

Document public

Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Zone Auvergne

Rapport final

BRGM/RP-70459-FR

Avril 2021



Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Zone Auvergne

Rapport final

BRGM/RP-70459-FR

Avril 2021

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

C. Bertin, A. Foutier*, S. Leconte, L. Vernay*

*Cerema Direction territoriale Centre-Est

Vérificateur :

Nom : P. Durst

Fonction : Référent thématique

Date : 7/04/2021

Signature :



Approbateur :

Nom : E. Vanoudheusden

Fonction Directrice Régionale
Déléguée

Date : 15/04/2021

Signature :



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

Contact : qualite@brgm.fr

Mots-clés : géothermie, risque géologique, cartographie, code minier, minime importance, télédéclaration, cartes réglementaires, Auvergne, région Auvergne-Rhône-Alpes.

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

Bertin C. Foultier A., Leconte S, Vernay L. (2021) – Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Zone Auvergne. Rapport final. BRGM/RP-70459-FR, 109 p.,60 ill.1 ann.

© BRGM, 2021, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

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), notamment dans le cadre des actions de l'Agence de la transition écologique (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 Ministère de la Transition Ecologique (MTE) en juillet 2015. Ce guide constitue la méthodologie fixée par 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.

Elle 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, rédigée par un expert agréé prévue à l'article 22-2 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié ;
- Les zones dites « vertes » dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance sont réputées ne pas présenter des dangers et inconvénients graves.

Cette carte nationale est entrée en vigueur le 1^{er} juillet 2015 et est disponible sur le site <https://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 susceptibilités attribués à chaque phénomène peuvent être différents de ceux de la carte nationale.

Dans l'objectif d'avoir une carte plus précise à l'échelle de la région Auvergne-Rhône-Alpes, le Ministère (Direction Générale de la Prévention des Risques), l'ADEME, le CEREMA et le BRGM ont financé la réalisation des cartes de l'ex-région Rhône-Alpes en 2016 et de l'ex-région Auvergne en 2020 (objet du présent rapport). Ces cartes ont été réalisées par le BRGM et par le CEREMA.

L'élaboration de la carte régionale tient compte de 11 phénomènes redoutés. 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 ;
- Environnemental notamment par la dégradation ou la pollution des eaux souterraines.

La méthodologie retenue en Auvergne s'est basée sur le guide méthodologique et les travaux réalisés en Rhône-Alpes dans un souci de cohérence régionale.

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 ;
- Mouvements de terrain (ou glissement de terrain) ;
- Mise en communication d'aquifères ;
- Remontée de nappe.
- Pollution des sols et/ou des nappes souterraines ;
- Artésianisme ;

En Rhône-Alpes, les partenaires de l'étude (MTE représenté par la DREAL Rhône-Alpes, l'ADEME, le CEREMA et le BRGM) ont choisi de retenir deux phénomènes supplémentaires :

- Séisme ;
- Pollution potentielle liée aux (anciens) sites industriels et activités de service.

Tous ces phénomènes ont été un à un cotés selon des niveaux établis puis hiérarchisés selon des facteurs dits aggravants afin d'aboutir à une carte constituée de 104 557 mailles de 500 m de côté, répertoriant les trois zones (rouge, orange et verte) mentionnées précédemment.

Les cartes de zonage réglementaire ont été réalisées pour deux types d'usages géothermiques : les sondes géothermiques verticales ou SGV (échangeur fermé) et l'exploitation par doublets sur aquifère (échangeur ouvert), pour trois gammes de profondeur : 10- 50 m, 10-100 m et 10-200 m. Un total de six cartes a donc été élaboré.

La proportion de zones vertes, oranges et rouges est quasi identique pour les deux types d'usages géothermiques et selon les trois gammes de profondeurs considérées.

On compte environ 97,2 % de zones vertes, 2,7 % de zones oranges et environ 0,1 % de zones rouges.

La carte régionale ne modifie que très peu la part de zones vertes du niveau national qui passent de 98,5 % (doublets) et 98,8 % (SGV) à 97,2 % au niveau régional. Les zones oranges augmentent très légèrement : 2,7 % au niveau régional pour 1,5 % (doublets) et 1,2 % (SGV) au niveau national.

La carte régionale conduit à une plus grande superficie de zones oranges autour des agglomérations et grandes villes comme Clermont-Ferrand, Vichy, Montluçon, Commentry et Le Puy-en-Velay. Il est à noter que la proportion de zone rouge augmente pour la capitale algérienne. A contrario, on observe une réduction de l'emprise des zones oranges autour des villes d'Aurillac et St-Flour dans le Cantal.

Outre la mise en exergue de la plupart des grandes villes, la carte régionale crée des zones oranges sur l'ensemble du territoire des quatre départements auvergnats alors que sur la carte nationale, les zones oranges sont essentiellement présentes dans le Cantal, autour du Puy-en-Velay et au nord-ouest du département de l'Allier.

La régionalisation de la carte réglementaire a pour effet de mettre en évidence quelques zones à risque pour l'ex-région Auvergne vis-à-vis de la réalisation de forages géothermiques : environ 0,2% du territoire est concerné par les zones rouges alors que seules 16 mailles sont dénombrées sur la carte nationale.

Sommaire

1. Introduction	13
2. Réglementation applicable à la géothermie de minime importance	15
2.1. LE CODE MINIER.....	15
2.2. LES REGLEMENTATIONS TERRITORIALISEES A PRENDRE EN CONSIDERATION	16
3. Méthodologie de réalisation de la carte réglementaire.....	17
3.1. METHODOLOGIE UTILISEE	17
3.2. LA GRILLE UTILISEE ET SES ATTRIBUTS.....	21
3.3. CALCUL DE COTATION ET ELABORATION DES ZONES.....	24
4. Fiches des phénomènes redoutés	25
4.1. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/SURRECTION LIE AUX FORMATIONS EVAPORITIQUES ».....	25
4.1.1. Description du phénomène et occurrences	25
4.1.2. Qualification du phénomène	25
4.1.3. Données utilisées et traitement.....	26
4.1.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques »	28
4.1.5. Cotation de l'aléa du phénomène « affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques »	29
4.2. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIE AUX CAVITES (HORS MINES) »	30
4.2.1. Description du phénomène et occurrences	30
4.2.2. Qualification du phénomène	30
4.2.3. Données utilisées et traitement.....	30
4.2.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) »	32
4.2.5. Cotation de l'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) »	33
4.3. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIE AUX CAVITES MINIERES »	34
4.3.1. Description du phénomène et occurrences	34
4.3.2. Qualification du phénomène	34
4.3.3. Données utilisées et traitement.....	34
4.3.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières»	36

4.3.5. Cotation de l'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières ».....	37
4.4. PHENOMENE « MOUVEMENTS DE TERRAIN DE TYPE GLISSEMENT ».....	38
4.4.1. Description du phénomène et occurrences.....	38
4.4.2. Qualification du phénomène.....	38
4.4.3. Données utilisées et traitement.....	39
4.4.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « mouvements de terrain de type glissement ».....	45
4.4.5. Cotation de l'aléa du phénomène « mouvements de terrain de type glissement ».....	46
4.5. PHENOMENE DE « POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE ».....	49
4.5.1. Description du phénomène et occurrences.....	49
4.5.2. Qualification du phénomène.....	49
4.5.3. Données utilisées et traitement.....	50
4.5.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine ».....	52
4.5.5. Cotation de l'aléa du phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine ».....	53
4.6. PHENOMENE DE « POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE LIE A LA PRESENCE DE PANACHES DE POLLUTION ».....	54
4.6.1. Description du phénomène et occurrences.....	54
4.6.2. Elaboration de la carte des pollutions en Auvergne.....	66
4.6.3. Cartographie et cotation de l'aléa du phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine lié à la présence de panaches de pollution ».....	73
4.7. PHENOMENE « ARTESIANISME ».....	75
4.7.1. Phénomène redouté.....	75
4.7.2. Qualification du phénomène.....	75
4.7.3. Données utilisées et traitement.....	76
4.7.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « artésianisme ».....	77
4.7.5. Cotation de l'aléa du phénomène « artésianisme ».....	79
4.8. PHENOMENE « MISE EN COMMUNICATION D'AQUIFERES ».....	80
4.8.1. Description du phénomène redouté.....	80
4.8.2. Qualification du phénomène.....	80
4.8.3. Données utilisées et traitement.....	80
4.8.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « mise en communication d'aquifères ».....	82
4.8.5. Cotation de l'aléa du phénomène « mise en communication d'aquifères ».....	82
4.9. PHENOMENE « INONDATION PAR REMONTEE DE NAPPE ».....	84
4.9.1. Description du phénomène.....	84
4.9.2. Qualification du phénomène.....	84
4.9.3. Données utilisées et traitement.....	86
4.9.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « inondation par remontée de nappe ».....	86

4.9.5. Cotation de l'aléa du phénomène « inondation par remontée de nappe »	87
4.10. PHENOMENE DE « SEISME »	88
4.10.1. Phénomène redouté	88
4.10.2. Qualification du phénomène	88
4.10.3. Traitement	88
4.10.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « séisme »	89
4.10.5. Cotation de l'aléa du phénomène « séisme »	89
4.11. PHENOMENE DE « POLLUTION POTENTIELLE LIEE AUX (ANCIENS) SITES INDUSTRIELS ET ACTIVITES DE SERVICE	90
4.11.1. Description du phénomène et occurrences	90
4.11.2. Qualification du phénomène	90
4.11.3. Données utilisées et traitement	90
4.11.4. Cartographie de l'aléa du phénomène pollution potentielle « BASIAS »	92
4.11.5. Cotation de l'aléa du phénomène « pollution potentielle « BASIAS »	92
5. Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance	95
5.1. RESULTATS POUR L'EX-REGION AUVERGNE	95
5.2. EXAMEN DES LIMITES AVEC LES CARTOGRAPHIES REGIONALES LIMOUSIN ET RHONE-ALPES	96
5.2.1. Comparaison avec l'ex-région Limousin	96
5.2.2. Comparaison avec l'ex-région Rhône-Alpes	97
6. Les écarts vis-à-vis du guide d'élaboration de la carte	101
6.1. POUR LE PHENOMENE D'AFFAISSEMENT/SURRECTION LIE AUX FORMATIONS EVAPORITIQUES	101
6.2. POUR LE PHENOMENE DE MISE EN COMMUNICATION D'AQUIFERES	101
6.3. POUR LE PHENOMENE DE POLLUTION DES SOLS ET/OU DES NAPPES SOUTERRAINES	101
6.4. PRISE EN COMPTE DE DEUX PHENOMENES SUPPLEMENTAIRES (SEISME ET POLLUTION POTENTIELLE LIEES AUX (ANCIENS) SITES INDUSTRIELS ACTIVITES DE SERVICE BASIAS	102
6.4.1. Séisme	102
6.4.2. Pollution potentielle BASIAS	103
7. Conclusion	105
8. Bibliographie	107

Liste des figures

illustration 1 – Récapitulatif des niveaux des phénomènes et des facteurs aggravants utilisés pour la cartographie réglementaire régionale	19
illustration 2 – Récapitulatif des niveaux des phénomènes et des facteurs aggravants utilisés pour la cartographie régionale Rhône-Alpes (RHA), pour la cartographie régionale Auvergne (AUV) en comparaison avec la cartographie nationale	20
illustration 3 – Grille de 104 557 mailles de 500 X 500 m couvrant la région auvergne	22
illustration 4 – Exemple de table attributaire de la grille	24
illustration 5 – Cartographie des sondages de plus de 100 m dans le bassin de la Limagne	26
illustration 6 – Sondages de plus de 100 m de profondeur dans le bassin de la Limagne présentant des niveaux de gypse	27
illustration 7 – Délimitation de la zone susceptible de contenir du gypse en profondeur	28
illustration 8 – Carte des niveaux d'aléa du phénomène « affaissement/surrection lié aux évaporites » en Auvergne.....	29
illustration 9 – Caractérisation du phénomène affaissement/surrection lié aux niveaux d'évaporites	29
illustration 10 - Caractérisation du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) pour les cartes d'aléa	31
illustration 11 – Valeurs des différents tampons attribués aux points selon leur précision	31
illustration 12 – Caractéristion du phénomène en fonction de la densité des points	32
illustration 13 – Principe du comptage par maille des points avec leur tampon.....	32
illustration 14 – Cartes des niveaux d'aléa du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines)	33
illustration 15 – Pondération des aléas affaissement/effondrement liés aux cavités (hors mines).....	33
illustration 16 - Liste des documents fournis par les Directions Départementales du Territoire	35
illustration 17 - Niveaux des aléas du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités minières ..	35
illustration 18- Niveaux des aléas du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités minières pour la tranche de profondeur 10-50 m.....	36
illustration 19 - Niveaux des aléas du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités minières pour les tranches de profondeur 50-100 m et 100-200 m	36
illustration 20 - Cartographie des aléas du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités minières pour les tranches 0-50 et 50-200 m	37
illustration 21 - Pondération des aléas affissement/effondrement lié aux cavités minières	37
illustration 22 – Extraction des glissements et des coulées depuis le fichier de la DDT15.....	40
illustration 23- Qualification du niveau de l'aléa à partir de la carte des Egravats	41
illustration 24 - Qualification du niveau de l'aléa à partir de la carte ZERMOS Sancy.....	42
illustration 25 - Qualification du niveau de l'aléa à partir de la carte R111 de Riom	43
illustration 26 - Qualification du niveau de l'aléa à partir de la carte SDAgglo	43
illustration 27 - Niveaux de l'aléa/suceptibilité du phénomène glissement de terrain	44
illustration 28 - Valeur des tampons en fonction de la précision de la donnée	45
illustration 29 - Niveaux d'aléas et susceptibilité du phénomène glissement de terrain « ponctuel » (à partir de la BDMVT)	45

illustration 30 - Cartes des aléas du phénomène glissements de terrain (surface et ponctuel)	46
illustration 31 – Carte des niveaux d'aléas/susceptibilité du du phénomène glissement de terrain dans la tranche 0-50 m.....	48
illustration 32 – Carte de localisation des sites BASOL (06/11/19/ et SIS (09/04/20) utilisés pour la qualification du phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine » en Auvergne.....	51
illustration 33 – Carte des niveaux d'aléa du phénomène « pollution des sols et des nappes souterraines » en Auvergne pour une profondeur 10-50 m	52
illustration 34 - Illustration de comportements de panache de polluants « légers » (LNAPL) ou « lourds » (DNAPL).....	58
illustration 35 - Longueurs maximales constatées de panaches en Europe (vert foncé) et longueurs moyennes des panaches dans 75 % des cas (vert clair) en fonpp & Paus, 1999 ; Christensen et al., 2001 ; Newell and Connor, 1998)ction des type de polluants : n= nombre de sites étudiés (d'après Schiedek et al., 1997, Stupp & Paus, 1999; Christensen et al., 2001; Newell and Connor, 1998)	59
illustration 36 – Evolution d'un panache de polluants en phase aqueuse (adapté de Sinke et Le Hécho, 1999)	61
illustration 37 – Facteur de pondération lié à l'importance du dépôt (exprimé en poids, volume ou surface)	63
illustration 38- Principe de détermination de la taille du panache selon l'importance de la source et le type de polluants – Exemple de traduction cartographique sur sites réels	65
illustration 39 – Détermination de l'éirement du panache selon le sens d'écoulement de la nappe. Etape 1 (en rose) : détermination de la taille du panache sans prise en compte de l'écoulement de la nappe. Etape 2 (en rouge) : resserrement et étirement du panche selon le sens d'écoulement des eaux	66
illustration 40 – Inventaire des sites pollués BASOL en Auvergne (déc.2019).....	67
illustration 41 – Inventaire des sites pollués pouvant générer des panaches de pollution en Auvergne (déc. 2019).....	67
illustration 42 – Carte des sites et sols pollués en Auvergne.....	69
illustration 43 – Distribution des tailles de panaches estimés sur les pollutions connues de la nappe (sites Auvergne)	70
illustration 44 - Distribution des tailles de panaches estimés sur les pollutions provenant des sols (sites Auvergne)	71
illustration 45 – Emprises des panaches potentiels de pollution en Auvergne	72
illustration 46 – Carte GMI Auvergne des susceptibilités du phénomène « panache de pollution » toutes profondeurs	74
illustration 47 - Carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en ex-région Auvergne pour une profondeur 10- 50 m	77
illustration 48 – Carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en ex-région Auvergne pour une profondeur 10- 100 m	78
illustration 49 - Carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en ex-région Auvergne pour une profondeur 10- 200 m	78
illustration 50 - Contours des entités BDLISA pour les thèmes volcanisme, sédimentaire et socle (image de gauche) et contours redessinés pour la présente étude à partir des cartes géologiques harmonisées à 1/50000 (image de droite), dans le secteur de la commune de Besse (63).....	81

illustration 51 – Carte des niveaux de susceptibilité du phénomène de mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères pour une profondeur 10-200 m	82
illustration 52 - Extrait de la carte nationale de sensibilité aux remontées de nappe pour l'ex-région Auvergne (https://www.georisques.gouv.fr/dossiers/inondations/cartographie_remontee_nappe)..	85
illustration 53 – Carte des niveaux d'aléa/susceptibilité du phénomène d'inondation par remontée de nappe en Auvergne.....	86
illustration 54 - Carte du niveau d'aléa/susceptibilité du phénomène de séisme en zone Auvergne	89
Illustration 55 - Carte de localisation des sites BASIAS en Auvergne à la date du 21/02/2020	91
illustration 56 – Carte des niveaux de susceptibilité du phénomène de pollution potentielle liée aux (anciens) sites industriels et activités de service en ex-région Auvergne	92
Illustration 57 – Tableau de répartition des zones vertes, orange et rouges de la carte régionale « Auvergne »selon les types de réalisations géothermiques et selon les profondeurs, comparaison avec la carte nationale déclinée en Auvergne	95
illustration 58 – Secteurs de cotations différentes selon la cartographie du Limousin et la cartographie en Auvergne (ellipse rouge : cotation finale différente, en bleu : contours du plan d'eau de la retenue des Fades-Besserves).....	97
illustration 59 – Mailles communes aux régions Auvergne et Rhône-Alpes, exemple pour les doublets géothermiques pour la gamme de profondeur 10-200 m : en vert les mailles dont la note finale est identique, en rouge les mailles où elle differt	98
illustration 60 – Localisation des trois secteurs où les notes finales conduisent à des classements en zones différentes selon les régions (mailles violettes). Cas présenté : doublets et profondeur 10-100 m	99

Liste des annexes

Annexe 1 Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance - Auvergne.....	111
---	-----

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), notamment dans le cadre des actions de l'Agence de la transition écologique (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 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 Ministère de la Transition Ecologique (MTE) en juillet 2015. Ce guide constitue la méthodologie fixée par 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, rédigée 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 est entrée en vigueur le 1^{er} juillet 2015 et est disponible sur le site <https://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 susceptibilités attribués à chaque phénomène peuvent être différents de ceux de la carte nationale.

L'élaboration de la carte régionale tient compte de 11 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 ;
- environnemental notamment par la dégradation ou la pollution des eaux souterraines.

Dans l'objectif d'avoir une carte régionale plus précise, à l'échelle de l'ex-région Rhône-Alpes, le MTE, l'ADEME Rhône-Alpes, le CEREMA Centre-Est et le BRGM ont financé la réalisation de la carte régionale Rhône-Alpes en 2016. Ce travail a été réalisé par le BRGM et le CEREMA, et a fait l'objet d'un rapport (Rapport BRGM/RP-65710-FR).

Conformément au guide méthodologique, les phénomènes retenus en Rhône-Alpes ont été :

- 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. Ce phénomène a été décliné en deux phénomènes séparés pour la cartographie Rhône-Alpes ;
- artésiasisme ; mise en communication d'aquifères ;
- remontée de nappes.

A ces phénomènes, les partenaires de l'étude (MTES représenté par la DREAL Rhône-Alpes, ADEME, CEREMA et BRGM), ont décidé de retenir deux phénomènes supplémentaires :

- séisme ;
- pollution potentielle liée aux (anciens) sites industriels et activités de service.

Tous ces phénomènes ont été un à un cotés selon des niveaux établis puis hiérarchisés selon des facteurs dits aggravants afin d'aboutir à la carte constituée de mailles de 500 m de côté, répertoriant les trois zones (rouge, orange et verte) mentionnées précédemment.

Les cartes de zonage réglementaires sont réalisées pour deux types d'usages géothermiques : les sondes géothermiques verticales ou SGV (échangeur fermé) et l'exploitation par doublets sur aquifère (échangeur ouvert) et, pour trois gammes de profondeur : 10-50 m, 10- 100 m et 10- 200 m, soit un total de 6 cartes.

Dans un souci de cohérence régionale, la cartographie des risques liés à la géothermie de minime importance sur le territoire de l'ex-région Auvergne, objet de ce rapport, est réalisée sur le modèle des travaux effectués en Rhône-Alpes en 2016.

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 enfermés 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 de moins de 500 kW 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 de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance ;
- 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 de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance.

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 le site <https://www.geothermies.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 <https://www.geothermies.fr/>.

2.2. LES REGLEMENTATIONS TERRITORIALISEES A PRENDRE EN CONSIDERATION

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, de captages d'eau minérale, les zones mentionnées dans les SDAGE et les SAGE ainsi que les périmètres qui disposent de servitudes d'utilité publiques encadrant l'utilisation du sol et du sous-sol.

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

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

3. Méthodologie de réalisation de la carte réglementaire

3.1. METHODOLOGIE UTILISEE

La réalisation de la carte régionale suit la méthode dictée par le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance mis au point par le MTE, et prend en considération les caractéristiques du sous-sol et des phénomènes redoutés pouvant être rencontrés lors de travaux de forage des échangeurs géothermiques de minime importance.

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

- le phénomène redouté est décrit et caractérisé par des niveaux aléas (faible, moyen, fort) lorsque les cartes d'aléas existent ou en termes de probabilité d'occurrence (susceptibilité) en l'absence d'une carte de l'aléa ;
- une valeur est attribuée à chaque niveau ;
- un facteur aggravant est ensuite attribué en fonction de son impact potentiel, ce facteur pouvant être différent selon la technique d'exploitation géothermique employée : échangeur fermé ou échangeur ouvert ;
- la disponibilité des données utilisées est précisée.

La carte révisée, appliquée à l'ex-région Auvergne, se compose de six cartes, car elle distingue pour chaque type d'échangeur (échangeur fermé, échangeur ouvert) trois intervalles de profondeur : 10-50 mètres, 10-100 mètres et 10-200 mètres.

La méthodologie d'élaboration de la carte des zones utilise une analyse multicritère (c'est à dire basée sur la superposition de plusieurs phénomènes). Les cartes ont été réalisées à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG). Chacun des phénomènes identifiés est représenté par une couche spécifique au sein de l'outil SIG.

En cohérence avec le travail réalisé préalablement en Rhône-Alpes, les phénomènes retenus sont :

- phénomène d'affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques ;
- phénomène d'affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) ;
- phénomène d'affaissement/effondrement lié aux cavités d'origine minière ;
- phénomène de mouvement de terrain (ou glissement de terrain) ;

- phénomène lié à une pollution des sols et/ou des nappes. **Pour la cartographie en Rhône-Alpes et Auvergne, ce phénomène a été décliné en deux phénomènes séparés :**
 - **phénomène lié à une pollution engendrée par la présence d'un site BASOL (site issu de la Base de données sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif) ou la présence d'une nappe reconnue comme étant à pollution diffuse ;**
 - **phénomène lié à la présence d'un panache de pollution**
- phénomène lié à l'artésianisme ;
- phénomène de mise en communication d'aquifères ;
- phénomène de remontée de nappe.

En cohérence avec le modèle de travail de Rhône-Alpes ont été retenus 2 phénomènes redoutés supplémentaires :

- **phénomène de séisme** (intégré au phénomène « mouvement de terrain ») ;
- **phénomène de pollution potentielle lié aux (anciens) sites industriels et activités de service (base de données BASIAS)** (intégré au phénomène « pollution des sols et/ou des nappes »).

Les éléments qui alimentent chacune des couches identifiant un phénomène particulier sont cotés en fonction de leur niveau d'aléa/susceptibilité (fort, moyen, faible ou nul) vis-à-vis des travaux de forage à exécuter.

Une valeur de pondération, fonction de l'intensité des phénomènes redoutés (affaissement, effondrement, pollution...), appelé facteur aggravant a ensuite été attribuée à chacun des phénomènes identifiés.

Le tableau de synthèse de l'ex-région Auvergne avec les cotations proposées à chaque phénomène décrit dans l'analyse multicritère est présenté ci-après, par type d'échangeur.

Phénomènes redoutés	Niveaux aléa/ susceptibilité du phénomène	Facteur aggravant (échangeur ouvert)	Facteur aggravant (échangeur fermé)	Niveau final (échangeur ouvert)	Niveau final (échangeur fermé)
Affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques	0/1	6	10	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Affaissement/ effondrement lié aux cavités (hors mines)	0/1/2/3/5/7	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Affaissement/ effondrement lié aux cavités minières	0/1/5/7	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Mouvement de terrain (ou glissement de terrain)	0/1/2/3/5/7	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Pollution des sols et/ou des nappes souterraines, liée aux sites industriels *	0/1/3	3	3	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Pollution des sols et/ou des nappes souterraines liée à la présence de panaches de pollution *	0/4/6/10	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	4	4	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Remontée de nappe	0/1	2	0	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Séisme **	0/1	1	1	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Pollution potentielle liée aux (anciens) sites industriels et activités de service **	0/1/2/3	1	1	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Niveau final				Somme	Somme
* phénomène décomposé en deux en Auvergne-Rhône-Alpes (AURA). ** phénomène ajouté en AURA					
Classement en zone verte, orange ou rouge, selon la somme	Somme [0 -13] : Vert		Somme [14 -41] : Orange		Somme > 41 : Rouge

illustration 1 – Récapitulatif des niveaux des phénomènes et des facteurs aggravants utilisés pour la cartographie réglementaire régionale (d'après le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance, 2015)

Le tableau suivant (illustration 2) présente une comparaison des niveaux d'aléas/susceptibilité et des facteurs aggravants utilisés pour la cartographie nationale, la cartographie régionale Rhône-Alpes¹ et la cartographie régionale Auvergne. Pour la cartographie régionale Auvergne, les niveaux de cotation retenus pour les différents phénomènes sont explicités dans le chapitre 4.

Phénomène redouté	Carte	Niveaux aléa/susceptibilité										Note maximale	Facteur aggravant		Résultat maximum		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	Doublet	SGV	Doublet	SGV
Evaporites	Nationale	X			X								3	6	10	18	30
	RHA	X						X				7	6	10	42	70	
	AUV	X	X									1	6	10	6	10	
Cavités non minières	Nationale	X	X	X	X							3	2	2	6	6	
	RHA	X	X	X	X		X	X				7	2	2	14	14	
	AUV	X	X	X	X		X	X				7	2	2	14	14	
Cavités minières	Nationale	X			X							3	2	2	6	6	
	RHA	X	X		X		X	X				7	2	2	14	14	
	AUV	X	X				X	X				7	2	2	14	14	
MVT	Nationale	X	X	X	X							3	2	2	6	6	
	RHA	X	X	X	X		X	X				7	2	2	14	14	
	AUV	X	X	X	X		X	X				7	2	2	14	14	
Pollution BASOL	Nationale	X	X			X		X				6	3	3	18	18	
	RHA	X	X	X	X							3	3	3	9	9	
	AUV	X	X		X							3	3	3	9	9	
Panaches pollution	Nationale	X	X			X		X				6	3	3	18	18	
	RHA	X				X		X			X	10	3	3	30	30	
	AUV	X				X		X			X	10	3	3	30	30	
Artésianisme	Nationale	X			X							3	2	4	6	12	
	RHA	X			X			X				7	4	4	28	28	
	AUV	X			X			X				7	2	4	14	28	
Communication Aquifères	Nationale	X			X							3	4	4	12	12	
	RHA	X	X									1	4	4	4	4	
	AUV	X	X									1	4	4	4	4	
Remontée de nappes	Nationale	X	X									1	2	0	2	0	
	RHA	X	X									1	2	0	2	0	
	AUV	X	X									1	2	0	2	0	
Seisme	Nationale														0	0	
	RHA	X	X									1	1	1	1	1	
	AUV	X	X									1	1	1	1	1	
Pollution pot. BASIAS	Nationale														0	0	
	RHA	X	X	X	X							3	1	1	3	3	
	AUV	X	X	X	X							3	1	1	3	3	

illustration 2 – Récapitulatif des niveaux des phénomènes et des facteurs aggravants utilisés pour la cartographie régionale Rhône-Alpes (RHA), pour la cartographie régionale Auvergne (AUV) en comparaison avec la cartographie nationale

¹ Fourniguet *et al*, 2016)

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

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

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

Il est rappelé qu'au-delà de la prise en compte de ces zones (vertes, orange, rouges), 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 prises en compte par les maîtres d'ouvrage.

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

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

3.2. LA GRILLE UTILISEE ET SES ATTRIBUTS

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

La couverture complète de la région Auvergne correspond à 104 557 mailles au total, soit environ 26 000 km².

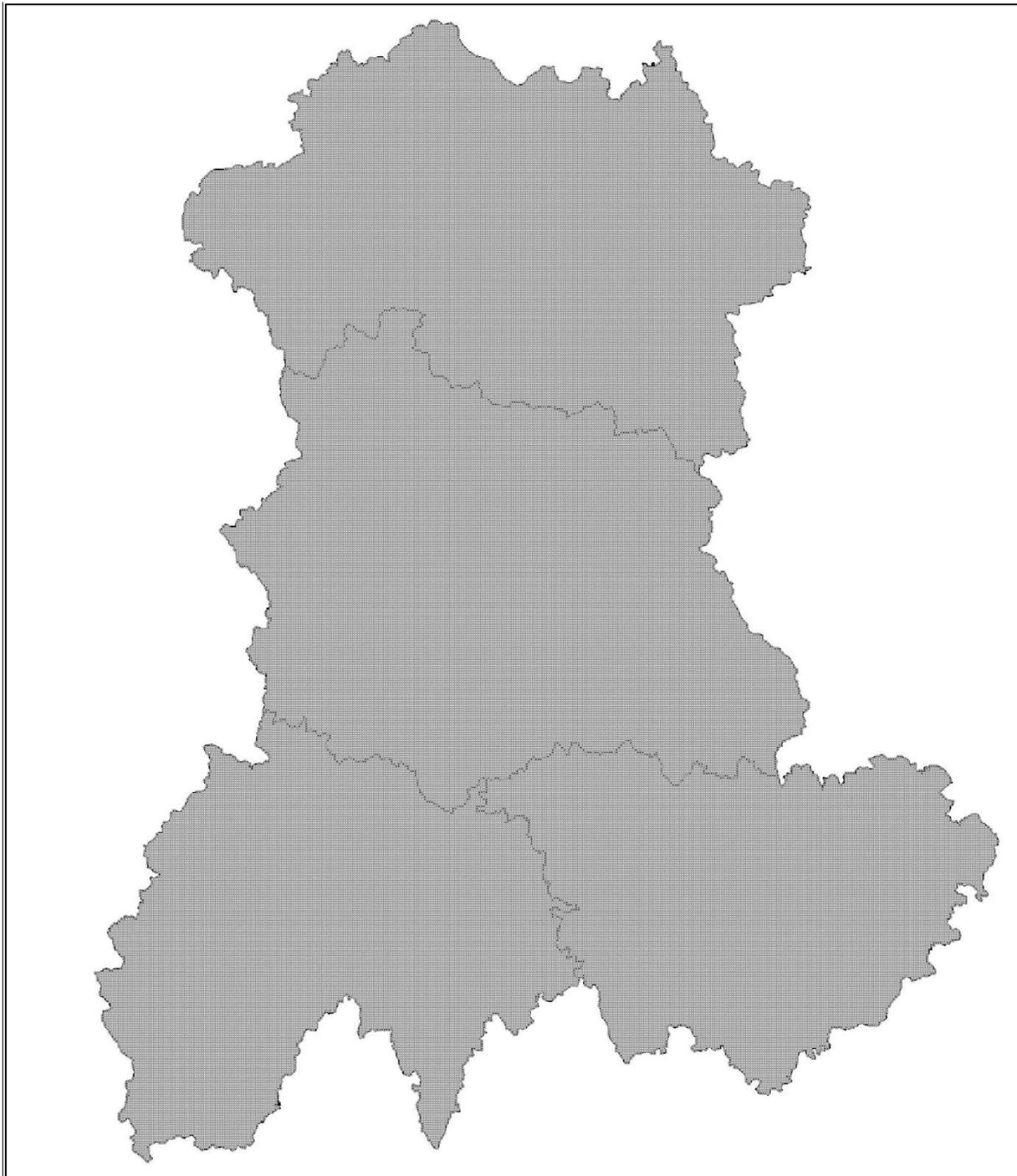


illustration 3 – Grille de 104 557 mailles de 500 X 500 m couvrant la région auvergne

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

- **Attribut « Maille »** : de type entier long, correspondant à un identifiant unique attribué à chaque maille. Pour une maille de 500 x 500, l'identifiant se termine par 00 ;
- **Attribut « Profondeur »** : de type entier court. L'intervalle de profondeur est précisé (50, 100, 200) pour la carte régionale ;

- **Attributs « coordonnées X_RGF93 » et « Y_RGF93 »** de type entier long. Ces coordonnées sont exprimées en mètre. Elles correspondent au centre de chaque maille dans le système RGF93-Lambert93 ;
- **Attribut « Altitude Z_NGF »** de type entier court. Il correspond à l'altitude moyenne du sol au sein de la maille ; cette altitude est définie par rapport au NGF. Elle est exprimée en mètre avec une précision au mètre ;
- **Champs** de type entier court **correspondent aux dix phénomènes définissant un risque potentiel**. Ces dix champs contiennent la valeur attribuée au niveau d'aléa associé :
 - « **evaporites** » : phénomène d'affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques ;
 - « **cavite_nm** » : phénomène d'affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines)
 - « **cav_min** » : phénomène d'affaissement/effondrement lié aux cavités d'origine minière ;
 - « **MVT** » : phénomène mouvements de terrain (glissement de terrain) ;
 - « **BASOL** » : phénomène pollution des sols et/ou des nappes ;
 - « **artésien** » : phénomène « artésianisme » ;
 - « **com_aquif** » : phénomène de « mise en communication d'aquifères » ;
 - « **remontee** » : phénomène de « remontée de nappe » ;
 - « **seisme** » : phénomène de séisme ;
 - « **BASIAS** » : phénomène « pollution potentielle » ;
 - « **Panaches** » : phénomène de pollution des sols lié à la présence de panaches de pollution
 - « **admin** » : ce caractère binaire (soit 0, soit 1) pose le pixel considéré en zone rouge ou pas. La cotation 1 qui place le pixel en zone rouge est posée au regard du retour d'expérience ou de la connaissance locale, dont dispose l'administration vis-à-vis des conséquences d'un forage géothermique de minime importance ou tout autre forage du sol et du sous-sol sur la zone. La réalisation d'un ouvrage de géothermie sur la zone est alors 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.
- **Attribut « Doublet »** de type entier court. Ce champ correspond à la somme des niveaux d'aléa pondérés des facteurs aggravants pour la carte qui décrit les zones pour les échangeurs ouverts (de type « doublet sur aquifère ») ;
- **Attribut « SGV »** de type entier court. Ce champ correspond à la somme des niveaux d'aléa pondérés des facteurs aggravants pour la carte qui décrit les zones pour les échangeurs fermés (de type « sonde géothermique verticale ») ;
- **Attribut « cl_doublet »** de type entier court. Ce champ présente la classification des zones réglementaires retenue pour la carte qui décrit les zones pour les échangeurs ouverts (de type « doublet sur aquifère » (1=vert, 2=orange, 3=rouge)) ;
- **Attribut « cl_sgv »** de type entier court. Ce champ présente la classification des zones réglementaires retenue pour la carte qui décrit les zones pour les échangeurs fermés (de type « sonde géothermique verticale » (1=vert, 2=orange, 3=rouge)).

