



Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Région Rhône-Alpes

Rapport final

BRGM/RP-65710-FR

Février 2016



Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Région Rhône-Alpes

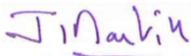
Rapport final

BRGM/RP-65710-FR
Février 2016

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

G. Fourniguet, S. Orofino, A. Foutier*, L. Vernay*

(*) Cerema

<p>Vérificateur :</p> <p>Nom : J.-C. Martin</p> <p>Date : 07/06/2016</p> <p>Signature : </p>
--

<p>Approbateur :</p> <p>Nom : Y. Siméon</p> <p>Date : 07/06/2016</p> <p>Signature : </p>
--

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



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

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

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.

Synthèse

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

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

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

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

Cette carte nationale est entrée en vigueur le 1er juillet 2015 et est disponible sur le site www.geothermie-perspectives.fr.

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

Dans l'objectif d'avoir une carte régionale plus précise, à l'échelle de la région Rhône-Alpes, le MEEM (Direction générale de la prévention et des risques), l'ADEME Rhône-Alpes, le CEREMA Centre-Est et le BRGM Rhône-Alpes ont financé la réalisation de la carte régionale qui a été réalisée par le BRGM et le CEREMA.

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 ouvrages mis en place ;
- environnemental notamment par la dégradation ou la pollution des eaux souterraines.

Conformément au guide méthodologique, les phénomènes retenus en Rhône-Alpes 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.

De plus, conformément au programme technique validé par les partenaires de l'étude (MEEM représenté par la DREAL Rhône-Alpes, ADEME, CEREMA et BRGM), il a été décidé de retenir deux phénomènes supplémentaires 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 180 937 mailles de 500 m de côté répertoriant les trois zones (rouge, orange, verte) mentionnées précédemment.

Les cartes de zonage réglementaire sont 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.

La proportion de zones vertes, orange et rouges de la carte régionale est sensiblement la même pour les SGV que pour les doublets sur aquifère, sensiblement identique selon la profondeur. On compte environ 72 % de zones vertes (simple déclaration), 23 % de zones oranges (simple déclaration avec intervention d'un expert) et un peu moins de 5 % de zones rouges (autorisation).

La carte régionale diminue sensiblement la part des zones vertes du territoire qui passe en moyenne de 88 % à 73 %, au profit des zones orange qui passent de 12 à 23 % et rouges qui passent de 0 à près de 5 %. Cette régionalisation de la carte réglementaire a pour effet de mettre davantage en évidence les zones à risque du territoire de la région Rhône-Alpes vis-à-vis de la réalisation de forages géothermiques.

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.....	23
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.....	25
4.1.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « affaissement/surrection lié aux évaporites »	33
4.1.5. Cotation de l'aléa du phénomène « affaissement/surrection lié aux évaporites » 35	
4.2. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT » LIE AUX CAVITES (HORS MINES)	36
4.2.1. Description du phénomène et occurrences	36
4.2.2. Qualification du phénomène	36
4.2.3. Cartes d'aléas (PPR et autres).....	36
4.2.4. Données ponctuelles	38
4.2.5. Synthèse des données des phénomènes liés aux cavités (hors mines) ..	40
4.2.6. Cartographie de l'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) »	42
4.2.7. Cotation de l'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) »	43
4.3. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT » LIE AUX CAVITES MINIERES 44	
4.3.1. Description du phénomène et occurrences	44

4.3.2. Qualification du phénomène	44
4.3.3. Cartes d'aléas (PPR et autres)	45
4.3.4. Données ponctuelles	47
4.3.5. Synthèse des données des phénomènes liés aux cavités minières.....	48
4.3.6. Cartographie de l'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières ».....	51
4.3.7. Cotation de l'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières ».....	51
4.4. PHENOMENE « MOUVEMENTS DE TERRAINS DE TYPE GLISSEMENT ».	53
4.4.1. Description du phénomène et occurrences.....	53
4.4.2. Méthodologie utilisée.....	53
4.4.3. Cartographie de l'aléa du phénomène « mouvements de terrain de type glissement »	60
4.4.4. Cotation de l'aléa du phénomène « mouvements de terrain de type glissement »	61
4.5. PHENOMENE DE « POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE ».....	63
4.5.1. Description du phénomène et occurrences.....	63
4.5.2. Qualification du phénomène	63
4.5.3. Données utilisées et traitement	64
4.5.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine »	66
4.5.5. Cotation de l'aléa du phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine »	68
4.6. PHENOMENE DE « POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE » LIE A LA PRESENCE DE PANACHES DE POLLUTION ...	70
4.6.1. Description des phénomènes	70
4.6.2. Inventaire des pollutions en Rhône-Alpes.....	74
4.6.3. Elaboration de la carte des pollutions en Rhône-Alpes.....	79
4.6.4. Cartographie de l'aléa du phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine » lié à la présence de panaches de pollution	92
4.6.5. Cotation de l'aléa du phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine » lié à la présence de panaches de pollution	94
4.7. PHENOMENE ARTESIANISME	95
4.7.1. Phénomène redouté	95
4.7.2. Qualification du phénomène	95
4.7.3. Données utilisées et traitement	95
4.7.4. Cartographie de l'aléa du phénomène artésianisme	97
4.7.5. Cotation de l'aléa du phénomène artésianisme	99
4.8. PHENOMENE DE MISE EN COMMUNICATION D'AQUIFERES.....	101
4.8.1. Phénomène redouté	101
4.8.2. Qualification du phénomène	101

4.8.3. Données utilisées pour le traitement	101
4.8.4. Cartographie de l'aléa du phénomène de mise en communication d'aquifères 105	
4.8.5. Cotation de l'aléa du phénomène de mise en communication d'aquifères	107
4.9. PHENOMENE D'INONDATION PAR REMONTEE DE NAPPE	108
4.9.1. Phénomène redouté	108
4.9.2. Qualification du phénomène	108
4.9.3. Données utilisées pour le traitement	108
4.9.4. Cartographie de l'aléa remontée de nappe	109
4.9.5. Cotation de l'aléa remontée de nappe.....	109
4.10. PHENOMENE DE SEISME (NOUVEAU PAR RAPPORT AU GUIDE) .	110
4.10.1. Phénomène redouté.....	110
4.10.2. Qualification du phénomène.....	110
4.10.3. Données utilisées et traitement	110
4.10.4. Cartographie de l'aléa lié au séisme.....	111
4.10.5. Cotation de l'aléa lié au séisme.....	111
4.11. PHENOMENE DE POLLUTION POTENTIELLE LIEE AUX (ANCIENS) SITES INDUSTRIELS ET ACTIVITES DE SERVICE (NOUVEAU PAR RAPPORT AU GUIDE) 112	
4.11.1. Description du phénomène et occurrences	112
4.11.2. Qualification du phénomène.....	112
4.11.3. Données utilisées et traitement	112
4.11.4. Cartographie de l'aléa lié au phénomène de pollution potentielle BASIAS 114	
4.11.5. Cotation de l'aléa lié au phénomène de pollution potentielle BASIAS	114
5. Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance	117
6. Les écarts vis-à-vis du guide d'élaboration de la carte	119
6.1. POUR LE PHENOMENE D'AFFAISSEMENT/SURRECTION LIE AUX FORMATIONS EVAPORITQUES.....	119
6.2. POUR LE PHENOMENE DE POLLUTION DES SOLS ET/OU DES NAPPES SOUTERRAINES.....	119
6.3. POUR LE PHENOMENE D'ARTESIANISME.....	120
6.4. POUR LE PHENOMENE DE MISE EN COMMUNICATION D'AQUIFERES..	121
6.5. PRISE EN COMPTE DE DEUX PHENOMENES SUPPLEMENTAIRES (SEISME ET POLLUTION POTENTIELLE LIEE AUX (ANCIENS) SITES INDUSTRIELS ET ACTIVITES DE SERVICE BASIAS	121
6.5.1. Séisme.....	121
6.5.2. Pollution potentielle BASIAS	122

6.6. SPECIFICITE DE LA CARTE DES ZONES REGLEMENTAIRES	122
7. Conclusion	123
8. Bibliographie	125

Liste des illustrations

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 réglementaire régionale en comparaison avec la cartographie nationale.....	20
Illustration 3 : Grille de 180937 mailles de 500 x 500 m couvrant la région Rhône-Alpes.....	22
Illustration 4 : Table attributaire de la grille.....	24
Illustration 5 : Trias (rose) et Lias-(bleu clair) affleurant.	29
Illustration 6 : Points de contacts du Trias utilisés pour l'interpolation.	30
Illustration 7 : Isobathes « brutes » du toit du Trias oints de contacts du Trias utilisés pour l'interpolation.	30
Illustration 8 : Carte de l'aléa « Trias évaporitique » entre 0 et 200 m (hachuré épais), zone d'altitude inférieure à 2000 m (hachuré fin bleu, zones urbanisées (croisillons) et stations d'altitude (jaune). Trias affleurant en rose.	31
Illustration 9 : Carte de l'aléa « Trias évaporitique » entre 0 et 50 m (violet foncé), entre 50 et 100 m (violet clair), entre 100 et 200 m rose clair), zone d'altitude inférieure à 2000 m (hachuré fin bleu, zones urbanisées (croisillons) et stations d'altitude (jaune). Trias affleurant au-dessus de 2000 m (hachuré orange).....	32
Illustration 10 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/surrection lié aux évaporites » en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 – 50 m.....	33
Illustration 11 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/surrection lié aux évaporites » en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 – 100 m.....	34
Illustration 12 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/surrection lié aux évaporites » en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 – 200 m.....	35
Illustration 13 : Niveaux des aléas des phénomènes liés aux cavités hors mine (zonage)..	37
Illustration 14 : Cartographie des zones sensibles aux cavités hors mine (PPR et BD Lisa).	38
Illustration 15 : Difficultés rencontrées pour les données des cavités hors mine (ponctuel).....	39
Illustration 16 : Niveaux des aléas des phénomènes liés aux cavités hors mine (ponctuel)..	39
Illustration 17 : Cartographie des cavités ponctuelles avec leur tampon.	40
Illustration 18 : Susceptibilités des phénomènes liés aux cavités hors mine de la grille finale. ...	41
Illustration 19 : Niveaux des aléas liés à la présence de formation sensible à la karstification. .	42
Illustration 20 : Cartographie générale susceptibilités/niveaux d'aléa des phénomènes liés aux cavités hors mine.	42
Illustration 21 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines)» en Rhône-Alpes.	43

Illustration 22 : Cartographie des aléas liés aux cavités minières (PPRM).....	45
Illustration 23 : Etat des données des cartes d'aléas miniers en région Rhône-Alpes.	46
Illustration 24 : Niveaux des aléas des phénomènes liés aux cavités minières (zonage) pour la tranche 0-50 m.....	46
Illustration 25 : Niveaux des aléas des phénomènes liés aux cavités minières (zonage) pour les tranches 50-100 m et 100-200 m.....	47
Illustration 26 : Niveau de l'aléa lié aux exploitations minières (ponctuel).	47
Illustration 27 : Cartographie des phénomènes ponctuels liés aux exploitations minières avec la zone tampon.	48
Illustration 28 : Susceptibilités des phénomènes liés aux exploitations minières de la grille finale.	49
Illustration 29 : Cartographie des susceptibilités liées aux phénomènes associés aux exploitations minières de 0 à 50 m de profondeur.	50
Illustration 30 : Cartographie des susceptibilités liées aux phénomènes associés aux exploitations minières de 50 à 200 m de profondeur.	50
Illustration 31 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités minières » en Rhône-Alpes.	51
Illustration 32 : Documents exploités pour les glissements de terrain.	54
Illustration 33 : Codification des communes avec PPR non exploitable (List_PPR).....	55
Illustration 34 : Niveaux des aléas « glissement de terrain » (cartes aléas/liste PPR) et susceptibilités.....	55
Illustration 35 : Zonage des aléas « glissements de terrain » à partir des cartes d'aléas disponibles et exploitables (PPR, communales, départementales).....	56
Illustration 36 : Différents problèmes rencontrés au niveau des données (phénomène glissement).	57
Illustration 37 : Niveaux d'aléas et susceptibilités du phénomène « glissements ponctuels » ...	58
Illustration 38 : Carte des événements « glissements ponctuels » avec une zone tampon.	58
Illustration 39 : Susceptibilité du phénomène « glissements » de la grille finale	59
Illustration 40 : Cartographie des susceptibilités liées aux glissements de terrain selon une maille 500x500 m	60
Illustration 41 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Mouvements de terrain de type glissement » en Rhône-Alpes.....	61
Illustration 42 : Niveaux d'aléas et susceptibilités du phénomène « mouvements de terrain de type glissement ».....	62
Illustration 43 : Carte de localisation des 1 135 sites BASOL identifiés en Rhône-Alpes (février 2015).	64
Illustration 44 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Pollution des sols et des nappes d'eau souterraine » en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 – 50 m.	66
Illustration 45 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Pollution des sols et des nappes d'eau souterraine » en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 – 100 m.	67
Illustration 46 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Pollution des sols et des nappes d'eau souterraine » en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 – 200 m.	68
Illustration 47 : Illustration de comportements de panaches de polluants « légers » (LNAPL) ou « lourds » (DNAPL).....	71

Illustration 48 : Longueurs moyennes constatées de panaches en Europe (vert foncé) et longueurs maximum des panaches dans 75 % des cas (vert clair) en fonction du 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).....	72
Illustration 49 : Evolution d'un panache de polluants en phase aqueuse (adaptée de Sinke et Le Hécho, 1999).....	74
Illustration 50 : Répartition des polluants des sols et nappes de Rhône-Alpes identifiés dans BASOL.....	76
Illustration 51 : Origine des pollutions industrielles sur les sols et nappes de Rhône-Alpes identifiés dans BASOL.....	76
Illustration 52 : Répartition des pollutions de sites par département de Rhône-Alpes identifiés dans BASOL.....	77
Illustration 53 : Inventaire des sites BASOL atteints par des pollutions industrielles en Rhône-Alpes (mai 2015).....	81
Illustration 54 : Carte des sites et sols pollués BASOL en Rhône-Alpes.....	82
Illustration 55 : Facteur de pondération lié à l'importance du dépôt (exprimé en poids, volume ou surface).....	85
Illustration 56 : Détermination de la taille du panache selon l'importance de la source et type de polluants.....	86
Illustration 57 : Détermination de l'étirement du panache selon le sens d'écoulement de la nappe.....	88
Illustration 58 : Distribution des tailles de panaches estimés sur les pollutions connues de nappes (sites Rhône-Alpes).....	89
Illustration 59 : Distribution des tailles de panaches estimés sur les pollutions provenant des sols (sites Rhône-Alpes).....	89
Illustration 60 : Zoom sur le bassin lyonnais : panaches et traduction en grille d'état (maillage 500x500 m).....	91
Illustration 61 : Carte des panaches.....	92
Illustration 62 : Grille de traduction des emprises de panaches de pollution.....	93
Illustration 63 : Carte des niveaux de susceptibilité du phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine » lié à la présence de panaches de pollution en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 - 200 m.....	94
Illustration 64 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 - 50 m.....	97
Illustration 65 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 - 100 m.....	98
Illustration 66 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 - 200 m.....	99
Illustration 67 : Liste des entités de de nature « Système aquifère » issues du référentiel hydrogéologique BDLISA en Rhône-Alpes.....	103
Illustration 68 : Liste des entités de de nature « Domaine hydrogéologique » et de milieu « karstique » issues du référentiel hydrogéologique BDLISA en Rhône-Alpes.....	104
Illustration 69 : Carte des niveaux de susceptibilité du phénomène de mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 - 50 m.....	105

Illustration 70 : Carte des niveaux de susceptibilité du phénomène de mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 - 100 m.....	106
Illustration 71 : Carte des niveaux de susceptibilité du phénomène de mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 - 200 m.....	107
Illustration 72 : Carte des niveaux d'aléa / susceptibilité du phénomène d'inondation par remontée de nappe en Rhône-Alpes.....	109
Illustration 73 : Carte des niveaux d'aléa / susceptibilité du phénomène de séisme en Rhône-Alpes.....	111
Illustration 74 : Carte de localisation des sites BASIAS en Rhône-Alpes.....	113
Illustration 75 : Carte des niveaux de susceptibilité du phénomène de pollution potentielle liée aux (anciens) sites industriels et activités de service en Rhône-Alpes.....	114
Illustration 76 : Tableau de répartition de la superficie des zones verte, orange et rouge en Rhône-Alpes selon le type d'usage et la profondeur d'investigation pour la géothermie de minime importance.....	117
Illustration 77 : Tableau comparatif des résultats de la répartition des zones vertes, orange et rouges entre la carte nationale déclinée en Rhône-Alpes et la carte régionale issue de la présente étude.....	118

Liste des annexes

Annexe 1 Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Rhône-Alpes.....	127
Annexe 2 Cotation des phénomènes pour la carte Rhône-Alpes.....	141
Annexe 3 Fiche de synthèse.....	145
Annexe 4 Données utilisées pour les cartes en Rhône-Alpes.....	147

1. Introduction

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

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

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

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

Cette carte nationale est entrée en vigueur le 1^{er} juillet 2015 et est disponible sur le site : www.geothermie-perspectives.fr.

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

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

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 ouvrages mis en place ;
- environnemental notamment par la dégradation ou la pollution des eaux souterraines.

Conformément au guide méthodologique, les phénomènes retenus en Rhône-Alpes 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.

De plus, conformément au programme technique validé par les partenaires de l'étude (MEEM représenté par la DREAL Rhône-Alpes, ADEME, CEREMA et BRGM), il a été décidé de retenir deux phénomènes supplémentaires 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 la carte constituée de 180 937 mailles de 500 m de côté répertoriant les trois zones (rouge, orange, verte) mentionnées précédemment.

Les cartes de zonage réglementaire sont 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.

2. Réglementation applicable à la géothermie de minime importance

2.1. LE CODE MINIER

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

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

Les critères de la géothermie de minime importance sont :

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

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

- préalablement aux travaux de forage, l'activité géothermique répondant aux critères de la

géothermie de la minime importance doit être déclarée. Cette démarche doit être réalisée sur le téléservice dédié, accessible sur le site « géothermie-perspectives.fr » ;

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

L'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance et sa cessation d'exploitation doivent être mises en œuvre conformément à l'arrêté relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance. Les travaux de cessation d'exploitation et le changement d'exploitant de la ressource sont à déclarer. Ces démarches peuvent être réalisées par voie dématérialisée.

L'ensemble des informations nécessaires à ces démarches est disponible sur le site internet « geothermie-perspectives.fr ».

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, 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 MEEM, 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 : l'échangeur fermé ou l'échangeur ouvert ;
- la disponibilité des données utilisées est précisée.

La carte révisée, appliquée à la région Rhône-Alpes, 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, 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.

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, 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 Rhône-Alpes ont été retenus 2 phénomènes redoutés supplémentaires :

- **phénomène de séisme**
- **phénomène de pollution potentielle lié aux (anciens) sites industriels et activités de service (base de données BASIAS)**

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 Rhône-Alpes 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	0/7	6	10	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Affaissement/ effondrement lié aux cavités (hors mines)	0/1/2/3/5/7	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Affaissement/ effondrement lié aux cavités minières	0/1/3/5/7	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
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 *	0/1/2/3	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	4	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 Rhône-Alpes. ** phénomène ajouté en Rhône-Alpes					
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.

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	0	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3	6	10	18	30
	Régionale	0	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	7	6	10	42	70
Cavités non minières	Nationale	0	1	2	3	-	-	-	-	-	-	-	3	2	2	6	6
	Régionale	0	1	2	3	-	5	-	7	-	-	-	7	2	2	14	14
Cavités minières	Nationale	0	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3	2	2	6	6
	Régionale	0	1	-	3	-	5	-	7	-	-	-	7	2	2	14	14
MVT	Nationale	0	1	2	3	-	-	-	-	-	-	-	3	2	2	6	6
	Régionale	0	1	2	3	-	5	-	7	-	-	-	7	2	2	14	14
Pollution BASOL	Nationale	0	1	-	-	4	-	6	-	-	-	-	6	3	3	18	18
	Régionale	0	1	2	3	-	-	-	-	-	-	-	3	3	3	9	9
Panaches pollution	Nationale	0	1	-	-	4	-	6	-	-	-	-	6	3	3	18	18
	Régionale	0	-	-	-	4	-	6	-	-	-	10	10	3	3	30	30
Artésianisme	Nationale	0	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3	2	4	6	12
	Régionale	0	-	-	3	-	-	-	7	-	-	-	7	4	4	28	28
Communication Aquifères	Nationale	0	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3	4	4	12	12
	Régionale	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	4	4	4
Remontée de nappe	Nationale	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	0	2	0
	Régionale	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	0	2	0
Séisme	Nationale	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
	Régionale	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1
Pollution pot. BASIAS	Nationale	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0
	Régionale	0	1	2	3	-	-	-	-	-	-	-	3	1	1	3	3

Illustration 2 : Récapitulatif des niveaux des phénomènes et des facteurs aggravants utilisés pour la cartographie réglementaire régionale en comparaison avec la cartographie nationale.

La grille de précision de la carte révisée à l'échelle régionale Rhône-Alpes 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, 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 Rhône-Alpes correspond à 180 937 mailles au total, soit environ 45 000 km².

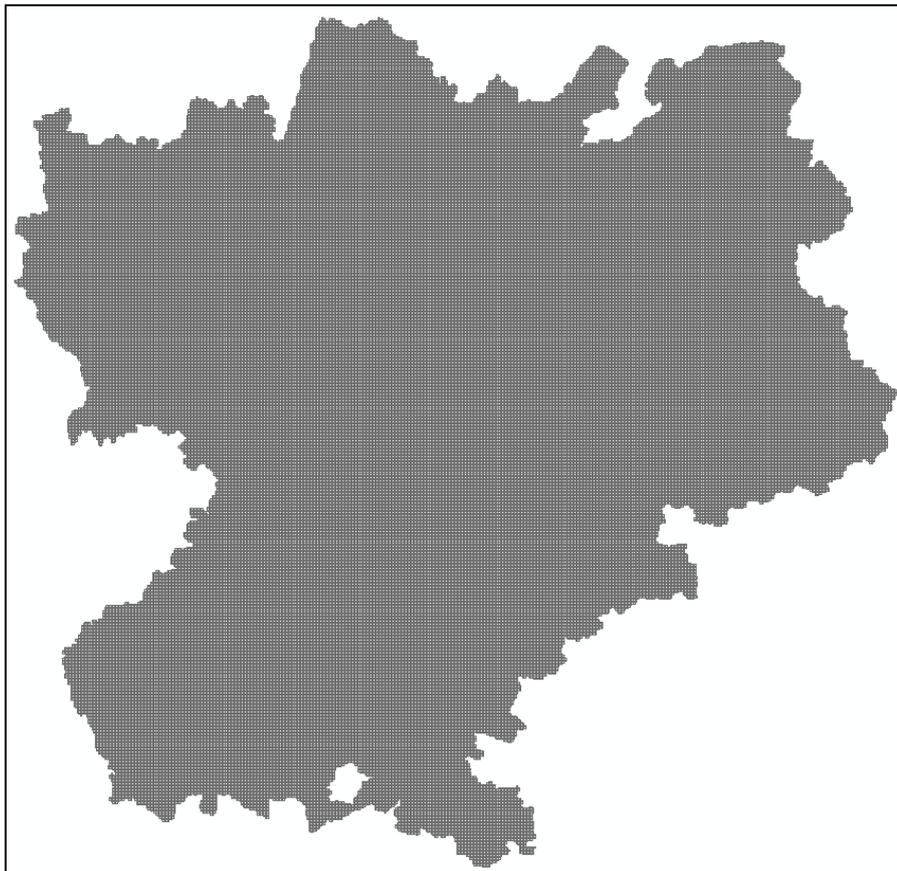


Illustration 3 : Grille de 180937 mailles de 500 x 500 m couvrant la région Rhône-Alpes.

