalisée conjointement par le BRGM et le CEREMA. Le découpage en 3 tranches de profondeur (10-50 m, 10-100 m, 10-200 m) a sensiblement amélioré la précision de la carte réglementaire en Champagne-Ardenne.

L'élaboration de la carte territoriale tient compte de 8 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 Champagne-Ardenne 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 102 851 mailles de 500 m de côté couvrant le territoire. 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, 10 m - 100 m, 10 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 territoriale sont prises en compte. La précision apportée par la carte territoriale concerne particulièrement les phénomènes intégrant la géométrie et la localisation des formations géologiques issues des modèles géologiques, et des cartes piézométriques : évaporites, mise en communication des aquifères et artésianisme. La disponibilité de nouvelles données comme les secteurs d'information sur les sols (SIS) apporte beaucoup de modifications pour la carte du phénomène « Pollutions ». La prise en compte des cartes d'aléa amène des changements pour les phénomènes « Mouvements de terrain de type glissement » et « Affaissement/Effondrement lié aux cavités hors mines ». Quelques modifications sont apportées pour les phénomènes dans le territoire tel que le phénomène « Affaissement/Effondrement lié aux cavités minières » par la prise en compte des données des gîtes miniers exploités figurant dans la BSS. La nouvelle édition de 2018 de la carte cartographie des secteurs sensibles au phénomène de remontées de nappes a modifié la carte du phénomène « Remontée de nappes » impactant uniquement le zonage des cartes des doublets sur aquifère.

Le résultat final montre une différenciation nette entre les trois gammes de profondeur. On constate, pour les cartes territoriales, une augmentation des zones orange et rouges et une diminution des zones vertes pour les doublets et les SGV. Globalement, la zone verte représente un peu moins des trois quarts de la surface totale, la zone orange un quart et la zone rouge environ 1 %, sur la tranche 10 – 200 m, pour les doublets. Sur cette même tranche de profondeur, pour les SGV, la zone verte représente un peu moins des deux tiers de la surface totale, la zone orange un tiers et la zone rouge un peu moins de 3 %.

Comme le prévoit l'arrêté du 25 juin 2015 relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance, ce projet de cartes territoriales sera soumis, par la DREAL, à la consultation du public.

Après validation des critères par les services de l'État, un arrêté préfectoral décidera de la mise à disposition du public sur le site internet <https://www.geothermies.fr/> des cartes des zones réglementaires en Champagne-Ardenne pour son application dans le cadre de la réglementation de la géothermie de minime importance.

7. Bibliographie

Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance (juillet 2015) – Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie

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

Bault V. ; Bourguin B. ; Loiselet C. ; Anquetil E. (2015) - Cartes piézométriques basses eaux 2013 et hautes eaux 2014 des nappes du Lutétien et de l'Yprésien supérieur dans le Bassin Parisien. BRGM/RP-64887-FR

Briais Justine (2016) - Le Cénozoïque du Bassin de Paris : Un enregistrement sédimentaire haute résolution des déformations lithosphériques en régime de faible subsidence – Thèse

Dupaigne T., Bault V. et Meire B. (2018) – Réalisation d'une carte piézométrique synchrone de la nappe de l'Albien et nouvelles thermométries du Bassin parisien. Rapport BRGM/RP-68536-FR, 85 p., 52 ill., 3ann.

Herbaux M., Kreziak C., P. Durst P., Midot D., Schomburgk S., Martin J-C., Cochery R., Fourniguet G., Barras A-V. (2015) - Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance – BRGM-CEREMA

Mégnién Cl. et al (1980) - Synthèse géologique du bassin de Paris, Atlas volume II, Mémoire du BRGM n°102.

Rouxel.David.E. avec la collaboration de Batkowski D.; Baudouin V. ; Cordonnier G. ; Cubizolles J. ; Herrouin J.P. ; Izac J.L. ; Jégou J.P. ; Kieffer C. ; Mardhel V. ; Paya H. (2003) - Cartographie de la piézométrie de la nappe de la craie en Champagne-Ardenne : Rapport final. Rapport BRGM/RP-52332-FR

Seguin J.-J. ; Castillo C. ; Arnaud L. (2015) - Modélisation des nappes de l'Albien et du Néocomien du Bassin de Paris. Rapport final. Rapport BRGM/RP-64873-FR

Vernoux, Jean-François ; Maget, Philippe ; Donsimoni, Martin ; Blanchin, Raymonde ; Afzali, Hachèm ; Vairon, Jacques (1997) - Synthèse hydrogéologique du Crétacé inférieur du bassin de Paris. BRGM/RR-39702-FR

Sites internet

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

Géorisques > <https://www.georisques.gouv.fr/>

Géothermies > <https://www.geothermies.fr/>

SIGES Rhin-Meuse > <http://sigesrm.brgm.fr/>

SIGES Seine-Normandie > <http://sigessn.brgm.fr/>



**Centre scientifique et technique
Direction des Géoressources**
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34
www.brgm.fr