3.3. CALCUL DE COTATION ET ELABORATION DES ZONES

Les notes finales par pixel sont calculées en fonction des facteurs aggravants, à savoir, pour l'étude menée en Auvergne :

- « **Doublet** » = évaporites x 6 + cavite_nm x 2 + cav_min x 2 + MVT x 2 + BASOL x 3 + artésien x 2 + com_aquif x 4 + remontee x 2 + seisme x 1 + BASIAS x 1 + Panaches x 3 ;
- « **SGV** » = évaporites x 10 + cavite_nm x 2 + cav_min x 2 + MVT x 2 + BASOL x 3 + artésien x 4 + com_aquif x 4 + remontee x 0 + seisme x 1 + BASIAS x 1 + Panaches x 3

Les champs « cl_doublet » et « cl_sgv » sont ensuite calculés de la manière suivante :

- 1 pour les zones vertes (score entre 0 et 13) ;
- 2 pour les zones orange (score entre 14 et 41) ;
- 3 pour les zones rouges (score supérieur ou égal à 42).

La valeur de ces deux champs 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 (règle de l'héritage de l'aléa le plus élevé).

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

	Maille	Profondeur	X_RGF93	Y_RGF93	Z_NGF	evaporites	cavite_nm	cav_min	MVT	panaches	BASOL	artésien	com_aquif	remontee	BASIAS	seisme	admin	Doublet	SGV	cl_doublet	cl_sgv
1	62457100	50	766238	6439738	684	1	0	0	3	0	0	0	1	1	0	0	0	18	20	2	2
2	62582600	50	766238	6440238	655	1	7	0	3	0	0	0	1	1	0	0	0	32	34	2	2
3	62708100	50	766238	6440738	668	1	7	0	3	0	0	0	1	1	0	0	0	32	34	2	2
4	62331800	50	766738	6439238	651	1	7	0	3	0	0	7	1	1	0	0	0	60	62	3	3
5	62457200	50	766738	6439738	659	1	1	0	3	0	0	0	1	1	0	0	0	20	22	2	2
6	62582700	50	766738	6440238	715	1	5	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	26	30	2	2
7	62708200	50	766738	6440738	738	1	5	0	3	0	0	0	1	0	1	0	0	27	31	2	2
8	62833600	50	766738	6441238	780	1	5	0	3	0	0	0	1	0	1	0	0	27	31	2	2
9	62331900	50	767238	6439238	649	1	7	0	3	0	0	0	1	1	1	0	0	33	35	2	2

illustration 4 – Exemple de table attributaire de la grille

4. Fiches des phénomènes redoutés

Les cartes fiches des phénomènes suivants ont été établies par le CEREMA :

- phénomène d'affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques ;
- phénomène d'affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) ;
- phénomène d'affaissement/effondrement lié aux cavités d'origine minière ;
- phénomène de mouvement de terrain (ou glissement de terrain) ;
- phénomène lié à la présence d'un panache de pollution.

Le BRGM a élaboré les cartes des phénomènes :

- phénomène lié à une pollution engendrée par la présence d'un site BASOL ;
- phénomène lié à l'artésianisme ;
- phénomène de mise en communication d'aquifères ;
- phénomène de remontée de nappe ;
- phénomène de séisme ;
- phénomène de pollution potentielle lié aux sites BASIAS.

Chaque organisme a rédigé les paragraphes correspondant aux travaux qu'il a réalisés.

4.1. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/SURRECTION LIE AUX FORMATIONS EVAPORITQUES »

4.1.1. Description du phénomène et occurrences

Le phénomène étudié correspond à un affaissement de terrain, voire à un effondrement ou une surrection des terrains de surface, lié à la dissolution d'un niveau d'évaporite ou du gonflement de ce niveau en présence d'anhydrite. Ce phénomène est provoqué par la mise en communication de nappe superficielle ou profonde avec les horizons évaporitiques à la faveur d'ouvrages souterrains mal réalisés ou difficilement réalisables dans ce contexte.

Il n'existe pas de cartographie des aléas liés à ce phénomène actuellement en France. Un exemple de ce phénomène est observé actuellement en Lorraine.

4.1.2. Qualification du phénomène

Il n'existe pas de cartographie régionale ou locale des aléas liés à ce phénomène dans la région Auvergne. En l'absence de cartographie, ce phénomène est qualifié en fonction de sa susceptibilité (probabilité d'occurrence).

Quatre niveaux de susceptibilité sont définis d'après le guide méthodologique général :

- **susceptibilité forte** : présence avérée d'un ou plusieurs horizons évaporitiques en quantité suffisante (à partir des informations provenant de sondages, de notices de cartes géologiques ou de dires d'expert) ;

- **susceptibilité moyenne** : présence avérée d'un ou plusieurs horizons évaporitiques en faible quantité (à partir des informations provenant de sondages, de notices de cartes géologiques ou de dires d'expert) ;
- **susceptibilité faible** : pas d'horizon évaporitique connu mais formation susceptible d'en contenir ;
- **susceptibilité nulle** : formation ne pouvant pas contenir d'horizon évaporitique.

4.1.3. Données utilisées et traitement

D'après l'histoire géologique de l'Auvergne, les seuls niveaux évaporitiques pouvant être rencontrés se localisent dans les grands bassins de la Limagne dans les formations géologiques de l'éocène-oligocène (cf. rapports du BRGM « Inventaire du potentiel géothermique des Limagnes – BRGM:RP-52644-FR, rapport du BRGM/LRPC : Inventaire des cavités souterraines liées à l'extraction de calcaire à chaux et de gypse du district du Puy-en-Velay (43) – BRGM R 39744 et LRPC 439610300).

A partir des résultats de la base de données du sous-sol du BRGM (BSS), seuls les sondages supérieurs à 100 m de profondeur sont susceptibles de renfermer des évaporites dans les départements de l'Allier et du Puy de Dôme. Une extraction des données réalisée le 25 octobre 2020, a permis de trier les sondages profonds disposant d'une coupe géologique dans le bassin de la Limagne (illustration 5).

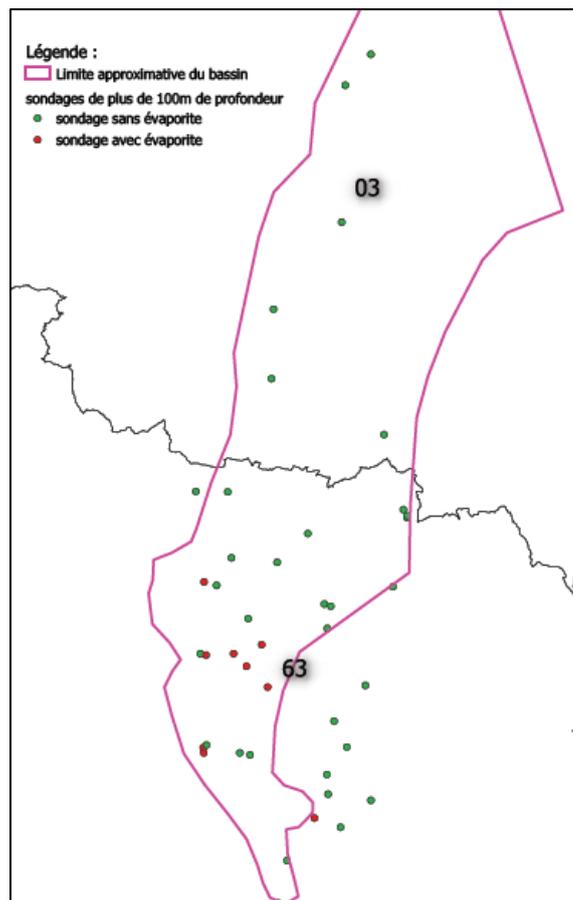


illustration 5 – Cartographie des sondages de plus de 100 m dans le bassin de la Limagne

Seulement neuf sondages ont identifié du gypse sur 162 sondages sélectionnés (illustration 6).

ID_BSS	indice	lex_num_de	lex_nom_co	lieu_dit	x_ref06	y_ref06	z_sol	s	evaporite	Prof_evapo
BSS001RYAK	06698X0003	63	CELLULE	LES CONTAMINES	711578	6538628	327	320	O	?
BSS001UKZG	07181X0015	63	SAINT-JULIEN-DE-COPPEL	LE CHAMP BLANCHI	724129	6511529	408	112	O	352
BSS001TBey	06941X0244	63	SAINT-GEORGES-SUR-ALLIER	LIGNAT	718813	6526563	310	636.9	O	372
BSS001SVBA	06934X0001	63	SAINT-BEAUZIRE	TARGNAT	714936	6530397	315.75	1616.4	O	712
BSS001SVDP	06934X0088	63	CHAPPES		718129	6531418	310	1086	O	520
BSS001SVDN	06934X0087	63	CHAPPES		716394	6528936	315	901	O	540
BSS001SVBE	06934X0005	63	RIOM	MACHOLLES	711797	6530234	320	1164	O	917
BSS001SWBT	06937X0103	63	CLERMONT-FERRAND	BEAULIEU	711543	6519006	344	1154	O	525
BSS001SVZC	06937X0034	63	CLERMONT-FERRAND	PUY DE CROUELLE	711468	6519596	335	856.3	O	490

illustration 6 – Sondages de plus de 100 m de profondeur dans le bassin de la Limagne présentant des niveaux de gypse

De petites exploitations de couches de gypse sont connues en Haute-Loire dans le secteur du Puy-en-Velay, à Cormail, Estroulhac, et au Mont d'Anis. Ces exploitations ont été abandonnées depuis plus d'un siècle et sont très peu connues. Les couches de gypse étaient intercalées dans des calcaires en plaquettes et dans des marnes feuilletées ou massives de couleur bleue, verte ou blanche, d'origine lacustre et datant de l'Éocène et de l'Oligocène (étage du Sannoisien). Le gypse se présente en minces lits millimétriques dans les calcaires à plaquettes ou parfois pluridécimétriques massifs, et en remplissage de joints et de petites fractures. La position horizontale des exploitations montrerait une disposition des niveaux de gypse à l'horizontale sous la cote NGF 625. Seul le secteur à proximité de la Borne sera concerné par un zonage des évaporites.

La BSS a été consultée dans le département de la Haute-Loire sur les communes de Cormail, d'Espaly-Saint-Marcel, l'Aiguilhe et Le Puy-en-Velay. Aucun sondage ne mentionne la présence de gypse dans les coupes géologiques. Les sondages consultés atteignent une profondeur maximale de 16 m. Dans ce secteur, la Borne se trouve à 638 m d'altitude sur la commune d'Espaly-Saint-Marcel et à 611m à l'Aiguilhe. Compte-tenu des incertitudes, les trois communes seront classées en aléa faible pour les trois grilles de 0 à 200 m. La zone d'influence des évaporites a été définie à partir de la carte géologique au 1/50000 du Puy-en-Velay en prenant les limites de la couche de l'Éocène et de l'Oligocène eM et eA dans le secteur de Cormail où du gypse avait été identifié et exploité (illustration 7).

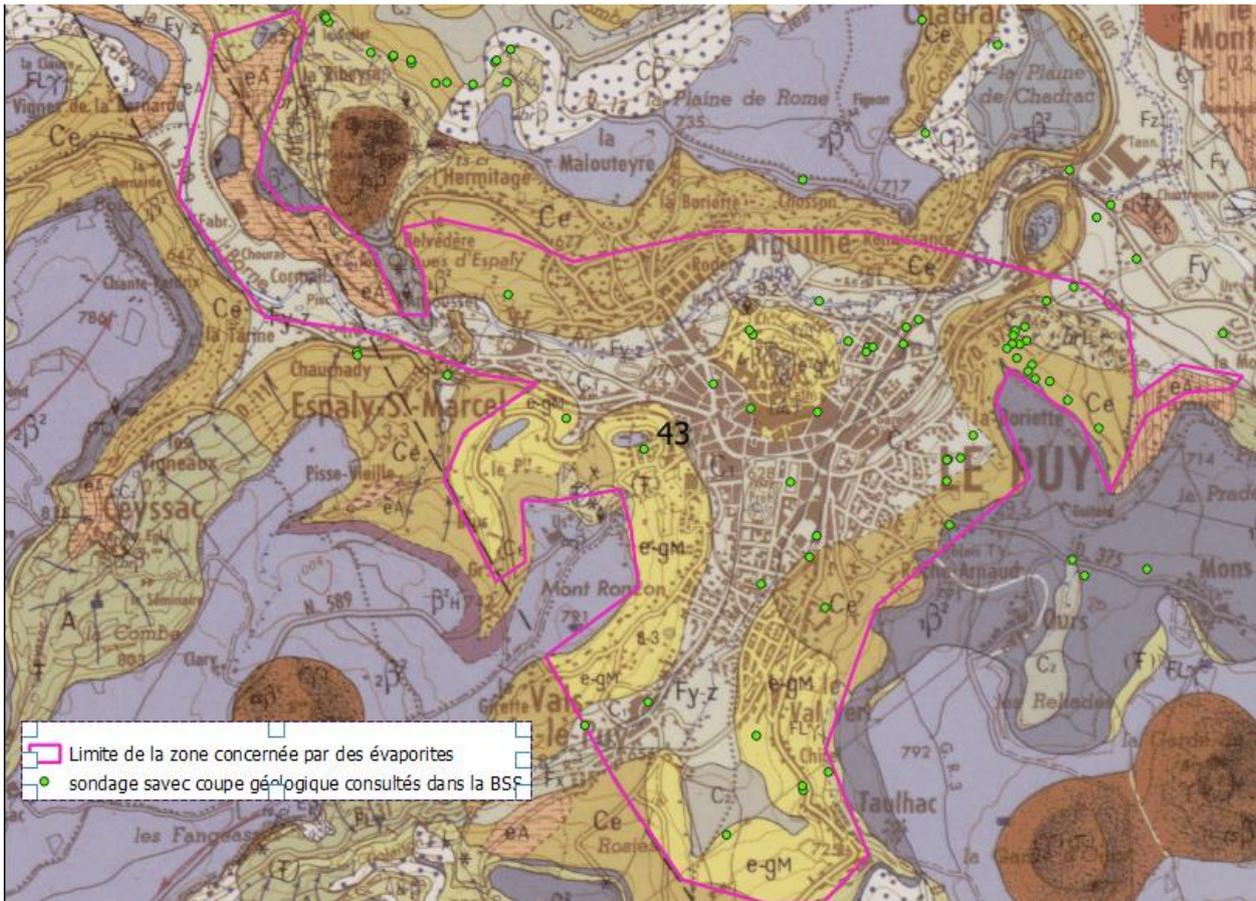


illustration 7 – Délimitation de la zone susceptible de contenir du gypse en profondeur

4.1.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques »

L'aléa surrection/affaissement lié à la présence d'évaporites ne sera pas pris en considération dans les départements de l'Allier et du Puy-de-Dôme, car le gypse serait présent au-delà de 200m de profondeurs.

Avec le niveau nul, un seul niveau de susceptibilité est retenu, le niveau faible car dans la région Auvergne, il n'y a pas d'horizon évaporitique connu mais seulement des formations susceptibles d'en contenir. Dans la région du Puy-en-Velay, la cartographie de l'aléa suivra les limites de la couche Éocène-Oligocène de la carte géologique au 1/50000.

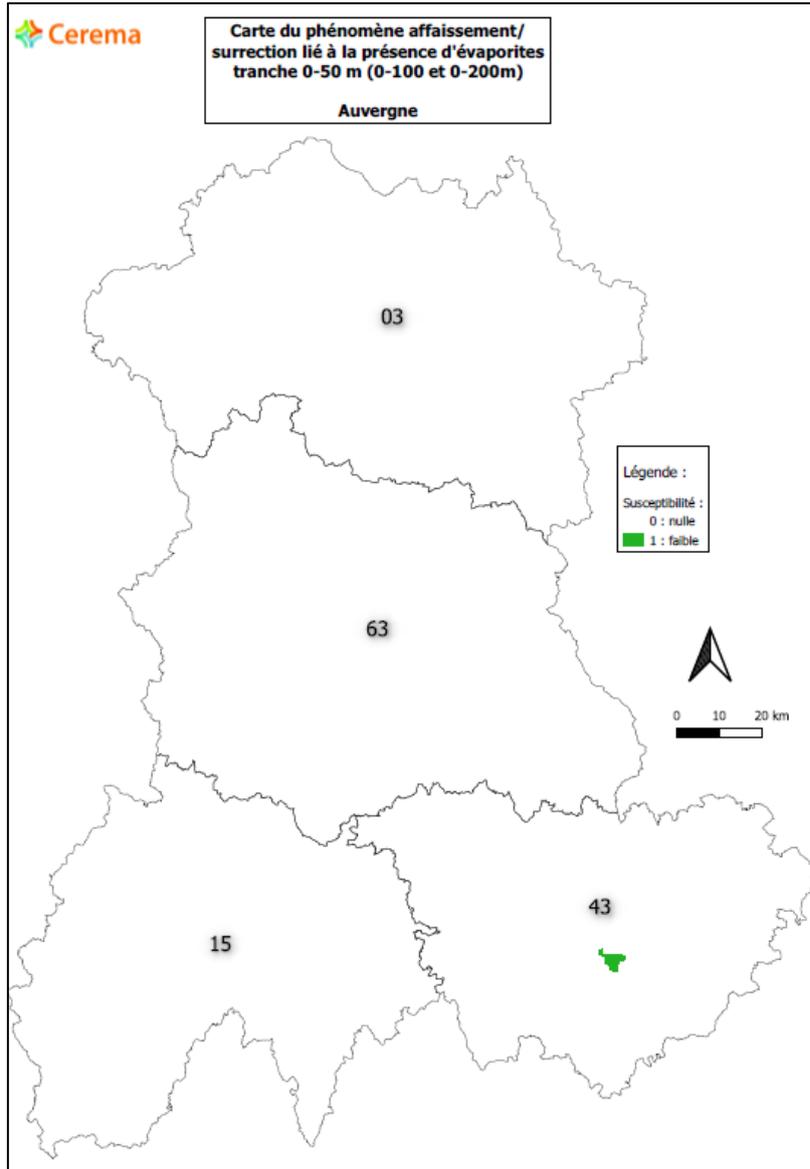


illustration 8 – Carte des niveaux d'aléa du phénomène « affaissement/surrection lié aux évaporites » en Auvergne.

4.1.5. Cotation de l'aléa du phénomène « affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques »

Les grilles des trois classes de profondeur concernant le phénomène de surrection/affaissement lié à la présence d'évaporite seront identiques.

Susceptibilité	Nul	Faible
Pondération	0	1

illustration 9 – Caractérisation du phénomène affaissement/surrection lié aux niveaux d'évaporites

4.2. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIE AUX CAVITES (HORS MINES) »

4.2.1. Description du phénomène et occurrences

Ces phénomènes d'affaissement ou d'effondrement pourraient 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. Les cavités de dissolution des réseaux anciens (paléokarsts), potentiellement remplies de matériaux sans cohérence, sont aussi concernées (phénomène d'infiltration et de soutirage).

4.2.2. Qualification du phénomène

Selon le guide méthodologique, les données à recenser sont par ordre de priorité :

- les cartes d'aléas existantes avec les niveaux d'aléa. Il existe plusieurs types de cartographies :
 - les cartes d'aléas ou les cartes réglementaires des PPR ;
 - les cartes d'aléas hors PPR : R111-3, carte ZERMOS...

Pour le phénomène surfacique, ce n'est pas le niveau de l'aléa qui entre en jeu mais le type de phénomène, c'est-à-dire s'il s'agit d'un :

- effondrement localisé ;
- affaissement progressif ;
- mouvement résiduel.
- les événements ponctuels recensés exclusivement à partir de la base de données du BRGM (BDCavité).

Pour ce type de donnée, ce sera la précision de la donnée et la densité des événements qui entreront en jeu.

A partir de la base de données du BRGM BDLISA_V2_AUVERGNE_RHONE_ALPES, les formations sensibles au phénomène de karstification (calcaires) sont absentes en Auvergne.

4.2.3. Données utilisées et traitement

Les deux types de données surfaciques et ponctuelles ont été recensés dans la région Auvergne, selon les départements.

a) Données de surface : les cartes d'aléas

Des données cartographiques n'ont été fournies que pour les départements de la Haute-Loire et du Puy-de-Dôme :

- source de données fournie par la DDT43 : un fichier global recensant tous les aléas mouvements de terrain dans lequel ont été extraits les effondrements, les affaissements, en attribuant pour chaque zone un niveau d'aléa ;
- source de données fournie par la DDT63 : carte d'aléas liés à la présence de cavités de calcaires à chaux sur la commune de Cournon (BRGM) sous le format .pdf ; cette carte a été digitalisée avec différenciation des zones d'aléa qui ont été rajoutées à la table précédente .

Pour les données prioritaires de surface, les cartes d'aléas dans les départements 43 et 63 suivent la règle de pondération suivante :

Niveau d'aléa	Nul	Faible (1)	Moyen (2)	Fort (3)
Pondération des cartes d'aléa	0	1	5	7

illustration 10 - Caractérisation du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) pour les cartes d'aléa

La jointure de la grille 0-200m et de la table des cavités naturelles a donné la grille des cavités surfaciques en Auvergne.

b) Données ponctuelles

La source principale des données pour l'ensemble des 4 départements a été la BDCavité du BRGM dont l'extraction a été faite par le BRGM le 18/11/2019.

Les données géographiques ont été calculées au format RGF93 à partir de l'outil catco pour tous les départements.

Des données jugées comme doublons ont été supprimés dans QGis : 1856 données ont été retenues.

La précision géographique de la cavité est donnée sous la forme : précis, approché, imprécis, centroïde de commune, milieu de rue, ainsi qu'à partir d'une valeur de précision des coordonnées X Y. Les données dont la précision est le centroïde de la commune ou supérieur au kilométrique ne sont pas prises en considération.

A tous les points de la table globale des cavités ponctuelles a été attribué un tampon de diamètre différent selon la précision de la donnée égale à 50 m + la valeur de la précision.

Les tampons attribués ont suivi la règle suivante :

Précision (X, Y)	5 à 10 m	10 à 100 m	100 à 1000 m	≥ 1000 m
BDCavité	précis	approché	imprécis	imprécis
Tampon:(m): rayon 50m+précision	51	60	150	1050

illustration 11 – Valeurs des différents tampons attribués aux points selon leur précision

Le nombre de cavités par maille est ensuite compté afin de donner la susceptibilité du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mine). La pondération du niveau d'aléa est ensuite attribuée selon le guide méthodologique :

Susceptibilité	Nombre de cavités	Niveau aléa
Forte	>8	Fort : 3
Moyenne	5 à 8	Moyen : 2
Faible	2 à 4	Faible : 1
Nulle	0 à 1	Nul : 0

illustration 12 – Caractérisation du phénomène en fonction de la densité des points

La table des cavités ponctuelles avec leur tampon est croisée avec la grille des mailles pour pouvoir compter le nombre de polygones dans chaque maille avec la fonction dans QGIS « outils d'analyse, compter des points dans les polygones ». Une étape intermédiaire est nécessaire pour le bon nombre de polygones présents dans chaque maille avec la fonction « intersection » de la table des polygones et de la table de la grille.

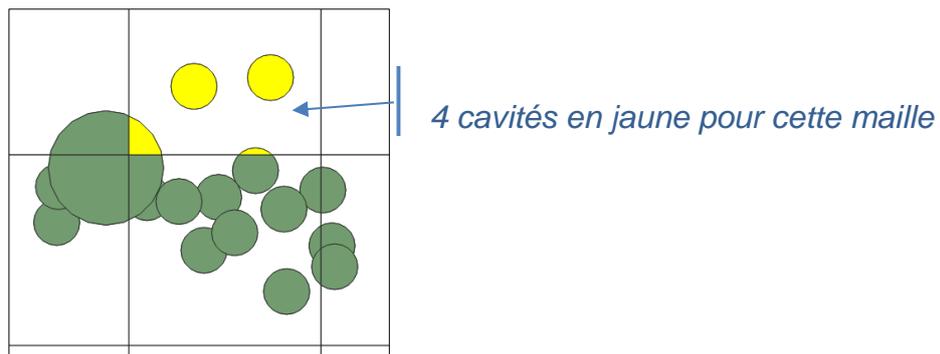


illustration 13 – Principe du comptage par maille des points avec leur tampon

4.2.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) »

Pour le remplissage de la grille des cavités hors mine, les données surfaciques sont prioritaires. La carte obtenue montre une importance de la présence des cavités hors mine dans le département de la Haute-Loire. Le phénomène est en général très dispersé dans la région.

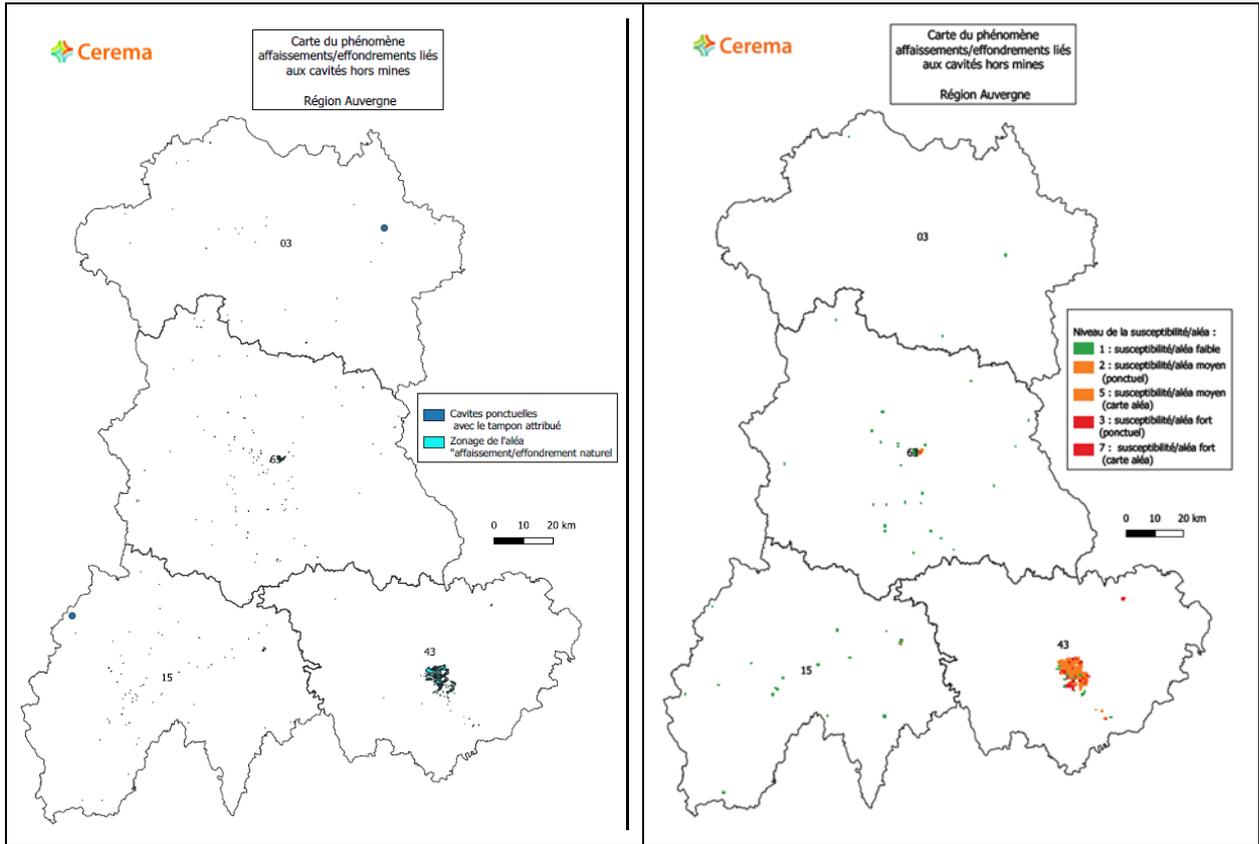


illustration 14 – Cartes des niveaux d'aléa du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines)

4.2.5. Cotation de l'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) »

Les valeurs de niveau d'aléa/susceptibilité fournies par le guide (0, 1, 2, 3, 5 et 7) retenues dans la région Auvergne sont les suivantes :

Susceptibilité	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Valeur du niveau si présence d'une carte d'aléa	0	1	5	7
Valeur du niveau à partir de la BDCavités	0	1	2	3

illustration 15 – Pondération des aléas affaissement/effondrement liés aux cavités (hors mines)

4.3. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIE AUX CAVITES MINIERES »

4.3.1. Description du phénomène et occurrences

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

4.3.2. Qualification du phénomène

Dans la région Auvergne, de nombreuses cartes d'aléas miniers ont été réalisées sur tous les territoires qui ont fait l'objet de travaux miniers. L'aléa ponctuel n'a donc pas été pris en considération dans le zonage final : un seul fichier ponctuel représentant des puits « MinierAleaP.shp » avec des emprises recouvertes par les cartes d'aléas.

Pour ce phénomène, ce n'est pas le niveau de l'aléa qui entre en jeu mais le type de phénomène, c'est-à-dire s'il s'agit d'un :

- effondrement localisé et généralisé ;
- affaissement progressif ;
- mouvement résiduel de faible ampleur.

4.3.3. Données utilisées et traitement

Les aléas miniers de la région ont été cartographiés par le GIP GEODERIS. Les acquisitions des données ne concernent donc que des zonages d'aléas, données de surface, prioritaires sur les données ponctuelles.

Pour l'ensemble de la région Auvergne, l'extraction des données a été réalisée le 22/10/2019. Les fichiers concernent les aléas suivants :

- les aléas affaissement
- les aléas écoulement
- les aléas effondrement localisé
- les aléas tassement

Ces fichiers ont été complétés par les données fournies par les DDT (illustration 16).

Département	Documents fournis
Allier	<ul style="list-style-type: none"> - Echassières_effondrement-localisé /Echassières_tassement.jpg - Lalizolle_effondrement-localisé.jpg - Moureuille_effondrement-localisé.jpg - Nades_effondrement-localisé/Nades_tassement.jpg - Servant_effondrement-localisé/Servant_tassement.jpg/ - Effondrement_localisé_Montmins.TAB/ Tassement_Montmins.TAB
Cantal	-
Haute-Loire	-
Puy-de-Dôme	<ul style="list-style-type: none"> - carte_alea_tassement.pdf/carte_tassement.pdf : du bassin de Bressac - effondrement_localise_partie_sud_concession_de_Lubieres_et_Rihac - effondrement_localise_sud_concession_de_Lubieres_et_Rihac.pdf - carte_effondrement_localise_centre_1.pdf : concession Charbonnier - carte_effondrement_localise_centre_1-1.pdf - carte_effondrement_localise_centre2.pdf : concession de Grosménil - carte_effondrement_localise_centre2-2.pdf - carte_effondrement_localise_nord.pdf : concession de Selle-Combelle - carte_effondrement_localise_nord-1 .pdf: concession de Selle-Combelle

illustration 16 - Liste des documents fournis par les Directions Départementales du Territoire

Remarque : Les mines houillères de Noyant dans l'Allier ont été exploitées jusqu'à -165m de profondeur.

Selon le guide méthodologique, les différentes données seront extraites à partir de leur nature correspondant à des niveaux d'aléas différents (fort / moyen / faible) auxquels sont attribuées des pondérations :

Nature de l'aléa lié aux cavités minières	Effondrement localisé / écoulement	Affaissement progressif	Tassement
Niveau de l'aléa	Fort	Moyen	Faible
Pondération	7	5	1

illustration 17 - Niveaux des aléas du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités minières

a) aléa fort : effondrement localisé / écoulement rocheux

Toutes les données « effondrement localisé » ou « écoulement » ont été extraites quel que soit le niveau de l'aléa depuis les fichiers des effondrements localisés des écoulements rocheux (assimilé à un effondrement localisé – aucun sur le territoire auvergnat), des aléas miniers, des zones PPRM du 63, du PER Dallet, des effondrements localisés sur Montmin.

Les cartes réalisées par Géodéris dans le département de l'Allier sous format .jpg n'ont pas été numérisées car les données cartographiques des aléas étaient identiques à celles récupérées dans les autres fichiers numériques.

b) aléa moyen : affaissement progressif

Les aléas moyens ont été extraits à partir des fichiers de l'aléa affaissement et des aléas miniers (avec sélection des affaissements progressifs)

c) aléa faible : tassement

Les aléas faibles ont été extraits à partir des fichiers des tassements de Montmins, de l'aléa tassement, des aléas miniers (avec sélection des tassements), des zones PPRM (tassement quel que soit le niveau d'aléa), et des aléas miniers fournis par la DDT15 (uniquement en présomption d'instabilité très élevée => classé en aléa faible)

4.3.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières »

La grille des cavités minières est obtenue par la jonction des données de chaque fichier « aléa » avec la grille de base pour chaque tranche de profondeur en commençant par l'aléa faible et en terminant par l'aléa fort. Seul l'aléa le plus élevé à l'intérieur d'une même maille sera retenu. L'aléa effondrement n'est pris en considération que pour la tranche 10-50m d'après le guide méthodologique. La pondération de chaque niveau d'aléa donnée par le guide méthodologique est la suivante :

Pour la tranche 0-50 m :

Niv aléa/susceptibilité	Nul	Faible (tassement)	Moyen (affaissement progressif)	Fort (effondrement localisé/écroulement)
Carte d'aléa	0	1	5	7

illustration 18- Niveaux des aléas du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités minières pour la tranche de profondeur 10-50 m

Pour les tranches de profondeur 50-100 m et 100-200 m :

Niv aléa/susceptibilité	Nul	Faible (tassement)	Moyen (affaissement progressif)
Carte d'aléa	0	1	5

illustration 19 - Niveaux des aléas du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités minières pour les tranches de profondeur 50-100 m et 100-200 m

Les cartes obtenues sont présentées illustration 20.