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

- a) **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 ;
- b) **Attribut « Profondeur »** : de type entier court. L'intervalle de profondeur est précisé (50, 100, 200) pour la carte régionale ;
- c) **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 ;
- d) **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 ;
- e) **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.

f) **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 ») ;

g) **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 ») ;

h) **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)) ;

i) **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 Rhône-Alpes** :

- « **Doublet** » = évaporites x 6 + cavite_nm x 2 + cav_min x 2 + MVT x 2 + BASOL x 3 + artésien x 4 + 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.

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

FID	Shape	Maille	Profondeur	X_RGF93	Y_RGF93	Z_NGF	evaporites	cavite_nm	cav_min	MVT	BASOL	Panaches	artisien	com_aquif	remontee	seisme	BASIAS	admin	Doublet	SGV	ct_doublet	ct_sgv
0	Polygone	35783400	50	898738	6338238	874	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	2	1	1
1	Polygone	35783500	50	899238	6338238	889	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	2	1	1
2	Polygone	35783600	50	899738	6338238	906	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	2	1	1
3	Polygone	35783700	50	900238	6338238	921	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	2	1	1
4	Polygone	35783800	50	900738	6338238	932	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	2	1	1
5	Polygone	35927800	50	896238	6338738	839	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	2	1	1
6	Polygone	35927900	50	896738	6338738	853	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	2	1	1
7	Polygone	35928000	50	897238	6338738	871	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1
8	Polygone	35928100	50	897738	6338738	877	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1

Illustration 4 : Table attributaire de la grille.

4. Fiches des phénomènes redoutés

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

4.1.1. Description du phénomène et occurrences

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

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 liée à ce phénomène actuellement dans la région Rhône-Alpes. En l'absence de cartographie, ce phénomène est qualifié en fonction de sa susceptibilité (probabilité d'occurrence).

→ **La difficulté d'obtenir les épaisseurs des formations évaporitiques, compte-tenu des données disponibles et du contexte plissé rhône-alpin, fait que seuls deux niveaux de susceptibilité ont été retenus.**

- **Susceptibilité forte** : présence d'une (ou plusieurs) formation géologique avec un ou plusieurs horizons évaporitiques dans la tranche de terrain considérée (profondeur 10-200 m), définie à partir d'informations provenant des cartes géologiques, complétées à dire d'expert sur la base du retour d'expérience
- **Susceptibilité nulle** : absence de formation géologique pouvant contenir des horizons évaporitiques dans la tranche de terrain considérée.

4.1.3. Données utilisées et traitement

a) Sélection des entités géologiques sujettes au processus de « dissolution »

Le travail réalisé a été d'identifier les unités géologiques contenant des faciès évaporitiques. A l'issue de ce travail, il s'avère que les unités concernées sont, dans la région étudiée, liées à deux épisodes sédimentaires particuliers :

(1) les faciès anhydritiques du Keuper remobilisés dans bon nombre de structures compressives alpines,

(2) les faciès évaporitiques mis en place à l'Oligocène en fond des fossés d'extension (fossé des Dombes, fossé de Valence) reconnus uniquement par forages.

La sélection a ainsi été faite sur la base des unités présentes sur les cartes géologiques départementales harmonisées à 1/50 000, en appliquant des critères stratigraphiques (« Trias », « Keuper », « Oligocène », « Sannoisien », ...) et en effectuant des requêtes sur la base de mots-clés (« évaporites », « sel », « gypse », « anhydrite », « cargneule », ...).

Une liste des attributs retenus sur chacune des cartes départementales est fournie en annexe de cette note.

A l'issue de ces premières requêtes SIG, se dégagent plusieurs zones potentiellement concernées par l'occurrence de formations géologiques potentiellement salifères, amenant après analyse à écarter ou conserver les polygones sélectionnés.

b) Concernant le Trias

Les polygones de Trias apparaissant sur la marge ardéchoise sont des occurrences de Trias à faciès marneux et calcaréo-dolomitiques typiques du Trias marin alpin (codes ts et tm sur les feuilles géologiques 840 et 888) qui ne contiennent aucun faciès évaporitique.

Côté Monts du Beaujolais, les polygones de Trias sélectionnés correspondent pour partie au Keuper mais, si du gypse y est décrit dans les marnes bariolées, il ne s'agit aucunement de niveaux épais susceptibles de présenter un risque...

c) Concernant l'Oligocène

Dans les fossés du Bas-Dauphiné et de la Dombes, les faciès évaporitiques sont assez localisés (fossé de Bourg-en-Bresse, fossé de Valence) et reconnus à largement plus que 200 mètres de profondeur.

En détails sur la carte :

- Toutes les isovaleurs apparaissant le long de la limite ouest des fossés tertiaires correspondent uniquement à de l'Oligocène avec des faciès de bordure (grès, argiles, marnes) sans aucun dépôt évaporitique.
- Bordure ouest du fossé de Valence : faciès oligocène détritique de bordure. Le dépo-centre du fossé avec ses faciès évaporitiques en fond est situé plus à l'est, à des profondeurs supérieures à 200 mètres (comme le démontrent les sondages Chanos-Curson, Claveyson, Clérieux, Hauterives, ou ceux du stockage de gaz de Tersanne).
- Sur la bordure le long des Monts du Mâconnais et du Beaujolais, tous les dépôts oligocènes bordiers décrits à l'affleurement (feuilles 625 et 602) correspondent à des faciès détritiques grossiers de bordure et/ou des produits d'altération.
- Les isovaleurs visibles au nord du bassin de Valréas correspondent également à des dépôts oligocènes peu épais à faciès détritiques assez grossiers. Il n'y a pas d'évaporites ici (information vérifiée sur la notice de la feuille 866, à partir de la description des formations codées g2a / g2b qui correspondent à des marnes et calcaires oligocènes dénués de toute intercalation évaporitique).
- Pour les isovaleurs affichées le long de la limite est des fossés tertiaires du Bas-Dauphiné et de la Dombes, l'explication est à chercher dans les limites de production du modèle géométrique réalisé par le BRGM en 2009 dans le cadre de la synthèse hydrogéologique

régionale. La bordure est du modèle avait alors été considérée comme une faille verticale et donc le mur du Cénozoïque, tel que modélisé à l'époque, remonte à cet endroit. Il s'agit d'un artéfact de modélisation.

Il est en effet démontré que le remplissage cénozoïque de la Dombes/Bresse plonge sous le front du Jura et le toit de l'Oligocène est sur ce secteur situé donc bien au-delà des 200 m de profondeur. Pour preuve, un peu à l'ouest des isovaleurs figurées, se trouve le champ de stockage en cavités salines d'Étrez où les dépôts oligocènes sont recouverts de près de 400 m de sables molassiques miocènes et de dépôts plio-quadernaires.

Comme pour les Dombes au front du Jura, le cénozoïque du Bas-Dauphiné plonge localement sous le Vercors et, plus à l'est, le toit de l'Oligocène est donc probablement au-delà des 200 m de profondeur.

- Au nord du seuil de Vienne, la configuration paléogéographique en bordure du paléo-haut structural formé par le panneau mésozoïque de l'Île Crémieu, est impropre à la présence de dépôts évaporitiques qui sont localisés à grande profondeur bien plus à l'ouest (Fossé de Bourg-en-Bresse). Les terrains oligocènes rencontrés à cet endroit correspondent soit à des faciès détritiques de bordure (cf. puits pétrolier Blyes 101 localisé juste à l'ouest des isovaleurs), soit à des dépôts oligocènes réduits ou lacunaires (contact direct entre Miocène post-rift et Mésozoïque)

d) Sélection des entités géologiques de couverture aux formations sujettes au processus de « dissolution »

En complément de la sélection sur les entités géologiques directement impliquées dans la cartographie de l'aléa « dissolution », une sélection (ou plutôt non-exclusion) a été opérée sur les formations de recouvrement des terrains évaporitiques triasiques (Keuper).

Dans l'emprise de la zone, les séries liasiques (malgré de fortes variations d'épaisseur à échelle régionale) sont puissantes d'au minimum une centaine de mètres. Par conséquent, au droit de certains secteurs, même si les terrains de surface sont calcaires ou marneux donc non sujets au processus de dissolution, le Keuper et ses faciès évaporitiques peuvent être rencontrés à moins de 200 mètres de profondeur.

Cette sélection complémentaire s'est faite exclusivement sur la base de critères stratigraphiques, en retenant les âges immédiatement postérieurs au Trias (« Lias », « Jurassique inférieur », « Hettangien », « Sinémurien », « Pliensbachien », « Carixien », « Domérien », ...).

e) Délimitation de polygones d'exclusion

Il s'agissait de limiter le travail SIG en excluant les surfaces non concernées par l'aléa dissolution.

En l'occurrence, ont été exclues :

- Les zones couvertes par des polygones géologiques d'âge antétriasique formant le plancher des niveaux évaporitiques du Trias ;

Exception faite des zones où les séries sont renversées (cas au front des chevauchements alpins où il reste difficile voire impossible de tenir compte à échelle régionale de la géométrie

pour chacune des écaïlles), le Trias recouvrant le substratum antétriasique a été ou décapé ou non déposé et, par conséquent, ces zones peuvent être exclues de la cartographie de l'aléa.

- Les zones couvertes par des polygones géologiques d'âge post-liasique (Bajocien et plus récents).

Régionalement, les données mentionnées sur les notices de cartes géologiques ou dans les quelques sondages de référence disponibles attestent d'une épaisseur suffisante du Lias / Jurassique inférieur pour rencontrer le Trias à moins de 200 m de profondeur.

Des sélections complémentaires ont été nécessaires pour éliminer :

- les polygones de terrains post-liasiques situés à moins de 100 m d'un polygone de Lias ;
- les polygones de terrains post-liasiques situés en contact avec un polygone de Trias.

L'idée principale de cette requête est d'exclure les zones où l'épaisseur de terrains post-triasiques peut être jugée suffisante pour considérer que les niveaux évaporitiques du Keuper ne peuvent pas être touchés à moins de 200 mètres de profondeur.

Le BRGM a choisi de le faire via une sélection sur le critère stratigraphique en excluant les zones où les terrains sont d'âge plus récent que le Lias, les séries liasiques dans l'emprise de la région (malgré de fortes variations d'épaisseur) étant d'au minimum de l'ordre de la centaine de mètres. Par conséquent, on peut considérer qu'en sélectionnant les terrains bajociens et plus récents, les zones concernées comportent au moins 150 à 200 m de couverture au-dessus du toit du Trias.

Limites et incertitudes :

A l'issue du travail réalisé, un travail plus poussé pourrait être réalisé pour affiner la précision de ces polygones d'exclusion générés sur le critère « stratigraphie plus récente que le Lias ». Il s'agirait d'examiner l'âge des formations recouvrant le Trias afin de discriminer :

- (1) *si les formations sont stratigraphiquement continues au Trias (contact Dogger - Lias) auquel cas la méthodologie appliquée se révèle valide ;*
- (2) *si les formations sont plus récentes (d'âge crétacé supérieur à paléocène pour les flyschs, d'âge tertiaire pour les formations molassiques alpines), la présence d'une discontinuité majeure induirait une érosion potentiellement importante des terrains liasiques et par conséquent réduirait l'épaisseur potentielle de terrains de couverture, rendant beaucoup moins valide la méthodologie appliquée.*

f) Définition d'un schéma structural régional en vue de sélectionner les failles impliquant potentiellement du Trias évaporitique

Ce schéma structural est apparu indispensable afin de pouvoir faire les calculs d'interpolation d'épaisseur de couverture potentielle au-dessus du Trias évaporitique et de limiter l'extension des calculs, chaque faille agissant comme une barrière.

La construction du schéma structural régional repose sur une sélection des linéaments les plus continus parmi les failles représentées sur les cartes départementales harmonisées

(échelle du 1/50 000) pour ne conserver que les accidents principaux (fronts des unités chevauchantes à vergence W) et ceux encadrant les zones où affleurent le Trias évaporitique.

L'idée était de conserver un schéma structural cohérent à l'échelle de la zone d'étude, en éliminant les petits accidents et en ne gardant que les structures majeures afin de limiter l'extension des calculs d'interpolation dans chaque domaine structural.

Attention, ce réseau de failles ne concerne que les structures « alpines » - et en particulier celles empruntant les niveaux de décollement - susceptibles d'impliquer les terrains évaporitiques triasiques (Alpes, domaine subalpin, Jura).

g) Mode opératoire à partir des données mises en forme (ArcGis et GDM)

- **Avant interpolation**

- Sélection des points sur les contacts Trias-Lias = toit vrai du Trias ;

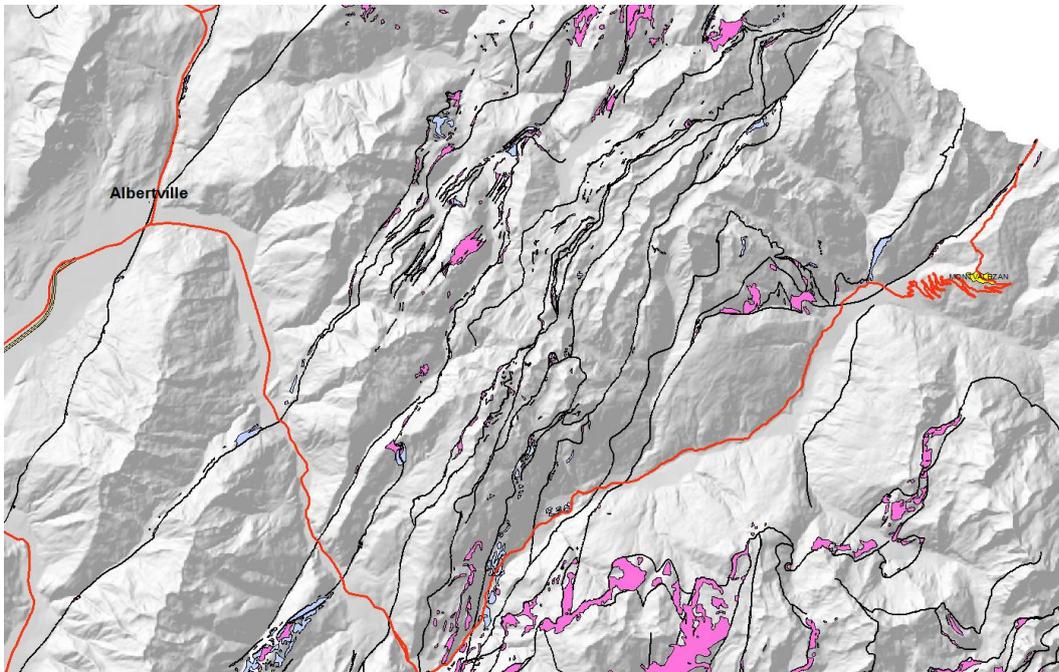


Illustration 5 : Trias (rose) et Lias (bleu clair) affleurant.

- Sur les points définissant un polygone de Trias seul, sélection de ceux qui sont à moins de 100 m d'un polygone de Lias (proche d'un contact Trias-Lias) ;
- A partir des points restants, élimination des points situés à moins de 5m d'une faille ;
- Pour les autres points situés sur les limites de polygones, sélection de tous les points situés à plus de 100 m des points déjà sélectionnés. (pts_Alti_V2.shp) ;

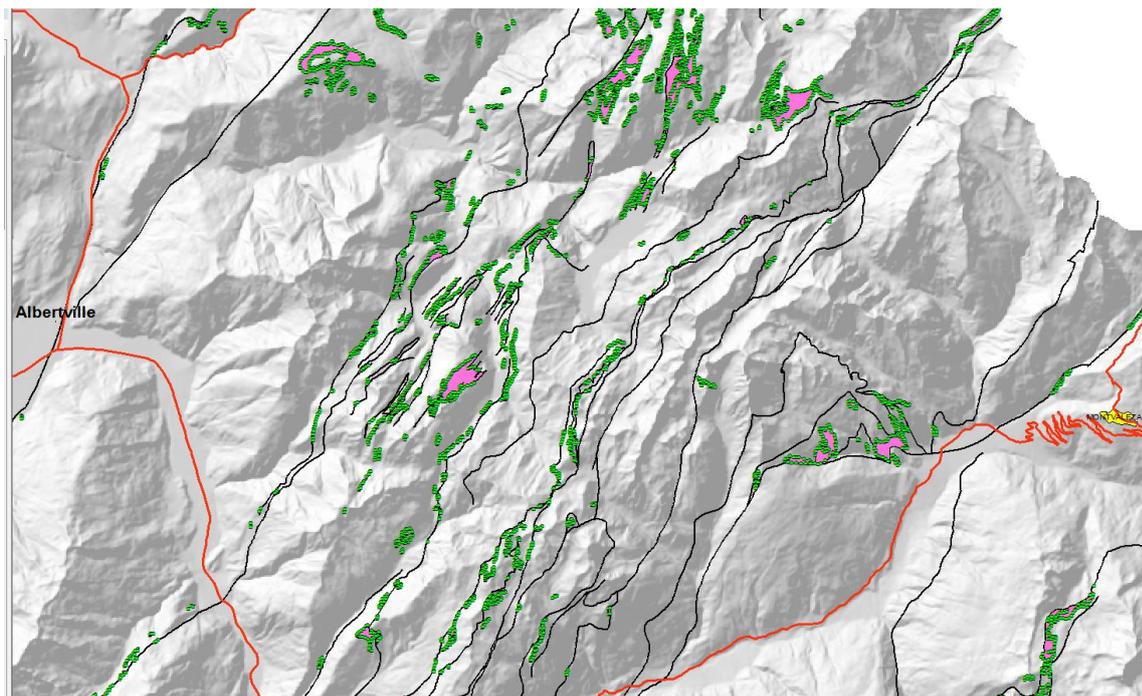


Illustration 6 : Points de contacts du Trias utilisés pour l'interpolation.

- Interpolation dans GDM de cet ensemble de points en prenant en compte le jeu de failles.

- **Après interpolation**

- Import de la grille des isohypses du toit du Trias dans ArcGIS (ToitTrias2) ;
- Calcul des isobathes : $MNT - Isohypses$ (Isob_ttrias2) en mode raster ;

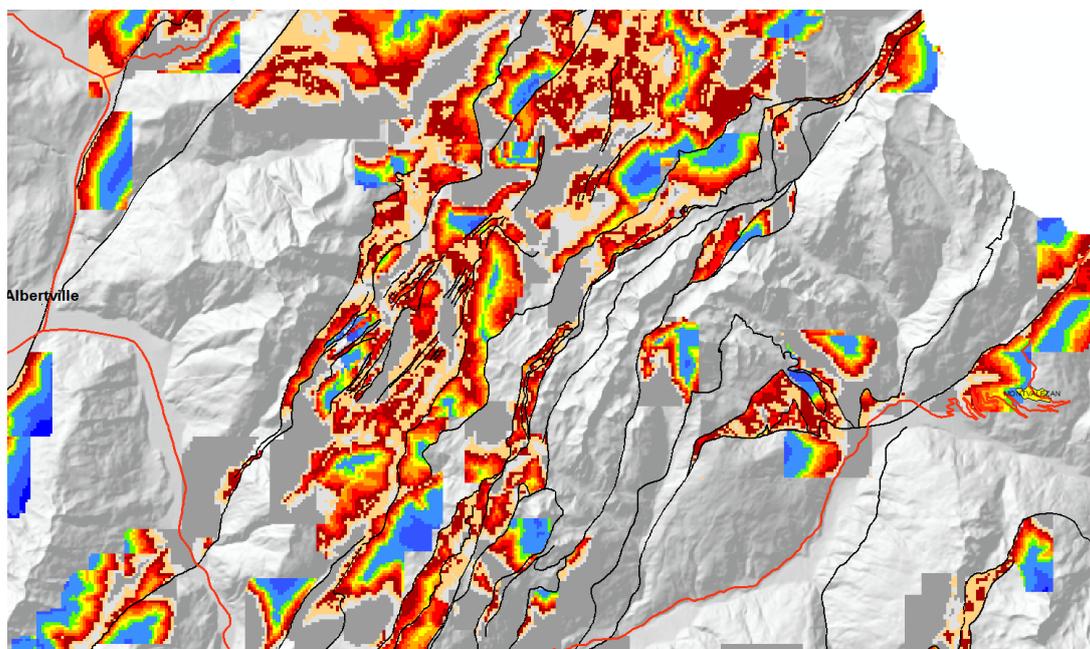


Illustration 7 : Isobathes « brutes » du toit du Trias oints de contacts du Trias utilisés pour l'interpolation.

- Sélection des isobathes comprises entre -50 m et 250 m (sel_isobV2) en mode raster ;
- Conversion de la grille raster en polygones (risk_trias2) = zone à forte probabilité de rencontrer du Trias entre 0 et 200 m de profondeur ;
- Application du masque des formations ante-triasiques (mask_antetrias) pour éliminer des extensions d'interpolation au-delà du domaine où elles peuvent être présentes (Risk_trias20)
- Union avec les contours du Trias (Risk_trias21) ;
- Dissolve pour unifier ces polygones (Risk_trias22) ;
- Application du filtre des altitudes supérieures à 2000 m pour éliminer les zones en dehors de la zone d'intérêt et rajout des stations de ski d'altitude.

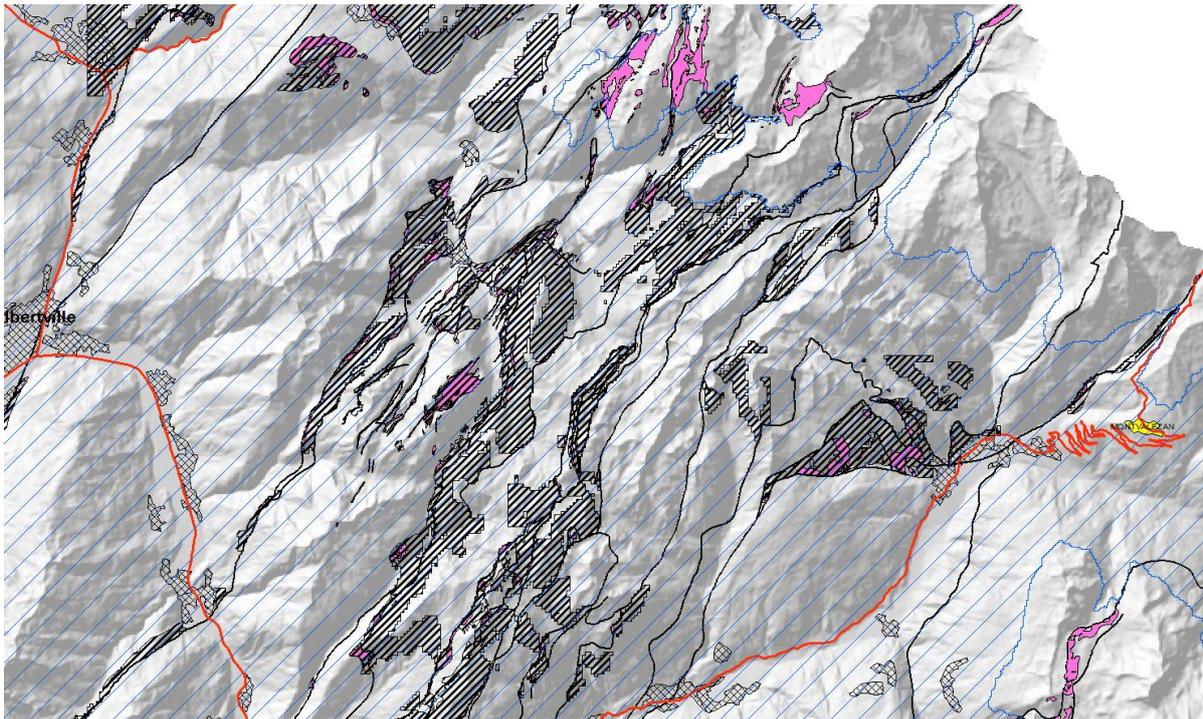


Illustration 8 : Carte de l'aléa « Trias évaporitique » entre 0 et 200 m (hachuré épais), zone d'altitude inférieure à 2000 m (hachuré fin bleu, zones urbanisées (croisillons) et stations d'altitude (jaune). Trias affleurant en rose.

h) Découpage en intervalles de profondeur (0-50 m, 50-100 m et 100-200 m)

La construction des trois couches correspondant aux intervalles de profondeur 0-50 m, 50-100 m et 100-200 m s'est faite sur la base des isobathes du toit des formations triasiques potentiellement salifères estimées à partir de la différence entre le MNT et l'interpolation des altitudes du toit des affleurements (Isob_ttrias2).

A partir de cette grille des isobathes du Trias potentiellement salifère, ont été sélectionnés les pixels correspondant aux 3 intervalles de profondeur. Les pixels sélectionnés ont été par la suite converti en polygones puis intersectés avec le polygone correspondant à l'intervalle de profondeur 0-200 m (risk_trias2).

Au final, le travail réalisé a donc consisté en un simple redécoupage des polygones correspondant à l'intervalle de profondeur 0-200 m en trois sous-polygones.

Pour la tranche de profondeur 0-50 m, les polygones de Trias affleurant issus de la carte géologique ont été rajoutés en excluant ceux localisés à plus de 2000 m d'altitude.

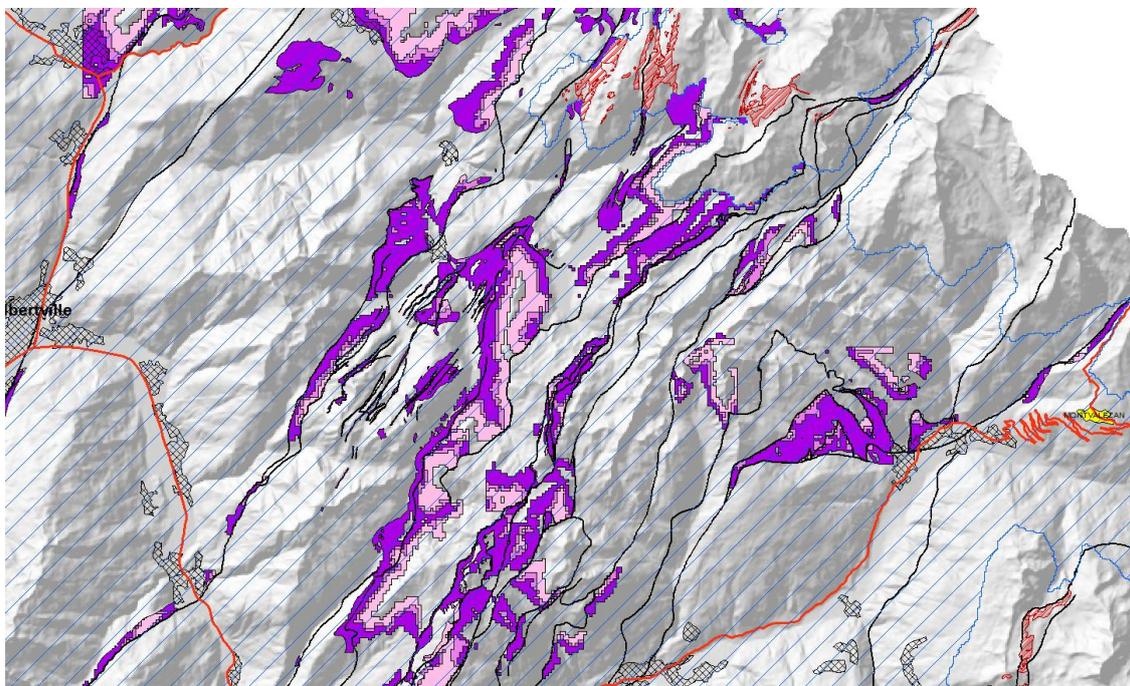


Illustration 9 : Carte de l'aléa « Trias évaporitique » entre 0 et 50 m (violet foncé), entre 50 et 100 m (violet clair), entre 100 et 200 m rose clair), zone d'altitude inférieure à 2000 m (hachuré fin bleu, zones urbanisées (croisillons) et stations d'altitude (jaune). Trias affleurant au-dessus de 2000 m (hachuré orange).

Limites et incertitudes :

Pour la cartographie 10 – 200 m, on reste assez conservateur, il n'en n'est plus de même pour les tranche 0-50 m et 0 – 100 m. Et ce, pour plusieurs raisons :

- On travaille à l'échelle de la chaîne, mais avec des données issues de la carte géologique à 1/50 000 harmonisée.
- Avec le jeu de données utilisé, une maille de 100 m est d'une précision un peu illusoire à l'échelle de la zone de travail. En se déplaçant à l'intérieur du pixel de 100 m de côté, on peut avoir une différence d'altitude sensible dans les Alpes et la résolution devient alors insuffisante pour caractériser la tranche de profondeur 0-50 m.
- La grille est estimée par interpolation, calcul qui peut induire des artefacts qui seront d'autant plus sensibles que la précision demandée est importante.

Compte-tenu de ces limites et incertitudes, et au regard des résultats cartographiques obtenus, montrant de faibles différences de surface de zone rouge observées entre les trois profondeurs cartographiées (7400 mailles pour 10-50 m, 7846 pour 10 – 100 m, 8543 pour 10 – 200 m), le choix a été fait de ne prendre que le zonage de la carte 10 - 200 m pour

réaliser la carte finale réglementaire, pour plus de sécurité. Les 3 cartes par tranche de profondeur sont cependant présentées ci-après.

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

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

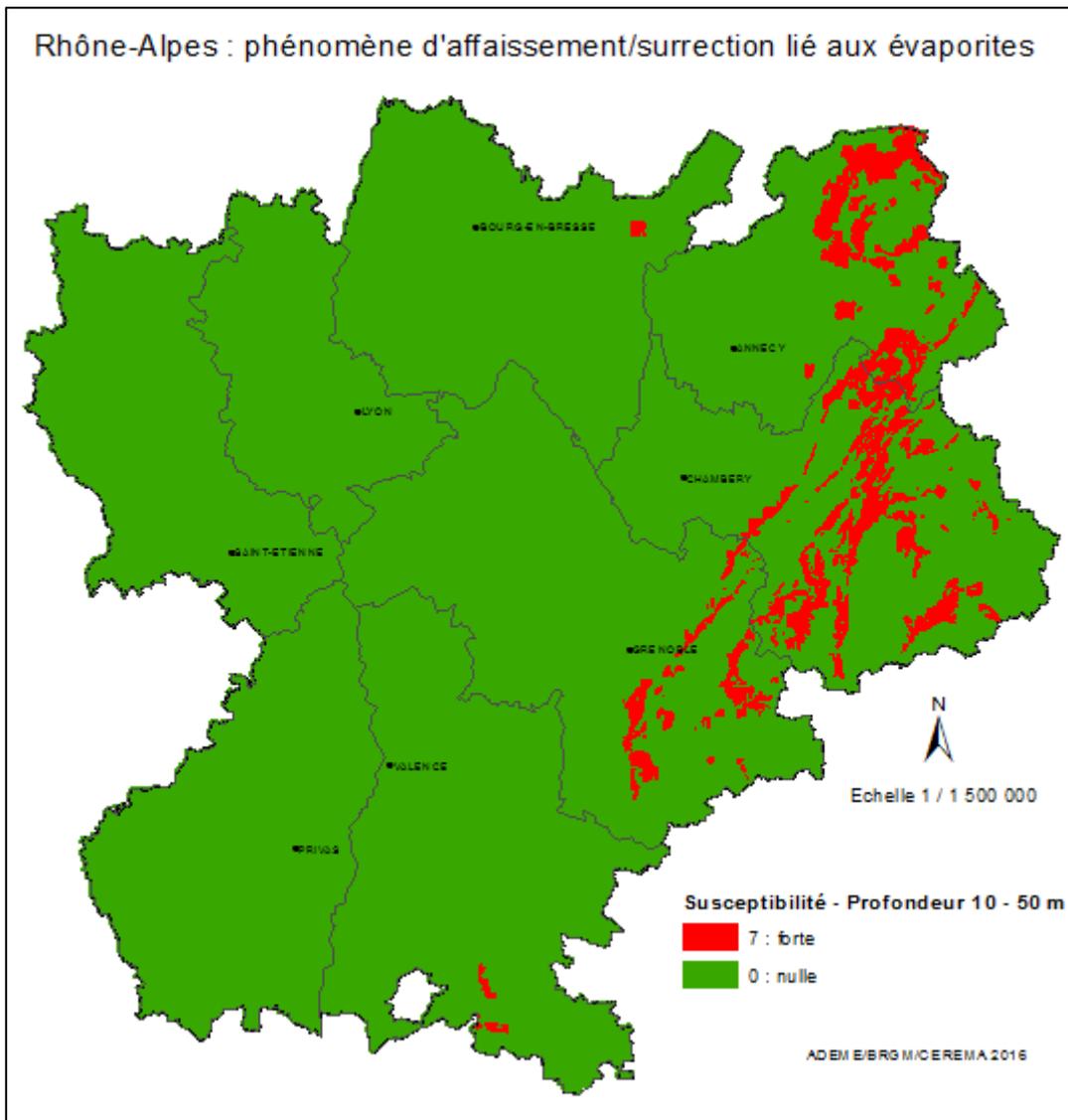


Illustration 10 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/surrection lié aux évaporites » en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 – 50 m.

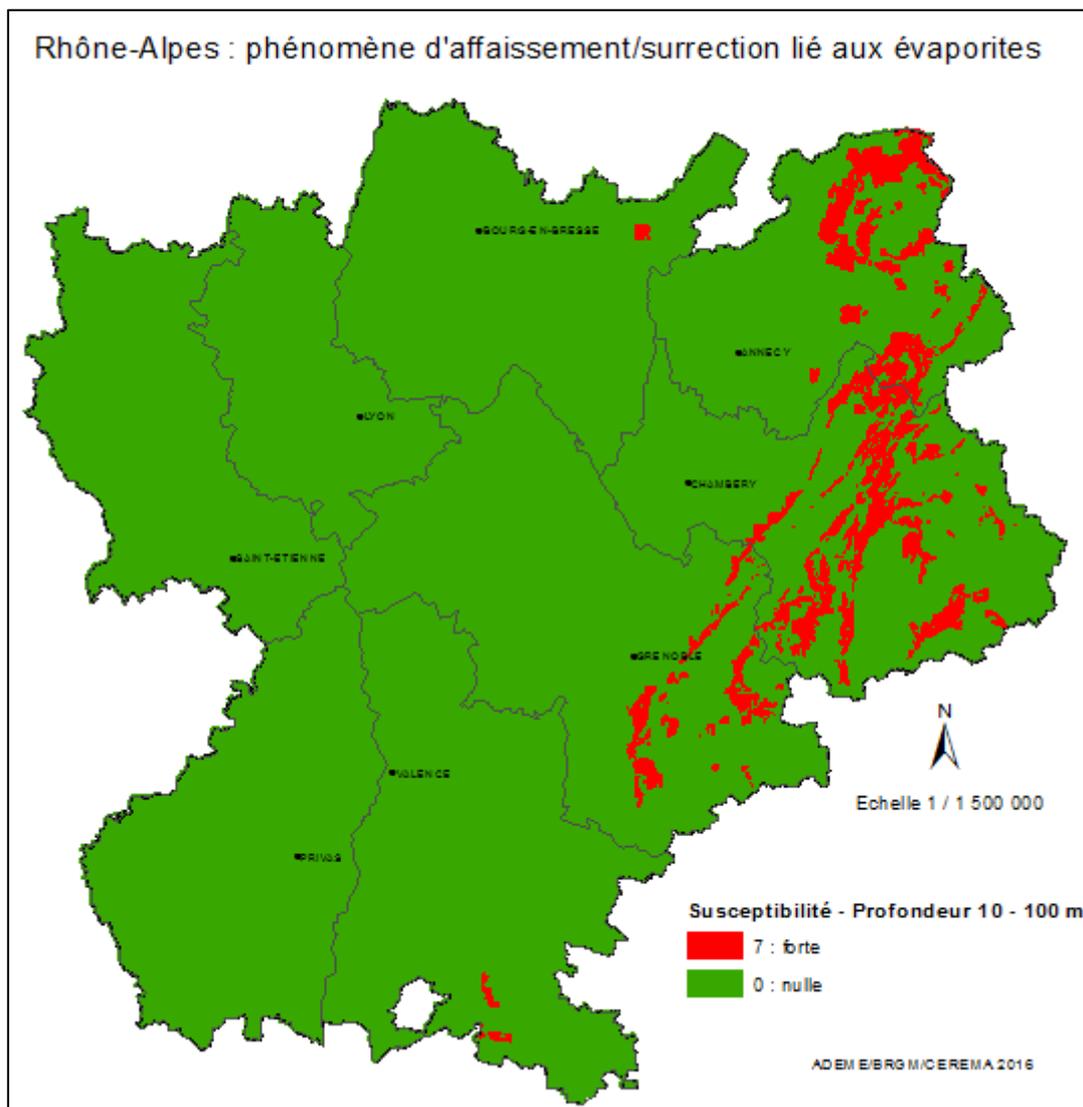


Illustration 11 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/surrection lié aux évaporites » en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 – 100 m.

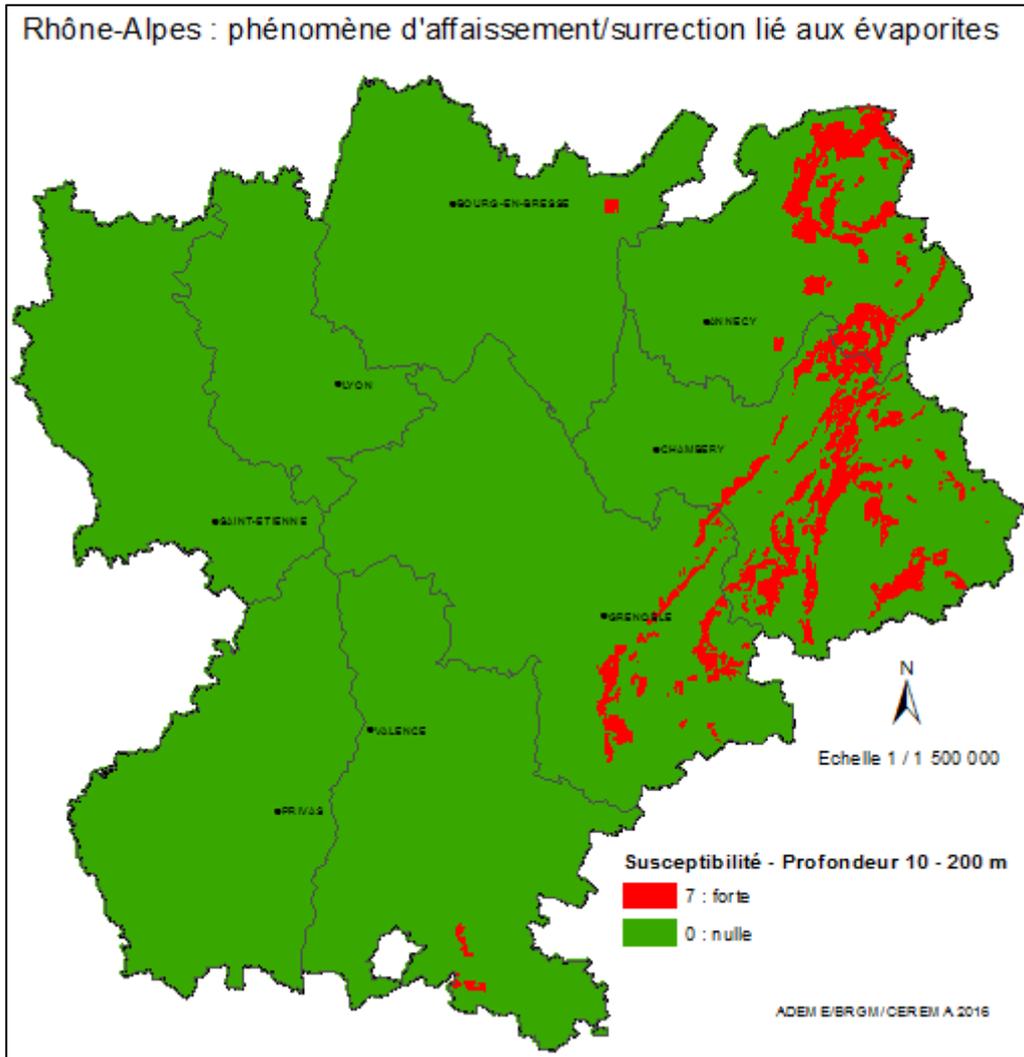


Illustration 12 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/surrection lié aux évaporites » en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 – 200 m.

Comme précisé en § 4.1.3, le choix a été fait de ne prendre que le zonage de la carte 10 - 200 m pour réaliser la carte finale réglementaire, pour plus de sécurité.

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

→ Compte-tenu de la qualification spécifique du phénomène adoptée en Rhône-Alpes (2 niveaux de susceptibilité, § 4.1.2) et des valeurs fournies par le guide (0, 1, 5 et 7), nous avons retenu en Rhône-Alpes les valeurs suivantes :

Susceptibilité	Nulle	Forte
Valeur du niveau	0	7

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 sur toute la région Rhône-Alpes. Sur la région Rhône-Alpes, il existe plusieurs types de cartographies :
 - les cartes d'aléas ou réglementaires des PPR,
 - les cartes d'aléas hors PPR,
 - des cartes d'aléas départementales à l'échelle du 1/50 000.
- les événements ponctuels recensés essentiellement à partir de la base de données du BRGM (Bdcavité).

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,
 - affaissement progressif,
 - mouvement résiduel.
- les formations sensibles au phénomène de la karstification (calcaires).

4.2.3. Cartes d'aléas (PPR et autres)

a) Acquisition des données

L'acquisition des données des cartes d'aléas est à peu près identique à celle des glissements de terrain. Les différentes données acquises des cartes d'aléas ou réglementaires ont été triées et homogénéisées. A la différence des glissements, certaines données ont pu être exploitées pour les départements de la Haute-Savoie, de la Drôme et de la Savoie :

Pour la Haute-Savoie, la DDT a fourni :

- un document synthétique « mouvement de terrain » recensant les aléas affaissement/effondrement : 74_ALEA_MOUVEMENT_DE_TERRAIN_SYNTHESE.TAB

- une carte départementale cavité_74.TAB,
- une couche d'aléas forts « mouvement de terrain » de PPR : aleas_fort_mouvement_de_terrain__aleas.TAB. Cette couche chevauche les deux précédentes, et n'a pas été prise en compte.

Pour les départements de la Drôme et de la Savoie, nous avons récupéré le zonage réglementaire des PPR qui peut dans le cas des cavités être utilisé. En effet nous n'avons pas besoin du niveau de l'aléa mais du type de phénomène.

Les formations susceptibles de contenir des cavités ont été fournies par le BRGM le 07/08/2015 à partir de la BDLisa : « BDLISAV1_SURCOUCHE_KARST_RHALiza ».

b) Traitement des données

Les structures des couches sont harmonisées pour chaque département afin de pouvoir traiter les diverses sources. Elles sont intersectées entre elles afin d'éliminer les chevauchements et de ne conserver que la donnée la plus précise (un PPRN est plus important/précis que la carte départementale).

Enfin, les tables sont nettoyées de toutes anomalies topologiques avec le logiciel Grass, puis fusionnées pour ne former qu'une seule couche d'aléa « cavité hors mine » afin de faciliter le traitement avec la grille finale.