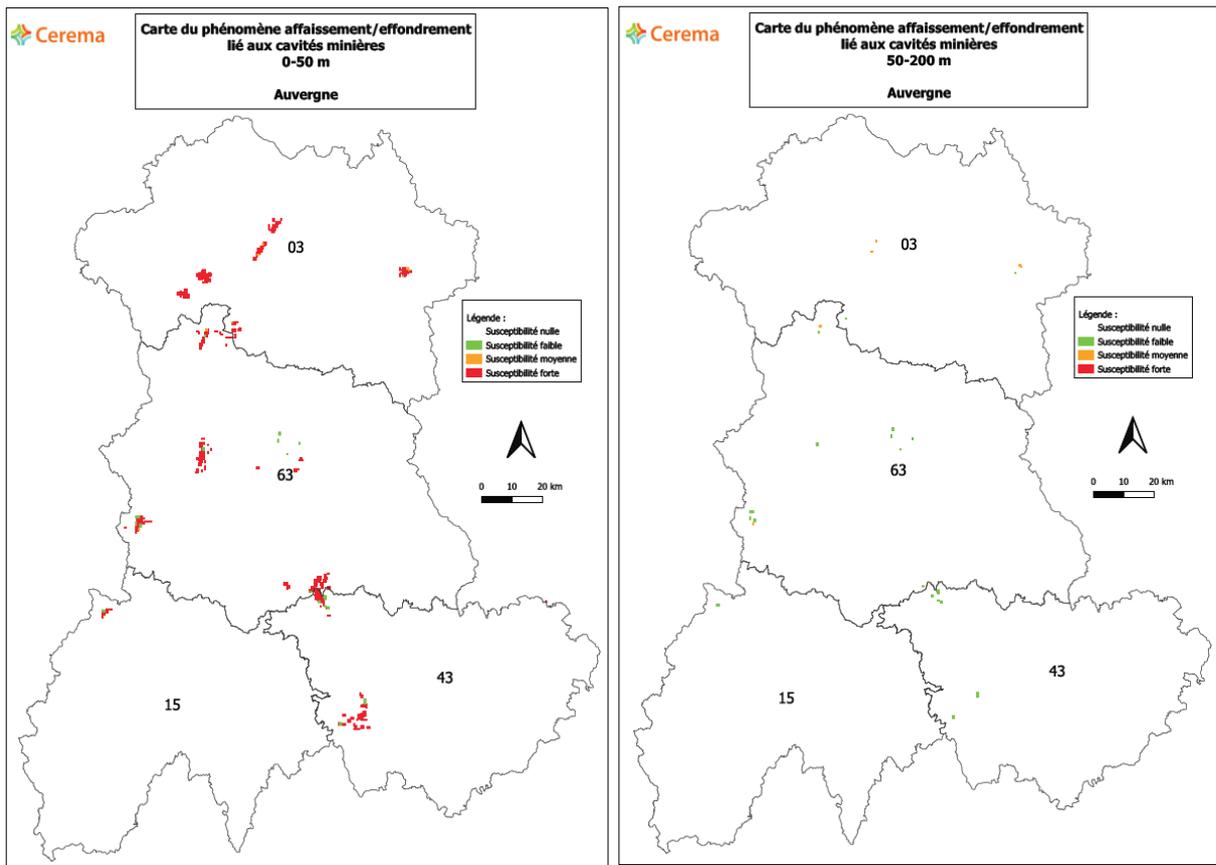


illustration 20 - Cartographie des aléas du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités minières pour les tranches 0-50 et 50-200 m

4.3.5. Cotation de l'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières »

Pour établir la carte réglementaire, chaque niveau de probabilité d'occurrence a été affecté d'une valeur d'autant plus élevée que le niveau est fort. Cette valeur est également fonction de la précision des données de départ.

Les valeurs de niveau d'aléa/susceptibilité fournies par le guide (0, 1, 5 et 7) ont été retenues en Auvergne :

Niveaux d'aléa/susceptibilité du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort
Valeur du niveau d'aléa à partir de cartes d'aléa minier	0	1	5	7

illustration 21 - Pondération des aléas affissement/effondrement lié aux cavités minières

4.4. PHENOMENE « MOUVEMENTS DE TERRAIN DE TYPE GLISSEMENT »

4.4.1. Description du phénomène et occurrences

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

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

4.4.2. Qualification du phénomène

Deux types de données sont exploitées pour ce phénomène : les données surfaciques à partir des cartes d'aléas et les données ponctuelles à partir des bases de données « mouvements de terrain ». Le traitement des données surfaciques est prioritaire par rapport aux données ponctuelles.

Dans les communes disposant d'une carte d'aléa mouvements de terrain, 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 carte d'aléas la qualification du phénomène sera basée sur les données de la BDMVT. Cette base de données mémorise de façon homogène, l'ensemble des informations disponibles en France, sur des situations récentes et sur des événements passés, et permet le porter à connaissance des phénomènes.

Le critère utilisé ici pour la qualification de ce phénomène est la susceptibilité (probabilité d'occurrence):

- **Susceptibilité forte** : plus de 8 glissements recensés (pixel 500 x 500m) ;
- **Susceptibilité moyenne** : 5 à 8 glissements recensés (pixel 500 x 500m) ;
- **Susceptibilité faible** : 1 à 4 glissements recensés (pixel 500 x 500m) ;

- **Susceptibilité nulle** : pas de mouvements de terrain recensés (pixel 500 x 500m).

4.4.3. Données utilisées et traitement

a) *Les données surfaciques*

Dans un premier temps, des données sur l'ensemble de la région Auvergne sont disponibles dans les fichiers des aléas miniers (export global et ceux fournis par les DDT03 et 63).

Les données « glissements » sont extraites de chaque fichier. Quelques glissements dans le Puy-de-Dôme (Roure) sont dessinés sous forme de points agrandis : ils n'ont pas été pris en considération dans le fichier des mouvements ponctuels. N'ayant aucune précision cartographique, ces points sont considérés comme des zones d'aléa.

Dans un deuxième temps **les cartes d'aléas** de type PPR, R111-3, carte d'aléa sont traitées par département :

- Département de l'Allier (03) :

Les glissements de terrain ne concernent que les zones minières, fichiers exploités précédemment.

- Département du Cantal (15) :

La DDT a envoyé un fichier avec :

- alea_argiles.zip (11 Mo) : N_ALEA_ARGILES_S_015.shp. Un premier fichier ne concernant pas l'aléa glissement (aléa retrait gonflement des argiles ?). Ce fichier n'a pas été utilisé ;
- un ensemble de **3 fichiers** :

- Une extraction des glissements et des coulées. Cette couche recouvre quasiment tout le département, ce qui ne nous semble pas très représentatif par rapport aux autres données sur la région. De plus, en ne sélectionnant que les glissements et les coulées, les erreurs topologiques sont trop nombreuses (1680) et il est impossible de les corriger (illustration 22).

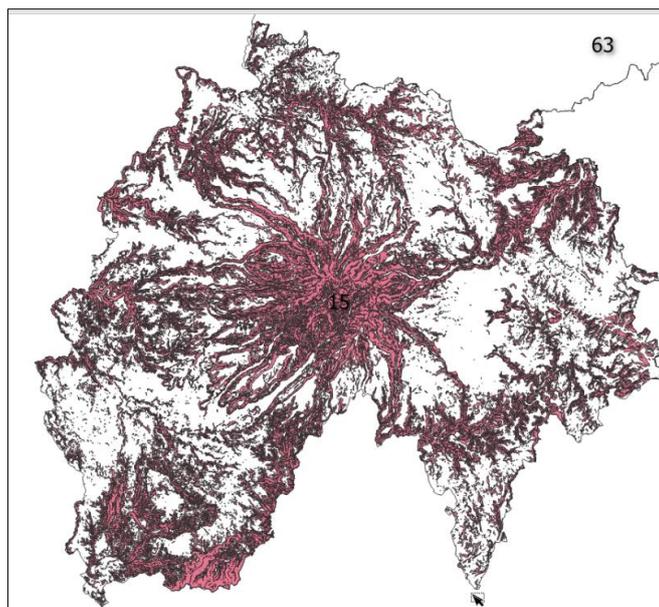


illustration 22 – Extraction des glissements et des coulées depuis le fichier de la DDT15

- un fichier de surfaces avec des niveaux d'aléas dont sont extraits « les glissements de terrain », les « glissements de terrain et chutes de blocs » et les « mouvements de terrain miniers » ;

Les erreurs topologiques et géométriques ne pouvant pas être facilement corrigées, les trois niveaux d'aléa ont été séparés en trois tables de niveau d'aléas faible, moyen et fort.

- un fichier des mouvements recensés, comportant des points et des surfaces.

Seules les surfaces ont été récupérées. Les niveaux d'aléa ont été considérés comme faibles car aucune indication sur le niveau de l'aléa n'est disponible (seulement la fiabilité).

Une recherche de documents disponibles sur le site de la préfecture du Cantal a permis d'obtenir les cartes suivantes :

Liste des PPR (site préfecture http://www.cantal.gouv.fr)	Documents disponibles/téléchargés	Date
PPR St Flour (BRGM-2012)	zonage réglementaire en pdf	06/11/19
PPR Thiézac (CETE) – carte des aléas (annexe 8-1)	Carte des aléas (annexe 8-1) pas disponible Zonage réglementaire en pdf	06/11/19
PPR de Badailhac et Raulhac – 2013	Zonage réglementaire en pdf sans distinction des mouvements	06/11/19
PPR Aurillac (Cerema-2018)	Carte aléas en format pdf	06/11/19
PPR Vic-sur-Cere (éboulement)		
PPR Saint Paul de Salers – 2008	zonage réglementaire en pdf	06/11/19

Remarques : Les cartes envoyées par la DDT et présentes sur le site de la préfecture n'ont pas été numérisées car les zonages des aléas mouvements de terrain se trouvent également dans le fichier global.

- Département de la Haute-Loire (43) :

La DDT a envoyé quatre fichiers:

- un fichier spécifiant des aléas « mouvement de terrain »

La reprise du fichier a permis de corriger l'aléa dans la colonne NIVALEA : lorsque deux aléas coexistent, seul le niveau de l'aléa glissement est conservé.

Il faut noter 724 polygones non renseignés exactement pour le type de mouvement : code 120000 (mouvement de terrain, glissement, éboulement...).

- un fichier indiquant des corrections sur les niveaux d'aléa précédent

Ce fichier est repris par le fichier précédent plus en détail.

- suppression des chutes de blocs « P » ; requalification de l'aléa quand coexistence d'aléas « chute de bloc » et « glissement » en ne conservant que le niveau de l'aléa glissement : ex P2g1 => aléa « faible » ;
- suppression de r (ravinement), f (effondrement), b (érosion de berge) ;
- de nombreuses corrections de géométrie des polygones ont été réalisées.
 - 2 autres fichiers, spécifiques aux communes de Saint Vidal et du Monastier : non utilisés car déjà renseigné dans les fichiers précédents.
- Département du Puy de Dôme (63) :

La DDT a envoyé un dossier comprenant :

- des données sur le Mont-Dore : ce fichier ne distingue pas le type de phénomène, il ne comprend que des niveaux de risque élevé/moyen/faible.

La carte .pdf est numérisée et simplifiée en regroupant les aléas de glissement/solifluxion/coulée. De nombreuses erreurs topologiques ont été corrigées.

- Un fichier Mont Dore Egravats identique au fichier Egravats pris sous Egravats_Zermos : la nature de l'aléa n'est pas spécifiée, seuls les niveaux de risque sont mentionnés, dont un non défini classé en ZR2.

Les niveaux d'aléa ont été définis selon le tableau suivant :

Détermination dans le fichier	Interprétation du niveau d'aléa
ZB : zone construite exposée à un faible aléa	aléa faible
ZR2, zone naturelle exposée à tous niveaux d'aléa	aléa moyen
ZR1, zone construite exposée à des aléas élevés à très élevés	aléa fort

illustration 23- Qualification du niveau de l'aléa à partir de la carte des Egravats

- Le PPR de Cournon présente le zonage des risques sans préciser la nature de l'aléa : dans le rapport de présentation, il s'agirait principalement d'effondrement et de glissement.

Les géométries des polygones du fichier ont été corrigées et ne représenteraient que des effondrements.

La DDT a envoyé la carte des aléas cavités sur Cournon. Cette carte ne présente pas le même découpage que le PPR. Il est supposé que les zones supplémentaires dans le PPR correspondraient à des glissements.

- Artonne : le zonage des risques n'indique ni la nature, ni le niveau de l'aléa.

A partir des cartes topographiques et géologiques, on suppose qu'il s'agit de glissements. Le fichier ne présente ainsi qu'une seule zone classée en aléa moyen

- Le fichier « ZERMOS Sancy » : tout le Puy de Dôme est recouvert par cette carte renseignant le niveau de risque.

Après suppression des zones communes avec le PPR du Mont Dore, de l'aléa nul et de l'aléa lié à la tourbe, trois tables différentes ont été créées afin de supprimer les erreurs topologiques, selon la règle suivante :

Détermination dans le fichier	Interprétation du niveau d'aléa
Risque nul : zone actuellement indemne de tout mouvement de terrain	Aléa nul
Risque faible : zone le plus souvent avec peu d'indice de mouvement de terrain Risque moyen : zone affectée de façon diffuse par des manifestations dispersées avec facteurs discontinus d'instabilité	Aléa faible
Risque élevé : zone affectée par des mouvements d'amplitude très importants ou présentant des facteurs certains d'instabilité	Aléa moyen
Risque très élevé : zone affectée par des mouvements d'amplitude très importants	Aléa fort

illustration 24 - Qualification du niveau de l'aléa à partir de la carte ZERMOS Sancy

- Le fichier « ZERMOS Chanonat » : il n'est indiqué que les niveaux d'aléas sans sa nature.

Il s'agirait de retrait-gonflement des argiles. D'après l'analyse de la note de la carte ZERMOS par la DDT, il y aurait également des glissements. Les zones sans aléa et les zones inondables ont été supprimées.

- La carte R111-3 de Riom : cette cartographie ne renseigne que sur la constructibilité des terrains, construction possible ou impossible, sans niveau d'aléa, ni nature du phénomène.

D'après les cartes géologiques et topographiques, il s'agirait principalement de glissements. L'interprétation des niveaux d'aléa a suivi la règle suivante :

Description dans le R111-3	Interprétation du niveau d'aléa
Construction possible / possible sous condition d'une superficie de terrain supérieur à 4000m ²	aléa faible
Construction possible sous condition/réserve	aléa moyen
Construction interdite/tant qu'un assainissement collectif pas réalisé	aléa fort
Aucune prescription	aléa nul

illustration 25 - Qualification du niveau de l'aléa à partir de la carte R111 de Riom

- Les cartes R111-3 et PPR (2018) de Perrier : aucune nature de l'aléa n'est décrite.

Seul le PPR, document le plus récent, sera pris en considération. D'après son règlement envoyé par la DDT, les zones « jaunes » correspondent aux glissements de terrain. Ces zones ont été digitalisées.

- Le PER de Dallet : les différents aléas ne sont pas représentés sur la carte.

D'après le rapport, il existerait une zone de glissement notée GE en aléas fort et moyen. La numérisation de cette zone est enregistrée sous le fichier : Dallet_63.shp.

- Le fichier SDAgglo : la cartographie recouvre la partie centrale du département et ne présente que des présomptions qui sont traduites de la façon suivante :

Description dans le fichier	Interprétation du niveau d'aléa
Présomption d'instabilité faible ou mal connue *	aléa faible
Présomption d'instabilité moyenne à élevée	aléa moyen
Présomption d'instabilité élevée	aléa fort

illustration 26 - Qualification du niveau de l'aléa à partir de la carte SDAgglo

* : La table présente de très nombreuses géométries invalides. Beaucoup de zones en aléa faible sont reprises par d'autres cartographies en aléa moyen ou fort. Ces zones sont tout de même enregistrées en aléa faible, sachant qu'au niveau de la grille ce sera l'aléa le plus élevé qui sera retenu.

Les zones en commun avec la cartographie de Cournon et la carte ZERMOS de Chanonat ont été supprimées.

- La carte R111-3 de Pont du Château : la cartographie ne présente que la limite de l'étude.

Il s'agirait d'un risque d'affaissement minier, ne faisant pas l'objet de glissement, les données n'ont pas été prises en considération dans les mouvements de terrain.

- o La Roche Noire : la cartographie ne traite que le phénomène de chute de blocs.

D'autres fichiers enregistrés à partir du site <http://www.puy-de-dome.gouv.fr/plan-de-prevention-des-risques-de-mouvement-de-a445.html> donnent des renseignements identiques à ceux fournis par la DDT63.

R111.3 Perrier	carte risques pdf	22/10/19
R111.3 Riom	cartealéas pdf	22/10/19
R111.3 Artonne	carte risque pdf	22/10/19
R111.3 Pont-du-Château	? pdf	22/10/19
PPR Egravats	zonage reglementaire pdf	22/10/19
PPR Cournon – BRGM 2006	carte aléas pdf	22/10/19
PPR Mont-Dore	carte aleas pdf	22/10/19
PPR Perrier	carte aleas pdf	22/10/19

Toutes les tables élaborées pour chaque département à partir des fichiers des cartes d'aléas ont été fusionnées avec le fichier des glissements miniers selon les niveaux d'aléa faible/moyen/fort, en suivant les consignes du guide méthodologique (illustration 27) :

Niveaux d'aléa/susceptibilité du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort
Commune avec carte d'aléas	0	1	5	7

illustration 27 - Niveaux de l'aléa/suceptibilité du phénomène glissement de terrain

b) Les données ponctuelles.

Les données ponctuelles sont extraites à partir de la base de données BDMVT du BRGM sous le format .csv pour chaque département, à une date différente :

	Allier (03)	Cantal (15)	Haute-Loire (43)	Puy-de-Dôme (63)
Date d'extraction	09/01/20	10/02/20	10/02/20	09/01/2020
Nom fichier origine	mvt_dptList_03.csv	mvt_dptList_15.csv	mvt_dptList_43.csv	mvt_dptList_63.csv
Nom fichier final	BDMVT03_RG93.shp (1 donnée supprimée)	BDMVT15_RG93.shp	BDMVT43_RG93.shp (1 donnée supprimée)	BDMVT63_RG93.shp

Pour les 4 fichiers .csv, seuls les glissements de terrain et les coulées boueuses sont conservés.

Des corrections des coordonnées géographiques sont faites en les sauvegardant ou en les convertissant en Lambert RGF93 (parfois décalage de colonnes, parfois coordonnées en lambert II, III, longitude-latitude.). Les corrections des coordonnées sont réalisées à partir d'un outil en ligne : http://www.catco.fr/geofree/gf/coordinateConv_beta.asp

Les points dont l'origine des coordonnées n'a pas pu être définie sont supprimés.

Pour le département du Cantal (15), la DDT a fourni un fichier supplémentaire qui a complété la BDMVT avec 7 points de précision décimétrique (2) et hectométrique (5).

Un nettoyage des tables a supprimé les données de « précision » à la commune, données qui ne doivent pas être prises en compte d'après le guide méthodologique :

	Allier (03)	Cantal (15)	Haute-Loire (43)	Puy-de-Dôme (63)
Événements supprimés	8	98	26	>60
Nombre total d'événements	67	204 + 7	114	325

D'après le guide, à chaque donnée, est appliquée une zone tampon selon la précision de la donnée, égale à l'imprécision augmentée d'une zone d'influence de 100 m :

précision	métrique	décamétrique	hectométrique	kilométrique	centre commune
Tampon (m)	101	110	200	1100	supprimé

illustration 28 - Valeur des tampons en fonction de la précision de la donnée

Sont ainsi définies, pour les quatre départements, quatre tables de données ponctuelles sur la région Auvergne, qui ont été fusionnées ensuite en une seule table.

Le comptage des glissements dans chaque maille de la grille Auvergne 50m est réalisé après avoir effectué l'intersection de la grille générale avec la table des données ponctuelles sous QGIS. Le nombre de polygones de cette table compris dans chaque maille de la grille permet d'attribuer une susceptibilité en fonction de la densité selon le guide méthodologique:

Niveaux aléa (Susceptib)	(Niv_alea)/susceptibilité	Nombre d'événement (Nbre_Glist) par maille
fort : 3		> 8
moyen : 2		entre 5 et 8
faible : 1		entre 1 et 4
nul : 0		0

illustration 29 - Niveaux d'aléas et susceptibilité du phénomène glissement de terrain « ponctuel » (à partir de la BDMVT)

4.4.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « mouvements de terrain de type glissement »

Toutes les tables élaborées pour chaque département à partir des fichiers des cartes d'aléas ont été fusionnées avec la table issue des glissements miniers selon les niveaux d'aléa faible/moyen/fort.

Selon le guide méthodologique, la pondération du phénomène de glissement de terrain suit la règle suivante :

Niveaux d'aléa/susceptibilité du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort
Commune avec carte d'aléas	0	1	5	7

La carte des niveaux d'aléa obtenue à partir des données cartographiques de type PPR et celle des glissements ponctuels représentés avec leur tampon en fonction de la précision de la donnée sont présentées illustration 30.

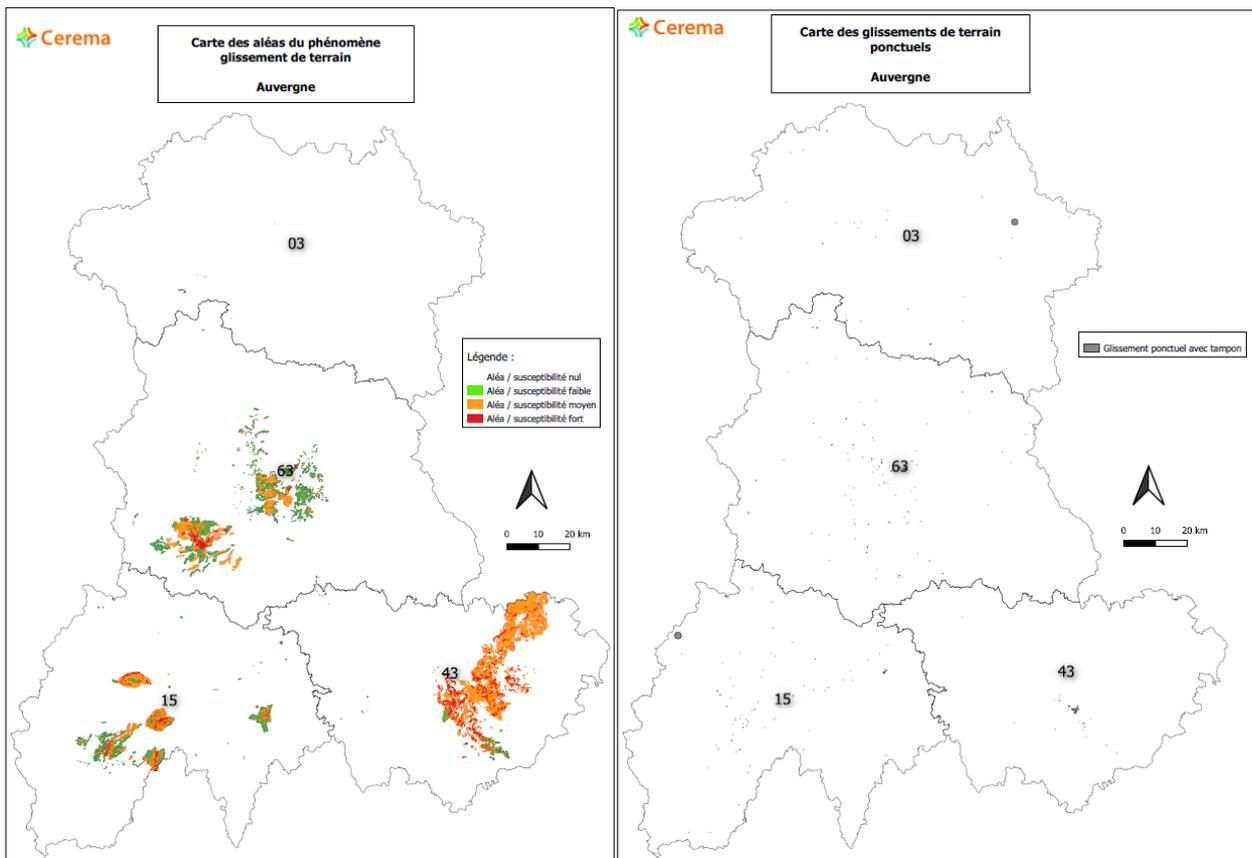


illustration 30 - Cartes des aléas du phénomène glissements de terrain (surface et ponctuel)

4.4.5. Cotation de l'aléa du phénomène « mouvements de terrain de type glissement »

Les deux grilles du phénomène glissement de terrain « données surfaciques » et « données ponctuelles » sont ensuite fusionnées avec une priorité pour les données surfaciques.

Le facteur aggravant potentiel est estimé de niveau faible (2).

Les grilles finales du phénomène « glissement de terrain » sont les suivantes :

	Niveaux aléa / Susceptibilité du phénomène			
	Nul	Faible	Moyen	Fort
Commune avec carte d'aléa – données surface	0	1	5	7
BDMVT – données ponctuelles	0	1	2	3

Dans la région Auvergne, aucun glissement de terrain profond, supérieur à 50m n'est connu. Les trois grilles 0-50m, 100m et 200m seront identiques.

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.

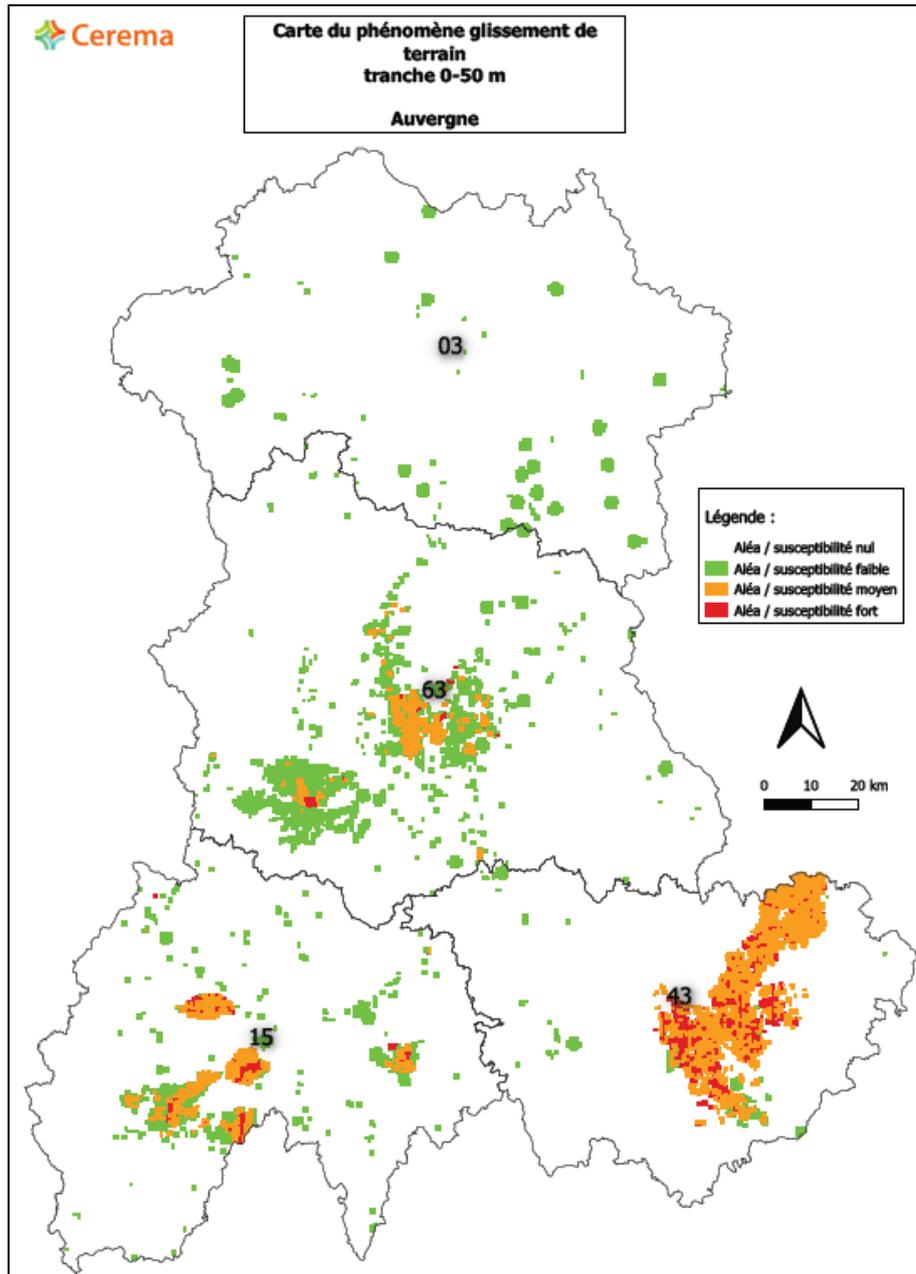


illustration 31 – Carte des niveaux d'aléas/susceptibilité du du phénomène glissement de terrain dans la tranche 0-50 m

4.5. PHENOMENE DE « POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE »

Conformément aux travaux réalisés en Rhône-Alpes, il a été traité deux phénomènes concernant la pollution des sols et des nappes souterraines : le premier basé sur la présence d'un site issu de la base de données BASOL (ce paragraphe) et le 2^{ème} basé sur l'existence de panaches de pollution connus et leur emprise (paragraphe 4.6.). Ce distinguo ne figure pas dans le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relative à la GMI (2015).

4.5.1. Description du phénomène et occurrences

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

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

4.5.2. Qualification du phénomène

Les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics à titres préventif ou curatif sont recensés dans la base de données BASOL.

La loi pour l'Accès au Logement et un Urbanisme Rénové (ALUR) du 24/03/2014 a notamment introduit les secteurs d'information sur les sols (SIS). Ces derniers comprennent les terrains où la connaissance de la pollution des sols justifie la réalisation d'études de sols et de mesures de gestion de la pollution.

Le comité de pilotage de l'étude « auvergne » a décidé qu'il convenait d'utiliser les sites BASOL en cohérence avec la méthodologie des travaux de Rhône-Alpes, mais aussi pour compléter la connaissance sur la présence de sols pollués, les données SIS (hors établissements industriels connus et cartographiés).

Le phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine » a donc été qualifié en fonction de sa probabilité d'occurrence de la présence ou non d'un site BASOL ou d'un site minier de SIS, en tenant compte de la présence ou non d'un aquifère sous-jacent aux sites:

- Susceptibilité forte : présence d'au moins un site (BASOL ou SIS) et présence d'un aquifère dans la tranche de profondeur considérée ;
- Susceptibilité faible : présence d'au moins un site (BASOL ou SIS) et absence d'un aquifère dans la tranche de profondeur considérée ;
- Susceptibilité nulle: aucun site (BASOL ou SIS) recensé.

Il est à noter qu'à la différence des travaux réalisés en Rhône-Alpes, il n'a pas été déterminé de classe « susceptibilité moyenne » car aucune nappe à pollution diffuse n'est répertoriée dans l'ex-région Auvergne.

4.5.3. Données utilisées et traitement

Pour connaître la pollution avérée ou suspectée, il a été utilisé :

- la base de données nationale BASOL (base des sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics à titres préventif ou curatif)

L'extraction réalisée le 06/11/19 a répertoriée 123 sites. Dans l'objectif de ne pas comptabiliser plusieurs fois le même site BASOL lors de l'établissement des cartes réglementaires, il a été décidé en comité de pilotage de la présente étude de ne pas prendre en compte :

- ✓ les sites BASOL figurant aussi dans la base de données BASIAS (4.11) ;
- ✓ les sites BASOL qui ont abouti à générer un potentiel panache de pollution sur une nappe (paragraphe 4.6).
- les secteurs d'information du sol (SIS) des départements de l'ex-région Auvergne.

A la date du 09/04/20, les départements du Puy-de-Dôme, du Cantal et de la Haute-Loire disposaient d'une liste de SIS actée par un arrêté préfectoral. Pour le département de l'Allier, la liste des sites soumise à l'enquête publique a été prise en compte (arrêté préfectoral non publié à la date du 09/04/20).

Dans le cadre de l'étude, seuls les dépôts miniers présentant des pollutions métalliques, hors éléments peu mobiles comme le plomb ou l'uranium, ont été pris en compte. Ces dépôts sont au nombre de 21. Il est à noter que les pollutions métalliques, hormis mercure, ne sont pas prises en compte dans le cadre de la méthodologie nationale.

L'ensemble des sites BASOL et SIS répondant aux critères définis par le comité de pilotage de l'étude sont représentés illustration 32.

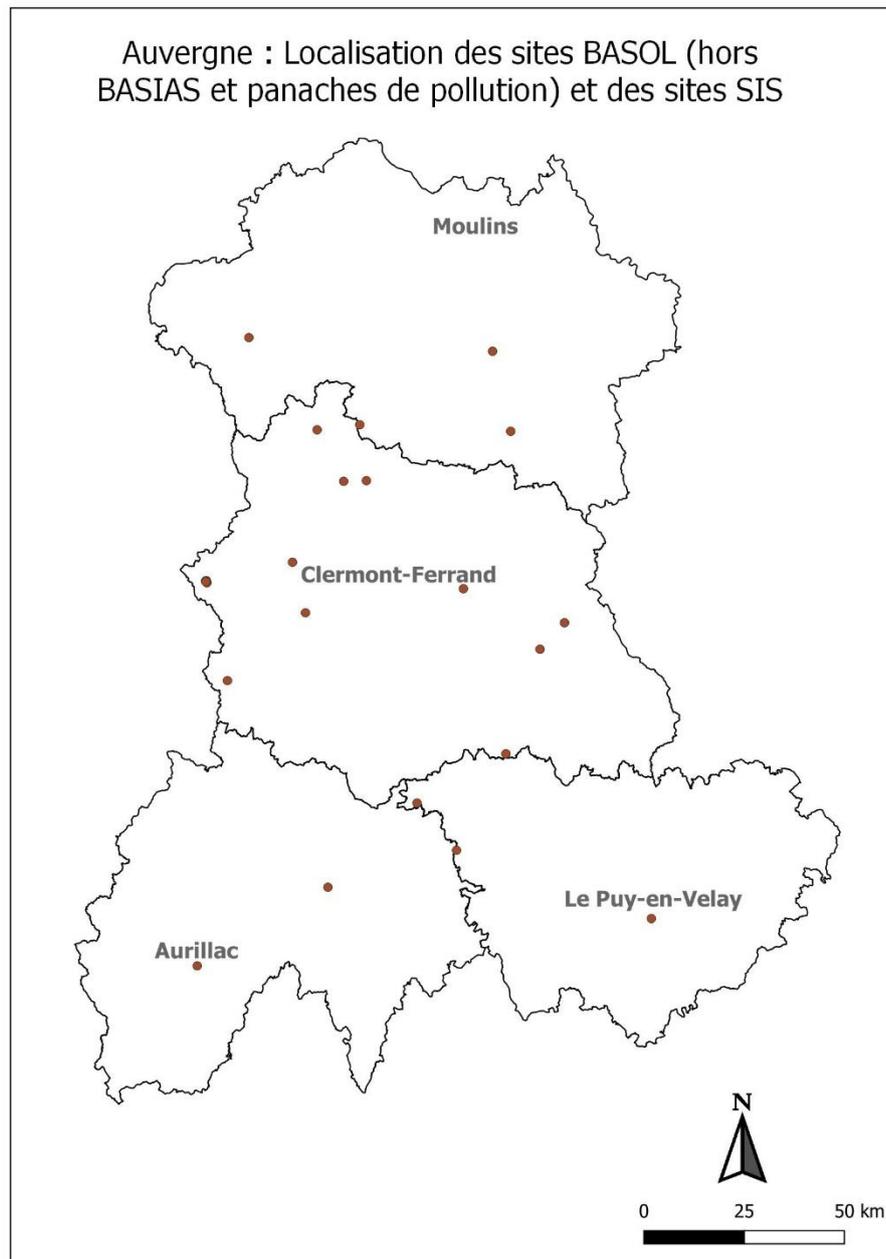


illustration 32 – Carte de localisation des sites BASOL (06/11/19/ et SIS (09/04/20) utilisés pour la qualification du phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine » en Auvergne

L'identification de la présence d'aquifères et leur profondeur s'est basée sur les ouvrages de la base de données du sous-sol (BSS) présents à proximité des sites (notamment les ouvrages « eau ») ainsi que sur l'expertise de l'hydrogéologue régional.