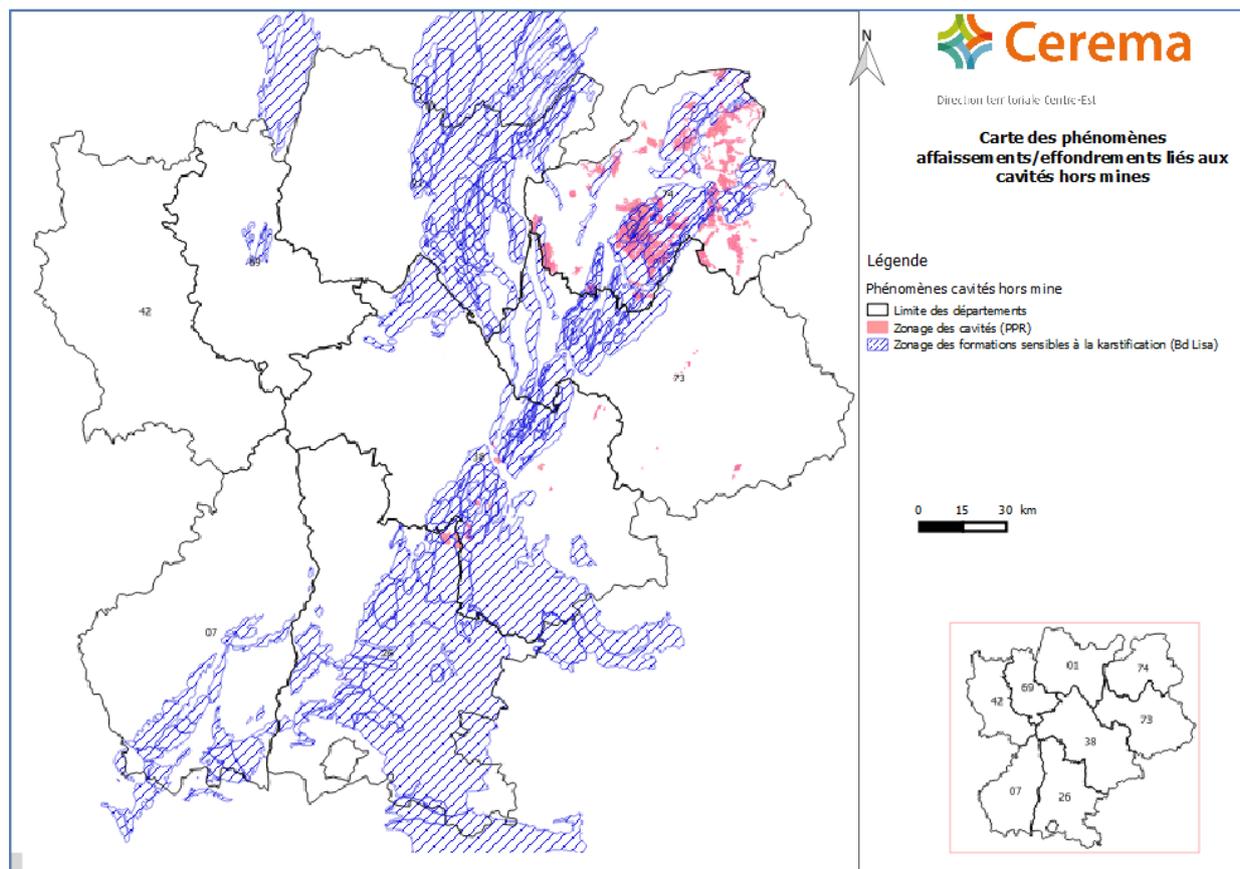
Les données du BRGM sur les formations calcaires ont été traitées de la façon suivante : les mailles de la grille finale recoupant cette couche ont été affectées d'une susceptibilité de (1) comme le préconise la méthodologie. En effet, dans le cas où aucune cavité n'a été recensée ou qu'aucun aléa n'existe sur cette zone, si la présence d'une formation géologique favorable (carbonatée/karst) est présente, alors la susceptibilité sera considérée comme faible (1). Les données qui chevauchent cette couche, qu'elle soit du type ponctuel ou zonage, sont quand même prises en compte car c'est le niveau d'aléa le plus fort qui est conservé.

c) Résultats

Si plusieurs niveaux d'aléa se superposent sur une maille donnée, seul le niveau d'aléa le plus fort sera retenu pour réaliser la grille finale.

Niveaux aléa (Niva_final)/Susceptibilité :	Nul	Faible	Moyen	Fort
<i>Cartes d'aléas exploitables : Niva_PPR</i>	0	1 mouvement résiduel	5 affaissement progressif	7 effondrement localisé, généralisé, en masse
<i>Formation géologique susceptible à la karstification</i>	0	1	-	-

Illustration 13 : Niveaux des aléas des phénomènes liés aux cavités hors mine (zonage)..



4.2.4. Données ponctuelles

a) Acquisition des données

Les données ont été extraites en fichier .csv via « bdcavite.net » lorsque ce site était encore actif au 15 janvier 2015. Depuis cette date, les données sont disponibles sur <http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/cavites-souterraines>. Ces données prennent en compte les carrières souterraines.

D'autres événements localisés en région montagneuse ont été récupérés à partir de la base de données du RTM : « BD-RTM Événements ». Quelques difficultés d'acquisition des données ont été rencontrées telles que :

Source	Problème	Etat
Bdcavité 01	<u>Points hors limite :</u> RHA0000009 RHA0000009415 RHA0000009517 RHA00000091813 RHAAA00001371	modifié
BD RTM - affaissement	Tous les points n'ont pas de XY (23/65) + pas de précision (aucun ne chevauche la Bdcavité ni Bdmvt)	trié

Illustration 15 : Difficultés rencontrées pour les données des cavités hors mine (ponctuel)..

b) Traitement des données

Dans un premier temps, l'ensemble de ces données a été agencé selon une structure que nous nous sommes imposés pour tous les phénomènes. Dans un second temps, nous avons appliqué le tampon selon les précisions de chaque événement conformément au guide méthodologique.

Les données du RTM n'ont pas de précision définie. Nous avons donc assigné par défaut une correspondance entre quantitatif/qualitatif :

- mètre = 1 m = précis
- décamètre = 10 m = approché (BDRTM)
- hectomètre = 100 m = imprécis
- kilomètre = 1000 m

Les enregistrements mentionnant une précision « milieu de rue » (22 au total) ont été supprimés.

c) Résultats

A partir de la fonction « COUNT » dans QGis, le nombre de cavités par maille est calculé afin d'en déduire la susceptibilité selon le guide :

Nombre d'événement (Nb_cavite)	Niveaux aléa/susceptibilité (Niva_cav)
> 8	Fort : 3
de 5 à 8	Moyen : 2
de 2 à 4	Faible : 1
de 0 à 1	Nul : 0

Illustration 16 : Niveaux des aléas des phénomènes liés aux cavités hors mine (ponctuel)..

Le nombre de cavités par maille 500 x 500 m varie de 0 à 78.

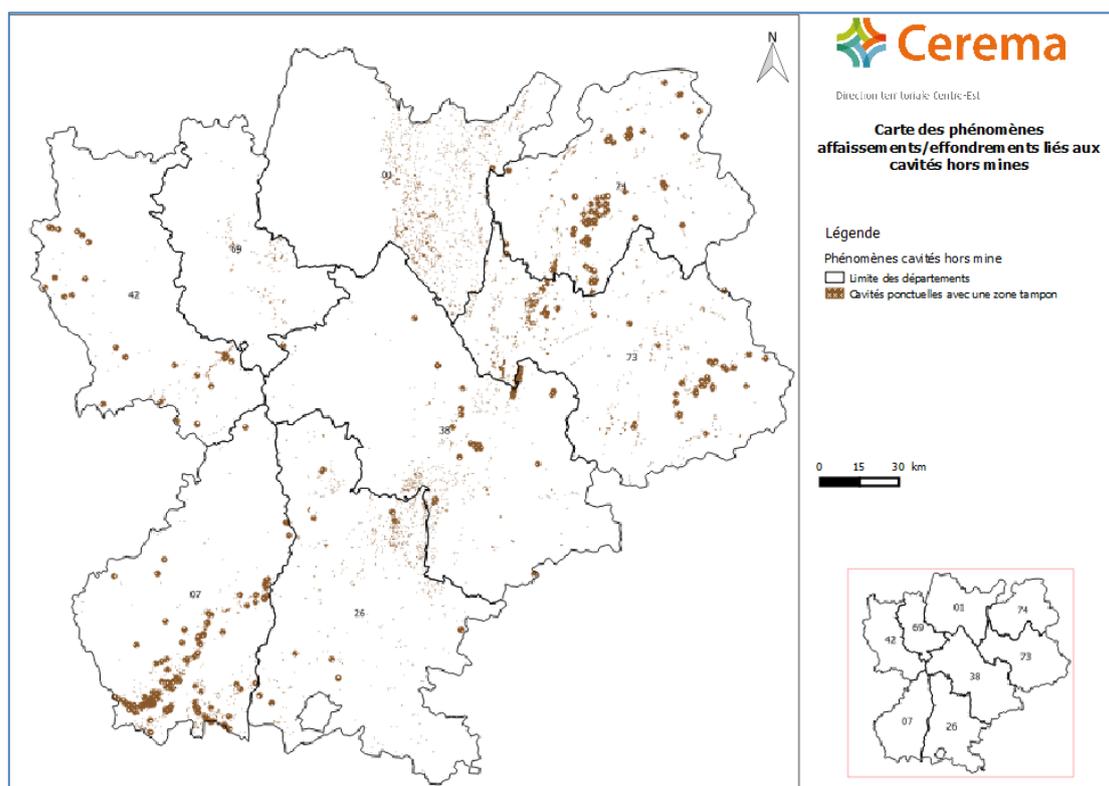


Illustration 17 : Cartographie des cavités ponctuelles avec leur tampon.

4.2.5. Synthèse des données des phénomènes liés aux cavités (hors mines)

La grille globale du phénomène « cavité » est la fusion des trois couches obtenues précédemment avec la grille finale (jointure des 3 couches avec la grille vierge) :

- « zonage_cavite_fusionRA » (zonages, cartes aléas et PPR),
- « tampon_cavite_ra » (ponctuels),
- « bdlisa_karst » (formations géologiques sensibles à la karstification).

Lorsqu'il y a superposition de données, c'est l'aléa le plus fort affectant une maille qui est retenu, avec une priorité pour le niveau de l'aléa donné par une carte d'aléa (Niva_PPR), donnée plus précise.

La grille obtenue s'intitule : GTH_RHA_Cavite_v3, identique pour les trois tranches de profondeur (0-50, 0-100, 0-200 m) car nous n'avons aucune donnée précise sur la profondeur des événements cavités. Les données renseignées pour chaque maille sont les suivantes :

- susceptibp : les valeurs de cette colonne correspondent au niveau de l'aléa final retenu : Niva_final selon les valeurs du guide.

Les valeurs de niveau d'aléa/susceptibilité fournies par le guide (0, 1, 2, 3, 5 et 7) ont été retenues en Rhône-Alpes :

susceptibp	Niva_final	origine
7	Fort	Carte aléa/PPR
5	Moyen	Carte aléa/PPR
3	Fort	Bdcavité
2	Moyen	Bdcavité
1	Faible	Bdlisa Bdcavité et Bdlisa
0	Nul	-

Illustration 18 : Susceptibilités des phénomènes liés aux cavités hors mine de la grille finale.

- Originé : Cerema, organisme qui traite cette donnée
- Commentaires : origine de la donnée,
 - o soit la carte d'aléa (carte_alea_PPR ou carte départementale),
 - o soit une donnée ponctuelle issue de l'une des deux bases de données exploitées (BDcavité, BD-RTM),
 - o soit la formation géologique sensible à la karstification (BD_lisa).
- PPR : prise en compte ou non de la carte d'aléa du PPR ou de la carte départementale :
 - o oui => 1
 - o non => 0
- Niva_PPR : niveau de l'aléa retenu (à partir de la carte d'aléa), en fonction du type de phénomène (effondrement localisé, généralisé, en masse, affaissement progressif, mouvement résiduel de faible ampleur) selon le guide, voir Tableau 7.
- Nb_cavite : les valeurs de cette colonne correspondent au nombre d'événements historiques issus des bases de données BDcavités et BDRTM (variant de 0 à 78 événements par maille).
- Niva_cav : c'est le niveau d'aléa correspondant aux différentes tranches d'événements selon le guide, voir tableau 9.
- karst : présence d'une formation sensible à la karstification à partir de la BD_lisa,
 - o oui => 1
 - o non => 0
- Niva_karst : le niveau de l'aléa associé à la présence d'une formation géologique sensible à la karstification :

Présence :	Oui	Non
Niveau aléa (Niva_karst) :	1	0

Illustration 19 : Niveaux des aléas liés à la présence de formation sensible à la karstification.

- Niva_final : c'est l'aléa le plus élevé parmi Niva_PPR, Niva_cav, Niva_karst qui est retenu.

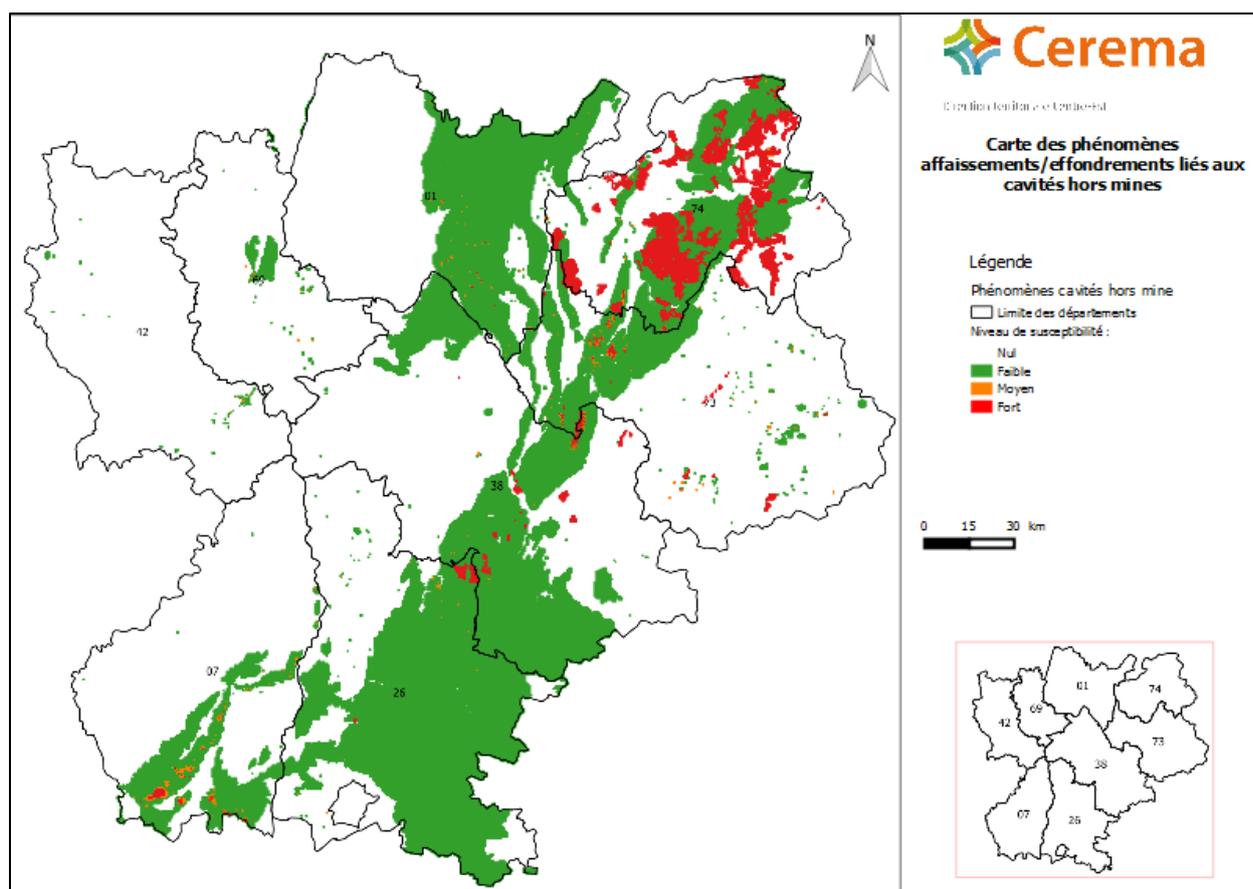


Illustration 20 : Cartographie générale susceptibilités/niveaux d'aléa des phénomènes liés aux cavités hors mine.

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

En raison de l'absence de données sur la profondeur des cavités, la susceptibilité du phénomène « affaissement/surrection lié aux cavités non minières » a été cartographiée pour une seule gamme de profondeur : 0 – 200 m.

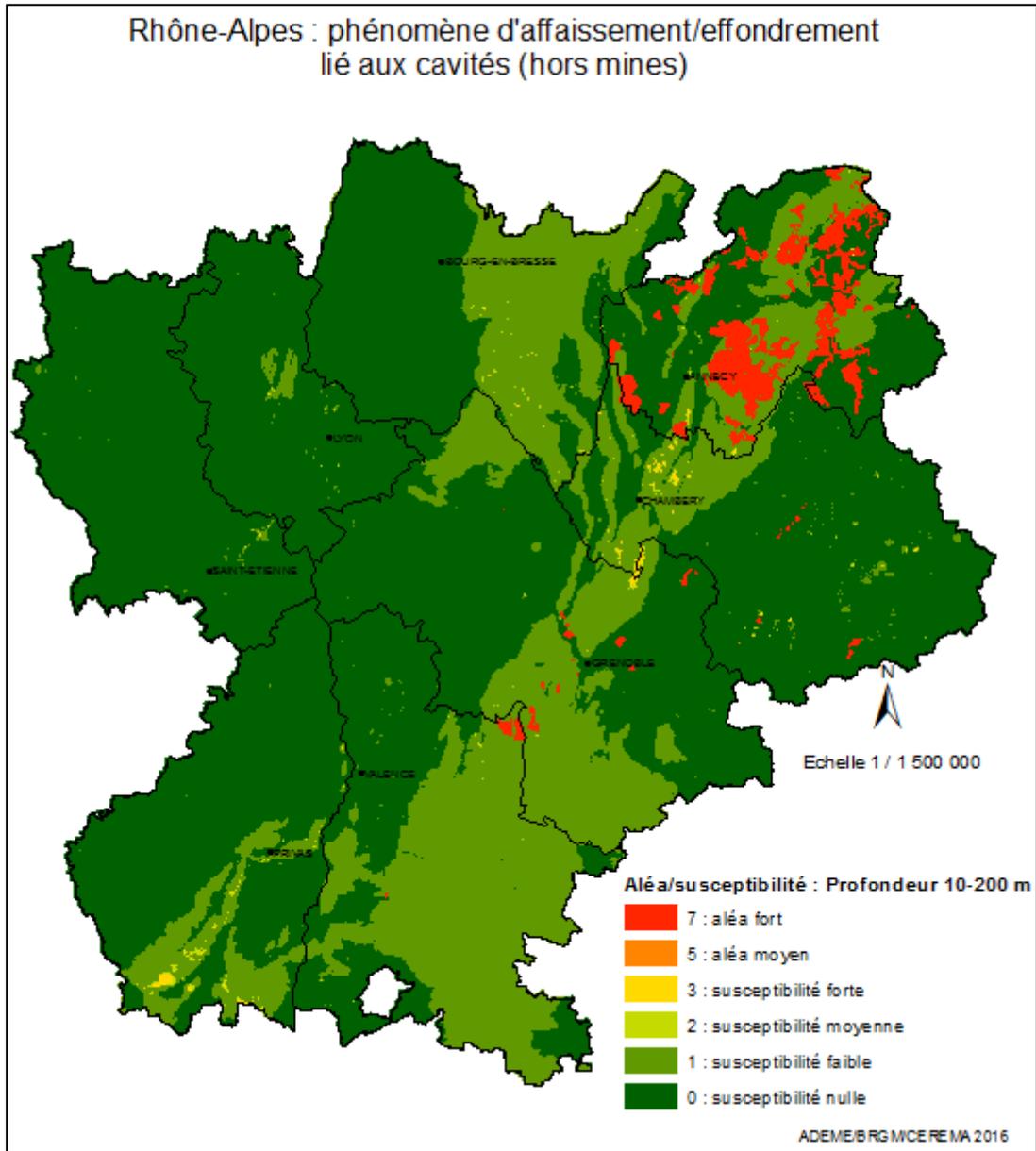


Illustration 21 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) » en Rhône-Alpes.

4.2.7. 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) ont été retenues en Rhône-Alpes :

Susceptibilité	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Valeur du niveau lorsqu'une carte d'aléa est disponible	0	1	5	7
Valeur du niveau à partir de la BdCavités	0	1	2	3

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 la foration au cours de la mise en place du dispositif soit, sur toute la durée de vie de l'ouvrage, par la mise en communication d'eau de surface ou d'aquifères superficiels ou profonds avec les cavités à la faveur d'ouvrages souterrains mal réalisés ou difficilement réalisables dans ce contexte.

4.3.2. Qualification du phénomène

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

- les cartes d'aléas réalisées sur toute la région Rhône-Alpes. Sur la région Rhône-Alpes, il existe plusieurs types de cartographies :
 - les cartes d'aléas ou cartes réglementaires des PPR,
 - les cartes d'aléas hors PPR,
- les événements ponctuels recensés essentiellement à partir de la base de données en ligne SIG Mines France « Mines et Exploitations ».

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.

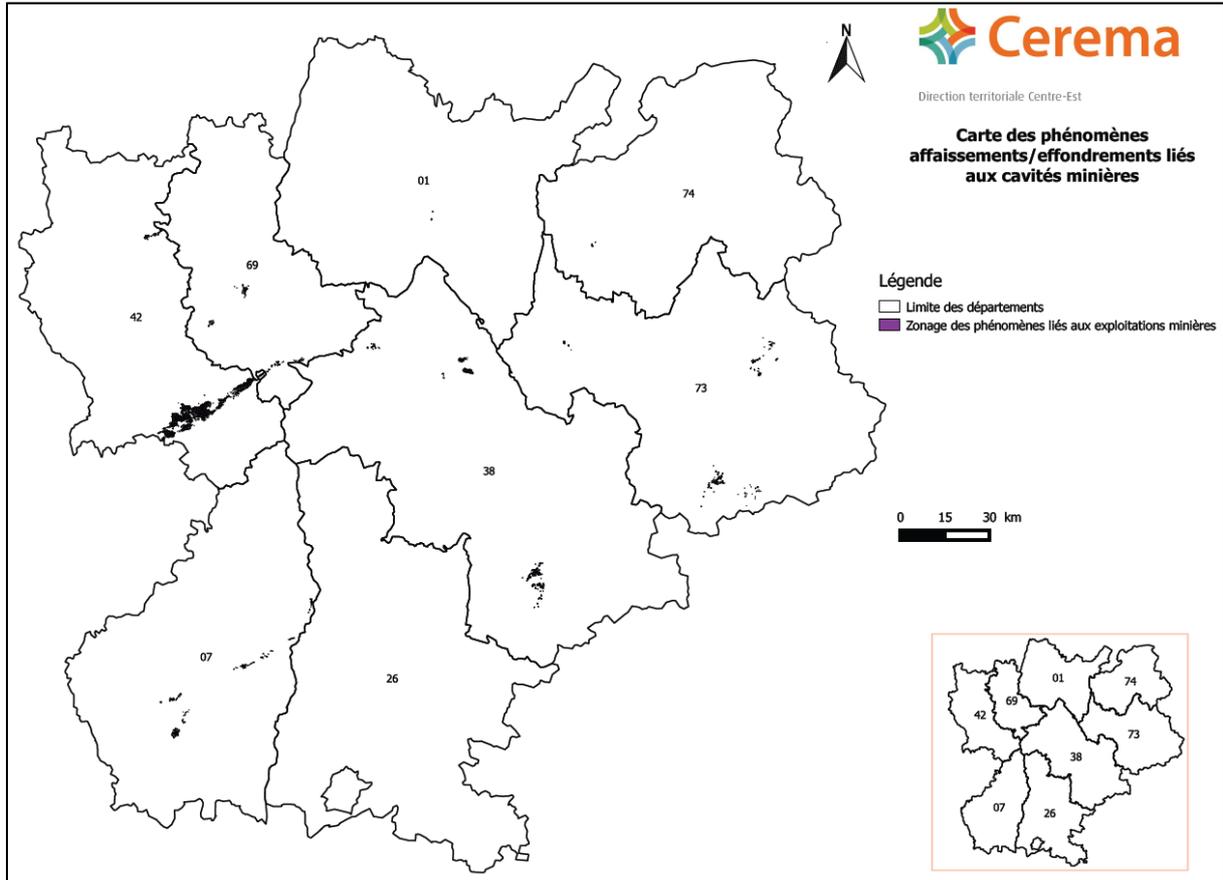


Illustration 22 : Cartographie des aléas liés aux cavités minières (PPRM).