La probabilité d'occurrence du phénomène « pollution des sols et des nappes souterraines » n'a été cartographiée que pour l'intervalle de profondeur 10-50 m car tous les aquifères autour des

sites BASOL ou SIS sont situés à moins de 50 m de profondeur. La règle de l'héritage² de l'aléa le plus élevée a été appliquée aux profondeurs 10-100 m et 10-200 m. Il est à noter que chaque site (BASOL ou SIS) a été affecté d'une zone tampon de 500 m.

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

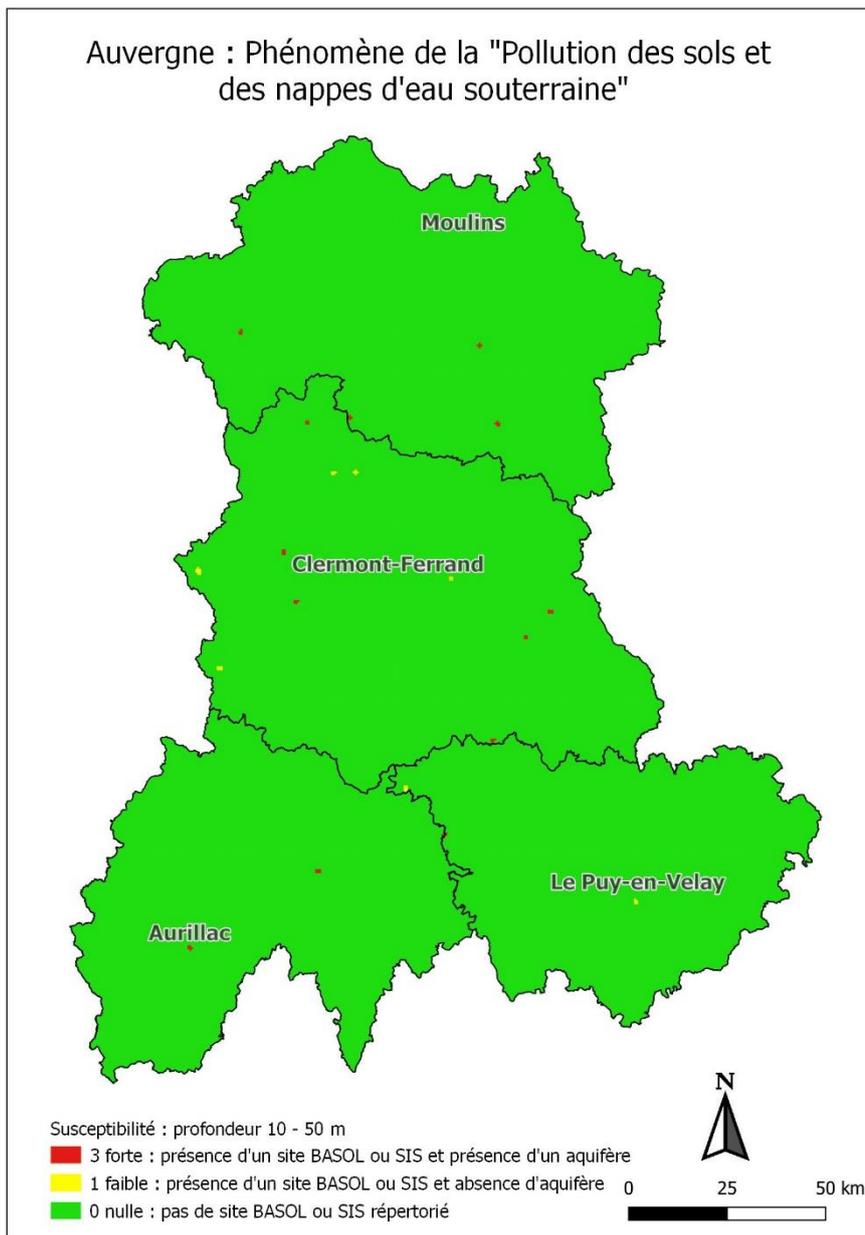


illustration 33 – Carte des niveaux d'aléa du phénomène « pollution des sols et des nappes souterraines » en Auvergne pour une profondeur 10-50 m

² Règle de l'héritage : la valeur d'un champ pour les intervalles 10-100 m et 10-200m ne peut être inférieure à celle calculée pour l'intervalle de profondeur inférieure (soit 10-50 m et 10-200m).

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

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

Compte-tenu de la qualification spécifique du phénomène adoptée pour les travaux de Rhône-Alpes et transposée pour partie en Auvergne, les valeurs fournies par le guide national (0,1,5 et 7) qui concernent le phénomène pris dans sa globalité (BASOL, panaches de pollution) n'ont pas été utilisées. Les valeurs ci-après ont été adoptées, elles seront complétées par le second phénomène liés aux panaches de pollution :

Niveaux aléa/ susceptibilité	Nul	Faible	forte
Valeur du niveau d'aléa	0	1	3

En cohérence avec les travaux réalisés en Rhône-Alpes, le facteur aggravant potentiel est de 3 quel que soit le type d'échangeur.

Type	Echangeur ouvert (doublet sur nappe)	Echangeur fermé (sonde géothermique verticale)
Facteur aggravant	3	3

4.6. PHENOMENE DE « POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE LIE A LA PRESENCE DE PANACHES DE POLLUTION »

4.6.1. Description du phénomène et occurrences

a) Inventaire des pollutions

Un panache de polluant constitue l'extension, au sein d'une nappe, d'un ou plusieurs polluants mobiles (selon des concentrations au-dessus d'un seuil). Ce panache est alimenté par une source (ponctuelle), dans le sol ou directement dans la nappe. Il évolue avec le temps, dans l'espace, entraîné par l'eau souterraine selon le mode de diffusion du produit incriminé. La source de ce panache est un site pollué, c'est-à-dire un site qui, du fait d'anciens dépôts de déchets ou d'infiltration de substances polluantes, présente une pollution (chronique ou accidentelle) susceptible de provoquer une nuisance ou un risque pérenne pour les personnes ou l'environnement.

Sur le territoire national, la mémoire des pollutions éventuelles est conservée à travers des bases de données spécifiques, permettant d'assurer une communication sur les actions menées en vue de résorber les pollutions ; ainsi que sur l'état du milieu (information sur les sols et nappes, foncier et risques) :

- ✓ la banque de données BASOL (<http://basol.ecologie.gouv.fr>), qui recense les sites et sols pollués ou potentiellement pollués faisant l'objet d'une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif.
- ✓ l'inventaire historique BASIAS (<http://basias.brgm.fr>) recense les sites qui ont hébergé par le passé des activités pouvant être à l'origine d'une pollution des sols. Ces sites constituent des lieux de présomption de pollution, à confirmer par des investigations et analyses. Cette connaissance est utile lors d'opérations de cession des terres, transfert d'activités ou dans le cas de pollution avérées. Des sites BASIAS peuvent être versés dans BASOL, dès lors qu'ils font l'objet d'une action des pouvoirs publics (pollution avérée).
- ✓ la base ARIA (www.aria.developpement-durable.gouv.fr) répertorie de son côté les incidents ou accidents connus, qui ont porté, ou auraient pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publiques ou à l'environnement, dont une pollution des sols et des eaux.

• Les pollutions historiques

La banque BASIAS n'a pas donné lieu à exploitation, en raison de l'absence d'informations avérées sur une pollution effective de sols ou de nappes. Elle a néanmoins alimenté la connaissance, sur des sites présentant de tels constats, pouvant être prochainement versés dans BASOL (sites non inventoriés dans BASOL à la date de l'inventaire : 31 décembre 2019).

La banque de données sur les Sols pollués BASOL recense les sites soumis à la législation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), sur lesquels sont menées des actions pour prévenir les risques et réhabiliter les sites. BASOL est constamment actualisée par l'administration en charge du suivi des établissements industriels (ICPE), en fonction de l'actualité des sites inventoriés et des résultats de leur surveillance. Depuis 2000, les sites recensés dans BASOL doivent mettre en place une surveillance de la qualité des eaux souterraines ou disposer d'une justification technique d'absence de surveillance. Un site BASOL constitue donc un indice

géographique fiable de pollutions des sols et d'impacts éventuels dans les eaux.

Les informations de la base de données BASOL se déclinent en 319 champs, structurés en sept grandes rubriques sous forme textuelle ou critères booléens (cases à cocher oui/non). Parmi ces informations, on retiendra l'identification et la caractérisation des sites, ainsi que les impacts constatés (milieux et polluants) et les traitements apportés sur les sites. Les champs « Types de pollution - nappe polluée » (Oui/Non), et champs relatifs à l'existence de polluants « sols et nappe » (déclinés par polluants) permettent de préciser les impacts sur les eaux et les produits impliqués.

La nature de la pollution d'un site est liée à l'identification d'un ou plusieurs des 24 polluants pris en compte dans la base BASOL, regroupés en 7 grandes familles : métaux et métalloïdes (plomb, cuivre, arsenic, chrome, nickel, cadmium, mercure, zinc, baryum, molybdène, cobalt, sélénium), BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes), cyanures, HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques), hydrocarbures, hydrocarbures chlorés (PCB-PCT, trichloroéthylène, solvants halogénés), et les autres (ammonium, chlorures, pesticides, solvants non halogénés, sulfates).

L'analyse de la base de données régionale montre que les métaux et métalloïdes sont identifiés sur le tiers des sites auvergnats, surtout dans les sols mais également dans les nappes d'eau souterraine. La présence d'hydrocarbures a été détectée sur près de la moitié et le quart d'entre eux présente une pollution aux HAP.

La base répertorie les pollutions avérées ou suspectées, en précisant leur suivi ou niveau de traitement. L'ancienneté et l'origine de la pollution sont indiqués par une date présumée d'événement ou détection des pollutions. Les sources identifiées (dépôt aérien, de surface, enterré), les types et modes de contamination (fuite, accident, dégradation continue...), ainsi que les produits responsables de la pollution sont également répertoriés.

Le milieu impacté est identifié : sol, nappe. Les usages attachés à ces milieux permettent également de préciser les enjeux liés et leur exposition aux risques ; ces usages permettent parfois de préciser la pollution repérée.

L'état des sites recensés dans BASOL est répertorié en 5 catégories, permettant d'apprécier l'état actuel de la pollution et sa possible évolution dans le temps. :

- site traité et libre de toute restriction *;
- site en cours de travaux ;
- site mis en sécurité et/ou devant faire l'objet d'un diagnostic ;
- site en cours d'évaluation ;
- site traité avec restrictions d'usage.*

* Lorsque le site a fait l'objet d'un traitement (dépollution de sols ou des eaux, enlèvement de matériaux, etc), les informations sur les traitements opérés permettent de préciser si la source (et quelle source) de polluant est encore active, a été supprimée ou diminuée en charge, sur le milieu concerné. De là, découle l'éventualité d'une atteinte de nappe par une pollution identifiée au niveau d'un sol sus-jacent, d'une pérennité d'alimentation de la pollution à partir d'une source, et donc d'une évaluation de l'intensité et du volume de la pollution avec le temps.

- **Les pollutions accidentelles**

La base de données **ARIA** (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) répertorie les incidents, accidents ou presque accidents qui ont porté, ou auraient pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publiques ou à l'environnement. Ces événements sont ceux portés à connaissance de l'administration. Ils résultent :

- de l'activité d'usines, ateliers, dépôts, chantiers, carrières, élevages... classés au titre de la législation relative aux Installations Classées ;
- du transport de matières dangereuses par rail, route, voie fluviale ou maritime ;
- de la distribution et de l'utilisation du gaz ;
- des équipements sous pression ;
- des mines et stockages souterrains ;
- des digues et barrages.

Il s'agit fréquemment d'évènements en lien avec des transports de matières dangereuses, ainsi que des sinistres d'établissements industriels ou agricoles (incendie, ruptures de canalisations), ayant donné lieu à des déversements et fuites de liquides polluants ou dépôts de matières polluantes sur les sols,

Ces informations sont renseignées, selon les évènements, par les services de secours (enseignements sur la cinétique de développement du sinistre et les difficultés d'intervention rencontrées), les services de l'inspection de l'Environnement (causes des accidents), les médias (éclairage sur les réactions du public), ainsi que des organismes professionnels et acteurs de terrain. L'exactitude des lieux de pollution et des types de polluants n'est pas systématiquement accessible, mais son traitement est toujours connu.

b) De la pollution au panache

L'inventaire au niveau national des panaches de pollution dans les eaux souterraines n'est pas disponible actuellement. L'appréciation de la présence de panaches polluants non cartographiés géographiquement s'effectue à partir d'une analyse des sols et des sites pollués, selon une démarche expérimentée sur les régions Ile-de-France, Alsace et Languedoc-Roussillon (cf. rapports BRGM/ RP-54257-FR / 2006 et RP-50993-FR / 2001), puis en Rhône-Alpes (2016). Cette méthode permet d'apprécier la susceptibilité ou probabilité d'occurrence du phénomène de « pollution des sols et des nappes souterraines » (non traduite en panaches). Selon cette approche, la pollution avérée de la nappe est traduite en forte susceptibilité; la pollution des eaux souterraines se caractérisant par un panache de pollution dans le sol et l'aquifère. La présence d'un site pollué concomitante à celle d'un aquifère induit une susceptibilité moyenne (risque de pollution des eaux non avéré mais possible voire probable) pouvant également se traduire par un panache polluant. Enfin, la présence d'un site pollué en l'absence d'aquifère marque un risque de pollution des sols, avec une faible extension géographique (pas de panache à proprement parler mais une maille marquée par une pollution des sols).

A noter : l'absence de sites BASOL inventorié n'écarte pas pour autant tout risque de pollution des sols et des eaux souterraines en tout point du territoire, mais simplement l'absence de constat connu de l'administration.

Le principe d'analyse consiste ici à qualifier chaque site par des critères de pollution, afin d'apprécier la présence d'un panache polluant, sa localisation et ses contours. Il s'agit avant tout

d'une caractérisation présumée et non d'une cartographie réelle; l'objectif étant d'identifier le risque de pollution des eaux et des sols lors de la mise en œuvre de forages sur le secteur.

Les éléments pris en compte sont :

- la possibilité d'une pollution de nappe, directe ou depuis une pollution de sol ;
- l'importance du dépôt à l'origine de la pollution et le type de polluant en cause (quantité de la source) ;
- la dynamique de dégradation supposée, en lien avec l'âge de l'événement (évolution du panache) ;
- la dynamique de pollution dans le sol et la nappe, en lien avec le transfert de pollution en zone non saturée et avec l'écoulement des eaux de nappe.

L'appréciation de la présence de panaches de pollution, de leur localisation et de leur extension est effectuée à partir d'éléments factuels, interprétés et traduits en information cartographique.

Si elle ne permet pas un tracé précis et strictement conforme à la réalité de terrain, cette analyse permet d'aller au-delà de la représentation par défaut des pollutions sur la carte nationale (à savoir un tracé s'exprimant par un simple contour concentrique de faible rayon, standardisé, sans discrimination).

Les tracés des panaches théoriques ne tiennent pas compte de traitements particuliers inconnus (dépollution de sites par exemple) ni de processus hydrauliques (pompages de rabattement par exemple) ayant mené à la résorption ou rétention de ces panaches.

- **Rappels concernant la morphologie des panaches de pollution**

La densité des composés présents affecte les distributions verticales et horizontales des polluants dans un milieu aqueux. La morphologie et l'extension des panaches formés par ces composants au sein des nappes en découlent donc directement.

Les processus de migration dans le sol et dans les aquifères des polluants peu miscibles à l'eau tels que les hydrocarbures pétroliers, les produits de la pyrolyse de la houille (principalement HAP³ et BTEX⁴) et les composés organo-halogénés *volatils* sont ainsi relativement bien connus :

- pour les hydrocarbures pétroliers dont la densité est inférieure à celle de l'eau (cas des LNAPL, «Light Non Aqueous Phase Liquid»), la phase organique est principalement « flottante » et présente dans la zone de battement et la frange capillaire de la nappe ;
- pour les composés organo-halogénés ou les HAP dont la densité est supérieure à celle de l'eau (DNAPL, «Dense Non Aqueous Phase Liquid»), la phase organique est généralement répartie dans le réservoir aquifère de façon discrète, sous forme de lentilles et microgouttelettes finement dispersées ou accumulées sur le bas de la nappe d'eau.

³Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques constituant des goudrons de houille

⁴Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylène

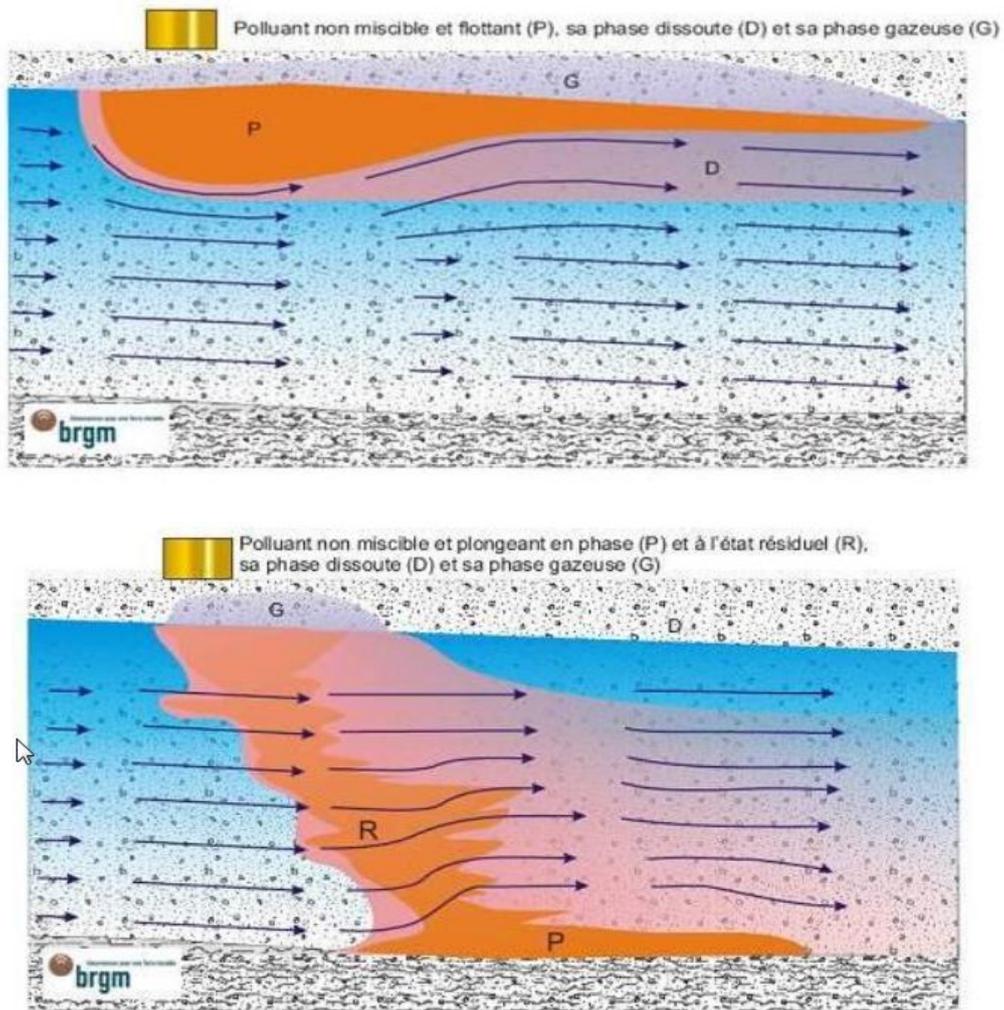


illustration 34 - Illustration de comportements de panache de polluants « légers » (LNAPL) ou « lourds » (DNAPL)

Au sein de l'aquifère, le panache est alimenté par un processus de dissolution des polluants de la zone source, qui recouvre le phénomène de transfert de constituants chimiques (solubles) de la phase organique (en zone saturée comme en zone non saturée) vers la phase aqueuse. Il s'agit là en général du principal mécanisme de pollution d'un aquifère (même si, dans certains cas, le transfert peut s'effectuer par voie « gazeuse »).

Tant qu'il existe un corps d'imprégnation et que la phase organique reste au contact des flux d'écoulement des eaux souterraines, le panache sera alimenté. Or, la disparition de la zone source est un mécanisme très long et difficilement modélisable dans le détail des échanges complexes entre les phases en présence (NAPL, eau, air, sol) et compte tenu des échelles en jeu (de l'échelle microscopique des pores à l'échelle pluri-décamétrique des panaches). Ce processus complexe d'alimentation du panache à partir du corps d'imprégnation est en effet dépendant de la composition du mélange NAPL, des solubilités et des volatilités des polluants, des hétérogénéités du milieu et de la dispersion du NAPL dans l'aquifère. Pour autant, la disparition de la source de pollution signifie la fin de l'alimentation et du signal continu engendrant le panache.

La distribution des concentrations des composés dans le panache est déterminée par les propriétés hydro-dispersives de l'aquifère, les propriétés physico-chimiques des phases et constituants considérés, les hétérogénéités de la répartition des phases et du milieu poreux, mais également par des aspects dynamiques: cinétiques de dissolution, de volatilisation, de sorption, et éventuellement réactions chimiques et biologiques.

Il est cependant possible d'établir une hiérarchisation des panaches, par type de polluant, pour un milieu donné. Par extension, les tailles relatives des panaches peuvent être appréciées par une approche simplifiée, tenant compte du type de polluant en cause.

La littérature (Schiedek et al., 1997) donne des indications sur les longueurs de panaches constatées, pour chaque famille de polluant, sur un grand nombre de sites à travers l'Europe (cf. illustration 35).

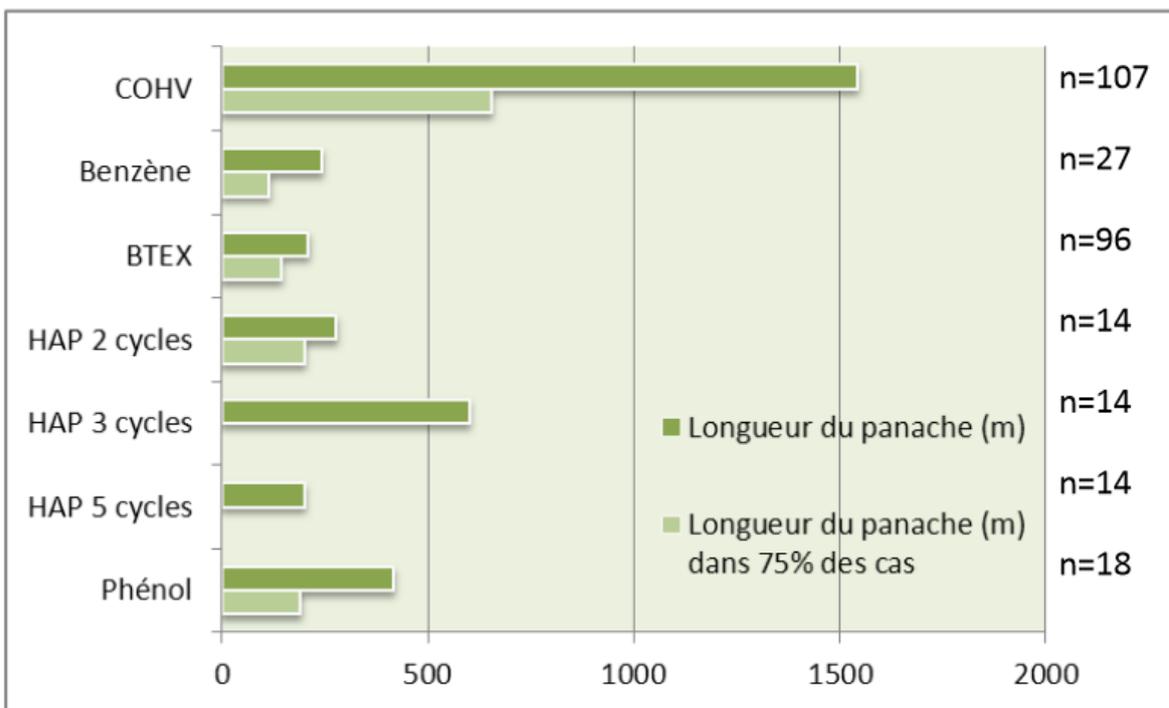


illustration 35 - Longueurs maximales constatées de panaches en Europe (vert foncé) et longueurs moyennes des panaches dans 75 % des cas (vert clair) en fonpp & Paus, 1999 ; Christensen et al., 2001 ; Newell and Connor, 1998)ction des type de polluants : n= nombre de sites étudiés (d'après Schiedek et al., 1997, Stupp & Paus, 1999; Christensen et al., 2001; Newell and Connor, 1998)

Ainsi, on constate que :

- les panaches de *COHV* sont plus étendus que les panaches d'hydrocarbures et de HAP, en raison d'une solubilité supérieure et d'une relative récalcitrance à la biodégradation ;
- les *BTEX* et les *HAP légers* conduisent à des panaches limités dans la mesure où, bien que ces composés soient relativement solubles, leur dégradation est généralement relativement rapide ;
- les *HAP à 3 cycles* génèrent des panaches légèrement supérieurs en raison d'une dégradation moins efficace ;

- les faibles solubilités des *HAP plus lourds*, associées à une forte adsorption, limitent la taille des panaches.

Les composés inorganiques sont à considérer au cas par cas. Parmi eux, les *métaux et métalloïdes* sont des polluants globalement peu mobiles, qui donnent lieu à des panaches à faible diffusion horizontale, mais dont la densité relativement élevée contribue à une contamination plutôt en profondeur au sein de la nappe touchée (comme pour les HAP lourds).

- **Rappels sur l'évolution des panaches avec le temps**

La longévité de la zone source définit la durée de vie de l'alimentation des panaches induits. Ces derniers sont généralement alimentés pendant de nombreuses années, voire pendant plusieurs dizaines d'années.

Ils sont en général d'extension largement plus grande que la dimension caractéristique du corps d'imprégnation (ou zone source). Ils se développent dans la grande majorité des nappes, essentiellement par convection, à partir de la zone source. Inexorablement, l'importance du processus de dissolution (transfert à l'eau), ainsi que du processus de volatilisation (transfert à l'air) diminue avec le temps («vieillesse») grâce à :

- la perte de masse (perte préférentielle des composés transférables à l'eau, valable pour toutes les sources),
- la biodégradation de la phase organique du corps d'imprégnation en zone non saturée et en zone saturée (ce mécanisme de dégradation n'a à ce jour été démontré que pour les phases composées d'hydrocarbures pétroliers).

Un panache de composés dissous connaît généralement plusieurs phases d'évolution successives (illustration 36) :

- une phase de **propagation** (état transitoire), lorsque la masse d'alimentation à la source (flux massique) excède la perte de masse au sein du panache ; c'est le cas lors de pollutions accidentelles,
- une phase de **stabilisation** (état permanent «steady state»), lorsque la masse d'alimentation à la source égale la perte de masse au sein du panache ; il s'agit de la situation la plus couramment rencontrée sur des pollutions historiques. Cette phase peut être durable, tant que la source de pollution est présente et alimente le panache.
- une phase de **régression** (état transitoire «shrinkage») lorsque la masse d'alimentation à la source ne compense plus la perte de masse au sein du panache (ou lorsque une dépollution par pompage ou suppression de la source est mise en place, réduisant d'autant la quantité de polluants au sein de la nappe).

Cette évolution dans le temps se traduit par une extension variable du panache, liée à la fois à l'importance de la source de pollution (masse initiale alimentant le panache) mais aussi au temps de « maturation » du panache en fonction du milieu (ou âge de la pollution).

Dans le cadre de l'évaluation de la taille du panache, l'importance de la source de pollution peut être appréciée par les indications de volume, tonnage ou superficie en cause dans une pollution originelle (source), tandis que la date de l'événement en précise l'âge (en cas de pollution accidentelle identifiée). Selon l'ancienneté de la source de pollution, la morphologie du panache évoluera en croissance et décroissance.

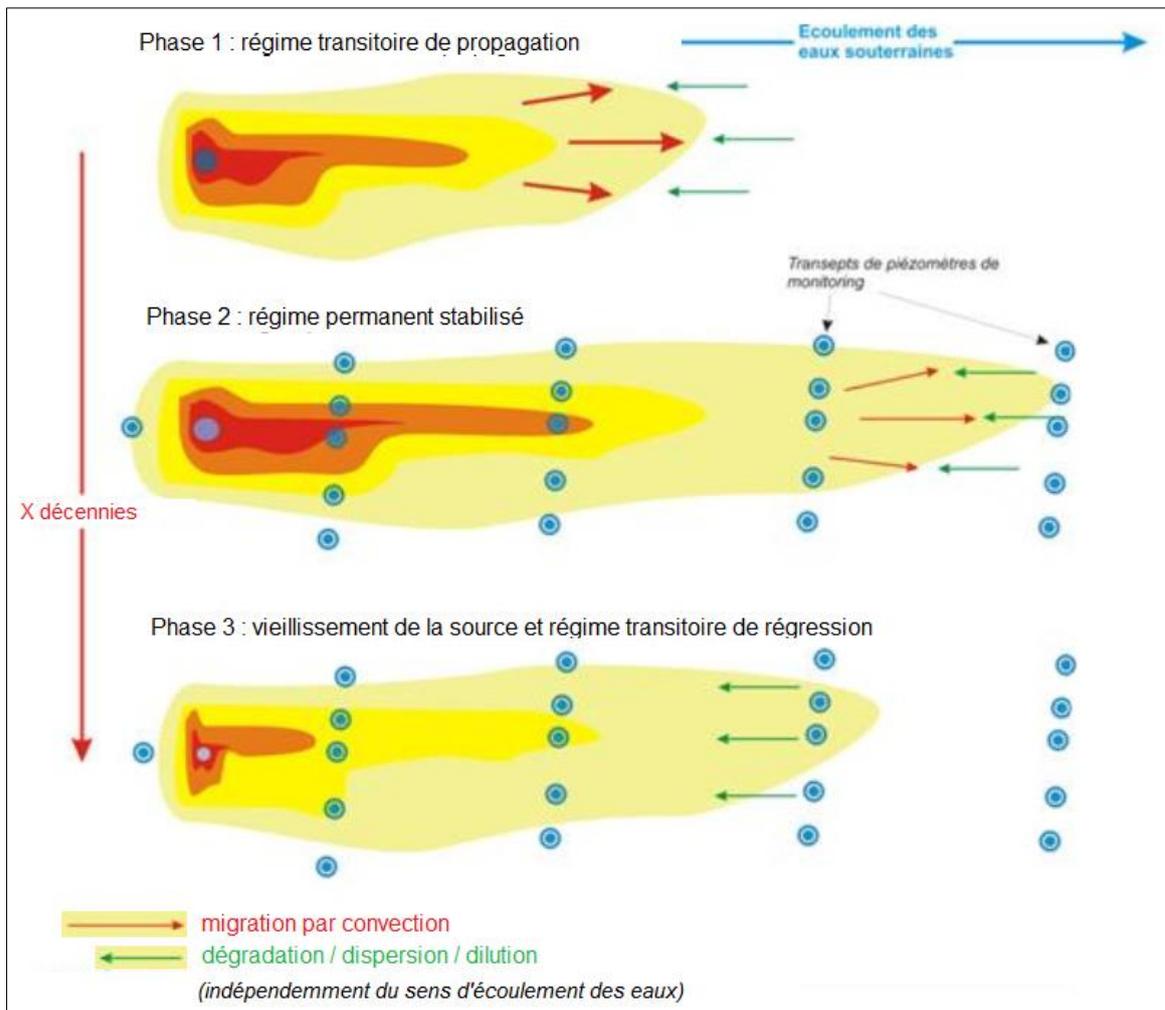


illustration 36 – Evolution d'un panache de polluants en phase aqueuse (adapté de Sinke et Le Hécho, 1999)

c) Caractérisation des panaches

- Valeurs théoriques initiales

En l'absence de toute cartographie, la taille des panaches de pollution est appréciée par l'application de critères simplifiés, exprimant l'importance de la source à l'origine de la pollution et de l'évolution supposée du panache fonction du comportement particulier du polluant incriminé et de sa dynamique en nappe.

Lorsque qu'aucun panache n'est identifié mais qu'une pollution de la nappe est avérée, le choix d'un rayon de **250 m** autour de l'installation est retenu par défaut (soit une couverture selon un disque 500 m de diamètre). Cette valeur correspond à celle prise en compte pour l'arrêté du 11 sept. 2003 portant application du décret n°96-102 du 2 février 1996, fixant les prescriptions générales applicables aux sondages, forages, création de puits ou d'ouvrages souterrain soumis à déclaration.

De même, un panache de pollution affectant un sol aura par défaut un rayon de **100 m** autour du point (soit un disque de 200 m de diamètre). Cette valeur est volontairement maximaliste, mais

sans réelle incidence à l'échelle utilisée (car inférieure à la taille de la maille cartographique).

L'approximation retenue limite volontairement l'extension géographique du phénomène à une maille, lorsqu'il s'étend de façon marginale à une maille limitrophe (emprise inférieure à 20 m en marge de la maille principale).

L'estimation finale des panaches consiste à moduler ces valeurs, en leur affectant des coefficients de pondération liés :

- o à l'importance de la source de pollution (quantité, surface ou volume de polluant en cause) ;
- o au type de polluant d'origine (caractère de solubilité et d'entraînement dans l'eau) ;
- o à l'âge de la pollution (évolution en maturité du panache).

Lorsque la pollution de nappe est générée à partir d'une pollution de sol, il est également appliqué un coefficient correcteur exprimant la vulnérabilité de la nappe par rapport à une pollution de surface.

Enfin, au niveau de la nappe, la morphologie du panache s'exprime par l'extension du panache selon le sens d'écoulement des eaux. Le panache étiré s'inscrit dans l'enveloppe de sa taille initiale supposée et s'oriente géographiquement dans le sens d'écoulement des eaux de la nappe affectée, avec un déplacement de son centroïde en direction de l'écoulement.

Cette analyse permet au final une appréciation de la taille supposée du panache, par rapport à une taille théorique simplifiée d'un panache de pollution sans aucune appréciation qualitative.

Avertissement : cette méthode exprime au final des ordres de grandeurs des panaches de pollution, qui ont une valeur indicative à l'échelle des mailles de la présente cartographie. Il conviendra de mieux les apprécier localement, par le biais d'études particulières, dès lors que la présence de tels panaches s'avère un paramètre discriminant dans la mise en œuvre d'une installation de géothermie.

- **Détermination des coefficients sur la probabilité d'atteinte de la nappe (pollution depuis le sol).**

En cas de pollution de sol avérée, la nappe la plus superficielle peut être atteinte. La vulnérabilité intrinsèque de cette nappe, exprime cette probabilité : elle est principalement dépendante du caractère infiltrant du sol et des possibilités et vitesse de transfert de la pollution au sein de la zone non saturée (séparant le sol du toit de la nappe). La nature et l'épaisseur de sol traversé par gravité par le polluant sont les principaux facteurs de cette progression. La profondeur de la nappe joue un rôle prépondérant dans la probabilité d'atteinte de la nappe d'une part (en volume et concentration), le temps d'atteinte de cette pollution au toit de la nappe d'autre part.

La vulnérabilité intrinsèque est accessible à travers les résultats de travaux cartographiques du BRGM,⁵ s'appuyant sur la méthode de l'IDPR (indice de développement et de persistance des réseaux)⁶. Basée sur les capacités d'infiltration de surface apparente et les caractéristiques de la zone non saturée (essentiellement profondeur du toit de la nappe et nature de la zone non-

⁵Rapport BRGM RP-56386-FR (2014)

⁶Les unités fonctionnelles du milieu souterrain représentent des entités de comportement hydrogéologique homogène et continu.

saturée), cette analyse permet de disposer de valeurs de vulnérabilités intrinsèques à petite échelle (mailles de 250 x 250 m), décrites par un facteur de 1 (extrêmement peu vulnérable) à 100 (extrêmement vulnérable).

Appliquée aux sites affectés par des pollutions de sol, l'approche permet de traduire ce constat en risque d'atteinte à la nappe et d'apprécier cette atteinte par un facteur probabiliste. Ce facteur de probabilité est traduit en coefficient correcteur (facteur x0,1 à x1) sur la taille finale du panache en nappe. En l'absence d'informations sur les caractéristiques du sol, c'est la profondeur de la nappe (épaisseur de la zone non saturée) qui est prise en compte pour l'expression de cette vulnérabilité.

Dans le cas présent, on considère 5 classes de vulnérabilités intrinsèques (ou à défaut de profondeur de nappe), traduites par un facteur de pondération :

- de 0 à 20 / S >20m => facteur 0,1 minimisation étendue panache (24% des sites concernés)
- de 20 à 40 / 10 < ZNS <20m => 0,2 (1 % des sites)
- de 40 à 60 / 5 < ZNS <10m => 0,4 (25 % des sites)
- de 60 à 80 / 2 < ZNS <5m => 0,7 (43 % des sites)
- de 80 à 100 / ZNS <2m => 1 critère maximaliste conservé (8% des sites)

• **Détermination des coefficients liés à l'importance de la source de pollution**

L'étendue du panache généré depuis une pollution des sols (100 m de rayon par défaut) est également appréciée et pondérée par rapport à la quantité de polluants à la source: L'étendue de la pollution générée et la taille du panache sont ainsi appréciées par rapport à la surface de produits initiaux, leur masse ou leur volume exprimé.

Le cas standard⁷ (catégorie 1) est un dépôt à l'origine de la pollution de dimensions relativement modestes (stock de 10 et 500 tonnes, représentant un dépôt de 10 à 1000 mètres cubes et/ou couvrant de 0,1 à 1 hectare). Au-delà de cette quantité (cat. 2 et 3), l'étendue de la pollution résultante dans le sol est élargie (d'un facteur 2 ou 3), tandis qu'elle est réduite en deçà (divisée par 2 pour la catégorie 0).

Dépôt à l'origine de la pollution (source) ...			(pondération du rayon)	facteur pondérant	cat.
d'un poids	d'un volume	d'une surface			
supérieur ou égal à 10000 tonnes	supérieur ou égal à 15000 m3	supérieure ou égale à 10 ha		x 3	3
entre 500 et 10000 tonnes	entre 1000 et 15000 m3	entre 1 et 10 ha		x 2	2
compris entre 10 et 500 t	compris entre 10 et 1000 m3	comprise entre 0.1 et 1 ha		x 1	1
inférieur à 10 tonnes	inférieur à 10 m3	inférieure à 0.1 ha		x 0,5	0

illustration 37 – Facteur de pondération lié à l'importance du dépôt (exprimé en poids, volume ou surface)

⁷Lorsqu'elles sont connues dans BASOL, les valeurs précisant l'importance du stock de pollution lui attribuent un poids médian de 480 tonnes, un volume médian de 925 m3 et une surface médiane de 0,40 ha. En outre, la distribution de ces valeurs montre une proportion inférieure à 10% des sites dans la tranche supérieure (important stock de pollution – cat.3), env. 30% des sites en cat.2 et moins de 20% en cat.0 (faible stock)

- **Détermination des coefficients liés à l'âge de la pollution**

La date de l'événement connue pour la pollution (accident, constat) est utilisée pour qualifier l'âge de la pollution (origine).

Par défaut, il s'agit de la date de la première analyse ayant mis en évidence un dépassement de seuil réglementaire par un contaminant, dans le sol ou la nappe.

A partir de sa taille moyenne estimée, l'évolution du panache en fonction de l'ancienneté de l'événement est caractérisée comme suit :

- pollution antérieure à 1970 (antériorité de 45 ans, en résorption) : taille du panache initial x1,5
- pollution datant de la période 1970-1990 (>25 ans, panache « mûre ») : taille x2
- pollution datant de la période 1990-2005 (récente, panache en évolution) : taille x1,5
- pollution actuelle, après 2005 (<10 ans, en expansion) ou d'âge inconnu : taille initiale (x1)

Le panache se développe en grossissant avec le temps, avant de se résorber. Les pollutions récentes, ou dont l'âge reste méconnu, ne voient pas la taille du panache augmenter (minimaliste).

- **Détermination des coefficients selon le type de polluant**

On considère ici le comportement du panache en phase aqueuse selon les propriétés des polluants, notamment leur caractère de solubilité. Le type de polluant permet de classer les événements et d'affecter à chaque pollution un critère de pondération exprimant la propension à l'étalement du panache, permise par l'entraînement de l'eau.

Ainsi, on considère qu'une pollution par des COHV, très solubles, entraînera un étalement du panache, au final près de 3 fois la taille d'un panache lié à un autre polluant : la taille des panaches résultant est dans ce cas, affecté d'un facteur pondérant x3 (diamètre multiplié par 3) (cf. illustration 38).

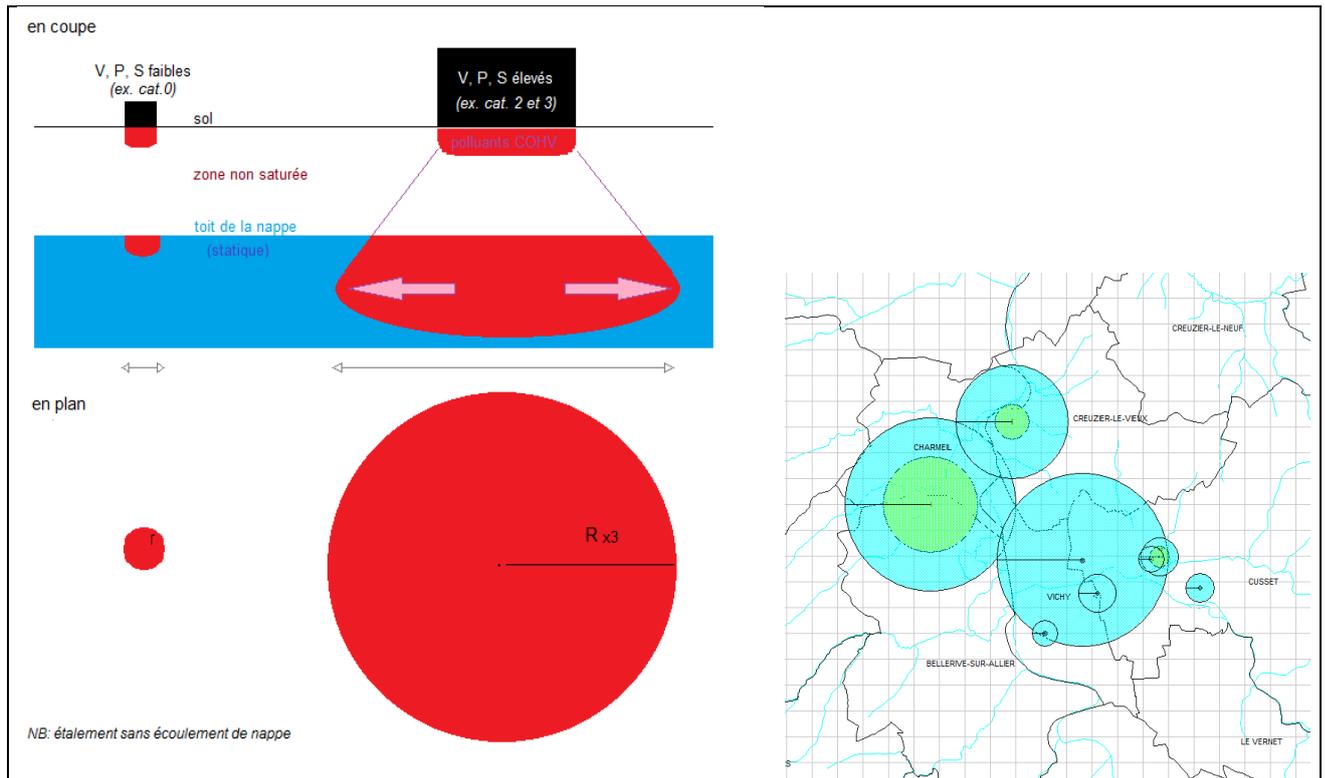


illustration 38- Principe de détermination de la taille du panache selon l'importance de la source et le type de polluants – Exemple de traduction cartographique sur sites réels

- **Validation du panache selon l'environnement hydrogéologique**

Une fois définies la localisation et l'extension (taille relative) de la pollution, il est nécessaire de préciser la géométrie présumée du panache généré au sein de la nappe atteinte. On considérera pour cela que la première nappe rencontrée dans le sol (la moins profonde) est celle affectée par la pollution et que son écoulement règle le comportement du panache (direction, sens et vitesse du flux). Il est également considéré que le panache se développe au sein d'un aquifère homogène, sans distinction des profondeurs et de la répartition des polluants sur la dimension verticale (la cartographie finale s'établissant en 2D, sur une même verticale).

La dispersion est le principal élément pris en compte pour l'étalement du panache de pollution au sein de l'aquifère. Celui-ci subit un étirement selon une dispersion longitudinale (suivant le sens de l'écoulement) et une dispersion transversale proportionnels à la distance parcourue dans la nappe. La proportion généralement retenue est une dispersion transversale équivalent au 1/10e de la dispersion longitudinale. La règle empirique consiste à considérer que pour une distance de parcours de L , la dispersivité à utiliser est de $L/10$.

Le traitement consiste donc en un étirement des «spots» initiaux dans le sens de l'écoulement principal, selon cette hypothèse (cf. figure 8), pour traduire la morphologie et position finale du panache au sein de la nappe : le panache conserve sa plus grande dimension (considérée comme la dispersion longitudinale du panache) tandis que sa plus petite dimension (perpendiculaire à l'écoulement souterrain) est approximativement réduite entre 1/5 et 1/10e de cette distance, avec une appréciation sur la vitesse d'écoulement des eaux de nappe.

Cette analyse est basée sur l'analyse des piézométries de nappe et des gradients d'écoulement connus et supposés. Une majorité de ces informations est accessible à l'échelle de la région pour

une partie des nappes. Lorsqu'elle n'est pas disponible, la direction d'écoulement est évaluée en considérant la topographie ou la présence de drains / exutoires orientant les écoulements souterrains (ex : nappe alluviale, source de bassin versant, etc.).

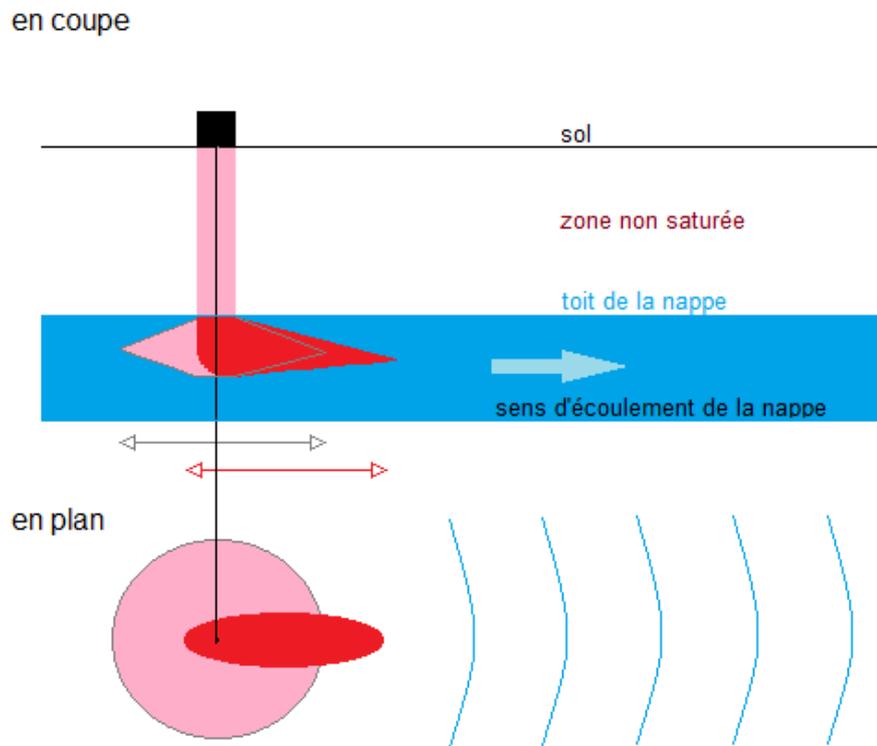


illustration 39 – Détermination de l'étirement du panache selon le sens d'écoulement de la nappe. Etape 1 (en rose) : détermination de la taille du panache sans prise en compte de l'écoulement de la nappe. Etape 2 (en rouge) : resserrement et étirement du panache selon le sens d'écoulement des eaux

Lorsque aucun sens d'écoulement des eaux de nappe n'est connu ou ne se distingue sur le site de la pollution, le panache conserve sa forme sphérique (non étiré), centrée sur la source, afin de tenir compte de cette incertitude sur la direction empruntée : la couverture est maximale, sans présumer d'un mouvement préférentiel du panache (seule une analyse locale permettrait d'en préciser la position réelle).

4.6.2. Elaboration de la carte des pollutions en Auvergne

Aucun panache de pollution n'est repéré et cartographié en Auvergne : la localisation et le repérage de ces panaches reste donc théorique, en appui sur les lieux de pollution et leur environnement.

L'inventaire des sites pollués en Auvergne reste également délicat, en raison de la multiplicité des sites possibles, de l'ancienneté des pollutions (historiques ou ponctuelles), pas toujours repérées et caractérisées. Le traitement des données s'est attaché en premier lieu à épurer la liste des sites auvergnats identifiés dans les bases de données (BASOL et ARIA), pour ne conserver que ceux affectés par une pollution encore actuelle (effacement d'anciens sites ou erronés), avant d'en vérifier la localisation (lieux des sources de pollution), puis d'en caractériser les impacts par type de pollution et milieu touché.

a) *Pollutions locales*

L'inventaire des sites BASOL caractérise la situation régionale au 31 décembre 2019 (dernière mise à jour Auvergne sur BASOLweb). Elle décrit un total de **123 sites et sols pollués** (ou potentiellement pollués) par des activités industrielles ou de traitement des déchets en Auvergne, au 31 décembre 2019.

Département	Sites mis en sécurité et/ou devant faire l'objet de diagnostic	Sites en cours d'évaluation	Sites en cours de travaux	Sites traités avec surveillance et/ou restriction d'usage	Sites traités et libres de toute restriction	Nombre total de sites (123)
Allier - 03	6	14	3	24	6	53
Cantal - 15	0	1	1	1	2	5
Haute-Loire - 43	0	2	0	6	5	13
Puy-De-Dôme - 63	1	10	3	26	12	52

illustration 40 – Inventaire des sites pollués BASOL en Auvergne (déc.2019)

A l'échelle du territoire auvergnat, 129 cas d'accidents ayant entraîné une pollution ont été référencés dans ARIA au cours des 30 dernières années. Parmi eux, 34 cas d'accidents ayant entraîné une pollution des sols et/ou des eaux souterraines peuvent être caractérisés et localisés pour donner lieu à un traitement cartographique sur la genèse et le développement d'un panache de pollution. Les autres cas n'ont pu être précisément situés, n'ont généré qu'une pollution très faible ou ont été traités afin de stopper toute pollution.

La grande majorité de ces sites montre une contamination des eaux et des sols ayant pu donner naissance à des panaches de pollutions résiduels :

- 83 sites présentent une double pollution des sols et des eaux souterraine (détection) ;
- 10 sites montrent une pollution des eaux souterraines avérée ;
- 53 sites ont généré une pollution des sols identifiée, en présence d'une nappe (dans laquelle aucune mesure n'a été faite ou n'a montré la présence de polluants lors du constat) ;
- 23 sites présentent une pollution des sols, mais une absence de nappe phréatique, donc de panaches ; (*ces sites ne sont pas pris en compte ici et sont identifiés dans le phénomène l'aléa cartographique <sols pollués>*).

Sites BASOL concernés par une pollution	Sites ARIA concernés par une pollution identifiable	Dont sites atteints par une pollution de nappe	Dont sites atteints par une pollution de sols, avec nappe	Dont sites atteints à la fois par une pollution des sols et eaux de nappe
123	34	10*	53*	83*
126 pollutions de sols (83+53) / 93 pollutions de nappe (10+83)*				

illustration 41 – Inventaire des sites pollués pouvant générer des panaches de pollution en Auvergne (déc. 2019)

* On note également que, parmi ces sites:

- 46 sites présentant une pollution des sols ont été traités (traitement préventif ou curatif), dont 23 avec élimination totale de la source de pollution ;
- 25 sites présentant une pollution de nappe ont également été traités (eaux souterraines), dont moins d'une dizaine avec élimination totale de la source au niveau des sols.

Ces derniers, bien que pollués initialement (sols de surface et/ou nappe), n'ont donc pas nécessairement engendré de panaches polluants conséquents, présents ou mesurables à ce jour.

- **Localisation des sites pollués**

S'agissant des sites BASOL, les enregistrements révèlent parfois des imprécisions des lieux de pollution, ainsi que des lacunes ou erreurs sur les coordonnées géographiques (cas lors de changements de référentiels géodésiques ou saisie erronée). Par ailleurs, des coordonnées de sites correspondant parfois à celles du centroïde de la commune d'implantation de l'entreprise et non au lieu exact d'implantation de l'entreprise, voire du lieu d'origine de pollution. Ces localisations imparfaites pouvaient donner lieu à des décalages sur carte et des erreurs évidentes de rattachement à la nappe exposée, ou à ses caractéristiques.

Les coordonnées ont donc été corrigées par remplacement sur le centre de l'emprise réelle des établissements, grâce à l'utilisation des limites d'établissements ICPE (lorsque disponibles), plans cadastraux (lorsque sites repérés), ainsi que sur des comparaisons visuelles à partir de fonds IGN (1/25000e), cartes ou photos (Google Maps ©). Au final, 9 % des sites auvergnats ont fait l'objet d'un déplacement par rapport aux coordonnées saisies dans BASOL.

Pour ce qui concerne les accidents, fuites, sinistres ayant donné lieu à des événements enregistrés dans ARIA, les localisations des sites ne sont pas renseignées par leurs coordonnées géographiques. Cela suppose une recherche géographique sur cartes et plans, d'après les informations accessibles renseignées : les indications utilisées sont les indications routières (ex : borne km, infrastructures, carrefours routiers, etc), précisions sur les bâtis (ex : école, mairie, ferme X, bloc usine Y) ou d'urbanisme (parc, quartier X, parking Y). La moitié des sites ARIA n'a pas donné lieu à une localisation suffisamment précise pour être exploitée (imprécision supérieure à 500 m, soit plus d'une maille) et ont donc été écartés de l'échantillon.

Les bassins industriels régionaux et agglomérations présentent le plus grand nombre de sites pollués et de panaches résultants (Clermont-Ferrand, Cusset, Montluçon, Brioude). Certains territoires montrent des recouvrements de panaches. Ces expositions multiples ne donnent pas lieu à double comptage (sur une maille et une même verticale) ; la maille prend alors la valeur du plus fort aléa présent.

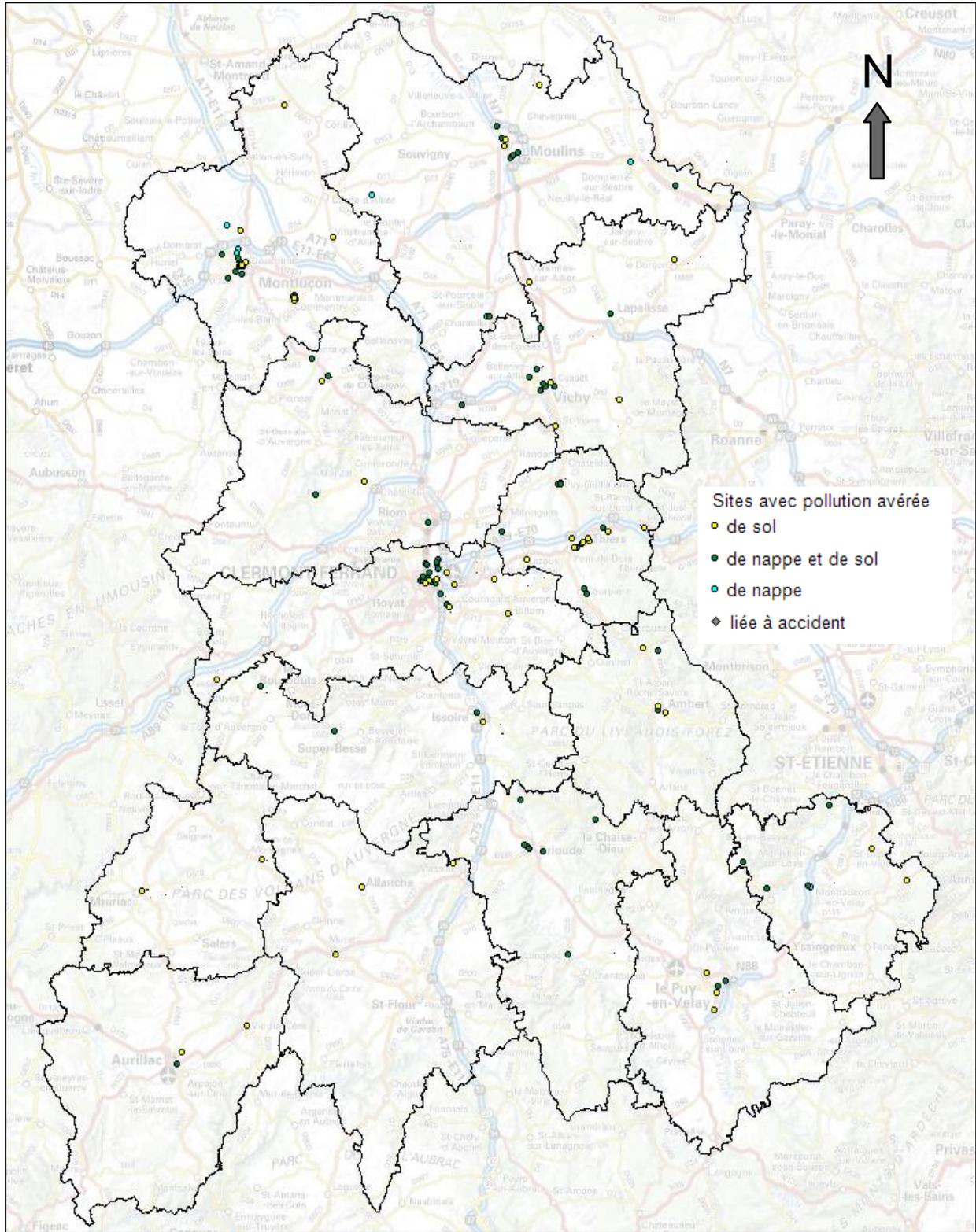


illustration 42 – Carte des sites et sols pollués en Auvergne

- **Panaches générés**

Sur le territoire auvergnat, 93 sites présentent des pollutions de nappe, susceptibles de générer des panaches, avec des extensions appréciables comprises entre 30 et 3300 m. (cf. illustration 43).

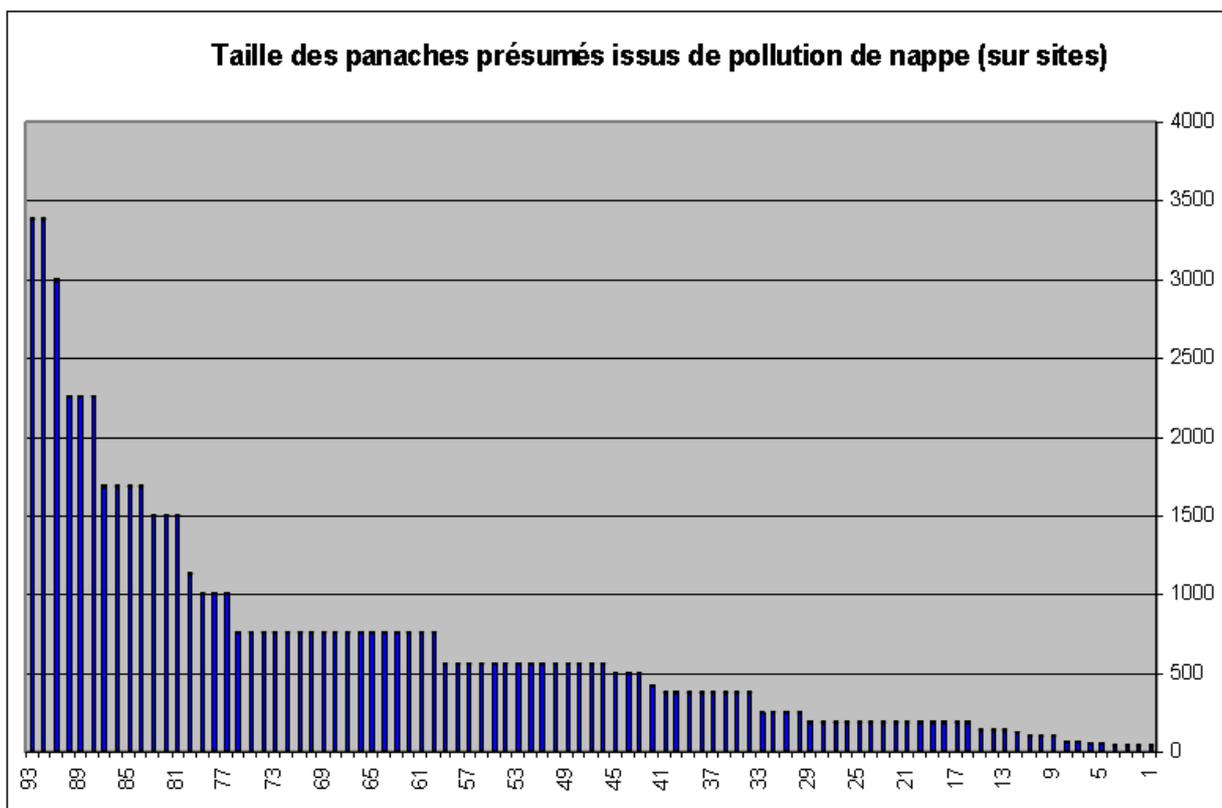


illustration 43 – Distribution des tailles de panaches estimés sur les pollutions connues de la nappe (sites Auvergne)

La taille médiane des panaches de pollution de nappes est de 560 m (soit approximativement la taille d’une maille cartographique). La taille théorique moyenne par défaut des panaches (« tâche » de 250 m de rayon) est atteinte ou dépassée dans la moitié des cas.

Le tiers des panaches en nappe présente une extension inférieure à 250 m. A l’inverse seuls 15 % des panaches ont une taille supérieure à 1 km et 3% s’étirent sur plus de 3 kms.

Par ailleurs, 90 sites sont susceptibles d’avoir donné lieu à un panache de pollution de sols de taille mesurable, consécutivement à l’atteinte de cette nappe (cf. illustration 44. Les autres sites avec pollution de sols ont été traités, la pollution y a été réduite ou n’a pas atteint la nappe a priori.

La taille médiane des panaches de pollution de sols engendrés reste très modeste, de l’ordre de 80 m (très inférieure à la taille d’une maille cartographique). 25 % des panaches issus de pollution de sols présentent une taille inférieure à 30 m,

Le plus long panache théorique atteint 1260 m, et seulement 5 % de ces panaches présente une extension supérieure à la taille d’une maille (plus de 500 m). Les plus importants panaches concernent des sites également touchés par une pollution de nappe avérée.

Ces appréciations sont cohérentes par rapport à des mesures réelles et cas connus de panaches de pollution, dans des contextes équivalents.

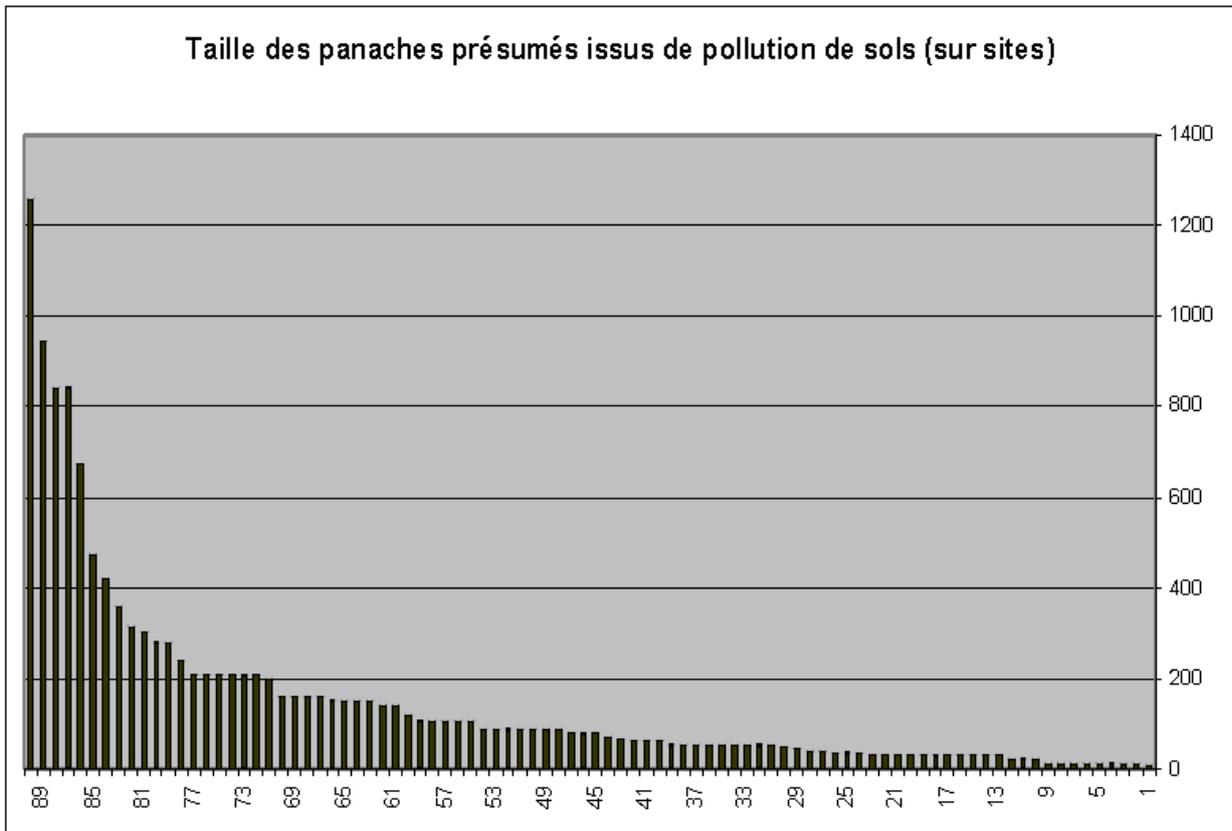


illustration 44 - Distribution des tailles de panaches estimés sur les pollutions provenant des sols (sites Auvergne)

Carte des panaches de pollutions

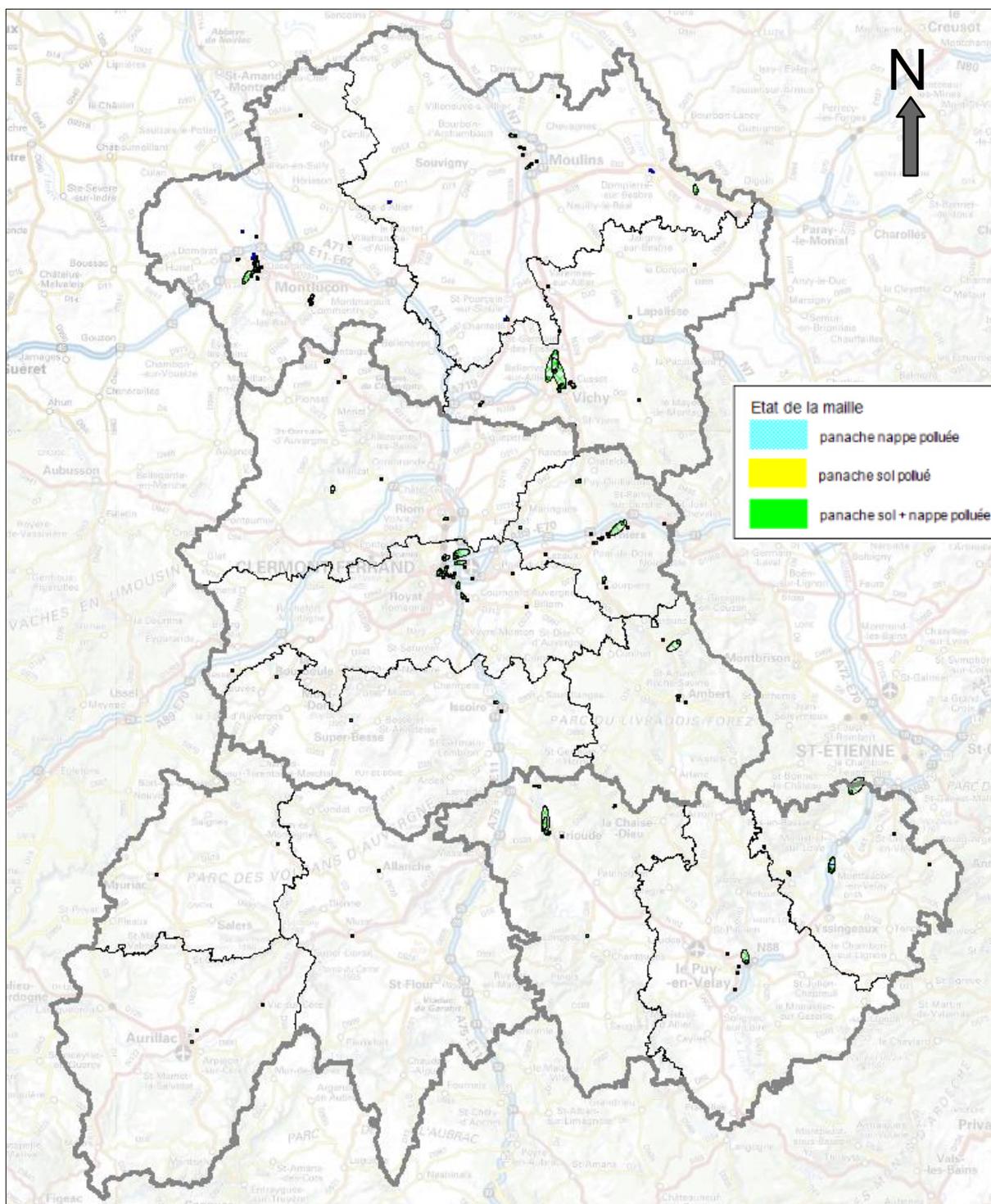


illustration 45 – Emprises des panaches potentiels de pollution en Auvergne

4.6.3. Cartographie et cotation de l'aléa du phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine lié à la présence de panaches de pollution »

Selon la méthodologie nationale, une pondération est affectée à chaque maille pour traduire numériquement le niveau d'aléa / susceptibilité du phénomène et exprimer la « gravité » du phénomène dans la cartographie finale.