4.3.3. Cartes d'aléas (PPR et autres)

a) Acquisition des données

Les principales données ont été transmises par :

- la DREAL Rhône-Alpes (sous format vecteur .tab et .dwg),
- le site GéorhônAlpes sur lequel les données sur le type d'aléa ne sont pas différenciées, et les données fournies ne permettent pas des traitements du fait de leur format (téléchargeable ou WFS). Les enveloppes des aléas ne sont pas différenciées conformément au guide méthodologique.

Il a été établi des listes de communes ayant fait l'objet d'un PPRM ou d'une carte d'aléas miniers. Au 10 avril 2015, l'état des données était le suivant :

nombre de document officiel sur les risques cavité minière:

cerema

N°	NOM DEPART	EXISTANT	DISPONIBLE	MANQUANT	
01	AIN	3	1	2	St Jean le Vieux + Chanay
07	ARDECHE	8	8	0	
26	DROME	0	0	0	
38	ISERE	16	16	0	
42	LOIRE	30	30	0	
69	RHONE	20	18	2	LeBreuil + Chessy
73	SAVOIE	17	17	0	
74	HTE SAVOIE	3	1	2	Franc lens + Challonges
total Rhône Alpes		97	91	6	6,19% manquant

Illustration 23 : Etat des données des cartes d'aléas miniers en région Rhône-Alpes.

b) Traitement des données

Après avoir vérifié et défini le bon système de coordonnées (Lambert RG93) et de référence (SCR), l'harmonisation des données a été exécutée afin de fusionner les couches entre elles, donnant la couche « EDA_ra_v2.shp ». Cette manipulation permet de simplifier le traitement sur la grille finale. En effet, la caractérisation du phénomène se faisant sur sa nature, on peut négliger les chevauchements car ils seront traités via les pondérations.

c) Résultats

À chaque phénomène minier est associé un niveau d'aléa et une pondération, on les rappelle ici :

Niveaux aléa (Niva_final)/Susceptibilité :	Nul	Faible	Moyen	Fort
<i>Cartes d'aléas exploitables :</i>	0	1	5	7
		Tassement Mouvement résiduel de faible ampleur	Affaissement progressif	Effondrement localisé, généralisé, en masse

Illustration 24 : Niveaux des aléas des phénomènes liés aux cavités minières (zonage) pour la tranche 0-50 m.

Lorsqu'une maille présente plusieurs niveaux d'aléas, c'est l'aléa le plus fort qui est conservé pour la grille finale.

A partir de la méthodologie, le phénomène « effondrement » n'est pris en compte que sur la tranche 0-50 m.

Pour les tranches 50-100 m et 100-200 m nous aurons :

Niveaux aléa (Niva_final)/Susceptibilité :	Nul	Faible	Moyen
Cartes d'aléas exploitables :	0	1 Tassement Mouvement résiduel de faible ampleur	5 Affaissement progressif

Illustration 25 : Niveaux des aléas des phénomènes liés aux cavités minières (zonage) pour les tranches 50-100 m et 100-200 m.

4.3.4. Données ponctuelles

Les événements recensés ont été récupérés à partir de la base de données « BD SIG Mines France - Mines et Exploitations ». Ces données ont été extraites le 15/01/2015.

a) Acquisition des données

L'export d'un fichier texte (.csv) a permis l'import des données sous QGIS. Nous avons vérifié le système de coordonnées de référence et la validité des points (coordonnées géographiques cohérentes selon la commune de localisation, par exemple). Cela a permis d'identifier un point « incohérent » dont les coordonnées ne coïncident pas avec les limites de la commune (n° 1791 sur la commune de Propières dans le département du Rhône). Ce point a été supprimé.

b) Traitement des données

Selon la méthodologie, une zone tampon de 5 000 m a été créée autour de chaque point. Chaque point est donc converti en une surface. Lorsqu'une surface « ponctuelle » intersecte une zone issue d'une carte d'aléa, c'est la dernière qui est conservée. Ces données sont assemblées dans la table « tampon_sigmine_ra_v2.shp ».

Il est attribué une valeur 3 (aléa faible) à toutes ces zones tampons, sans différenciation du type de phénomène (conformément au guide méthodologique). Aucun niveau moyen ou fort ne sera attribué aux « zones tampons ».

c) Résultats

Une seule susceptibilité sera attribuée aux événements ponctuels liés aux exploitations minières.

Niveaux aléa (Niva_final)/Susceptibilité :	Nul	Faible	Moyen	Fort
Présence d'événements « Sigmines »	0	3	-	-

Illustration 26 : Niveau de l'aléa lié aux exploitations minières (ponctuel).

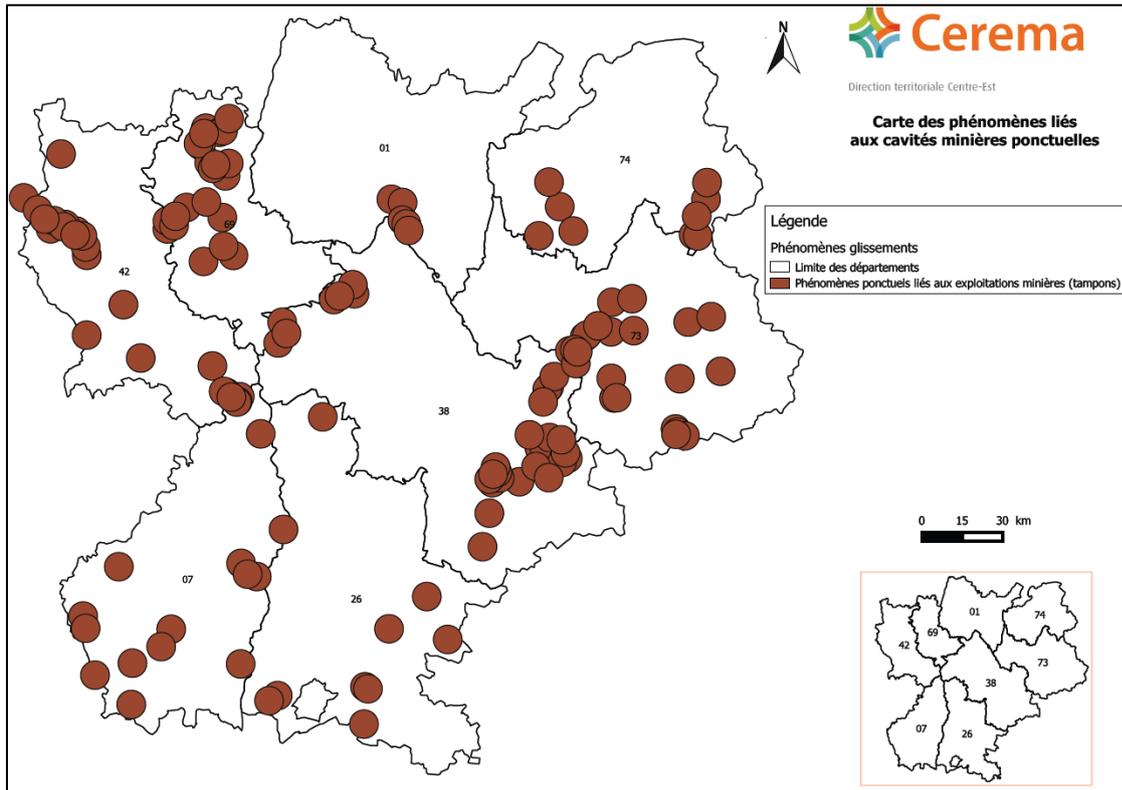


Illustration 27 : Cartographie des phénomènes ponctuels liés aux exploitations minières avec la zone tampon.

4.3.5. Synthèse des données des phénomènes liés aux cavités minières

La grille globale des phénomènes « liés aux exploitations minières » est la fusion des trois couches obtenues précédemment avec la grille finale (jointure des 2 couches et de la grille vierge) :

- « EDA_ra_v2 » (zonage, cartes aléas et PPRM)
- « tampon_sigmine_ra_v2 » (ponctuel),

Lorsqu'il y a superposition de données, c'est l'aléa le plus fort qui affecte une maille qui est retenu, avec une priorité pour le niveau de l'aléa donné par une carte d'aléa (« effondremt », « affaissemnt », « tassemt »), donnée plus précise.

Deux grilles différentes ont été construites selon la profondeur, car les effondrements ne seront pris en considération que dans la tranche 0-50 m :

- GTH_RHA_Mine_0-50
- GTH_RHA_Mine_0-100,
- GTH_RHA_Mine_0-200.

Les données renseignées pour chaque maille sont les suivantes :

- susceptibp : les valeurs de cette colonne correspondent au niveau de l'aléa final retenu : Niva_final selon les valeurs du guide.

susceptibp	Niva_final	origine
7	Fort	Carte aléa/PPRM
5	Moyen	Carte aléa/PPRM
3	Faible	Sigmines
1	Faible	Carte aléa/PPRM
0	Nul	-

Illustration 28 : Susceptibilités des phénomènes liés aux exploitations minières de la grille finale.

- Originé : organisme traitant la donnée, c'est-à-dire le Cerema
- Commentaires : origine de la donnée,
 - soit la carte d'aléa (carte_alea_PPRM),
 - soit une donnée ponctuelle issue de la base de données exploitées (Sigmines),
- Sigmine : lorsque la donnée est issue de cette base, la valeur 3 est attribuée à la maille,
- effondremt : à partir de la carte d'aléa existante, si l'aléa effondrement est reconnu, il est attribué à la maille la valeur 7,
- affaissemnt : à partir de la carte d'aléa existante, si l'aléa affaissement est reconnu, il est attribué à la maille la valeur 5,
- tassemt : à partir de la carte d'aléa existante, si l'aléa tassement est reconnu, il est attribué à la maille la valeur 1,
- Niva_final : c'est l'aléa le plus élevé parmi Sigmines, effondremt, affaissemnt, tassemt qui est retenu, voir tableau 16.

Il faut noter que dans la région Rhône-Alpes, les exploitations minières de grande ampleur recouvrent principalement le bassin houiller de Saint-Etienne dans le département de la Loire.

Pour les autres départements, il s'agit généralement de petites exploitations, peu étendues et à de faibles profondeurs (<50 m). Les zones tampon de 5 000 m autour de chaque exploitation recueillie dans la base de données Sigmines du BRGM semblent prendre beaucoup d'importance par rapport aux données des PPRM.

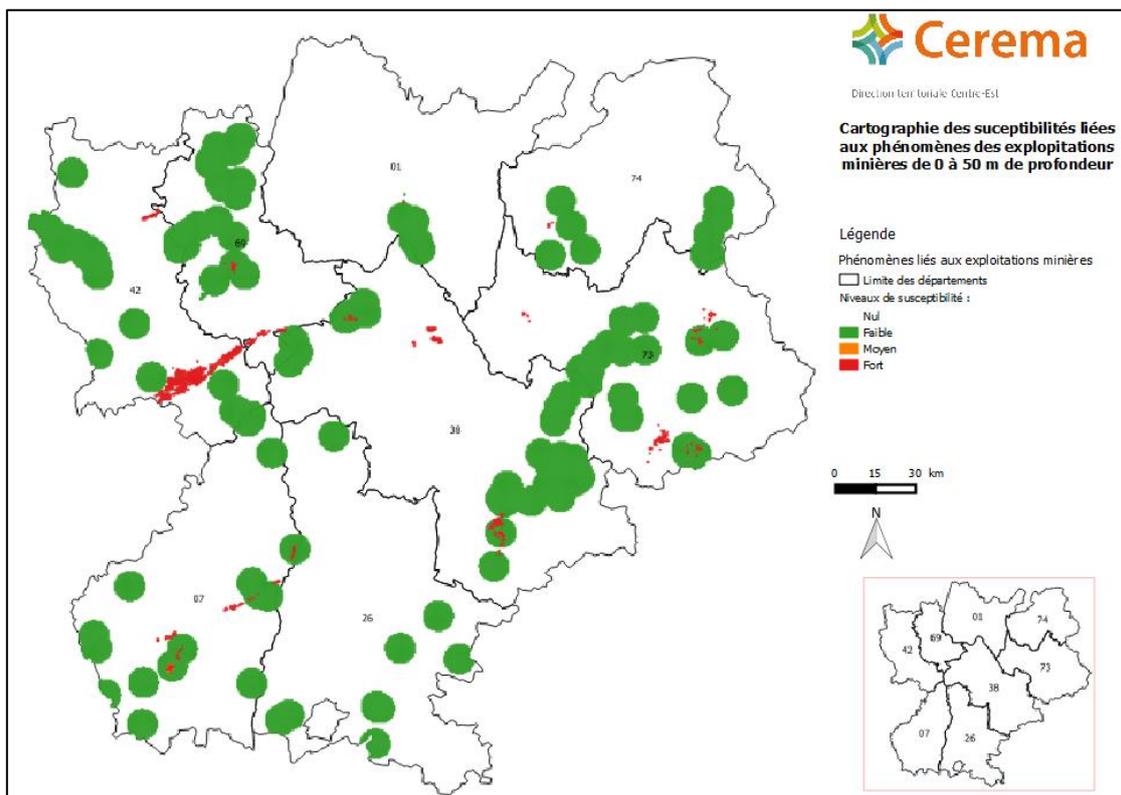


Illustration 29 : Cartographie des susceptibilités liées aux phénomènes associés aux exploitations minières de 0 à 50 m de profondeur.

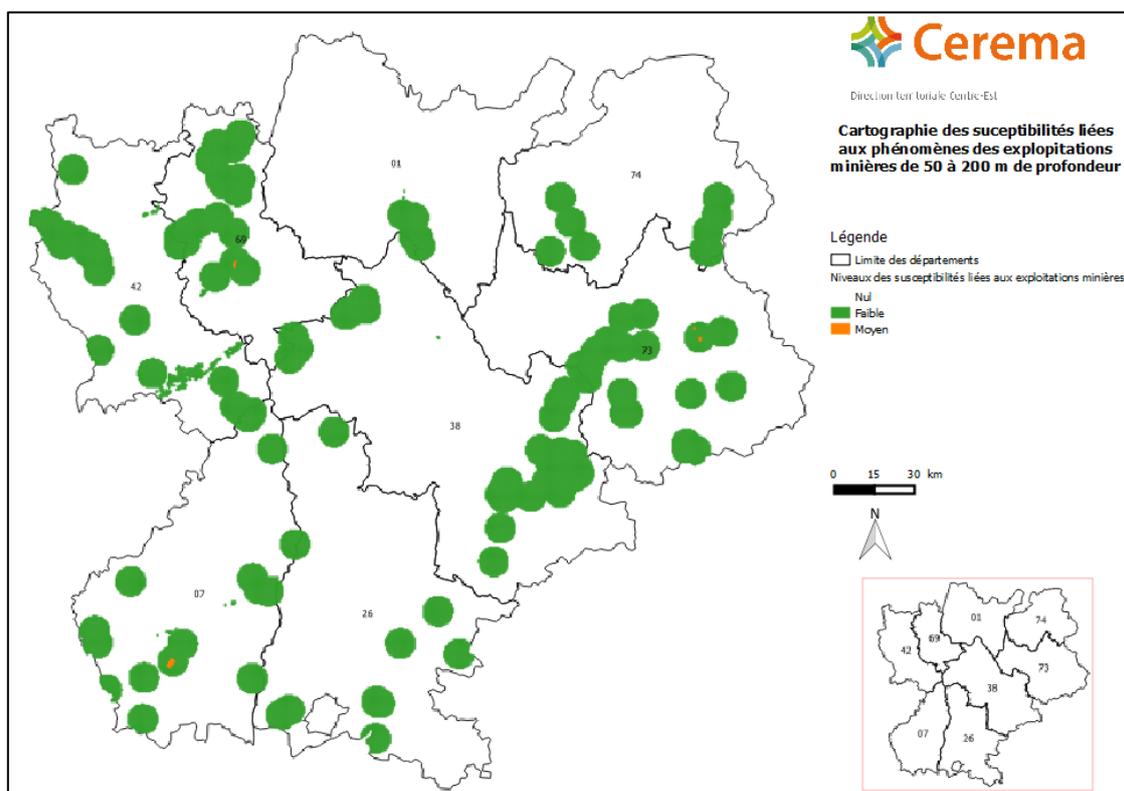


Illustration 30 : Cartographie des susceptibilités liées aux phénomènes associés aux exploitations minières de 50 à 200 m de profondeur.

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

La susceptibilité du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières » a été cartographiée pour une gamme de profondeur 10 – 200 m

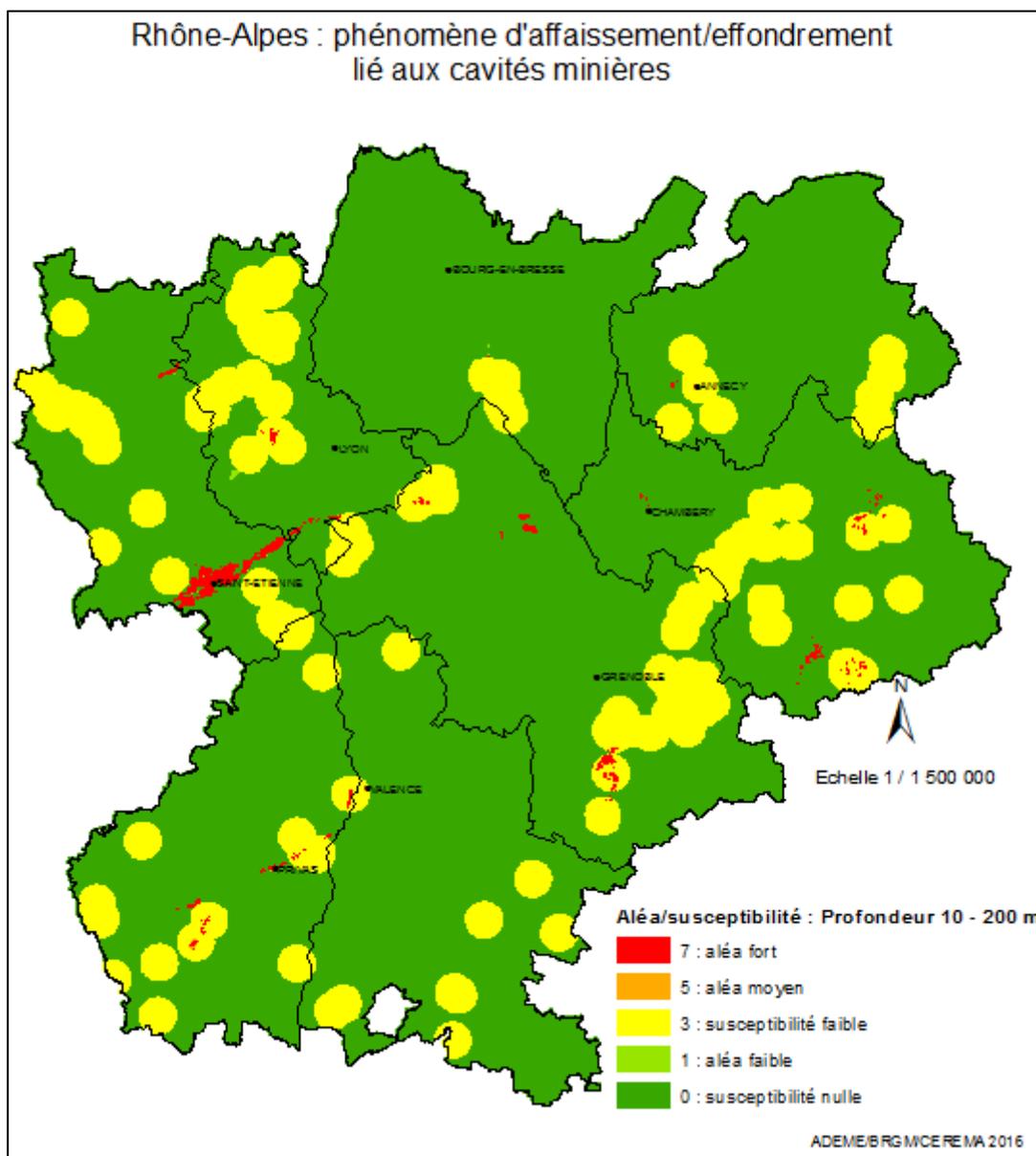


Illustration 31 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités minières » en Rhône-Alpes.

4.3.7. 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.

Par manque de connaissances, les niveaux d'aléa « moyen » et « fort » ne peuvent pas être définis pour les sites figurant dans la base de données « Mines et exploitations ».

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

Les valeurs de niveau d'aléa/susceptibilité fournies par le guide (0, 1, 3, 5 et 7) ont été retenues en Rhône-Alpes :

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
Valeur du niveau d'aléa à partir de la base de données « Mines et exploitations »	0	3	-	-

4.4. PHENOMENE « MOUVEMENTS DE TERRAINS 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. Méthodologie utilisée

La méthodologie utilisée est celle décrite dans le guide réalisé par un groupe de travail du BRGM et du Cerema en mars 2014 et qui s'appliquait dans la région Alsace-Lorraine.

Vu la complexité et l'hétérogénéité des données recueillies sur les 8 départements (l'Ain, l'Ardèche, la Drôme, l'Isère, la Loire, le Rhône, la Savoie et la Haute-Savoie), des modifications par rapport à cette méthodologie initiale ont été entreprises par la Direction territoriale Centre-Est.

Avertissement : la répartition géographique du phénomène glissement de terrain est très inégale selon le département considéré. Ceci est lié à l'hétérogénéité des données disponibles et exploitables pour cette étude.

Selon le guide méthodologique, les données prioritaires à recenser sont :

- les **cartes d'aléas** existantes sur toute la région Rhône-Alpes. Sur la région Rhône-Alpes, il existe plusieurs types de cartographies :
 - les cartes d'aléas des Plan de Prévention aux Risques (PPR), cartes réglementaires,
 - les cartes d'aléas hors PPR (cartes annexées aux PLU, R111-3 ...),
 - des cartes d'aléas départementales à l'échelle du 1/50 000.
- les **événements ponctuels** recensés à partir de la base de données du BRGM (BDMVT) et la base de données du RTM : il s'agit d'événements historiques recensés par divers organismes.

a) Cartes d'aléas (PPR et autres)

- **Acquisition des données**

L'acquisition des données concernant les phénomènes « glissements de terrain » et « coulées de boue » a été réalisée à partir des documents fournis par chaque Direction Départementale des Territoires de la région Rhône-Alpes et par les services de la DREAL Rhône-Alpes sur le site Géorisques (<http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/mouvements-de-terrain/donnees#/>).