Les valeurs attribuées pour le phénomène « panache de pollution » sont les suivants :

Niveaux aléa/susceptibilité du phénomène	Nul	Site avec pollution avérée des sols et présence de nappe (= incertitude sur existence panache)	Pollution avérée de la nappe (= panache probable)	Pollution avérée des sols et de nappe (= panache quasi-certain et généralisé)
Valeur du niveau d'aléa	0	4	6	10

A noter : la présence d'un site pollué, sans pollution de nappe (car absente ou protégée) est traitée dans la cartographie globale Auvergne comme un sol pollué et non comme un panache (non traité ici). Les niveaux d'aléas varient alors de 0 (site traité ou sans restriction) à 4 (pollué).

Sur l'Auvergne, les panaches présents sont davantage le fait d'une pollution conjointe des sols et de nappe avérés. Les panaches générés attribuent donc très majoritairement des niveaux d'aléa fort aux mailles géographiquement concernées : 600 mailles présentent un niveau d'aléa fort (10). A l'inverse les panaches générés par des pollutions de sols ou seulement sur nappe (sans pollutions de sols) sont plutôt de petite taille et peu abondants : 14 mailles élémentaires ont un niveau d'aléa moyen (6), et 25 un niveau d'aléa faible (4).

Sur l'ensemble du territoire auvergnat, le phénomène de panaches de pollution reste très modéré (189 km² concernés sur 26 013 km²), peu présent et préférentiellement concentré à quelques secteurs. Les niveaux d'aléa consécutifs sur la grille cartographique couvrent respectivement : 0,6 % du territoire (soit 150 km²) en aléa fort (10), 0,01 % en aléa moyen (6) et 0,02 % en aléa faible (4).

La traduction de ces éléments à l'échelle cartographique régionale, s'exprime à travers la carte suivante (maillage Auvergne).

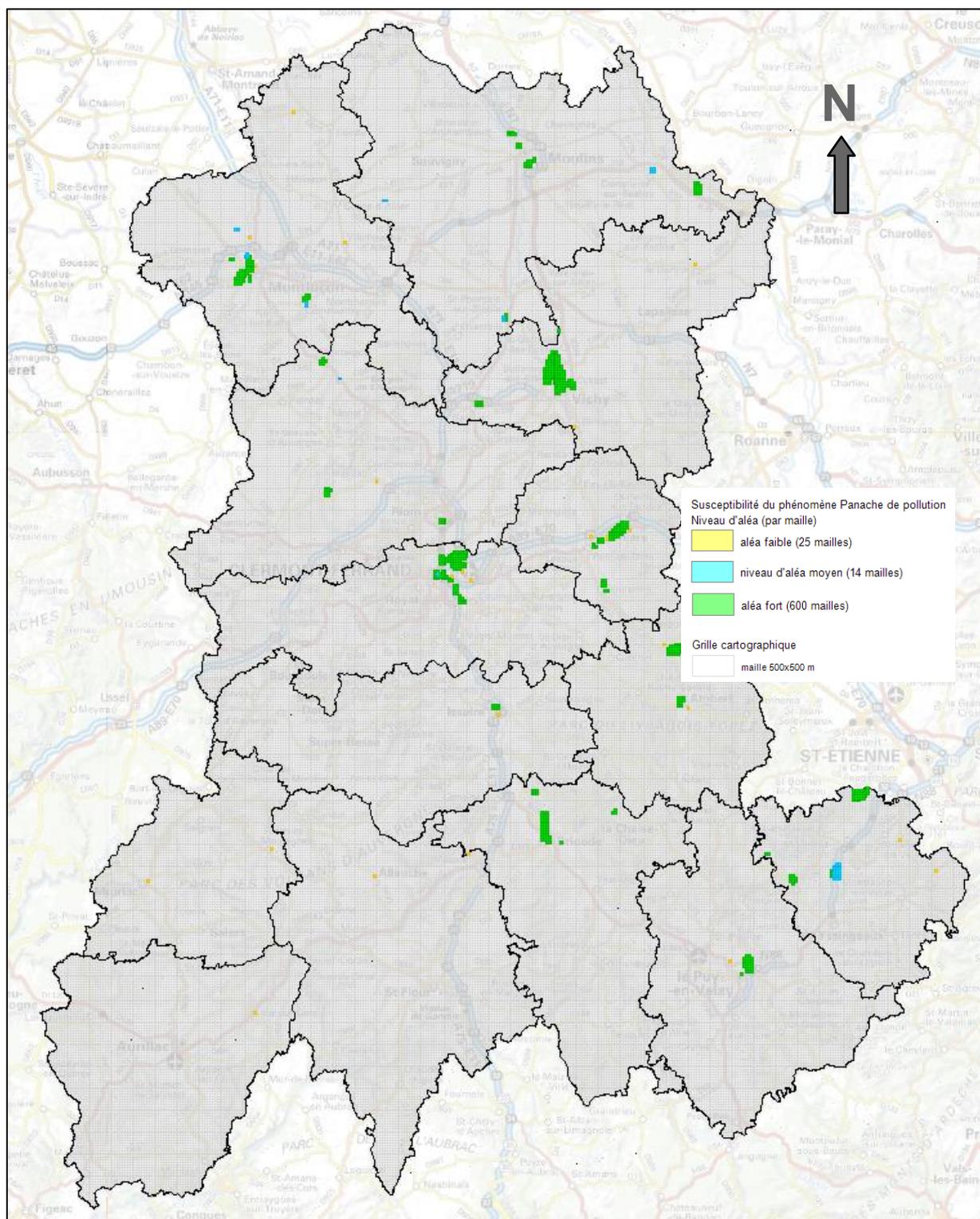


illustration 46 – Carte GMI Auvergne des susceptibilités du phénomène « panache de pollution » toutes profondeurs

4.7. PHENOMENE « ARTESIANISME »

4.7.1. Phénomène redouté

L'artésianisme est l'aptitude d'un aquifère captif à permettre la remontée d'eau spontanée par des ouvrages (puits, forages...). L'aquifère concerné a une surface piézométrique située au-dessus de la surface du sol.

Cette remontée d'eau en surface peut entraîner des écoulements d'eau sur le sol, et/ou une déstabilisation d'une formation superficielle.

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

4.7.2. Qualification du phénomène

Il n'existe pas de cartographie du phénomène d'artésianisme sur le territoire de l'ex-région Auvergne. La qualification du phénomène est donc basée sur le retour d'expérience (connaissance de forages artésiens) et sur la présence de CO₂ naturellement présent dans de nombreuses eaux souterraines du Massif Central.

D'origine profonde (mantellique) le CO₂ est présent sous forme dissoute dans les eaux souterraines en raison d'une pression élevée. La réalisation d'un forage entraîne une modification des équilibres physiques et des équilibres chimiques. La pression partielle de CO₂ contenue dans l'eau souterraine va notamment s'équilibrer avec la pression partielle de CO₂ atmosphérique et la pression partielle d'oxygène de l'air. Il va se produire un dégazage des gaz dissous. La valeur de pression à partir de laquelle les premières bulles de gaz s'individualisent dans l'eau est appelé « point de bulle ». Au-delà du point de bulle, l'eau est sous forme d'une émulsion qui en fonction du débit de gaz mais aussi de la température de l'eau, peut engendrer un phénomène d'artésianisme.

Dans un souci d'homogénéisation avec Rhône-Alpes, la qualification du phénomène est établie de la manière suivante :

- **Susceptibilité forte** : présence d'un aquifère artésien connu (retour d'expérience, forage artésien existant) ;
- **Susceptibilité moyenne** : présence d'un aquifère ayant un niveau piézométrique connu pour être supérieur à la surface du sol dans la tranche de terrain considérée ;
- **Susceptibilité nulle** : pas d'aquifère artésien connu dans la tranche de terrain considérée .

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

4.7.3. Données utilisées et traitement

Pour déterminer la présence d'aquifères artésiens, ont été utilisés :

La banque de données du sous-sol (BSS) du BRGM. Des requêtes sur les mots-clefs suivants « artésien », « artésianisme », « geyser », « jaillissant » a permis d'identifier des phénomènes d'artésianisme ponctuels observés lors des travaux de foration ;

Les piezometres artésiens de la base de données ADES (Portail national d'accès aux données sur les eaux souterraines) ;

Des données ponctuelles présentes dans des rapports et inventaires contenant les mots-clefs « CO₂ », « eau carbogazeuse » (archives du BRGM essentiellement). Ces ressources bibliographiques sont listées au chapitre 8-bibliographie de ce rapport.

Cette identification a été complétée par le retour d'expérience de l'hydrogéologue régional du BRGM.

L'essentiel des forages identifiés comme présentant un indice d'artésianisme ponctuel sont situés dans la tranche 10-50 m. Seuls deux forages sont recensés dans la tranche 10-100 m et un unique ouvrage est présent dans l'intervalle 10-200 m.

Les lacunes de connaissances sur la plupart des aquifères, notamment sur leur extension latérale et en profondeur, de l'ex-région Auvergne ne permettent de définir de secteurs à susceptibilité moyenne, c'est à dire des aquifères avec un niveau piézométrique connu pour être supérieur à la surface du sol.

La réalisation de forages dans les formations sédimentaires de « Limagne » doit en particulier être effectuée avec vigilance en raison de l'existence de nappes captives et potentiellement artésiennes (non cartographiées à ce jour) dans certains faciès à dominante détritique.

Les indices d'artésianisme recensés ainsi ponctuellement ont été étendus en surface sur une base forfaitaire avec une zone tampon de 500 m. Les mailles qui les interceptent ont une susceptibilité forte.

Trois grilles qualifiant le phénomène « artésianisme » ont ainsi été créés dans les tranches 10-50 m, 10-100 m et 10-200 m.

4.7.4. Cartographie de l'aléa du phénomène «artésianisme »

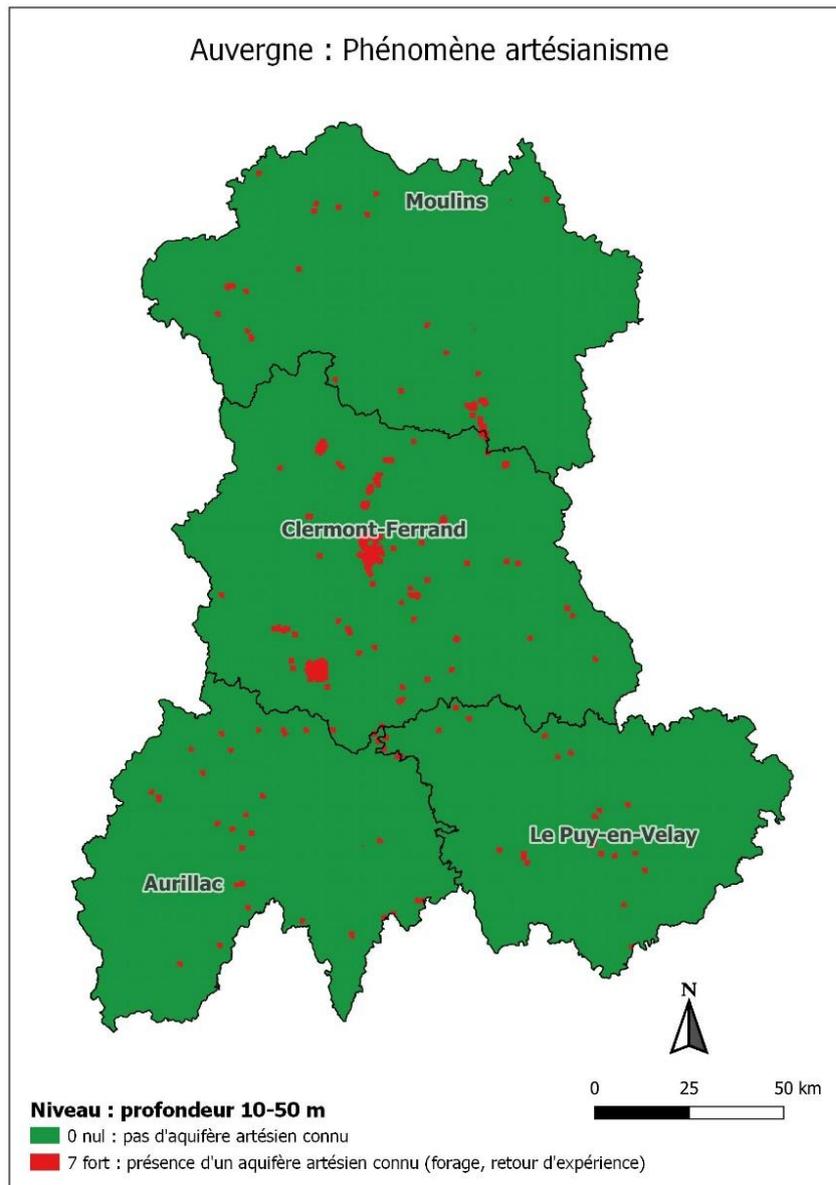


illustration 47 - Carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en ex-région Auvergne pour une profondeur 10- 50 m

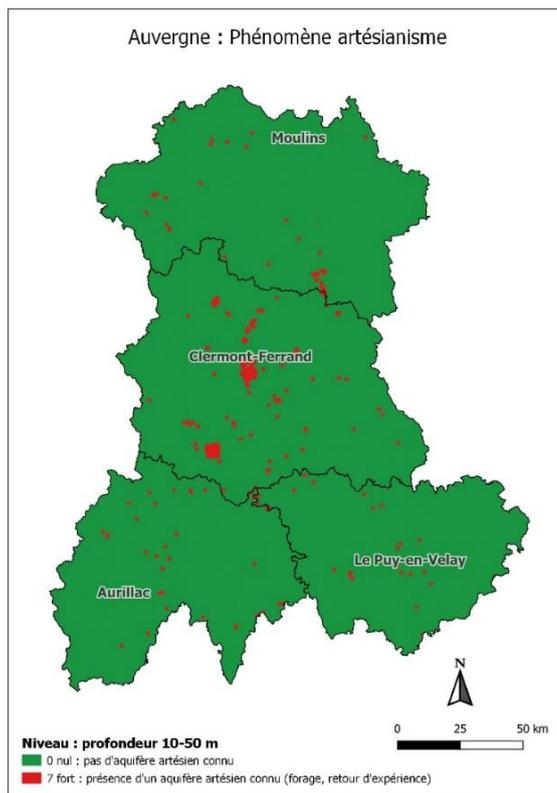


illustration 48 – Carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en ex-région Auvergne pour une profondeur 10- 100 m

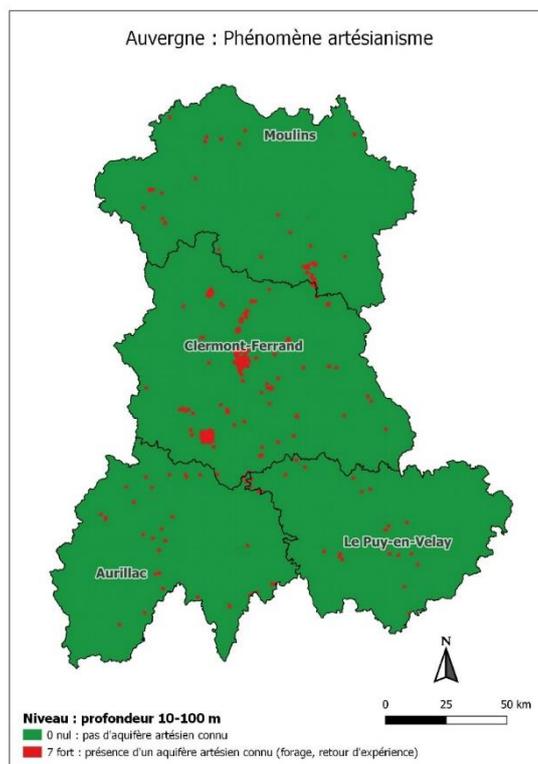


illustration 49 - Carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en ex-région Auvergne pour une profondeur 10- 200 m

4.7.5. Cotation de l'aléa du phénomène «artésianisme »

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

Dans un souci d'homogénéité avec les travaux réalisés en Rhône-Alpes, trois valeurs différentes d'aléa (identiques à RHA) ont été retenues :

Niveaux aléa	Nul	Moyen	Fort
Valeur du niveau d'aléa	0	3	7

Dans le guide national, les valeurs des facteurs aggravants sont 2 et 4 respectivement pour les échangeurs ouverts et 4 pour les échangeurs fermés. Ces valeurs sont basées sur le fait que la réalisation d'un forage sur aquifère suppose du foreur la connaissance de l'aquifère, donc du fait que ce dernier soit potentiellement artésien (et donc d'y être préparé), alors que pour les échangeurs fermés, cette connaissance n'est pas indispensable entraînant un facteur aggravant plus élevé (risque d'artésianisme sans y être préparé).

Type	Echangeur ouvert (doublet sur nappe)	Echangeur fermé (sonde géothermique verticale)
Facteur aggravant	2	4

4.8. PHENOMENE « MISE EN COMMUNICATION D'AQUIFERES »

4.8.1. Description du phénomène redouté

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

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

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

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

4.8.2. Qualification du phénomène

Il n'existe pas de carte régionale du phénomène de mise en communication entre aquifères. La qualification du phénomène est donc basée sur la probabilité d'avoir un ou plusieurs aquifères dans l'intervalle de profondeur considérée.

En cohérence avec les travaux de Rhône-Alpes, deux niveaux d'aléa / susceptibilité du phénomène ont été retenus :

- **Susceptibilité nulle** : absence d'aquifère ou présence d'un seul aquifère dans l'intervalle de profondeur considérée ;
- **Susceptibilité faible** : présence de nappes superposées dans l'intervalle considéré.

La prise en compte d'une susceptibilité moyenne (guide national) due à la présence parmi les nappes superposées de nappes considérées comme ressources stratégiques et/ou zones à préserver pour l'alimentation en eau potable dans le futur, n'a en effet, pas été retenue par le comité de pilotage de l'étude en Rhône-Alpes au motif que ce type de nappe fait partie des réglementations territorialisées indépendante de la présente étude de réalisation des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance.

4.8.3. Données utilisées et traitement

Pour déterminer la présence d'aquifères superposés, ont été utilisés :

- La base de données du référentiel BDLISA (Base de données des limites des systèmes aquifères) qui fournit le contour des entités hydrogéologiques et leur ordre relatif en profondeur a été utilisée pour définir ces niveaux de risque.

Toutefois, à la date de construction du référentiel (Bertin et *al*, 2013) huit cartes géologiques à 1/50 000 n'étaient pas encore achevées et les cartes existantes des départements de l'Allier et du Puy-de-Dôme présentaient de très nombreuses discordances entre elles. Le référentiel BDLISA est par conséquent dégradé localement : les contours des entités à l'échelle NV3 et NV2 sont basés sur la carte géologique de la France à 1/1 000 000.

Les cartes géologiques étant désormais harmonisées et disponibles à l'échelle du 1/50000 sur la totalité du territoire auvergnat, il a été nécessaire de redéfinir pour la présente étude, le contour des entités (illustration 50). Ce travail a permis d'atteindre un niveau de précision adéquat pour la cartographie des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance pour l'ex-région Auvergne.

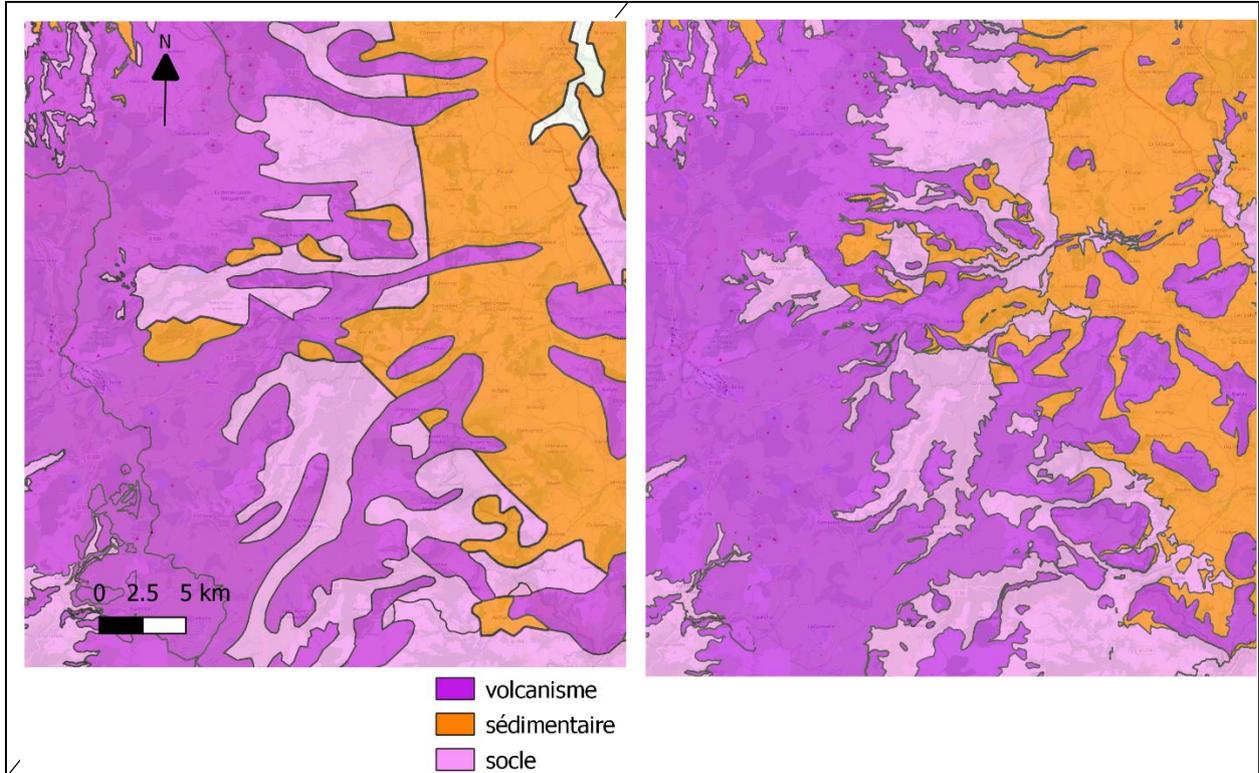


illustration 50 - Contours des entités BDLISA pour les thèmes volcanisme, sédimentaire et socle (image de gauche) et contours redessinés pour la présente étude à partir des cartes géologiques harmonisées à 1/50000 (image de droite), dans le secteur de la commune de Besse (63)

- L'expertise de l'hydrogéologue régional.

La diversité des formations géologiques et leurs extensions généralement limitées, entraînent un morcellement des différents aquifères. En raison de leur multiplicité et de leur variété, les connaissances sur leurs caractéristiques sont généralement limitées.

L'examen des sondages et forages en contexte sédimentaire et en contexte volcanique révèle néanmoins qu'il est courant de rencontrer dans ces formations, plusieurs horizons aquifères. Par extension, tous les aquifères de ces deux contextes ont été affecté d'une susceptibilité faible. Ce cas de figure semble assez peu fréquent en contexte de socle qui s'est vu attribuer une susceptibilité nulle.

Le premier aquifère étant généralement situé à moins de 50 m de profondeur, la susceptibilité du phénomène est cartographiée pour une seule gamme de profondeur 10-200 m : règle de l'héritage de l'aléa le plus élevé de la couche sus-jacente.

4.8.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « mise en communication d'aquifères »

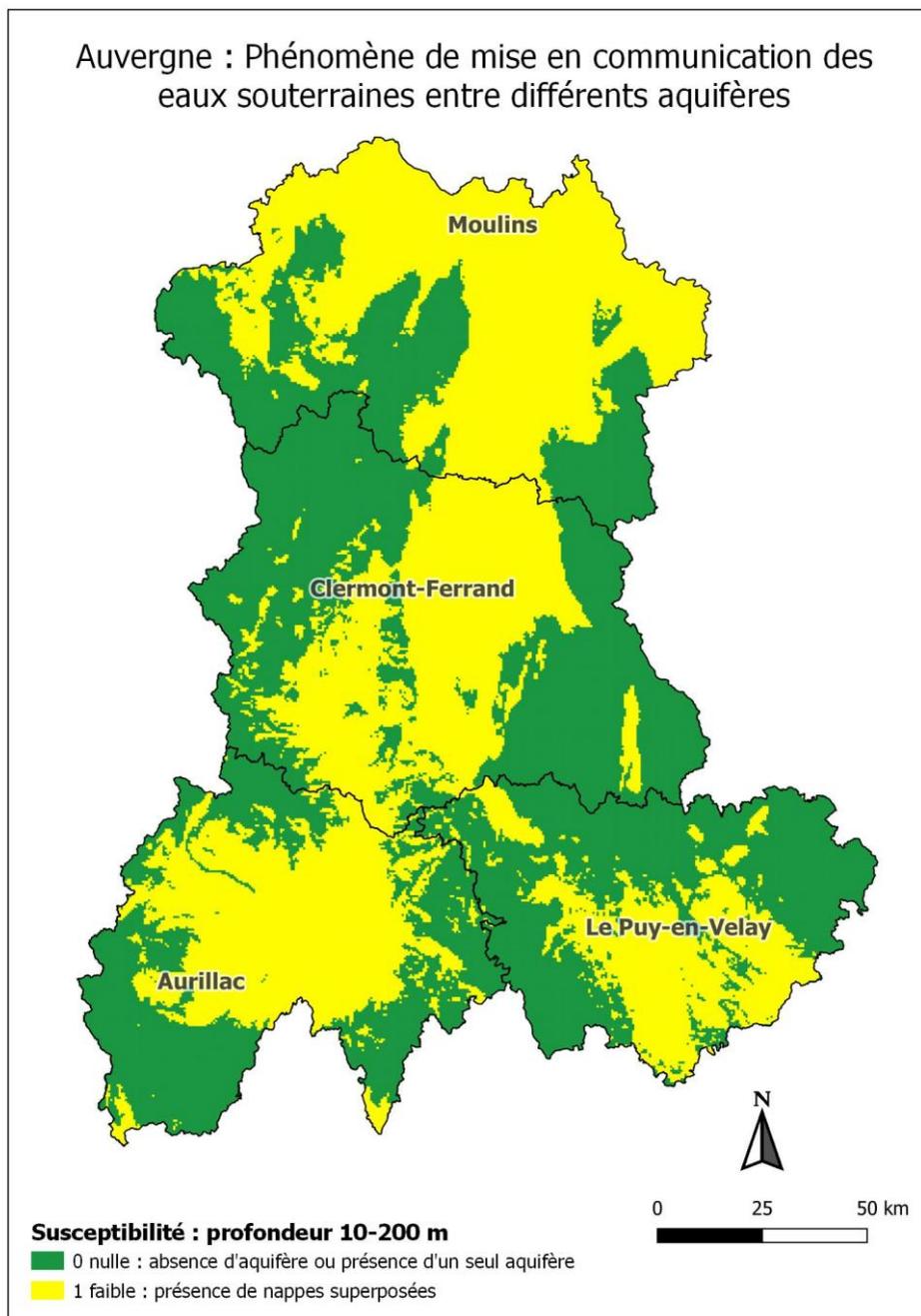


illustration 51 – Carte des niveaux de susceptibilité du phénomène de mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères pour une profondeur 10-200 m

4.8.5. Cotation de l'aléa du phénomène « mise en communication d'aquifères »

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

En cohérence avec les travaux de Rhône-Alpes les valeurs retenues pour l'Auvergne sont les suivantes :

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

En cohérence avec les travaux réalisés en Rhône-Alpes, le facteur aggravant potentiel est de 4 quel que soit le type d'échangeur.

Type	Echangeur ouvert (doublet sur nappe)	Echangeur fermé (sonde géothermique verticale)
Facteur aggravant	4	4

4.9. PHENOMENE « INONDATION PAR REMONTEE DE NAPPE »

4.9.1. Description du phénomène

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

4.9.2. Qualification du phénomène

Une étude méthodologique pour l'amélioration de la cartographie de sensibilité aux remontées de nappes et la réalisation d'une carte nationale a été réalisée en 2017 par le BRGM (BRGM/RP-65452-FR) pour le MTE (Ministère de la Transition Ecologique). Les résultats de cette étude sont diffusés sur le site internet géorisques https://www.georisques.gouv.fr/dossiers/inondations/cartographie_remontee_nappe.

La réalisation de la carte française a reposé principalement sur l'exploitation de données piézométriques et de leurs conditions aux limites diverses (BSS, ADES, déclarations CATNAT, résultats de modèles hydrodynamiques, izopiezs, EAIPce, EAIPsm ...) qui après avoir été validées ont permis par interpolation de définir les isopièzes des cotes maximales probables.

La carte obtenue permet de représenter le territoire français selon trois classes :

- Zones potentiellement sujettes au débordement de nappe : lorsque la différence entre la cote altimétrique du MNT et la cote du niveau maximal interpolée est négative ;
- Zones potentiellement sujettes aux inondations de cave : lorsque la différence entre la cote altimétrique du MNT et la cote du niveau maximal interpolée est comprise entre 0 et 5 m ;
- Pas de débordement de nappe ni d'inondation de cave : lorsque la différence entre la cote altimétrique du MNT et la cote du niveau maximal interpolée est supérieure à 5 m.

Plusieurs indices de fiabilité ont été déterminés selon le degré de précision des données utilisées : fort, moyen, faible ou inconnu.

L'illustration 52 présente la déclinaison de la carte nationale des zones potentielles de sensibilité aux remontées de nappe pour l'ex-région Auvergne et leur niveau de fiabilité (pour une période de retour d'environ 100 ans).

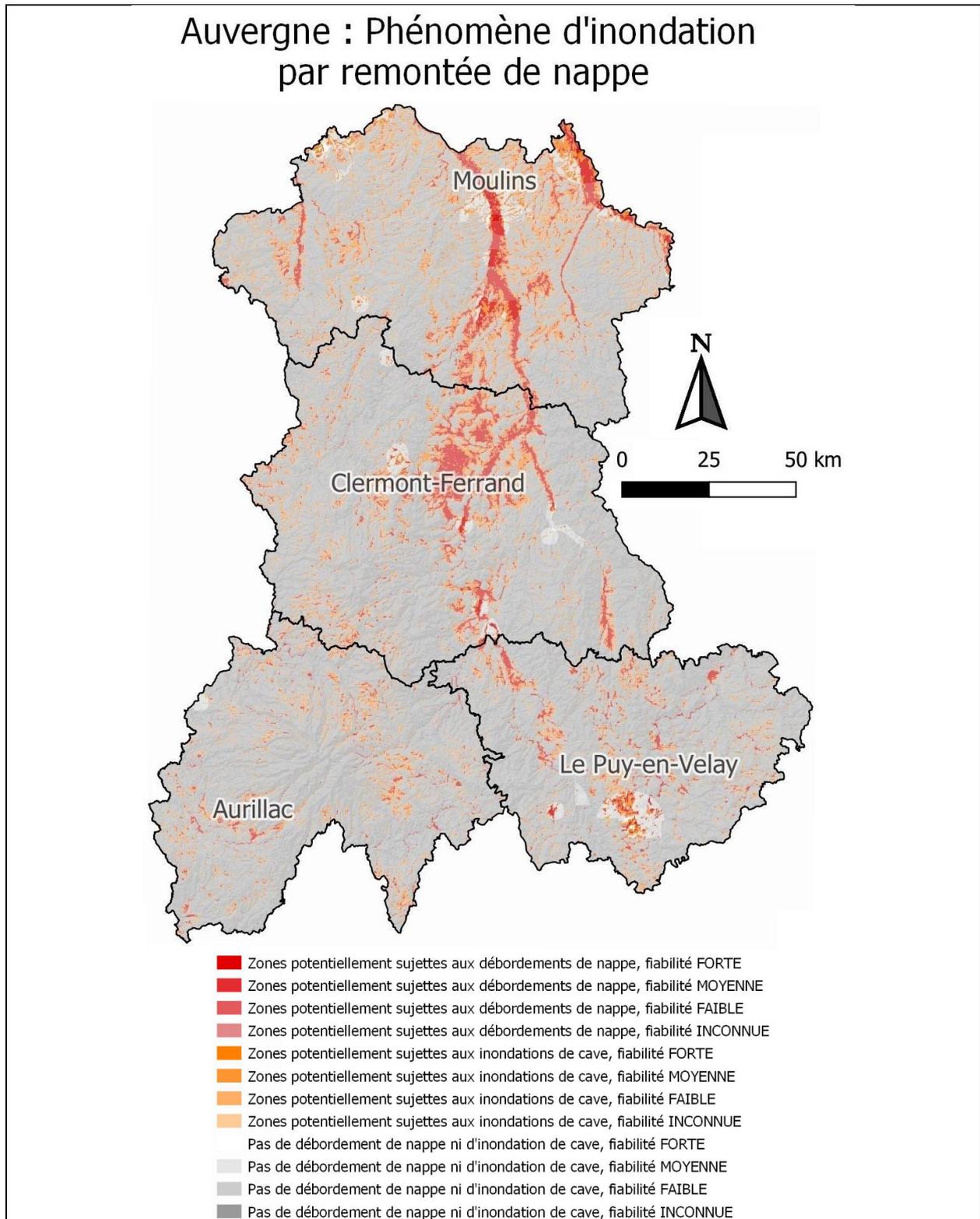


illustration 52 - Extrait de la carte nationale de sensibilité aux remontées de nappe pour l'ex-région Auvergne (https://www.georisques.gouv.fr/dossiers/inondations/cartographie_remontee_nappe)

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

4.9.3. Données utilisées et traitement

Les données utilisées proviennent de l'étude précitée au paragraphe 4.9.2. En cohérence avec le guide d'élaboration national et les travaux réalisés en Rhône-Alpes, deux niveaux d'aléa/susceptibilité ont été déterminés :

- Niveau faible : présence d'un aquifère ou un niveau piézométrique déjà observé entre 0 et 5 mètres sous la surface du sol.

Cette classe regroupe les zones potentiellement sujettes aux débordements de nappes et les zones potentiellement sujettes aux inondations de caves, tous niveaux de fiabilité confondus ;

- Niveau nul : pas d'aquifère ayant un niveau piézométrique déjà observé à moins de cinq mètres sous la surface du sol.

Cette classe regroupe les zones qui ne sont ni sujettes aux débordements de nappes et ni sujettes aux inondations de caves, sans distinction du niveau de fiabilité.

4.9.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « inondation par remontée de nappe »

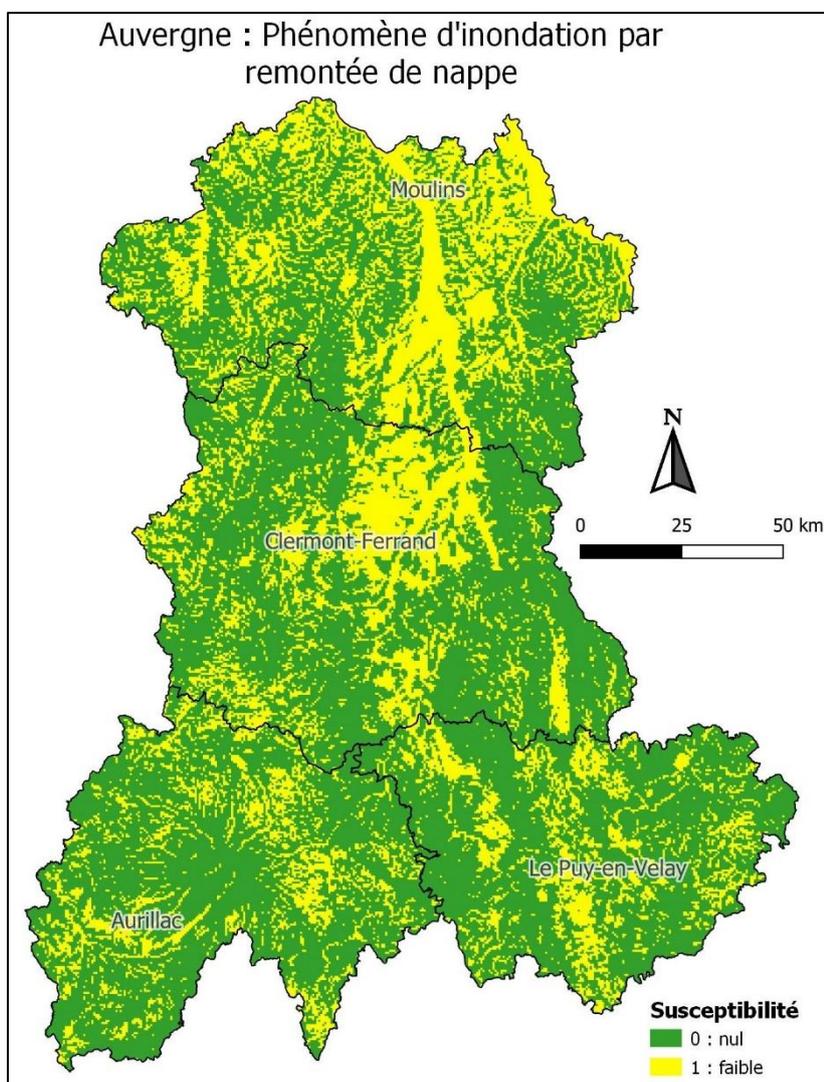


illustration 53 – Carte des niveaux d'aléa/susceptibilité du phénomène d'inondation par remontée de nappe en Auvergne

4.9.5. Cotation de l'aléa du phénomène « inondation par remontée de nappe »

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

Les valeurs retenues sont identiques à celles du guide national et à celles des travaux réalisés en Rhône-Alpes :

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

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) et moyen (2) pour les doublets sur nappe.

Type	Echangeur ouvert (doublet sur nappe)	Echangeur fermé (sonde géothermique verticale)
Facteur aggravant	2	0

4.10. PHENOMENE DE « SEISME »

Il a été décidé de retenir ce phénomène supplémentaire par rapport au guide national comme cela a été le cas pour les travaux menés pour la cartographie en Rhône-Alpes, et de façon à rester homogène pour un résultat à l'échelle de cette nouvelle région Auvergne-Rhône-Alpes.

4.10.1. Phénomène redouté

En cas de séismes, les ondes sismiques propagées dans le sol pourraient provoquer un cisaillement de l'ouvrage provoquant une fissuration ouverte dans le ciment et les tubes, permettant alors au fluide de se répandre dans le milieu naturel.

4.10.2. Qualification du phénomène

A l'identique du traitement de ce phénomène pour la cartographie de Rhône-Alpes, la qualification de la susceptibilité a été réalisée à partir de la cartographie nationale de l'aléa sismique en France. Le zonage sismique actuel est défini par le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010, entré en vigueur à compter du 1^{er} mai 2011.

Ce zonage définit une zone de sismicité pour chaque commune du territoire français, selon une classification en 5 zones de sismicité croissante :

- Zone 1 : sismicité très faible ;
- Zone 2 : sismicité faible ;
- Zone 3 : sismicité modérée ;
- Zone 4 : sismicité moyenne ;
- Zone 5 : sismicité forte.

Pour la cartographie de ce phénomène, la méthodologie appliquée sur le territoire rhônalpin est :

Niveau faible : pour les communes appartenant à une zone de sismicité moyenne (zone 4) ou forte (zone 5) ;

Niveau nul : pour les communes appartenant à une zone de sismicité très faible (zone 1), faible (zone 2) ou modérée (zone 3)

La susceptibilité est cartographiée pour la seule gamme de profondeur 10-200 m.

4.10.3. Traitement

Le zonage sismique national n'indique que des zones de sismicité 1, 2 et 3 sur le territoire de l'ex-région Auvergne.

4.10.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « séisme »

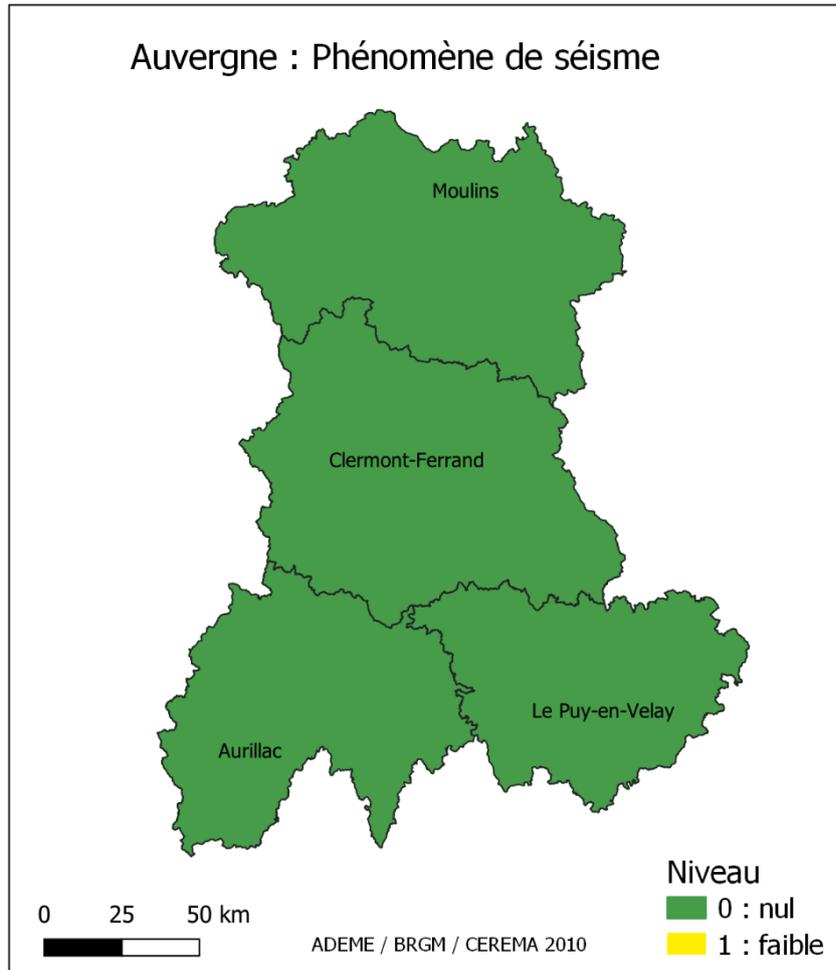


illustration 54 - Carte du niveau d'aléa/susceptibilité du phénomène de séisme en zone Auvergne

4.10.5. Cotation de l'aléa du phénomène « séisme »

Pour établir la carte réglementaire, chaque niveau de susceptibilité est affecté d'une valeur.

Le seul niveau de susceptibilité établi sur l'ensemble du territoire d'étude est le niveau nul. La valeur affectée est 0.

Compte tenu des impacts potentiels liés à ce phénomène en fonction du type de géothermie de minime importance réalisé, les facteurs aggravants potentiels estimés sont :

Type	Echangeur ouvert (doublet sur nappe)	Echangeur fermé (sonde géothermique verticale)
Facteur aggravant	1	1

4.11. PHENOMENE DE « POLLUTION POTENTIELLE LIEE AUX (ANCIENS) SITES INDUSTRIELS ET ACTIVITES DE SERVICE

Conformément aux travaux réalisés en Rhône-Alpes, le phénomène de pollution potentielle liée aux (anciens) sites industriels et activités de service a été traité bien qu'il ne figure pas dans le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relative à la GMI (2015).

4.11.1. Description du phénomène et occurrences

Ce phénomène de pollution par des polluants potentiels liés à d'anciens sites industriels et activités de service pourrait être provoqué :

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

4.11.2. Qualification du phénomène

En cohérence avec les travaux réalisés en Rhône-Alpes, la base de données des anciens sites industriels et activités de service « BASIAS » résultant de l'inventaire historique effectué dans les départements de l'ex-région Auvergne a été utilisée pour déterminer la pollution potentielle liée aux (anciens) sites industriels et activité de service. L'inventaire recense, de façon large et systématique, tous les sites industriels abandonnés ou non, susceptibles d'engendrer une pollution de l'environnement.

La qualification du phénomène est basée sur la densité des sites BASIAS (nombre de sites BASIAS dans chaque maille de 500 x 500 m). La susceptibilité est ainsi déterminée :

- Susceptibilité assez forte: présence de plus de 15 sites BASIAS ;
- Susceptibilité moyenne: présence de 3 à 15 sites BASIAS ;
- Susceptibilité faible: présence de 1 à 2 sites BASIAS ;
- Susceptibilité nulle : pas de site BASIAS répertorié.

La susceptibilité est cartographiée pour une seule gamme de profondeur: 10-200 m.

4.11.3. Données utilisées et traitement

Les données proviennent de la base de données « BASIAS » dont il a été fait une extraction le 21/02/2020. A cette date, 4 940 sites étaient recensés dont 256 qui ne comportaient pas de localisation géographique. Après recherches notamment sur internet, le nombre de sites disposant de coordonnées géographiques (X, Y) et pouvant faire l'objet d'un traitement, s'élève à 4 722. Leur répartition à l'échelle régionale est cartographiée ci-après.

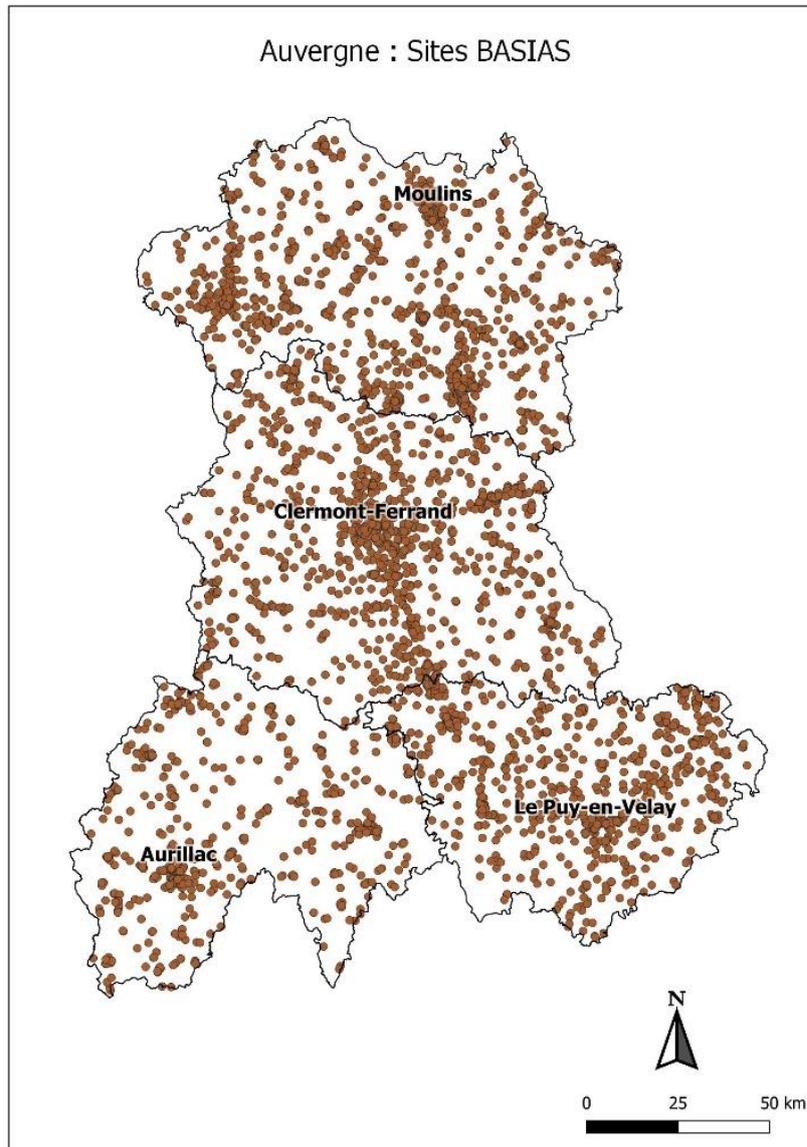


Illustration 55 - Carte de localisation des sites BASIAS en Auvergne à la date du 21/02/2020

Ensuite, par traitement sous S.I.G., à chaque maille de 500 m de côté a été attribué le nombre de sites BASIAS présents afin d'obtenir la cartographie des niveaux de susceptibilité.

4.11.4. Cartographie de l'aléa du phénomène pollution potentielle « BASIAS»

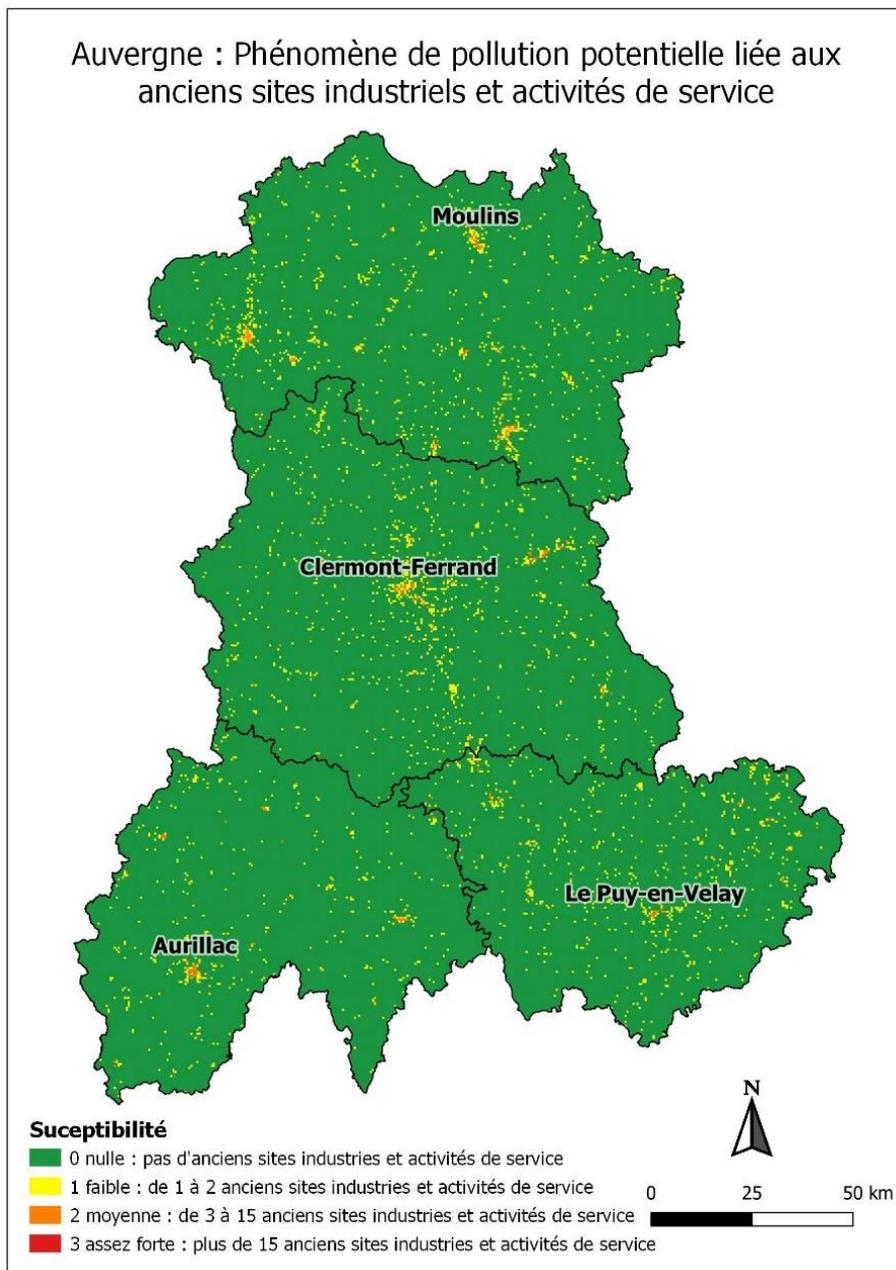


illustration 56 – Carte des niveaux de susceptibilité du phénomène de pollution potentielle liée aux (anciens) sites industriels et activités de service en ex-région Auvergne

4.11.5. Cotation de l'aléa du phénomène « pollution potentielle « BASIAS»

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

Niveaux aléa/ susceptibilité	Nul	Faible	Moyen	Assez fort
Valeur du niveau d'aléa	0	1	2	3

Compte tenu des impacts potentiels liés à ce phénomène en fonction du type de géothermie de minime importance réalisé, les facteurs aggravants potentiels estimés sont :

Type	Echangeur ouvert (doublet sur nappe)	Echangeur fermé (sonde géothermique verticale)
Facteur aggravant	1	1

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

5.1. RESULTATS POUR L'EX-REGION AUVERGNE

Conformément à la méthodologie exposée dans le chapitre 3.3 du présent rapport, des notes finales ont été calculés par 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 ou échangeur fermé.

Les six cartes réalisées sont présentées en annexe 1.

La répartition des superficies des zones verte, orange et rouge obtenues, basée sur le nombre de mailles concernées, est indiquée dans le tableau ci-après.

Type d'usage	Profondeur	Carte régionale Auvergne			Carte nationale pour Auvergne		
		Zone verte (%)	Zone orange (%)	Zone rouge (%)	Zone verte (%)	Zone orange (%)	Zone rouge (%)
Doublet	10-50 m	97.20%	2.75%	0.05%	98.5%	1.5%	0.0%
	10-100 m	97.19%	2.76%	0.05%			
	10-200 m	97.18%	2.71%	0.11%			
SGV	10-50 m	97.21%	2.71%	0.08%	98.8%	1.2%	0.0%
	10-100 m	97.20%	2.72%	0.08%			
	10-200 m	97.19%	2.67%	0.14%			

Illustration 57 – Tableau de répartition des zones vertes, orange et rouges de la carte régionale « Auvergne » selon les types de réalisations géothermiques et selon les profondeurs, comparaison avec la carte nationale déclinée en Auvergne

La proportion de zones vertes, orange et rouges est quasi identique pour les deux types de réalisation géothermiques et, selon les trois gammes de profondeurs considérées.

On compte environ 97,2 % de zones vertes (simple déclaration), 2,7 % de zones orange (simple déclaration avec intervention d'un expert) et moins de 0,2 % de zones rouges (autorisation).

La carte régionale ne modifie que très peu la part de zones vertes du niveau national qui passent de 98,5 % (doublets) et 98,8 % (SGV) à 97,2 % au niveau régional. Les zones orange augmentent très légèrement : 2,7 % au niveau régional pour 1,5 % (doublets) et 1,2 % (SGV) au niveau national.

La carte régionale conduit à une plus grande superficie de zones oranges autour des agglomérations et grandes villes comme Clermont-Ferrand, Vichy, Montluçon, Commentry et Le Puy-en-Velay. Il est à noter que la proportion de zone rouge augmente pour la capitale algérienne. A contrario, on observe une réduction de l'emprise des zones oranges autour des villes d'Aurillac et St-Flour dans le Cantal.

Outre la mise en exergue de la plupart des grandes villes, la carte régionale crée des zones oranges sur l'ensemble du territoire des quatre départements auvergnats alors que sur la carte nationale, les zones oranges sont essentiellement présentes dans le Cantal, autour du Puy-en-Velay et au nord-ouest du département de l'Allier.

La régionalisation de la carte réglementaire a pour effet de mettre en évidence quelques zones à risque pour l'ex-région Auvergne vis-à-vis de la réalisation de forages géothermiques : environ 0,2% du territoire est concerné par les zones rouges alors que seules 16 mailles sont dénombrées sur la carte nationale.

5.2. EXAMEN DES LIMITES AVEC LES CARTOGRAPHIES REGIONALES LIMOUSIN ET RHONE-ALPES

Les cartes régionales des ex-régions Rhône-Alpes et Limousin⁸ ont été réalisées respectivement en 2016 et 2018.

Un examen des mailles communes aux cartes Limousin/Auvergne et Rhône-Alpes/Auvergne a été effectué afin de déceler d'éventuelles incohérences. On observe uniquement quelques mailles pour lesquelles la note finale, calculée selon l'un ou l'autre des traitements régionaux, aboutit à un classement en zone verte d'une part, et en zone orange d'autre part. Elles sont le reflet des disparités des données disponibles selon les territoires concernés et des méthodologies employées.

5.2.1. Comparaison avec l'ex-région Limousin

Il convient de préciser en préalable, que le traitement du territoire de l'ex-région Limousin a été réalisé selon des mailles de 100X100 m alors que celui de la région Auvergne s'est basé sur des mailles de 500X500 m.

En Limousin comme en Auvergne, l'essentiel du territoire est classé en zone verte.

Concernant les mailles communes aux deux régions, quelques secteurs situés à proximité de la retenue des Fades-Besserve se voient attribuer un score différent selon qu'ils ont été traités avec la méthodologie utilisée en Limousin ou selon la méthodologie employée en Auvergne. Les mailles sont en zone orange en Limousin (note supérieure à 14) et en zone verte en Auvergne (illustration 58).

Les mailles concernées sont au droit du plan d'eau des Fades hormis pour le secteur le plus septentrional de la retenue. A cet endroit, le score est égal à « 2 » pour la maille auvergnate, tandis qu'il atteint « 14 » pour les doublets et « 28 » pour les SGV pour les mailles limousines. Ces différences sont expliquées par la présence de zones concernées par l'aléa « affaissement/effondrement lié aux cavités minières » coté Limousin et leur traitement selon des mailles de 100X100 m.

⁸ Mardel *et al*, 2018

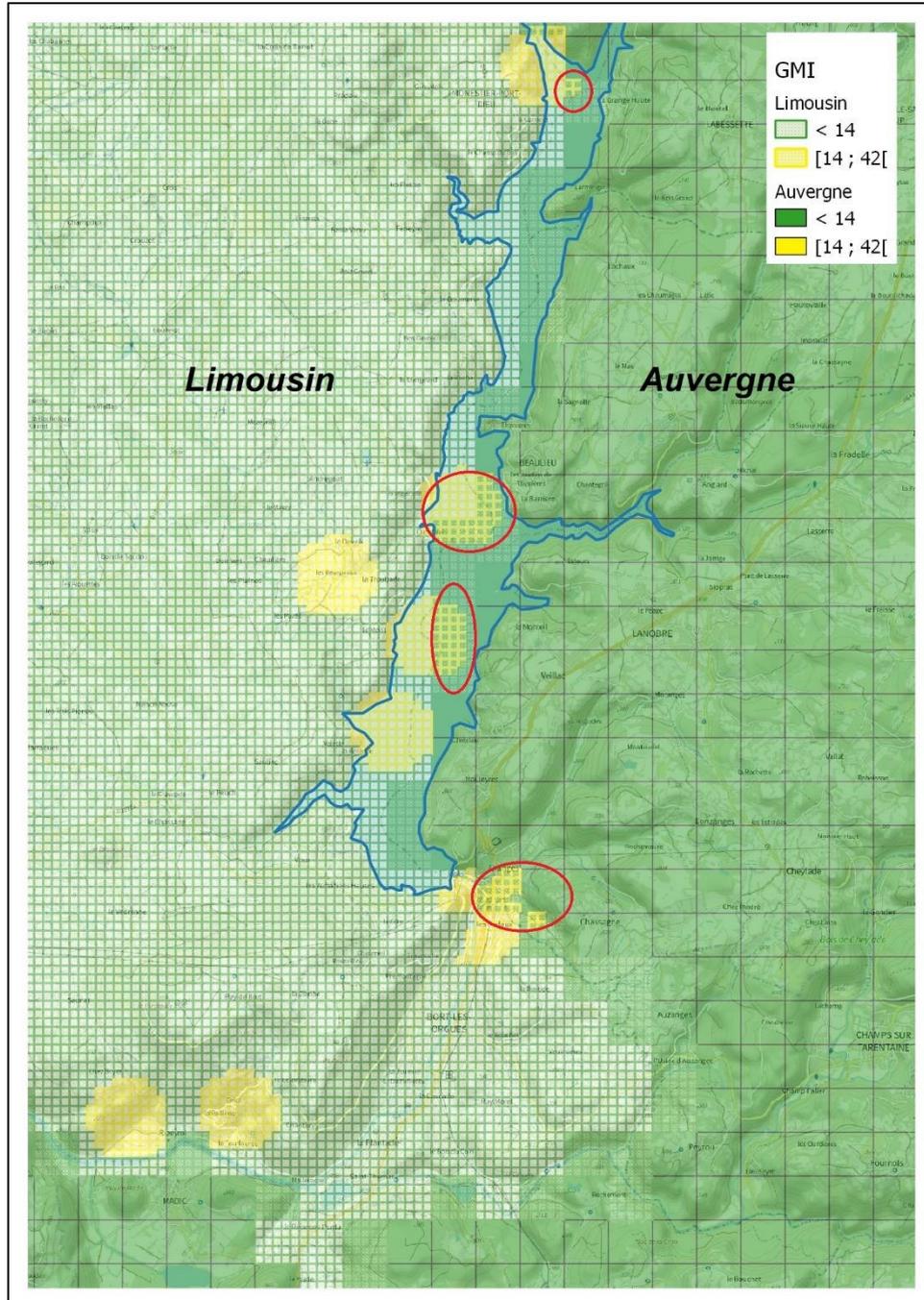


illustration 58 – Secteurs de cotations différentes selon la cartographie du Limousin et la cartographie en Auvergne (ellipse rouge : cotation finale différente, en bleu : contours du plan d'eau de la retenue des Fades-Besserves)

5.2.2. Comparaison avec l'ex-région Rhône-Alpes

Sur les 499 mailles communes entre Auvergne et Rhône-Alpes (illustration 59), environ la moitié d'entre elles présentent une note finale différente selon la région considérée, sans toutefois que cela induise un changement de zone sauf dans trois secteurs.

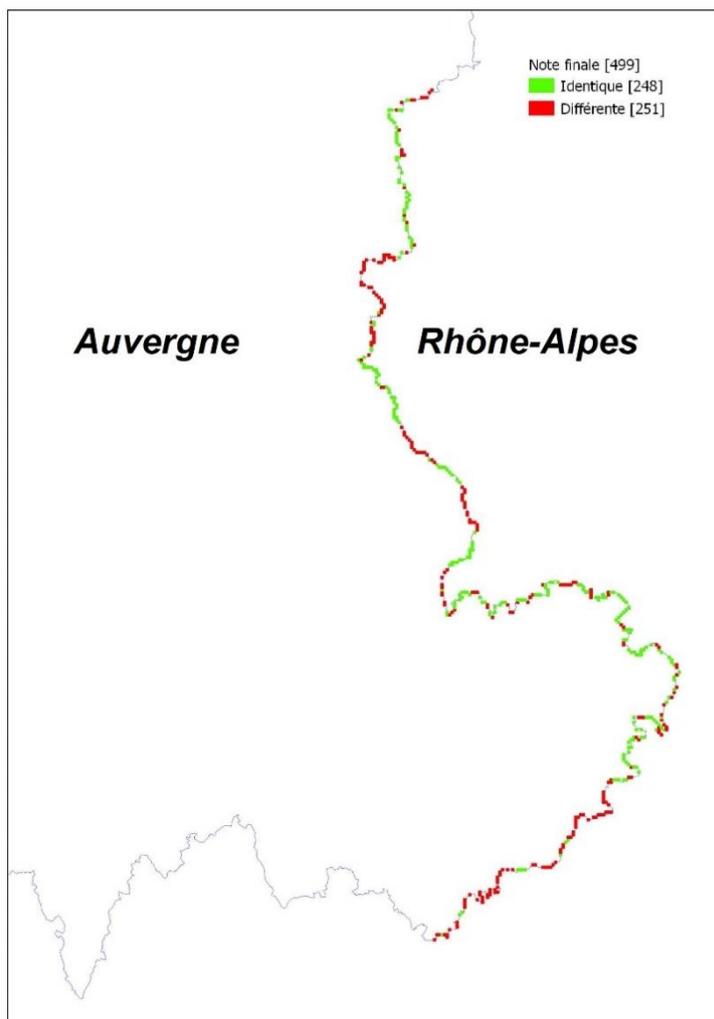


illustration 59 – Mailles communes aux régions Auvergne et Rhône-Alpes, exemple pour les doublets géothermiques pour la gamme de profondeur 10-200 m : en vert les mailles dont la note finale est identique, en rouge les mailles où elle diffère

Dans ces trois secteurs, la divergence concerne un passage de zone verte à zone orange, pour toutes les profondeurs et pour les deux types de réalisations géothermiques (illustration 60).

Dans les secteurs 1 et 3, la cartographie auvergnate présente des mailles en zone orange (note > 14), en raison de la présence d'un aléa « panache de pollution » pour la zone 1 et d'un aléa « artésianisme » pour la zone 3.

Dans le secteur 2, c'est l'aléa « mouvement de terrain » qui fait augmenter la note finale en Rhône-Alpes et qui conduit au classement en zone orange.

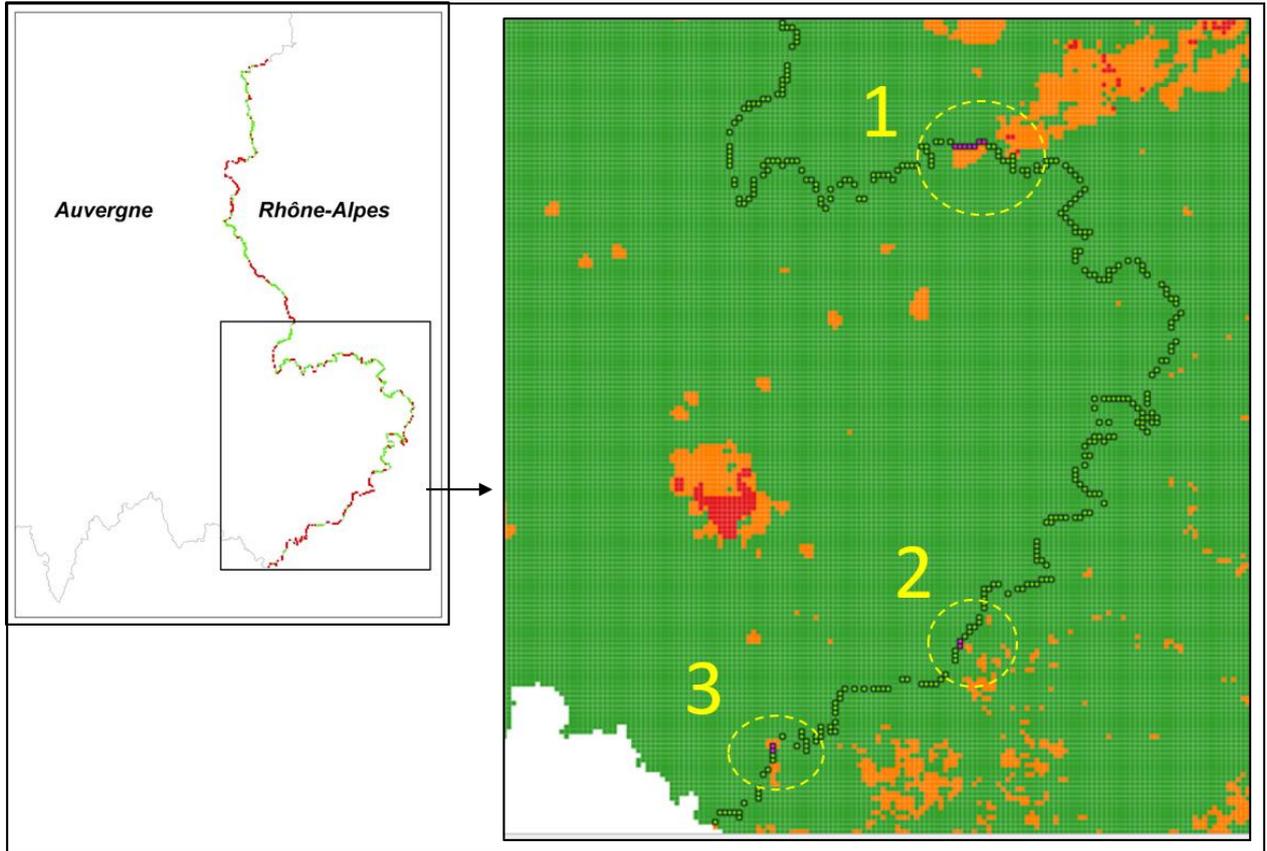


illustration 60 – Localisation des trois secteurs où les notes finales conduisent à des classements en zones différentes selon les régions (mailles violettes). Cas présenté : doublets et profondeur 10-100 m

6. Les écarts vis-à-vis du guide d'élaboration de la carte

Ce chapitre synthétise les écarts de l'étude vis-à-vis du guide national qui sont expliqués dans le chapitre 4 du présent rapport.

6.1. POUR LE PHENOMENE D'AFFAISSEMENT/SURRECTION LIE AUX FORMATIONS EVAPORITQUES

Le guide national propose quatre valeurs de niveau (0,1,5 et 7).

Avec le niveau nul, un seul niveau de susceptibilité est retenu : le niveau faible car dans la région Auvergne, il n'y a pas d'horizon évaporitique connu mais seulement des formations susceptibles d'en contenir.

Susceptibilité	Nul	Faible
Valeur du niveau	0	1

6.2. POUR LE PHENOMENE DE MISE EN COMMUNICATION D'AQUIFERES

Le comité de pilotage de l'étude Rhône-Alpes a décidé de ne pas prendre en compte la **susceptibilité moyenne** (indiquée dans le guide) due à la présence, parmi les nappes superposées, de nappes considérées comme ressources stratégiques et/ou zones à préserver pour l'alimentation en eau potable dans le futur.

Il a en effet, été considéré que ce type de nappe fait partie des réglementations territorialisées indépendantes de cette étude de réalisation de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance.

Dans un souci de cohérence avec cette décision, deux niveaux d'aléa/susceptibilité ont également été retenus en Auvergne.

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

6.3. POUR LE PHENOMENE DE POLLUTION DES SOLS ET/OU DES NAPPES SOUTERRAINES

Dans le guide, ce phénomène est pris dans sa globalité (BASOL, panaches de pollution) avec quatre niveaux de susceptibilité (trois concernant BASOL, un les panaches de pollution).

Conformément au programme technique validé par les partenaires de l'étude (MTE représenté par la DREAL Rhône-Alpes, ADEME, CEREMA et BRGM), il a été décidé en Rhône-Alpes de retenir deux phénomènes concernant la pollution des sols et des nappes souterraines : le 1er basé sur la présence d'un site issu de la banque de données BASOL et le 2d basé sur l'existence

de panaches de pollution (assez bien connus en Rhône-Alpes, avec différenciation entre pollution des nappes et pollution des sols) avec leur emprise.

Dans un souci de cohérence régionale, il a été retenu, pour l’Auvergne, de scinder l’étude de ce phénomène selon la méthodologie mise en œuvre en Rhône-Alpes.

Pour le premier phénomène (BASOL), trois niveaux de susceptibilité ont été pris en compte :

Susceptibilité	Nul	Faible	Fort
Valeur du niveau	0	1	3

Pour le second phénomène (panaches de pollution), comme en Rhône-Alpes, quatre susceptibilités au total ont été prises en compte (nulle, moyenne, forte, très forte), selon que le panache concerne la pollution du sol, de la nappe ou les deux, correspondant donc à quatre niveaux (0, 4, 6 et 10).