Les cartes d'aléas communales ont été récupérées sous plusieurs types de formats différents, numérisés ou non : .tab, .shp, .dwg, .pdf.

De nombreuses cartes n'ont pas été digitalisées et géoréférencées (cf. tab 1). Seules les cartes d'extension .shp, .tab, .dwg ont été traitées en cartes d'aléas comme indiqué dans le guide.

A partir du site des risques miniers sur « Géorhonalpes », des phénomènes de glissements de terrain identifiés dans les cartographies d'aléas des PPR miniers ont été extraits, s'ils n'étaient pas déjà recensés auparavant.

Une homogénéisation de toutes les données extraites a été nécessaire. Toutes les données ont été remises sous un format identique : avec les mêmes coordonnées Lambert (RG93) et le même encodage (UTF8).

Les cartes récupérées sous le format DWG géoréférencées ont été transformées sous format .shp.

De nombreuses données n'ont pas pu être exploitées (cf. département de la Savoie par exemple) car les données disponibles sous « georisques » sont des données « risque » et non de type « aléa » : il n'existe aucun renseignement sur la nature de l'aléa et le niveau de l'aléa.

N°	NOM DEPART	PPRN (shp)	PPRN (pdf ou non exploitable)
01	AIN	14	12
07	ARDECHE	4	0
26	DROME	10	1
38	ISERE	52	25
42	LOIRE	0	0
69	RHONE	0	25
73	SAVOIE	40	20
74	HTE SAVOIE	1	125
	TOTAL :	121	208

Illustration 32 : Documents exploités pour les glissements de terrain.

Les territoires n'ayant pas fait l'objet de cartes d'aléas ont été complétés par les cartes départementales au 1/50 000 existantes pour les départements de l'Ardèche et du Rhône, en partie pour les départements de la Loire et de l'Ain.

Concernant le Rhône, la carte départementale réalisée par le Cerema en 2009 a été retenue, car la carte de 2012 du BRGM représentait un trop grand nombre de petites surfaces, avec des défauts de géométrie inexploitable pour les traitements de cette étude.

Vu le nombre important de cartes d'aléas qui n'ont pas pu être exploitées du fait :

- de leur format (pdf, dwg non géoréférencé),
- de l'indisponibilité des données par les services ou sur le site internet « géorisques »,

il a été entrepris de lister les communes de la région Rhône-Alpes ayant fait l'objet d'une carte d'aléas mouvements de terrain (PPR, hors PPR disponible et géoréférencé) et d'attribuer un code 1/0 pour la présence ou l'absence de carte (« Liste_PPR »). Cette démarche permet de ne pas perdre l'information de l'existence de mouvements de terrain sur une commune.

Communes avec PPR (ou carte aléa)	Communes sans PPR (carte aléa)
1	0

Illustration 33 : Codification des communes avec PPR non exploitable (List_PPR).

• Traitement des données

Les cartes d'aléas communales (type PPR) ont été fusionnées dans chaque département, complétées par les cartes départementales numérisées existantes au 1/50 000, puis agrégées en un document unique pour la région RA (GlissementRA_zonage.shp).

Les corrections de la géométrie des polygones présentant des anomalies sous Qgis ont été nécessaires et réalisées avec le logiciel Grass afin de récupérer le maximum de données.

Les polygones dont la superficie est inférieure à 10 m² ont été supprimés.

• Résultats

La table des aléas « glissements de terrain » de la région RA a été ensuite transcrite dans la grille RA, avec le remplissage des données.

Le niveau de l'aléa/susceptibilité affecté à une commune issue de la liste des PPR (non exploitée ou non exploitable dans cette étude) sera automatiquement :

- 1, lorsque la carte n'a pas pu être visualisée par le Cerema en format .pdf ou autre,
- 2, lorsque la carte a pu être visualisée en format .pdf ou autre et présentant des aléas « glissement de terrain » de niveau moyen et/ou fort.

Niveaux aléa (Niva_final)/Susceptibilité :	Nul	Faible	Moyen	Fort
<i>Cartes d'aléas disponibles et exploitables : Niva_PPR</i>	0	1	5	7
<i>Communes listées avec une carte d'aléa : Niva_liste</i>	0	1	2	2

Illustration 34 : Niveaux des aléas « glissement de terrain » (cartes aléas/liste PPR) et susceptibilités.

Avertissement : Un aléa nul issu d'une cartographie exploitée dans une maille a la même transcription qu'une maille qui n'a pas été traitée par une cartographie.

Lorsqu'il y a superposition de données, c'est l'aléa le plus fort qui affecte une maille qui est retenu, avec une priorité pour le niveau de l'aléa donné par une carte d'aléa (Niva_PPR), donnée plus précise.

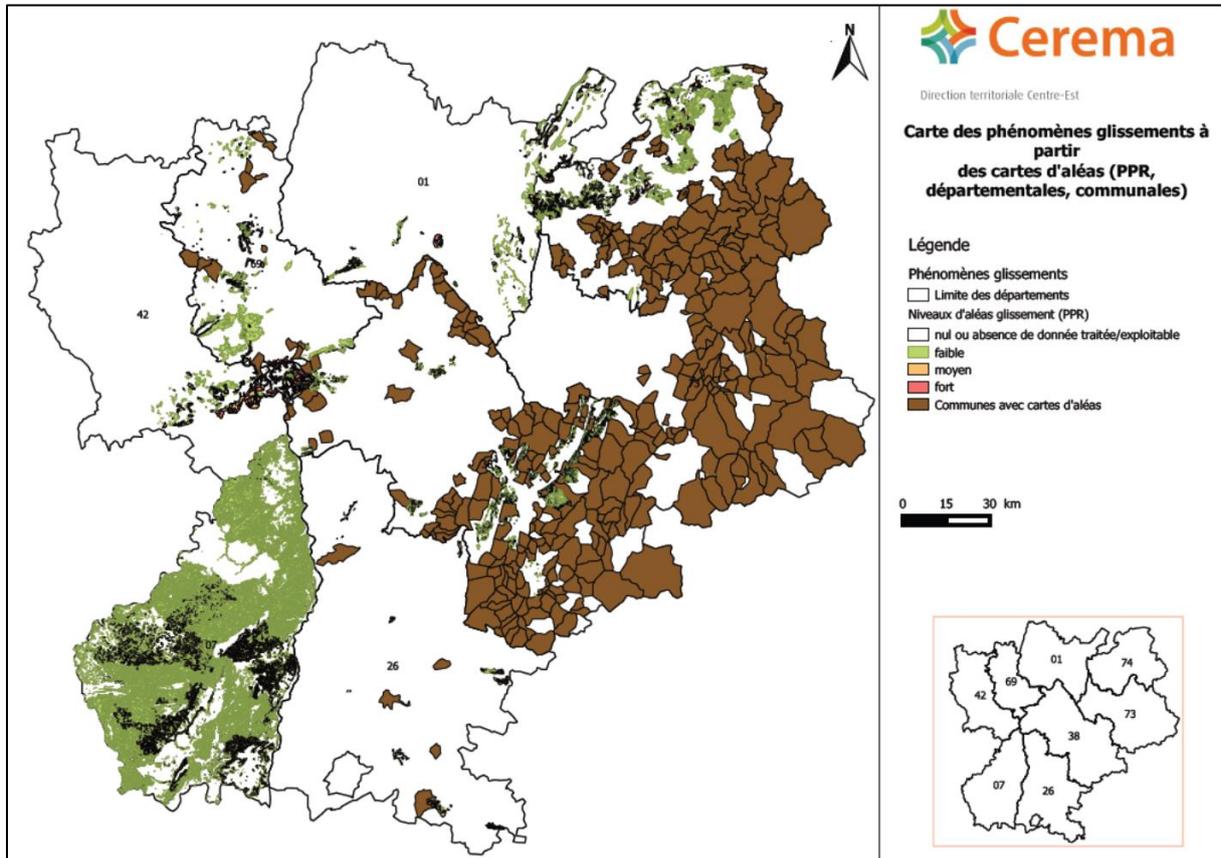


Illustration 35 : Zonage des aléas « glissements de terrain » à partir des cartes d'aléas disponibles et exploitables (PPR, communales, départementales).

b) Données ponctuelles

• Acquisition des données

Les données ont été extraites en fichier .csv via « bdmvt.net » lorsque ce site était encore actif au 15/01/2015. Depuis, les données sont disponibles sur :

« <http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/mouvements-de-terrain/donnees> ».

D'autres événements de ce type ont été récupérés à partir de la base de données du RTM, localisés en région montagneuse : BD-RTM Événements.

L'ensemble des mouvements de terrain a été traité en faisant des tris selon les critères : glissement de terrain / coulée pour chaque département de la région Rhône-Alpes.

Suite à quelques problèmes rencontrés, des données ont été abandonnées telles que :

Source	Problème	Etat
BDMVT 01	1 point hors limite : n°60200525	supprimé
BDMVT 38	1 point hors limite : n°10000124	supprimé
BD RTM glissement	Certains points n'ont pas de coordonnées X, Y, ni de précision	trié
	5 points supprimés pour cause de doublon avec la BDMVT : 1988-10-12/Aiguebelette-le-lac 1983-01-28/Bellevaux (La Côte) année 1988/Brion (La Cabotte) 1990-02-15/Burdignin 1990-02-15/Sapey-en-Chartreuse (Mollard)	supprimé

Illustration 36 : Différents problèmes rencontrés au niveau des données (phénomène glissement).

- **Traitement des données**

Les coordonnées géographiques des données ponctuelles acquises sont très variables : latitude/longitude, Lambert II étendue, Lambert II carto, Lambert III..., d'où la nécessité d'homogénéiser toutes les données dans le Système RGF93. Lorsque la précision du point était la commune, l'événement n'a pas été retenu comme l'indique le guide méthodologique.

L'ensemble des données acquises a été agencé selon une structure identique définie au préalable pour tous les aléas.

A chaque donnée est appliquée une zone tampon selon la précision de la donnée (égale à l'imprécision + une zone d'influence de 100 m, selon le guide). Les données de la base du RTM n'ayant aucune information sur la précision, il a été assigné une zone tampon de 100 m pour chaque point.

- **Résultats**

La table des phénomènes « glissements de terrain ponctuels » de la région Rhône-Alpes (GlissementRA_ponctuel_total.shp) a été ensuite reportée dans la grille Rhône-Alpes, avec le remplissage des données.

Le nombre d'événements par maille de la grille RA est ensuite calculé sous Qgis avec la fonction « COUNT » dans la fonction « joindre les attributs par localisation ». Ce nombre d'événements par maille donne ensuite le niveau d'aléa et une susceptibilité conformément au guide :

Niveaux aléa/susceptibilité (Niva_ponct)	Nombre d'événement (Nbre_Glist)
Fort : 3	> 8
Moyen : 2	Entre 5 et 8
Faible : 1	Entre 1 et 4
Nul : 0	0

Illustration 37 : Niveaux d'aléas et susceptibilités du phénomène « glissements ponctuels »

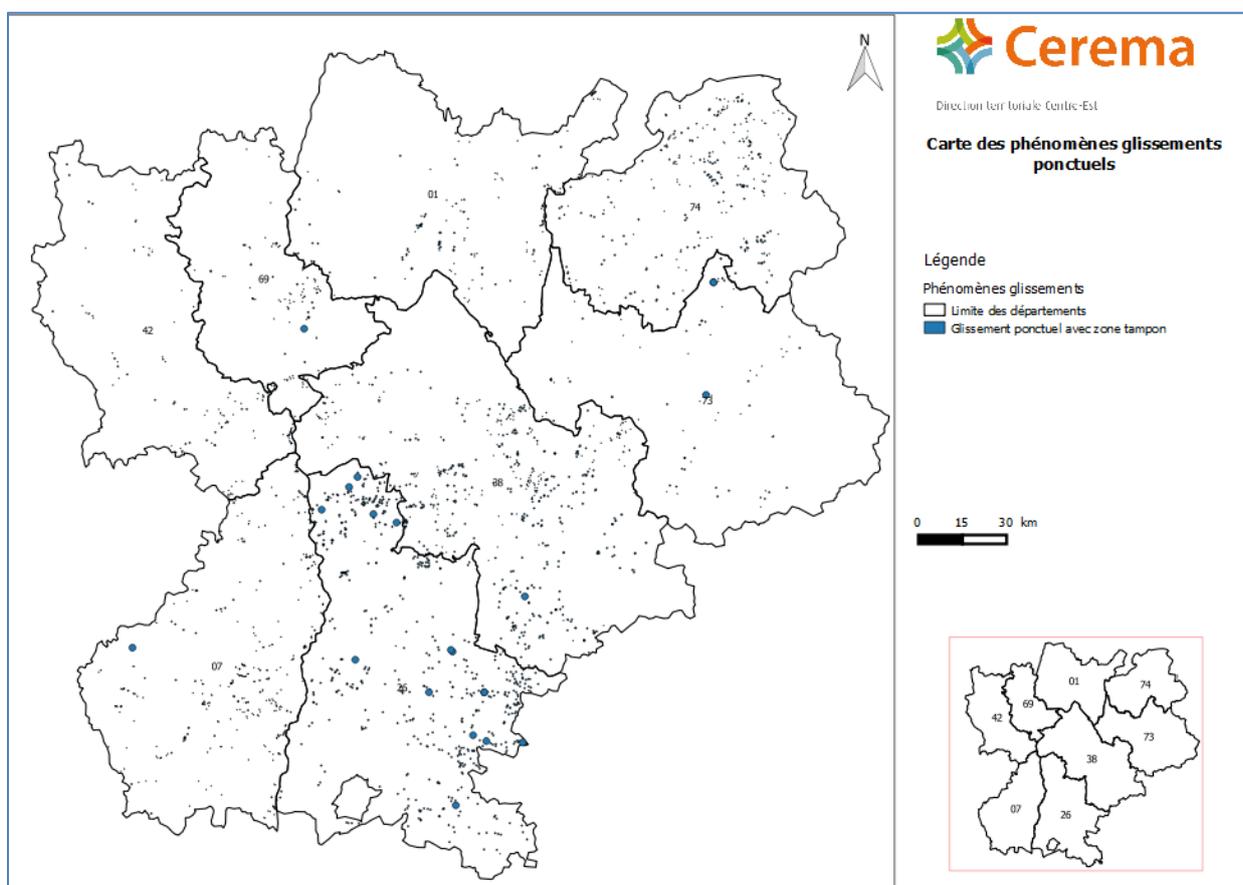


Illustration 38 : Carte des événements « glissements ponctuels » avec une zone tampon.

Le nombre de glissements ponctuels par maille de 500 x 500 m varie de 0 à 10.

- **Synthèse des données du phénomène « Glissements de terrain »**

La grille globale du phénomène « glissement de terrain » est obtenue à partir de la fusion des trois grilles vues précédemment :

- la grille : « GTH_RHA_Glisement_complet2 » (zonage),
- la grille : « GlissementRA_zonage_communesavecPPR » (zonage),
- la grille : « GlissementRA_ponctuel_total » (ponctuel).

Lorsqu'il y a superposition de données, c'est l'aléa le plus fort qui affecte une maille qui est retenu, avec une priorité pour le niveau de l'aléa donné par une carte d'aléa (Niva_PPR de la grille GTH_RHA_Glisement_complet2), donnée plus précise.

Les grilles du phénomène « glissements de terrain » obtenues pour les trois tranches de profondeurs (0-50, 0-100, 0-200 m) sont identiques car nous considérons que le phénomène glissement traité est un aléa « superficiel » et ne concerne que la tranche 0-50 m. Les données renseignées pour chaque maille sont les suivantes :

- susceptibp : les valeurs de cette colonne correspondent au niveau de l'aléa final retenu : Niva_final selon les valeurs du guide.

susceptibp	Niva_final	Origine
7	Fort	Carte aléa/PPR
5	Moyen	Carte aléa/PPR
3	Fort	BDMVT/BD RTM
2	Moyen	BDMVT/BD RTM Liste des communes avec carte d'aléa
1	Faible	Carte aléa/PPR BDMVT/BD RTM Liste des communes avec carte d'aléa
0	Nul	

Illustration 39 : Susceptibilité du phénomène « glissements » de la grille finale

- Originé : organisme traitant la donnée, c'est à dire le Cerema
- Commentaires : origine de la donnée : soit la liste des PPR (liste PPR), soit la carte d'aléa (PPR ou carte départementale), soit une donnée ponctuelle issue de l'une des deux bases de données exploitées (BDMVT, BDRTM)
- PPR : traitement ou non de la carte d'aléa du PPR ou de la carte départementale,
 - oui => 1
 - non => 0
- Niva_PPR : niveau de l'aléa retenu à partir de la carte d'aléa, selon le guide, voir Tableau 3
- Liste_PPR : Si la donnée exploitée est issue de l'existence d'une carte de type PPR,
 - oui => 1
 - non => 0
- Niva_liste : le niveau défini ci-dessus avec les valeurs 0, 1, 2, voir tableau 3

- Nbre_Glist : les valeurs de cette colonne correspondent au nombre d'événements historiques issus des bases de données BDMVT et BDRTM (variant de 10 à 0 par maille)
- Niva_ponct : c'est le niveau d'aléa correspondant aux différentes tranches d'événements selon le guide, voir tableau 5
- Niva_final : c'est l'aléa le plus élevé qui est retenu, voir tableau 6.

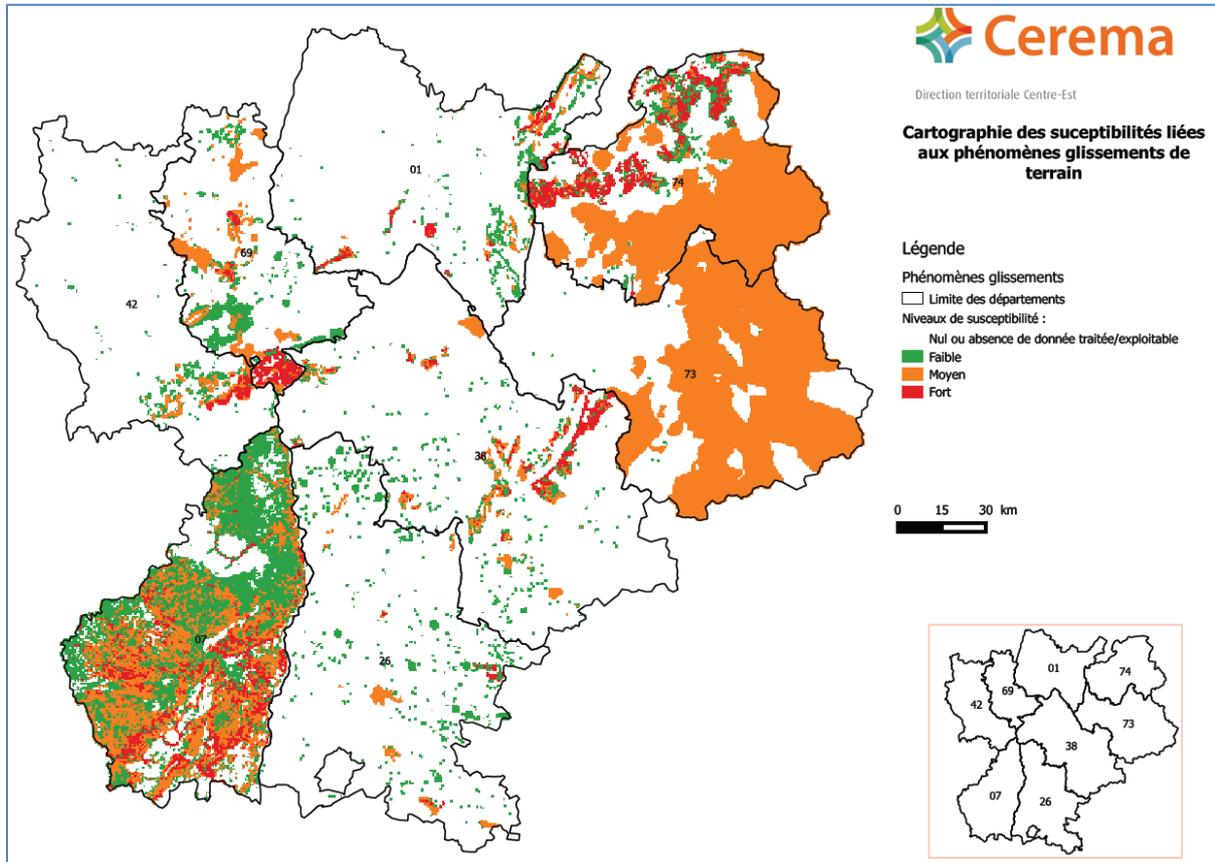


Illustration 40 : Cartographie des susceptibilités liées aux glissements de terrain selon une maille 500x500 m

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

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

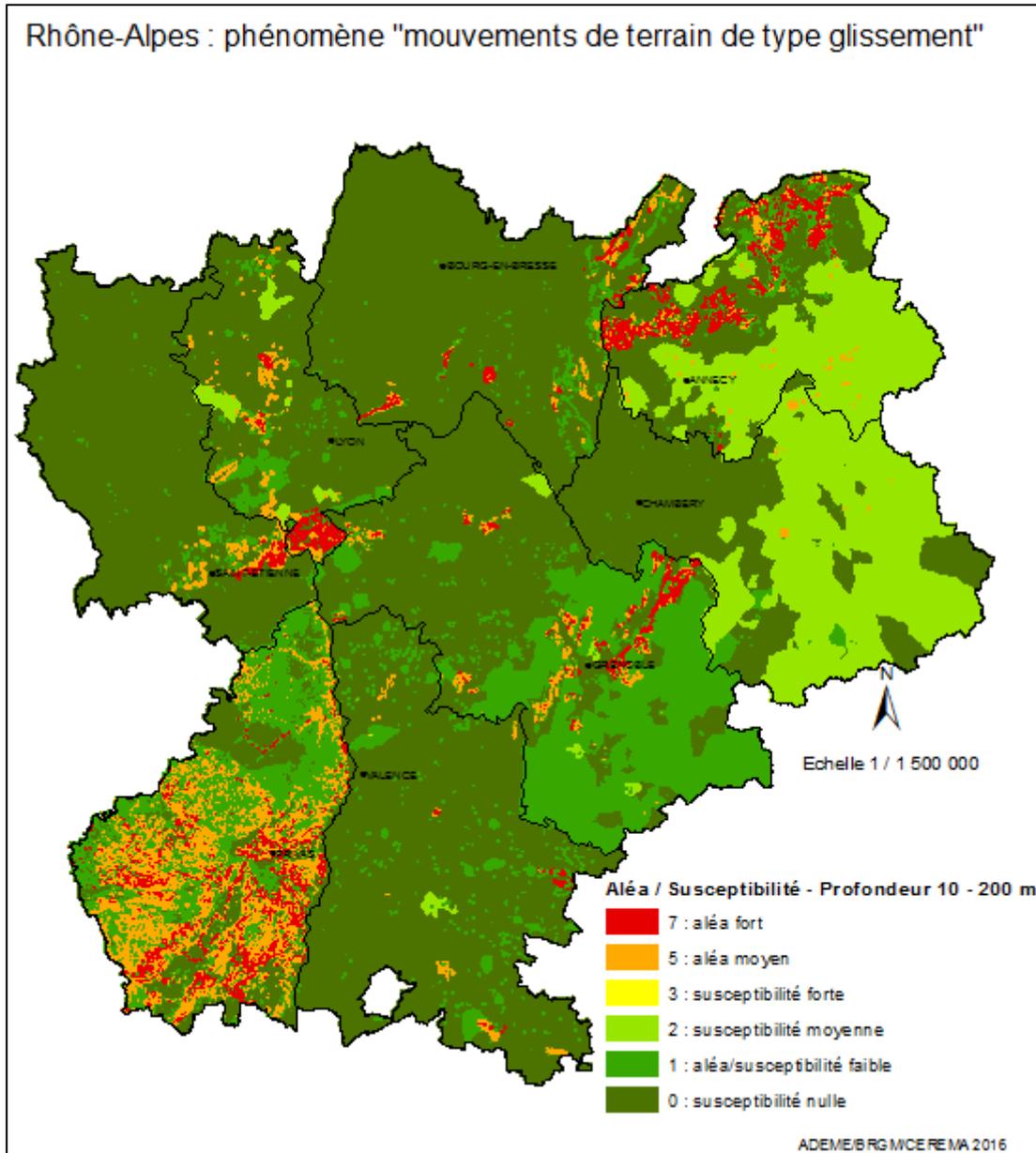


Illustration 41 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Mouvements de terrain de type glissement » en Rhône-Alpes.