Susceptibilité	Nul	Moyen (pollution avérée des sols et présence de nappe : incertitude sur le panache)	Fort (pollution avérée : panache probable)	Très fort (pollution avérée des sols et de la nappe)
Valeur du niveau	0	4	6	10

6.4. PRISE EN COMPTE DE DEUX PHENOMENES SUPPLEMENTAIRES (SEISME ET POLLUTION POTENTIELLE LIEES AUX (ANCIENS) SITES INDUSTRIELS ACTIVITES DE SERVICE BASIAS

6.4.1. Séisme

Conformément au programme technique validé par les partenaires de l’étude (MTE représenté par la DREAL Rhône-Alpes, ADEME, CEREMA et BRGM), il a été décidé de retenir ce phénomène en Rhône-Alpes.

Les niveaux d’aléa/susceptibilité sont :

Susceptibilité	Nul	Faible
Valeur du niveau	0	1

Les valeurs des facteurs aggravants sont :

Type	Echangeur ouvert (doublet sur nappe)	Echangeur fermé (sonde géothermique verticale)
Facteur aggravant	4	4

Ce phénomène est intégré à la note du phénomène « mouvement de terrain » par sommation des valeurs.

6.4.2. Pollution potentielle BASIAS

Conformément au programme technique validé par les partenaires de l'étude (MTE représenté par la DREAL Rhône-Alpes, ADEME, CEREMA et BRGM), il a été décidé de retenir ce phénomène en Rhône-Alpes.

Les niveaux d'aléa/susceptibilité sont :

Susceptibilité	Nul	Faible	Moyen	Assez fort
Valeur du niveau	0	1	2	3

Les valeurs des facteurs aggravants sont :

Type	Echangeur ouvert (doublet sur nappe)	Echangeur fermé (sonde géothermique verticale)
Facteur aggravant	1	1

Ce phénomène est intégré à la note du phénomène «pollution des sols et/ou des nappes souterraines» en prenant le maximum des deux notes.

7. Conclusion

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

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 MTE (juillet 2015). Ce guide constitue la méthodologie fixée dans l'arrêté relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance, pris en application de l'article 22-6 du décret n°2006-649 du 2 juin 2006 modifié.

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

Dans l'objectif d'avoir une carte régionale plus précise, le MTE, l'ADEME Rhône-Alpes, le CEREMA Centre-Est et le BRGM ont financé la réalisation de la carte régionale de l'ex-région Rhône-Alpes. Elle a été réalisée par le BRGM et le CEREMA en 2016.

Les travaux exécutés dans le présent rapport, concernent l'ex-région Auvergne. Dans un souci de cohérence régionale, ils se sont appuyés sur la méthodologie mise en œuvre en Rhône-Alpes.

L'élaboration la carte régionale Auvergne a tenu compte de phénomènes redoutés, listés dans le guide méthodologique, qui peuvent être rencontrés lors de la réalisation des travaux d'un forage géothermique ou lors de l'exploitation du gîte géothermique. 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.

Auxquels ont été ajoutés deux phénomènes supplémentaires, non compris dans le guide méthodologique, validés par les partenaires de l'étude réalisée en Rhône-Alpes :

- Séisme ;
- Pollution potentielle liée aux (anciens) sites industriels et activités de service.

Ces phénomènes ont été un à un cotés selon des niveaux établis puis hiérarchisés selon des facteurs dits aggravants afin d'aboutir à une carte constituée de 104 557 mailles de 500 m de côté répertoriant les trois zones (rouge, orange, verte).

Les cartes de zonage réglementaire ont été réalisées pour deux types d'usages géothermiques : les sondes géothermiques verticales (échangeur fermé) et l'exploitation par doublets sur aquifère (échangeur ouvert), pour trois gammes de profondeur (10 m - 50 m, 10 m - 100 m, 10 m - 200 m), soit un total de 6 cartes fournies dans le présent rapport.

Par rapport à la carte nationale initiale, cette étude effectuée à l'échelle régionale, avec prise en compte des données et des connaissances acquises à cette échelle, a permis de préciser le zonage réglementaire en fonction des trois gammes de profondeur.

La proportion de zones vertes, orange et rouges est quasi identique selon pour les deux types d'usages géothermiques et selon les trois gammes de profondeurs considérées.

On compte environ 97,2 % de zones vertes (simple déclaration), 2,7 % de zones orange (simple déclaration avec intervention d'un expert) et environ 0,1 % de zones rouges (autorisation).

La carte régionale conduit à une plus grande superficie de zones oranges autour des agglomérations et grandes villes comme Clermont-Ferrand, Vichy, Montluçon, Commentry et Le Puy-en-Velay. Il est à noter que la proportion de zone rouge augmente pour la capitale algérienne. A contrario, on observe une réduction de l'emprise des zones oranges autour des villes d'Aurillac et St-Flour dans le Cantal.

Outre la mise en exergue de la plupart des grandes villes, la carte régionale crée des zones oranges sur l'ensemble du territoire des quatre départements auvergnats alors que sur la carte nationale, les zones oranges sont essentiellement présentes dans le Cantal, autour du Puy-en-Velay et au nord-ouest du département de l'Allier.

La régionalisation de la carte réglementaire a pour effet de mettre en évidence quelques zones à risque pour l'ex-région Auvergne vis-à-vis de la réalisation de forages géothermiques : environ 0,2% du territoire est concerné par les zones rouges alors que seules 16 mailles sont dénombrées sur la carte nationale.

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

8. Bibliographie

Barbaud J. Y. (1980). Etude hydro volcanique d'un satellite de la chaîne des Puys : le Chalard. Faculté des sciences d'Avignon.

Berard P., Loizeau M., Rouzaire D., Vigouroux P., (2002). Amélioration de la connaissance des ressources en eau souterraine des sites thermaux en Auvergne. Site de Chaudes-Aigues (15). Rapport BRGM RP-51722-FR.

Berard P., Loizeau M., Rouzaire D., Vigouroux P., (2002). Amélioration de la connaissance des ressources en eau souterraine des sites thermaux en Auvergne. Site du Mont-Dore. Rapport BRGM RP-51941-FR.

Bertin C., Rouzaire D. (2003). Amélioration de la connaissance des ressources en eau souterraine des sites thermaux en Auvergne. Site de Châteauneuf-les-Bains (63). Rapport BRGM RP-52471-FR

Bertin C., Rouzaire D., Vigouroux P., Loizeau M. (2003). Amélioration de la connaissance des ressources en eau souterraine des sites thermaux en Auvergne. Site de Royat-Chamalières (63). Rapport BRGM RP-52195-FR.

Bertin C., Rouzaire D., Vigouroux P. (2003). Amélioration de la connaissance des ressources en eau souterraine des sites thermaux en Auvergne. Site de La Bourboule (63). Rapport BRGM RP-52394-FR.

Bertin C., Rouzaire D. (2004). Amélioration de la connaissance des ressources en eau souterraine des sites thermaux en Auvergne. Site de Vichy (03). Rapport BRGM RP-53095-FR

Bertin C., Rouzaire D. (2004). Amélioration de la connaissance des ressources en eau souterraine des sites thermaux en Auvergne. Site de Bourbon-l'Archambault (03). Rapport BRGM RP-53121-FR.

Bertin C., Rouzaire D. (2005). Amélioration de la connaissance des ressources en eau souterraine des sites thermaux en Auvergne. Site de Châtelguyon (63). Rapport BRGM RP-53430-FR.

Bertin C., Seguin J.J., Schomburgk S. –(2013) -Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassins Loire-Bretagne et Adour-Garonne. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Auvergne. Rapport final, Mise à jour version 0. BRGM/RP-62229-FR.

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

Chargueron C., Bertin C., Rouzaire D, Vigouroux P. (2003). Amélioration de la connaissance des ressources en eau souterraine des sites thermaux en Auvergne. Site de Saint-Nectaire (63). Rapport BRGM RP-52469-FR

Chargueron C., Bertin C., Rouzaire D, Vigouroux P. (2003). Amélioration de la connaissance des ressources en eau souterraine des sites thermaux en Auvergne. Site de Nérès-les-Bains (03). Rapport BRGM RP-52470-FR

- D'Arcy D., Batard F., Risler J. J.- 1979. Inventaire des ressources du sous-sol du département de la Haute-Loire- Eaux Minérales. Rapport BRGM 79 SGN 055 AUV.
- Faure P. (1996). La source hydro-minérale de la Font Salado. Lieu-dit « les Valettes », commune de Chanat-la-Mouteyre.
- Foucault A., Raoult J.-F. (2001) - Dictionnaire de Géologie. 5e édition. Editions Dunod. 379 p.
- Fourniguet G., Orofino S., Foutier A., Vernay L. (2016) – Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Région Rhône-Alpes. Rapport final BRGM/RP-65710-FR, 125 p., 76 ill., 4 ann.
- Gal F., Bentivegna G., Leconte S., Proust E. (2015). Emissions naturelles de gaz carbonique dans le sous-sol de certaines communes de Clermont Communauté. Acquisitions sur site. Rapport BRGM RC-65055-FR, accès réservé.
- Guilemin C., Roux J. C. (1992) - La pollution des eaux souterraines en France. Bilans des connaissances, impacts et moyens de prévention. Manuels et Méthodes n° 23, Editions BRGM, 262 p.
- Herbaux M., Kreziak C., P. Durst P. *et al* (2015) - Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance – BRGM-CEREMA
- Jany P.H., Mercier F. 1992. Inventaire des sources minérales du Puy-de-Dôme. Mise à jour 1992. Rapport BRGM 35801 AUV 4S 92.
- Lemière B., Seguin J.J., Le Guern C., Guyonnet D., Baranger F. (2001) - Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes – application dans un contexte d'évaluation détaillée des risques pour les ressources en eau (convention MATE-DPPR 13/1999 – étude 3). EDIT/978-2-7159-0912-8
- Mardhel V., Genna A., Touchard F. avec la collaboration de Compère F. et Thinon-Larminach M.(2018) – Caractérisation du potentiel géothermique très basse énergie en région Limousin, volet 1 cartographie des risques. Rapport final. BRGM/RP-65706-FR, 88 p., 47 fig.
- Mercier-Batard F. (1984). Recherche d'indices thermaux dans le département de l'Allier. Rapport BRGM 84 AGI 296 AUV
- Risler J.J., D'Arcy D. (1974). Les zones d'émergences préférentielles d'eaux thermo-minérales à Clermont-Ferrand Puy-de-Dôme. Rapport BRGM 74 SGN431 MCE.
- Saada A., Blanc C., Colombano S. *et al* (2013) - Protocole opérationnel de gestion de sites par ATTENUATION NATURELLE dans le contexte réglementaire français - Projet ATTENA – Phase 2. ADEME – Burgeap
- Urban S, Vandembroucke H., Jauffret D., Roblet P., Colin A. Chabart M., Hoogstoel R., Nguyen D., Marchal J.P., Picot J., Pira K., David P.Y., Udhin Z., Arnaud L., Lereculey A., Conil P., Rodriguez G., Chretien P., Minard D. Thinon-Larminach M., Cailleaud T., Brenot A., Chretien M. Bézègues-Courtade S., Martin J.C. (2009) – PNIGRA : Programme National des Inventaires Géothermiques Régionaux sur Aquifères. Rapport final. BRGM/RP-57915-FR, 195 p., 85 fig., 32 tab., 2 ann.

1975. Inventaire des ressources naturelles du département du Cantal. Sources minérales et thermales. Rapport BRGM 75 SGN 096 MCE

1998. Les eaux minérales naturelles. L'inventaire complet des sources en France. Annales des mines ISSN 1148-7941.

"Friches industrielles et pollution historique" (2010) - Lille Métropole. Rapport juin 2010, 182 p.

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

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

Sites internet :

<https://thermes-et-sources-minerales.blogspot.com/>

<https://basias.brgm.fr>

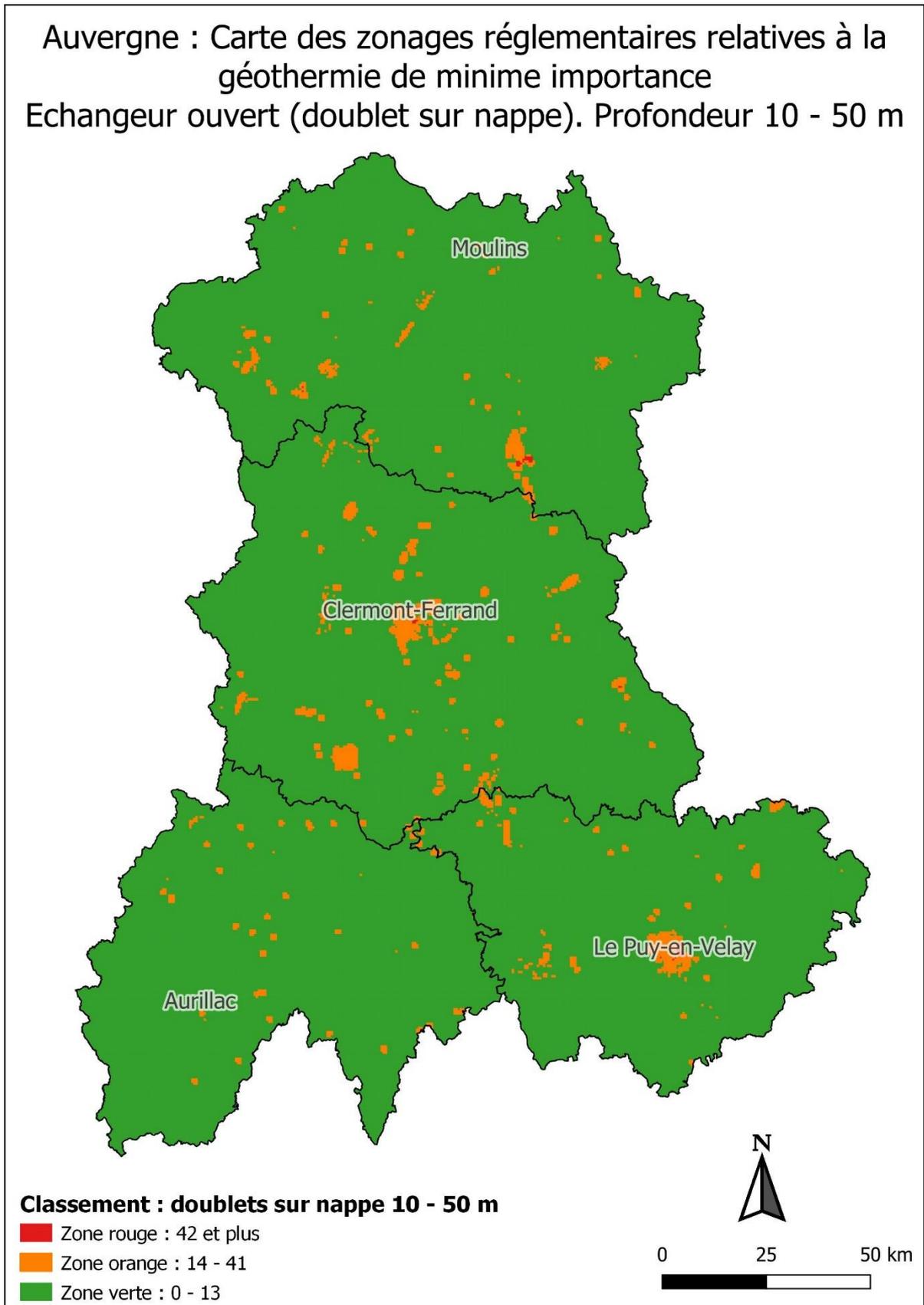
<https://basol.environnement.gouv.fr>

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

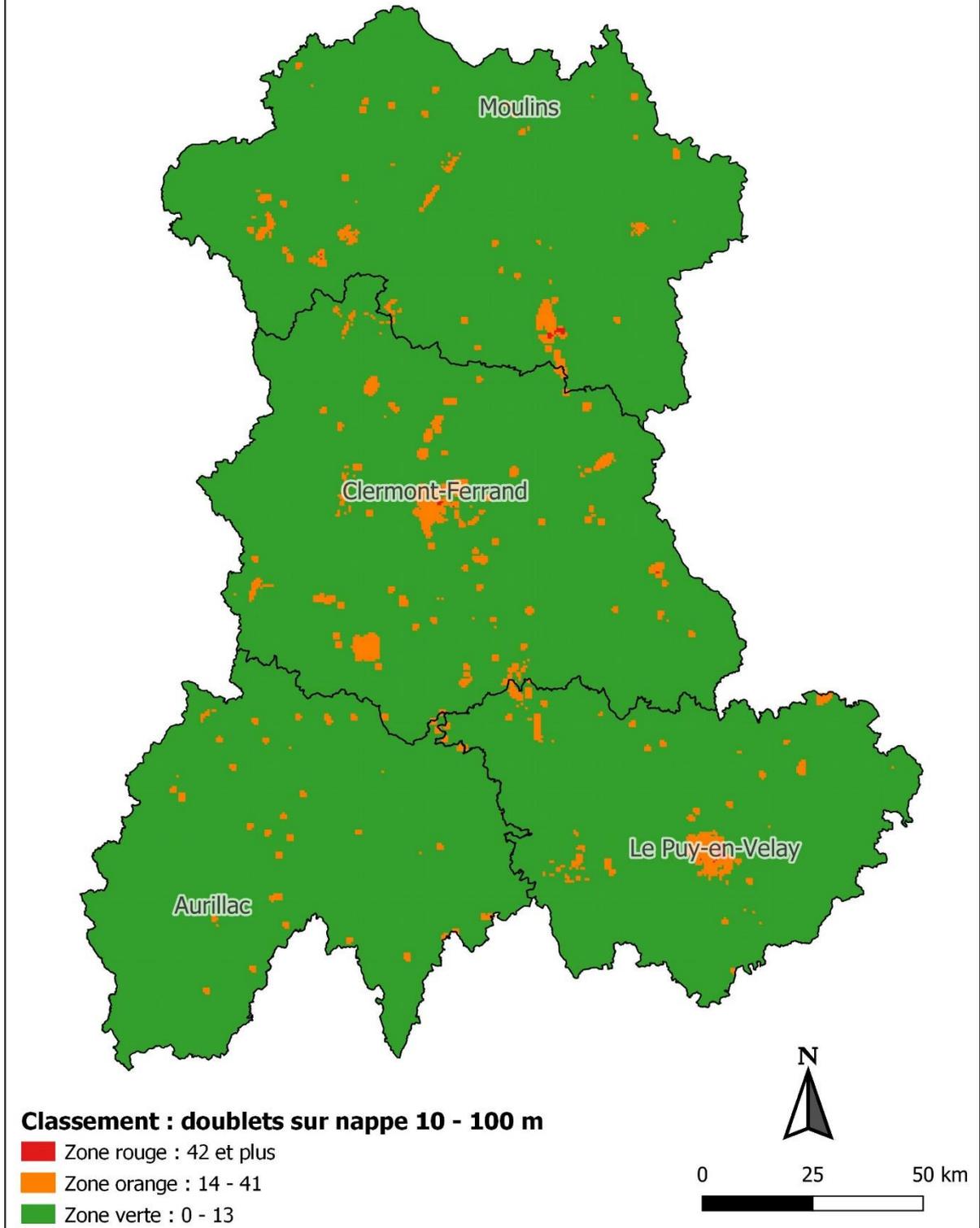
<https://infoterre.brgm.fr/>

Annexe 1

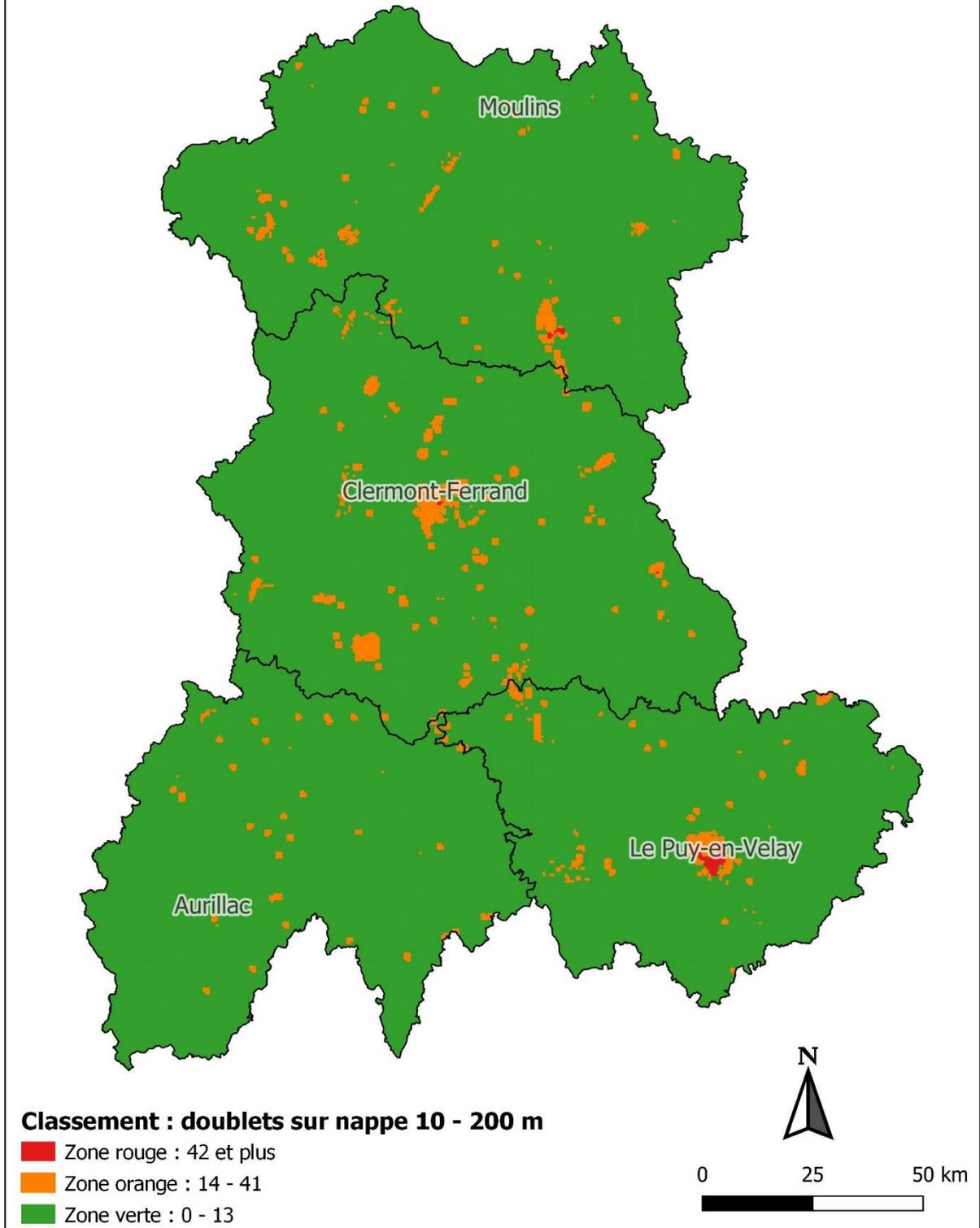
Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance - Auvergne



Auvergne : Carte des zonages réglementaires relatives à la géothermie de minime importance
Echangeur ouvert (doublet sur nappe). Profondeur 10 - 100 m

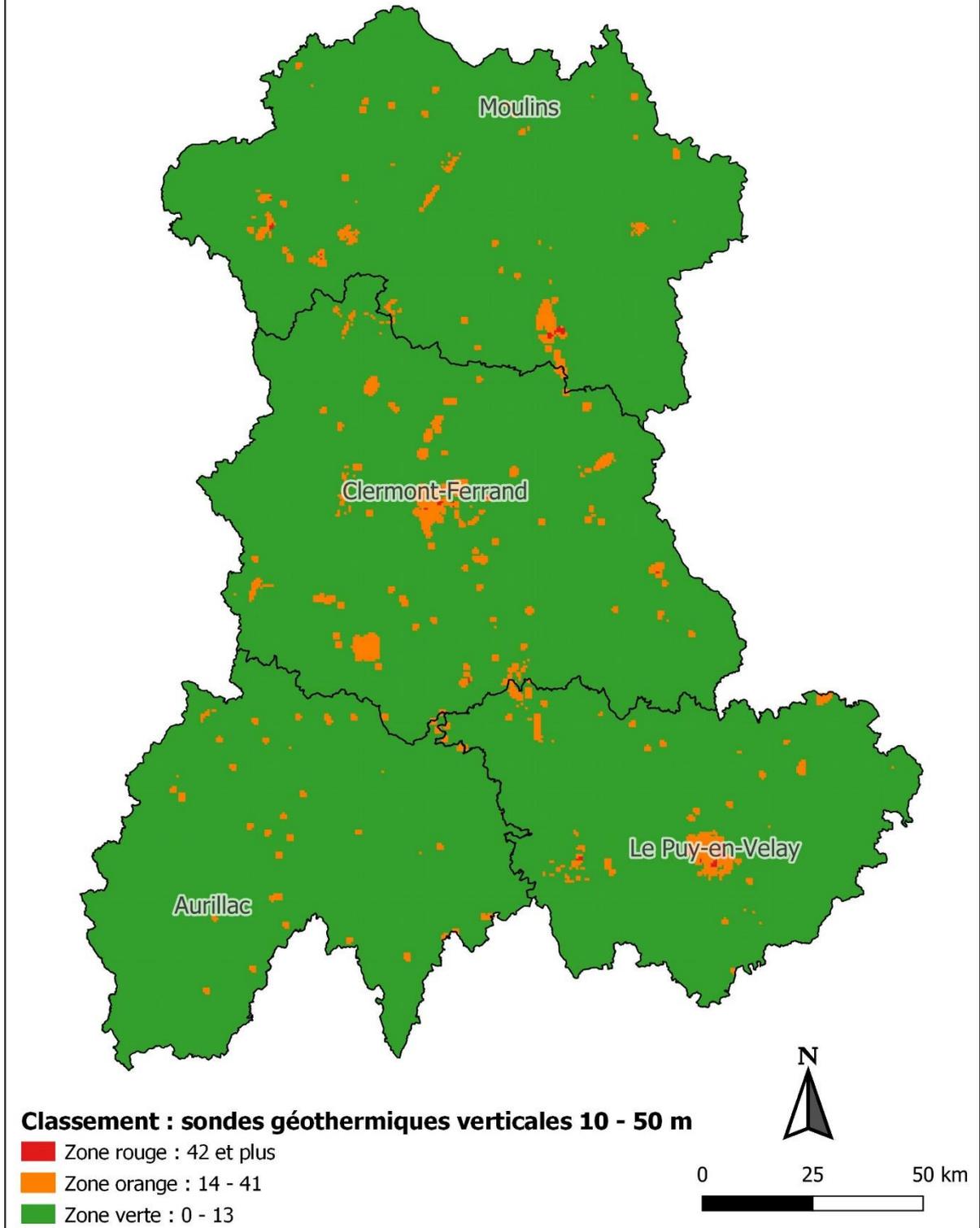


Auvergne : Carte des zonages réglementaires relatives à la géothermie de minime importance
Echangeur ouvert (doublet sur nappe). Profondeur 10 - 200 m



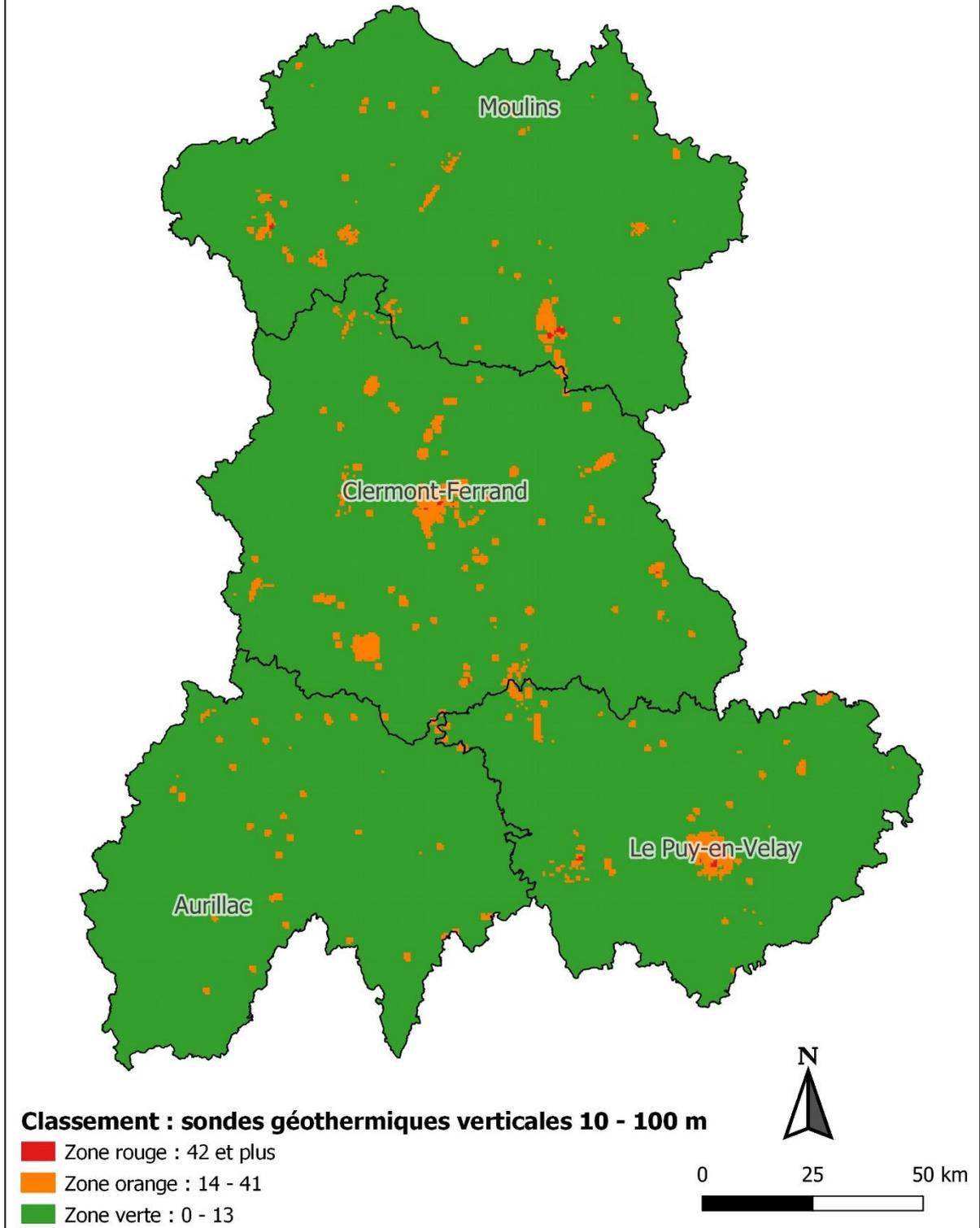
Auvergne : Carte des zonages réglementaires relatives à la géothermie de minime importance

Echangeur fermé (sonde géothermique verticale). Profondeur 10 - 50 m

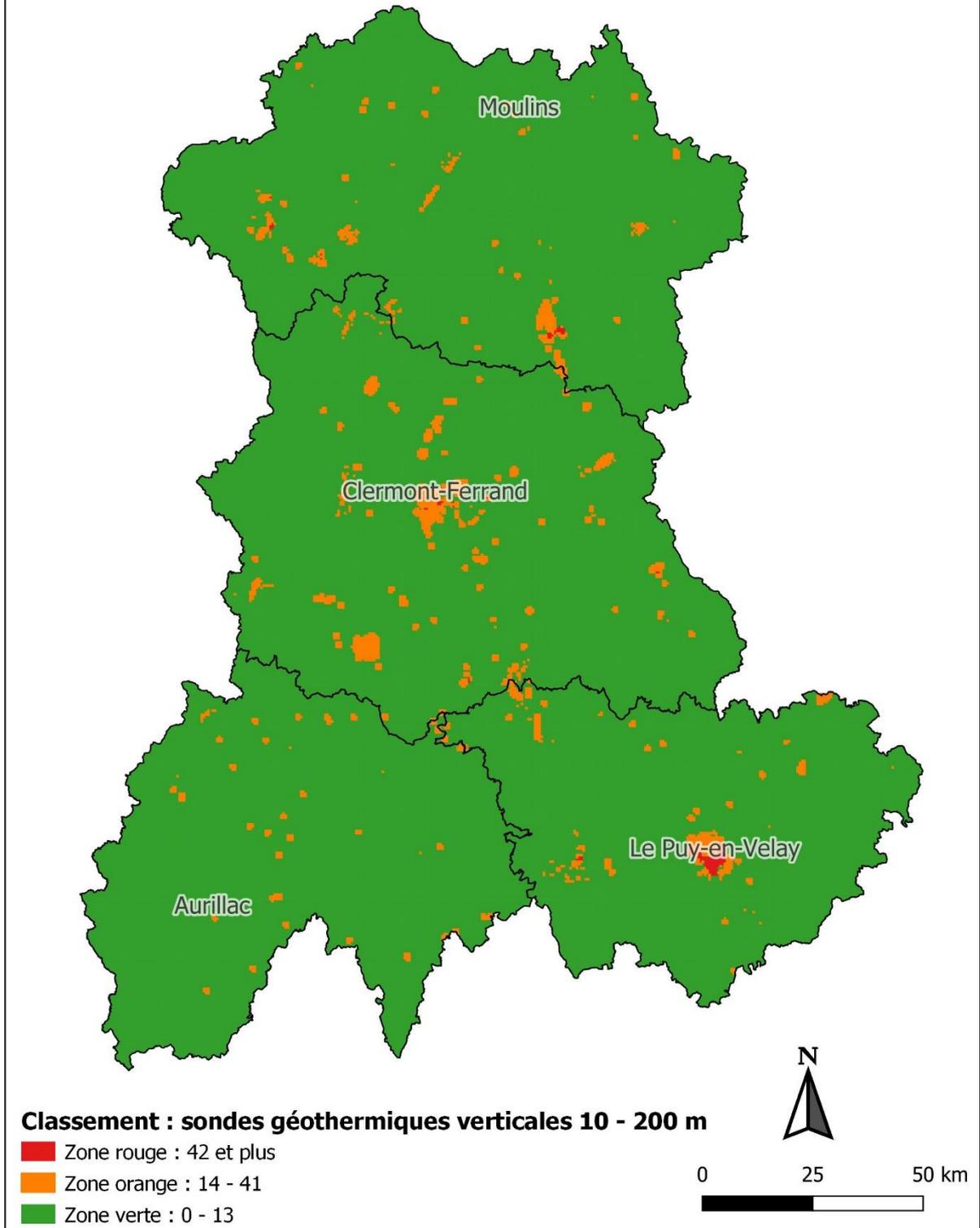


Auvergne : Carte des zonages réglementaires relatives à la géothermie de minime importance

Echangeur fermé (sonde géothermique verticale). Profondeur 10 - 100 m



Auvergne : Carte des zonages réglementaires relatives à la géothermie de minime importance
Echangeur fermé (sonde géothermique verticale). Profondeur 10 - 200 m





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

Direction régionale Auvergne-Rhône-Alpes
Site de Clermont-Ferrand
12, avenue des Landais
63170 – Aubière – France
Tél. : 04.73.15.23.00