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

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.

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

Les valeurs de niveau d'aléa/susceptibilité fournies par le guide (0, 1, 2, 3, 5 et 7) ont été retenues en Rhône-Alpes :

Niveaux aléa/ susceptibilité du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort
Valeur du niveau d'aléa à partir de cartes d'aléa glissements de terrain	0	1	5	7
Valeur du niveau d'aléa à partir de la BDMVT	0	1	2	3

Illustration 42 : Niveaux d'aléas et susceptibilités du phénomène « mouvements de terrain de type glissement »

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

A 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.

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

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

→ Conformément au programme technique validé par les partenaires de l'étude (MEEM 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 1^{er} basé sur la présence d'un site issu de la banque de données BASOL (ce chapitre) et le 2^d basé sur l'existence de panaches de pollution connus et leur emprise (§ 4.6).

4.5.1. Description du phénomène et occurrences

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

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

4.5.2. Qualification du phénomène

En Rhône-Alpes, les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif sont recensés dans la base de données BASOL.

Chaque site BASOL est connu par sa localisation (point de coordonnées X, Y). Une zone tampon (rayon) de 500 m lui est affectée, pour inclure d'éventuels panaches de pollution.

→ **De plus, après décision du comité de pilotage de l'étude, nous prenons en compte la présence d'une nappe connue comme nappe à pollution diffuse (information Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse). L'emprise surfacique de cette nappe, celle des alluvions anciennes de la plaine de Valence, est qualifiée comme étant en susceptibilité moyenne.**

Le phénomène « pollutions des sols et des nappes souterraines » a donc été qualifié en fonction de sa probabilité d'occurrence, en tenant compte de la présence ou non d'un aquifère sous-jacent au site BASOL et de la présence d'une nappe connue à pollution diffuse :

- **Susceptibilité forte** : présence d'au moins un site identifié dans BASOL et présence d'aquifère dans la tranche de profondeur considérée
- **Susceptibilité moyenne** : présence d'une nappe à pollution diffuse
- **Susceptibilité faible** : présence d'au moins un site identifié dans BASOL et absence d'aquifère dans la tranche de profondeur considérée
- **Susceptibilité nulle** : pas de site BASOL répertorié.

Il est à noter que le phénomène de pollution liée à des panaches existants de pollution (pollution avérée de la nappe et cartographiée) a été traité à part en tant que tel.

4.5.3. Données utilisées et traitement

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

1 135 sites BASOL ont été identifiés en Rhône-Alpes suite à l'extraction régionale disponible le 24/02/2015. La carte ci-après permet de visualiser leur localisation.

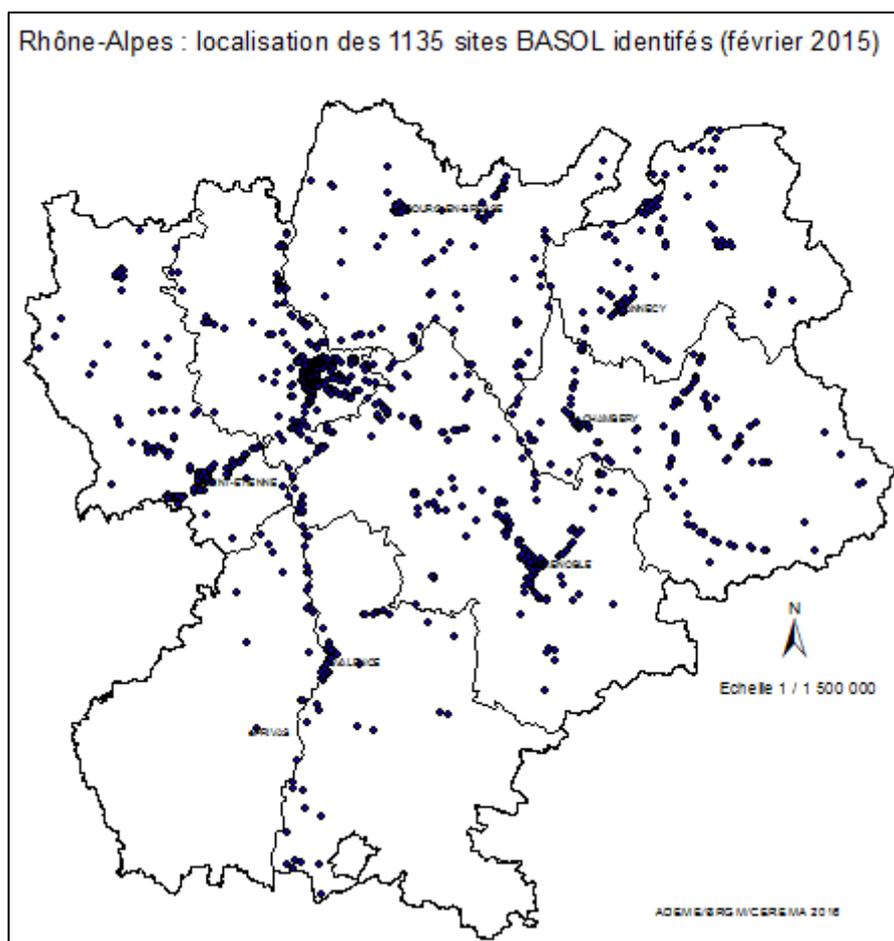


Illustration 43 : Carte de localisation des 1 135 sites BASOL identifiés en Rhône-Alpes (février 2015).

Pour identifier la présence d'aquifères et leur profondeur, ont été utilisés :

- le référentiel hydrogéologique français BD-LISA (Base de données des Limites des Systèmes Aquifères) qui fournit les contours des entités hydrogéologiques et leur ordre relatif en profondeur ;
- les ouvrages « eau » de la Banque de données du sous-sol (BSS) pour préciser localement la profondeur du toit des aquifères ;
- l'atlas du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères de la région Rhône-Alpes (site internet www.geothermie-perspectives.fr, rapport BRGM/RP- 60856-FR) qui fournit pour sa zone d'étude (20 % du territoire régional) les informations sur le nom de la

ressource en eau souterraine potentielle a priori la plus intéressante, dans un maillage de 500 x 500 m. Les profondeurs d'accès à la ressource du meilleur aquifère fournies sont :

- Profondeur < 5 m.
- Profondeur \geq 5 m et < 15 m.
- Profondeur \geq 15 m et < 30 m.
- Profondeur \geq 30 m.
- Profondeur non connue précisément.
- Présence de plusieurs aquifères superposés.

- l'expertise d'hydrogéologues régionaux sollicités.

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

Il est à noter que dès qu'une maille (pixel) contient une part de l'emprise d'un site BASOL avec sa zone tampon, toute la maille est affectée.

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

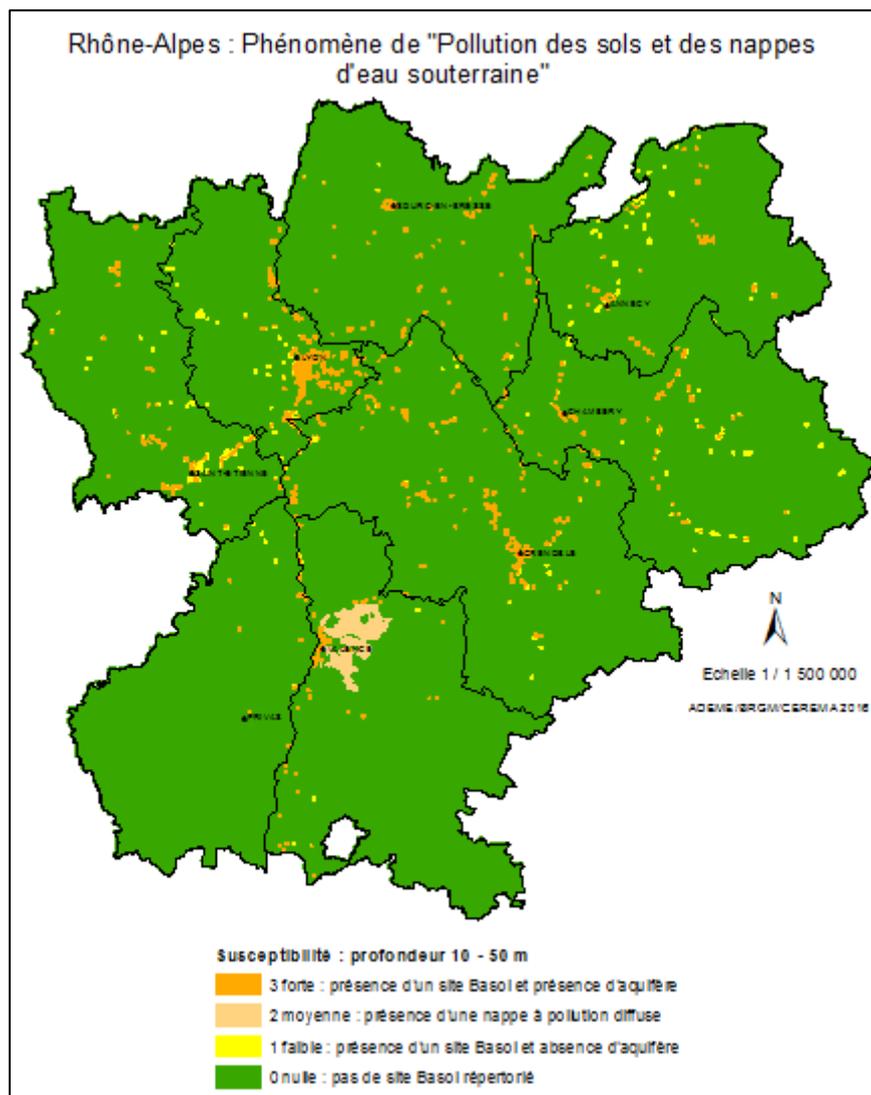


Illustration 44 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Pollution des sols et des nappes d'eau souterraine » en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 – 50 m.

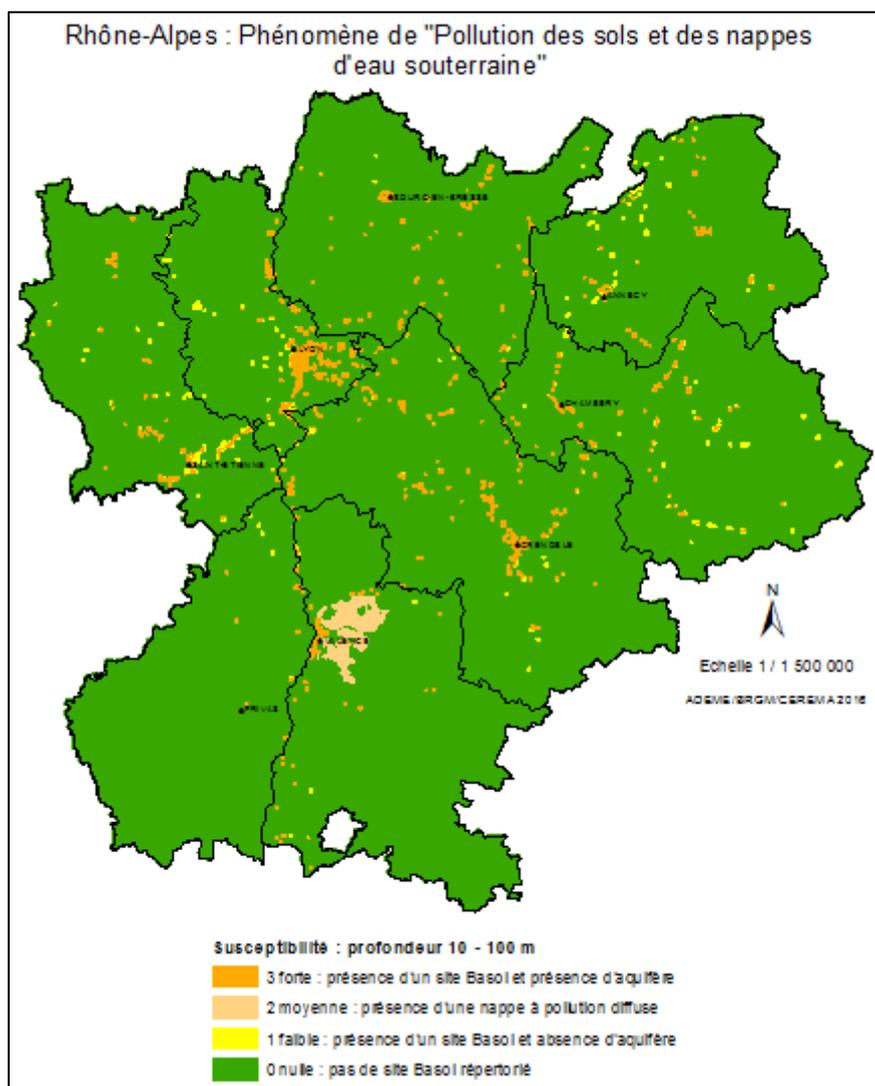


Illustration 45 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Pollution des sols et des nappes d'eau souterraine » en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 – 100 m.

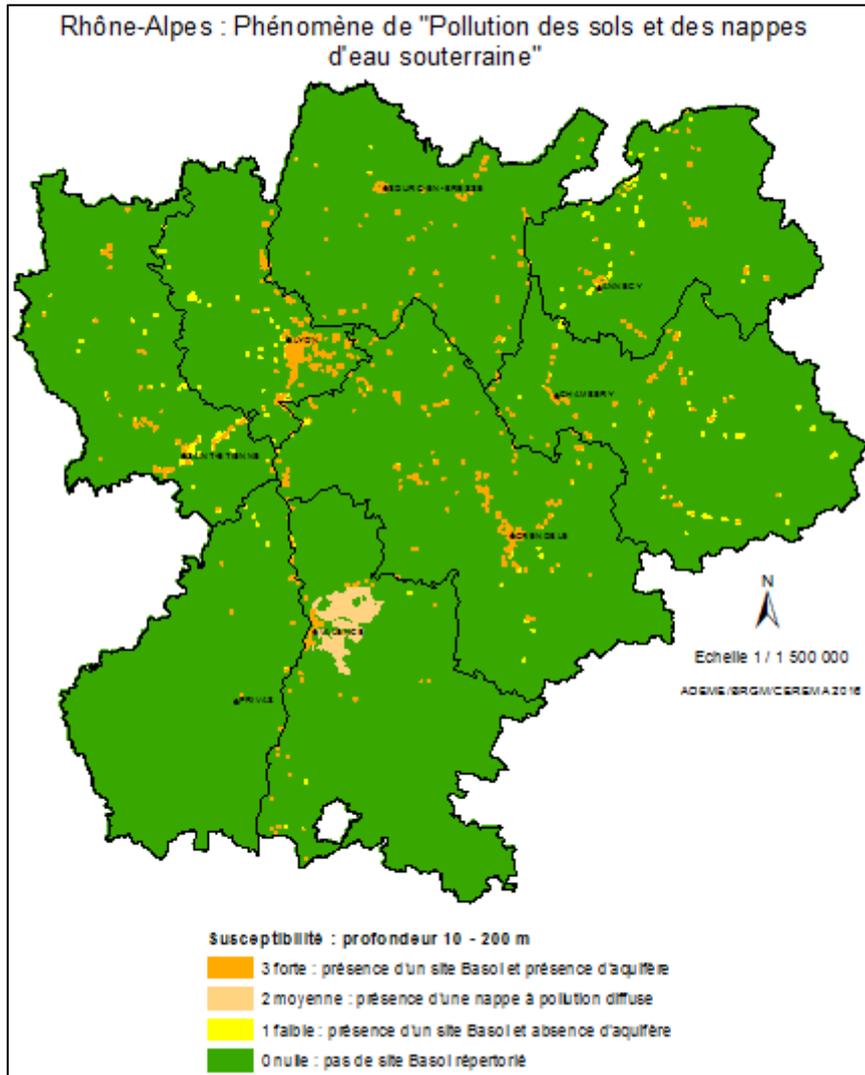


Illustration 46 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène « Pollution des sols et des nappes d'eau souterraine » en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 – 200 m.

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 reflétant la probabilité d'occurrence du phénomène.

→ Compte-tenu de la qualification spécifique du phénomène adoptée en Rhône-Alpes (§ 4.5.2) nous n'avons pas pris les valeurs fournies par le guide (0, 1, 5 et 7) qui concernent le phénomène pris dans sa globalité (BASOL, panaches, pas de nappe à pollution diffuse) mais nous avons adopté pour ce phénomène les valeurs suivantes, qui seront complétées par le 2^d phénomène lié aux panaches de pollution :

Niveaux aléa/ susceptibilité du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort
Valeur du niveau d'aléa à partir de BASOL	0	1	-	3
Valeur du niveau d'aléa lié à l'emprise cartographique de la nappe à pollution diffuse			2	

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

→ Conformément au programme technique validé par les partenaires de l'étude (MEEM 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 1^{er} basé sur la présence d'un site issu de la banque de données BASOL (§ 4.5) et le 2^d basé sur l'existence de panaches de pollution connus et leur emprise (§4.6).

4.6.1. Description des phénomènes

a) Répartition et morphologie des panaches de pollution

La densité des composés présents affecte les distributions verticales et horizontales des polluants dans les aquifères et donc la morphologie et l'extension des panaches.

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 (HAP¹ et BTEX² notamment) 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 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.

¹ Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques constituants des goudrons de houille

² Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylène

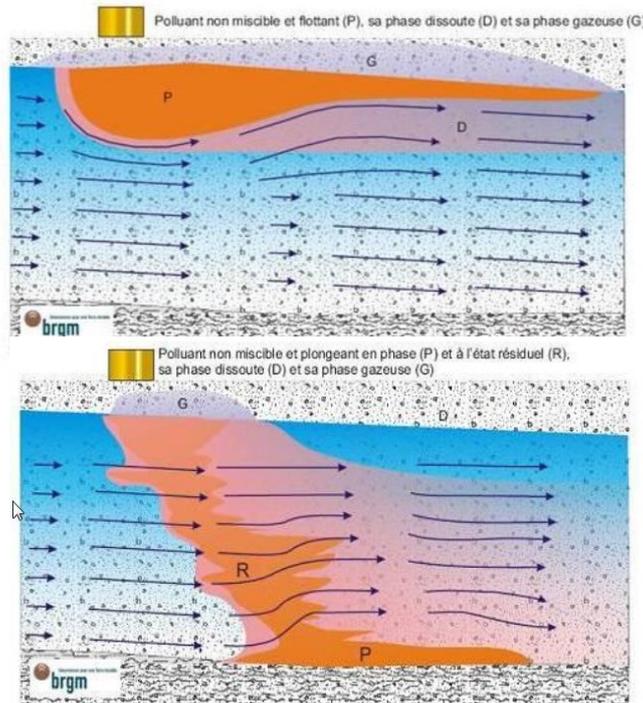


Illustration 47 : Illustration de comportements de panaches de polluants « légers » (LNAPL) ou « lourds » (DNAPL).

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 «gaz»).

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.

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 47) :

- Les panaches de COHV sont plus étendus que les panaches d'hydrocarbures et de HAP, en raison d'une solubilité supérieure pour les COHV associée à une relative récalcitrance des COHV 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 supérieures en raison d'une dégradation moins efficace ;
- Les faibles solubilités des HAP plus lourds, associées à une forte adsorption, en 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. Parmi d'autres polluants, les nitrates et phosphates...

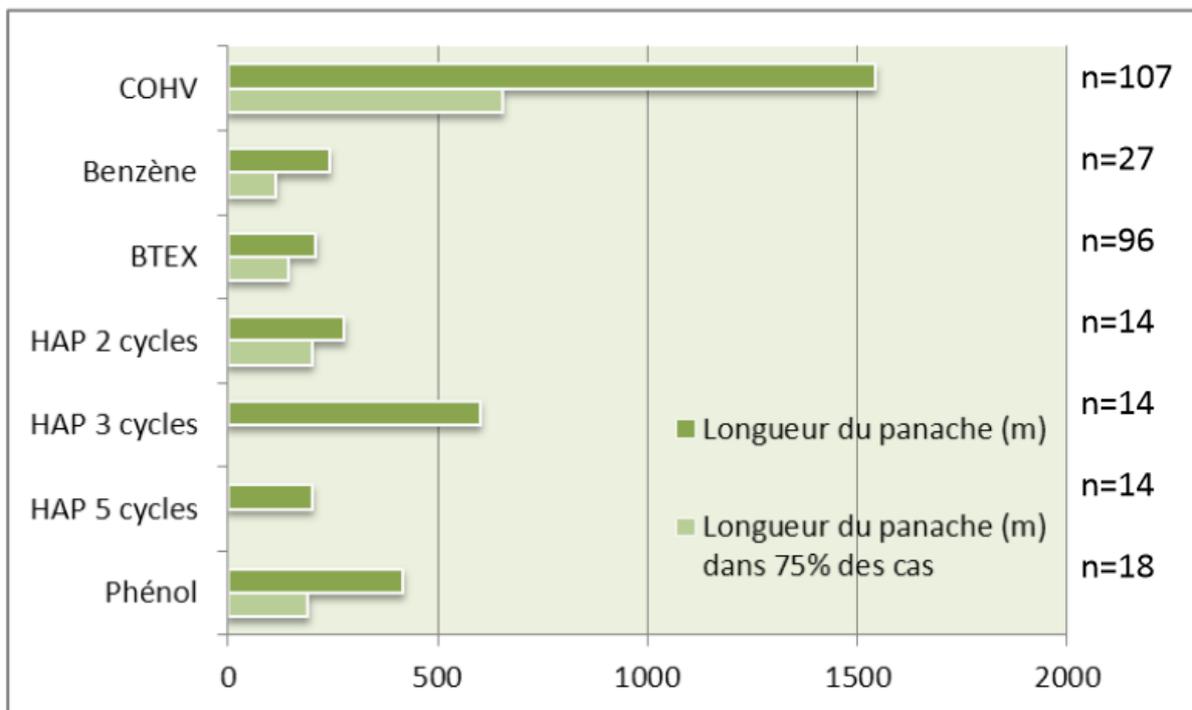


Illustration 48 : Longueurs moyennes constatées de panaches en Europe (vert foncé) et longueurs maximum des panaches dans 75 % des cas (vert clair) en fonction du type de polluants : n = nombre de sites étudiés (d'après Schiedek et al., 1997, Stupp & Paus, 1999; Christensen et al., 2001; Newell and Connor, 1998).

b) Evolution 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 («vieillessement») 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 (Figure 35) :

- * 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 notamment 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).

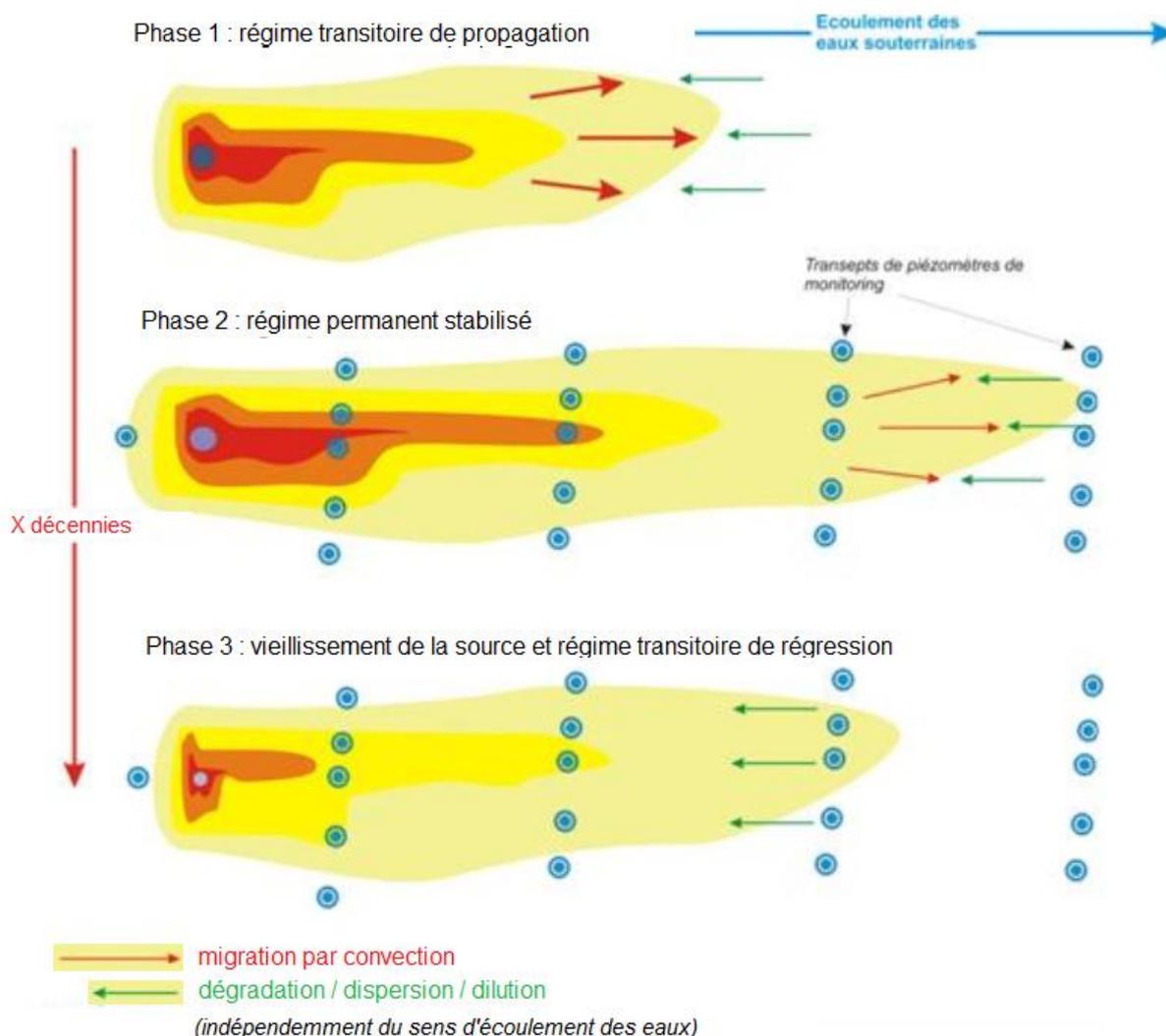


Illustration 49 : Evolution d'un panache de polluants en phase aqueuse (adaptée de Sinke et Le Hécho, 1999)

4.6.2. Inventaire des pollutions en Rhône-Alpes

Un site pollué est un site qui, du fait d'anciens dépôts de déchets ou d'infiltration de substances polluantes, présente une pollution susceptible de provoquer une nuisance ou un risque pérenne pour les personnes ou l'environnement.

L'inventaire de ces sites en Rhône-Alpes reste délicat, en raison de la multiplicité des sites possibles et de l'ancienneté des pollutions (historiques). Sur le territoire national, deux bases de données ont été créées afin de conserver la mémoire des pollutions éventuelles et assurer une communication sur les actions menées en vue de résorber les pollutions :

- L'inventaire national BASOL (<http://basol.ecologie.gouv.fr/>) recense les sites pollués ou potentiellement pollués faisant l'objet d'une action des pouvoirs publics. Il s'agit de sites soumis à la législation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

- 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. Il est disponible en Rhône-Alpes depuis 1999 et est en cours d'actualisation (l'inventaire initial ayant reposé sur des critères jugés trop restrictifs).

a) La connaissance des pollutions historiques : BASOL

BASOL est la base de données gérée et diffusée par le Ministère de l'Environnement, regroupant l'inventaire des sols et des sites pollués ou susceptibles de l'être, et « appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif ». Elle constitue le tableau de bord des actions menées par l'administration et les responsables des sites pour prévenir les risques et réhabiliter les sites ayant impacté ou susceptibles d'un impact sur leur environnement (eaux superficielles, souterraines ou santé). 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 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 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 produits impliqués.

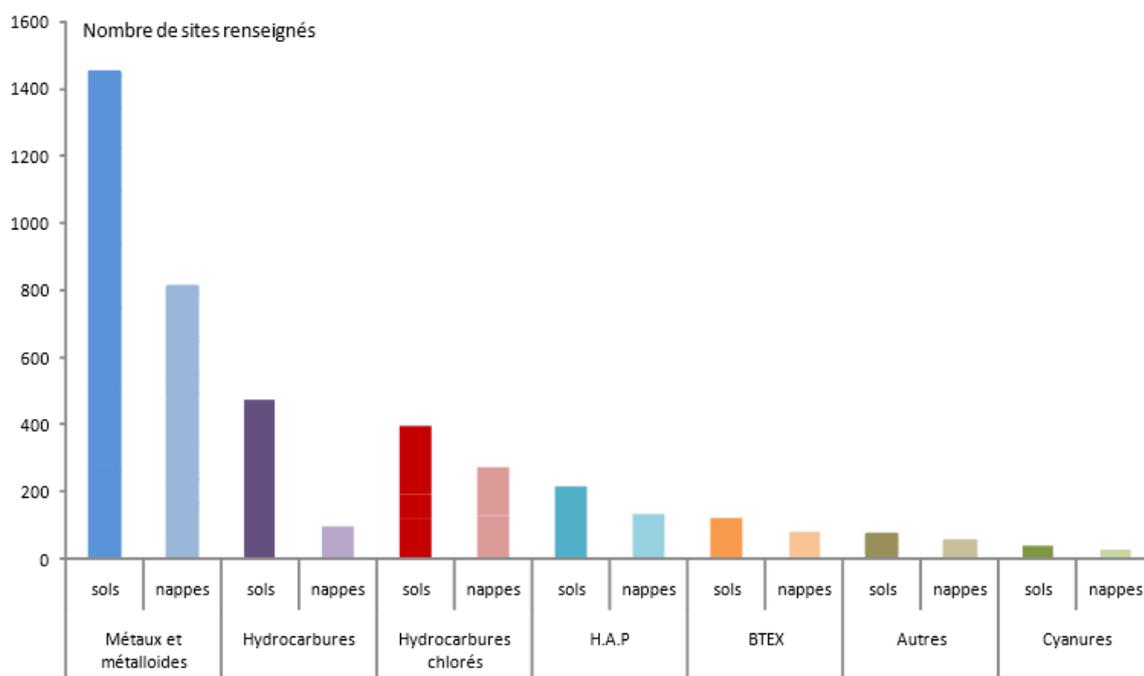
La base de données retenue dans le cadre de l'étude est celle de BASOLweb. Elle comprend un total de 1 060 sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) par des activités industrielles ou de traitement des déchets en région Rhône-Alpes, en date du 15 mai 2015. A titre comparatif, cet inventaire régional correspond à près de 18 % des sites nationaux. Parmi eux, 653 font l'objet d'une surveillance des eaux souterraines³ et 271 sites en sont exemptés (absence de suivi techniquement justifiée). L'indice de surveillance des eaux souterraines (ISES), rapport du nombre de sites surveillés ou justifiant l'absence de surveillance au nombre de sites inscrits dans la base, atteint 90 % en Rhône-Alpes. La présence d'hydrocarbures a été détectée sur la moitié des sites et le plomb sur un quart (respectivement 476 et 258 sites identifiés en 2013).

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).

Cette répartition montre que les métaux et métalloïdes sont identifiés sur une grande majorité des sites, surtout dans les sols mais également dans les nappes d'eau.

³ La surveillance de qualité des eaux des sites joue un rôle de détection ou de suivi selon que la pollution des eaux souterraines est avérée ou non (suivi obligatoire des sites BASOL depuis 2000)

Répartition des 7 familles de polluants dans les sols ou les nappes des sites pollués en Rhône-Alpes (fin 2013)



Source BASOL

Exploitation ORS Rhône-Alpes

Illustration 50 : Répartition des polluants des sols et nappes de Rhône-Alpes identifiés dans BASOL.

Répartition des activités de la pollution des sites et sols pollués (SSP) en Rhône-Alpes, fin 2013

Principales activités	en nombre de sites	en %
Mécanique, électrique, électronique, traitements de surface	155	22%
dont traitement de surface	52	7%
Collecte des déchets et des eaux usées, traitements	127	18%
Entreposage, transports, commerce	124	17%
dont stations services	84	12%
Sidérurgie, métallurgie, cokéfaction	88	12%
dont cokéfaction, usines à gaz	23	3%
Chimie, parachimie, caoutchouc, plastiques	70	10%
Industrie pétrolière, gaz naturel	50	7%
dont dépôts de pétrole, produits dérivés ou gaz naturel	40	6%
Textile, cuir et peaux	34	5%
Bois, papier et carton	28	4%
Autres industries	21	3%
Industries minérales	12	2%
Total de sites où les activités sont renseignées	709	100%
Total de sites où l'activité est non renseignée	289	
Total des sites et sols pollués dans BASOL	998	

Illustration 51 : Origine des pollutions industrielles sur les sols et nappes de Rhône-Alpes identifiés dans BASOL.

b) Les données BASOL

Les données de BASOL, codifiées par des « cases à cocher » aisément exploitables, permettent de caractériser la source de pollution et le niveau d'impact constaté ou potentiel sur les sols ainsi que sur les eaux (souterraines et superficielles) au droit du site. La validité de ces paramètres et critères repose avant tout sur la qualité des données saisies dans BASOL selon les formats prédéfinis.

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 indiquées par une date présumée d'événement ou de 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 de préciser les enjeux liés.

Répartition départementale des sites et sols pollués en Rhône-Alpes selon leur étape de traitement, fin 2013

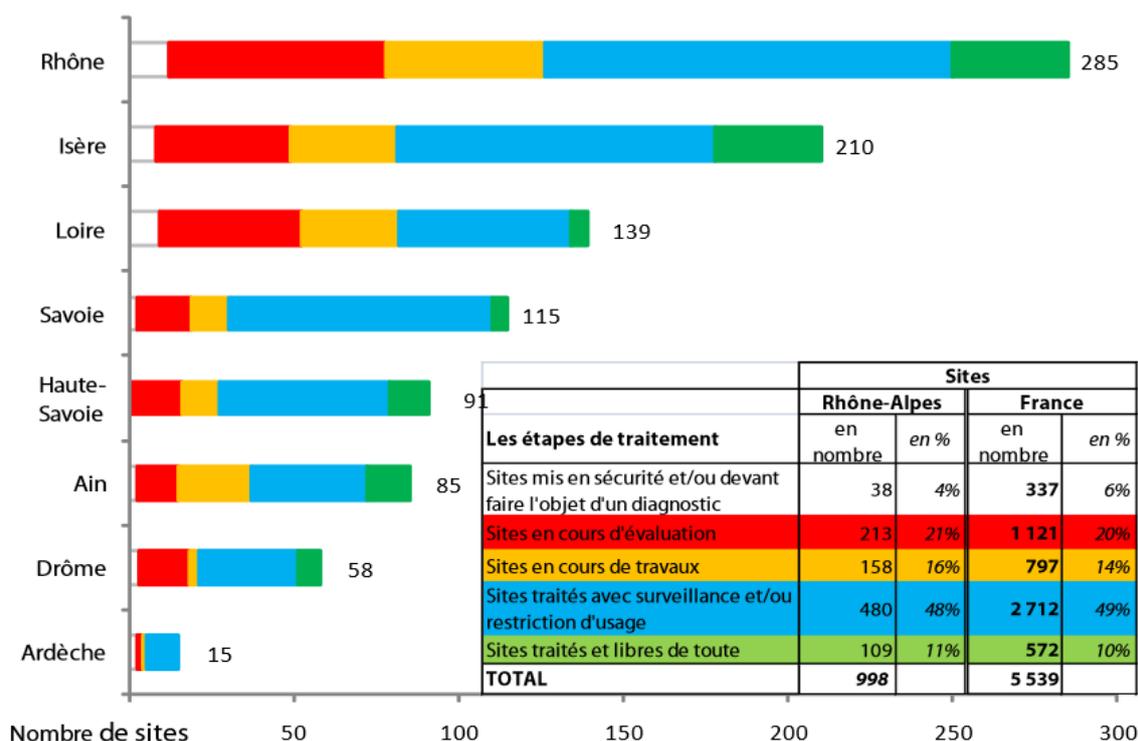


Illustration 52 : Répartition des pollutions de sites par département de Rhône-Alpes identifiés dans BASOL

L'état des sites recensés dans BASOL est répertorié en 5 catégories :

- **Site traité et libre de toute restriction :**

Site "banalisable" (pour un usage donné), pas de contrainte particulière après diagnostic, ne nécessite pas de surveillance. Site libre de toutes restrictions, travaux réalisés, aucune restriction, pas de surveillance nécessaire.

Ces sites ont fait l'objet d'évaluation et/ou de travaux. A leur suite, leur niveau de contamination est tel qu'il n'est pas nécessaire d'exercer une surveillance. Il est toutefois nécessaire de garder la mémoire de ces sites. Au niveau national, près de 11 % correspondent à cette situation.

- **Site en cours de travaux :**

Site en cours de traitement, objectifs de réhabilitation et choix techniques définis ou en cours de mise en œuvre.

Les évaluations et/ou travaux menés sur ces sites amènent au constat d'une pollution résiduelle, compatible avec leur usage actuel mais qui nécessite des précautions particulières avant d'en changer l'usage et / ou d'effectuer certains travaux. Une surveillance de l'impact de cette pollution peut aussi être nécessaire. 15 % des sites de BASOL correspondent à cette situation.

- **Site mis en sécurité et/ou devant faire l'objet d'un diagnostic :**

Site à connaissance sommaire, diagnostic éventuellement nécessaire. Site sous surveillance avant diagnostic.

La pollution de ces sites n'est pas avérée mais diverses raisons (nature de l'activité, accidents survenus dans le passé...) font penser que tel pourrait être le cas. Pour prévenir une découverte fortuite de cette pollution et avant celle d'un éventuel impact, la réalisation d'un diagnostic de l'état des sols a été demandée par l'administration aux responsables de certains sites en activité. Les sites pour lesquels les investigations ne sont pas achevées font partie de cette catégorie. Ils correspondent à moins de 8 % du total national.

- **Site en cours d'évaluation :**

Site mis à l'étude, diagnostic prescrit par arrêté préfectoral. Site nécessitant des investigations supplémentaires.

La pollution de ces sites est avérée et a entraîné l'engagement d'actions de la part de ses responsables. Plus de 18% des sites BASOL correspondent à cette catégorie sur le territoire national.

- **Site traité avec surveillance et/ou restriction d'usage :**

Site sous surveillance après diagnostic, pas de travaux complets de réhabilitation dans l'immédiat. Site traité avec surveillance, travaux réalisés, surveillance imposée par AP ou en cours.

Site traité avec restrictions d'usages, travaux réalisés, restrictions d'usages ou servitudes imposées ou en cours. Au niveau national, près de la moitié des sites (49 %) entre dans cette catégorie.

4.6.3. Elaboration de la carte des pollutions en Rhône-Alpes

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. En l'absence de données de connaissances précises, cette analyse permet de caractériser des panaches potentiels, avec des présences supposées et des atteintes au milieu par rapport à une situation préservée de toute pollution.

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 traitement particulier (dépollution de sites) ni de processus hydrauliques (pompages de rabattement par exemple) ayant mené à la résorption ou rétention de ces panaches.

a) Traitement des données « pollutions »

L'appréciation de la présence de panaches polluants non cartographiés géographiquement s'effectue à partir d'une analyse des données issues de BASOL. Une démarche analogue a été expérimentée sur les régions Ile-de-France, Alsace et Languedoc-Roussillon (cf. rapports BRGM/ RP-54257-FR / 2006 et RP-50993-FR / 2001), afin 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 (et donc présence d'un aquifère) 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 BASOL 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 BASOL 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 inventoriés n'écarte pas pour autant tout risque de pollution des sols et des eaux souterraines, d'origine hors sites industriels, diffuses ou inconnues.

Le principe d'analyse consiste ici à qualifier chaque site par les critères de pollution qui le caractérisent, afin d'apprécier la présence potentielle ou réelle d'un panache polluant, sa localisation et ses contours. Il s'agit avant tout d'une caractérisation présumée et non d'une cartographie réelle, dans les trois dimensions, de panaches répertoriés ; l'objectif étant d'identifier le risque de pollution des eaux et des sols dans la mise en œuvre de forages sur le secteur.

Les éléments pris en compte sont :

- la confirmation d'une pollution de nappe ou la présence d'une nappe vulnérable sous une pollution de sol avérée,
- l'importance du dépôt à l'origine de la pollution et le type de polluant en cause (source),
- la dynamique de pollution dans le sol et la nappe en lien avec la vitesse de transfert en zone non saturée et l'écoulement des eaux (transfert),
- la dynamique de dégradation supposée, en lien avec l'origine (âge) de l'événement...

Le traitement des données s'est attaché en premier lieu à épurer la liste des sites identifiés dans BASOL pour n'en conserver que ceux affectés par une pollution actuelle (effacement d'anciens sites ou erronés), avant d'en vérifier leur localisation géographique (sources de pollution), puis d'en caractériser les impacts par type de pollution et milieu touché.

- **Actualisation et mise à jour des 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.

Le présent exercice s'appuie sur l'inventaire au 31 mai 2015 (dernière mise à jour disponible à la DREAL)

Les deux tiers des sites pollués (ou potentiellement pollués) par des activités industrielles en Rhône-Alpes font l'objet d'une surveillance, essentiellement motivée par la présence de produits encore détectés à des taux au-delà des teneurs naturelles, dans un milieu vulnérable ou atteint. Cette surveillance exprime une pollution potentiellement toujours présente : les panaches de pollutions y seront précisés.

Pour un cinquième des sites BASOL la surveillance ne se justifie pas ou plus, car aucune pollution n'apparaît plus dans le milieu (traitée ou résorbée) : il n'y a pas lieu de tracer de panache.

Enfin, les sites ne bénéficiant d'aucun suivi mais sans justification (parfois en attente) ne présument pas de l'absence d'atteinte au milieu et donc de l'absence de panache de pollutions : ils seront considérés comme lieux potentiels de pollution et de panaches liés.

Au final : 881 sites sont potentiellement concernés par un traitement préventif ou curatif, exprimant une pollution passée ou en cours, et donc la présence d'un panache de pollution (sol et/ou nappe).

* 654 de ces sites font l'objet d'un suivi spécifique sur eau de nappe, dont 332 montrent une atteinte actuelle à la qualité de l'eau souterraine. L'examen des résultats de surveillance (contamination effective des eaux par des produits suivis sur site) montre en réalité 405 sites (+22 %) atteints par une pollution des eaux souterraines.

* 635 sites rhônalpins sont marqués par une pollution des sols dans BASOL. L'examen des résultats de suivi par produit fait progresser ce nombre à 733 sites (+15 %) avec des sols effectivement atteints par une pollution.

* 384 de ces sites sont affectés conjointement d'une pollution des sols et d'une atteinte aux eaux de nappe.

Sites concernés par un traitement préventif ou curatif	Dont sites avec suivi spécifique sur eau de nappe	Dont sites avec atteinte actuelle à la qualité de l'eau	Dont sites marqués par une pollution des sols	Sites atteints à la fois par une pollution des sols et des eaux
881	654	332* ⁴	635	384
		405 après correction	733 après correction	

Illustration 53 : Inventaire des sites BASOL atteints par des pollutions industrielles en Rhône-Alpes (mai 2015)

- **Localisation géographique des sites et lieux de pollution**

Une localisation exacte est nécessaire pour positionner l'origine des panaches et caractériser le milieu atteint.

Ce positionnement induit ou non la présence d'une nappe liée, et l'expression de sa vulnérabilité aux pollutions de surface ainsi que ses caractéristiques locales applicables à la dynamique de pollution (direction et vitesse d'écoulement notamment).

Cette indication reste parfois imprécise pour caractériser le lieu réel des pressions de pollutions industrielles. Dans le détail, la localisation exacte de pollutions des sols et des nappes (la nappe la plus superficielle majoritairement) est liée aux types de pressions (large ou localisée) et d'événements subis (fuites ponctuelles ou linéaires, durable / chronique ou temporaires, diffuse ou localisée).

En pratique, les pollutions réelles résultantes peuvent être limitées à un périmètre relativement restreint (dans le cas de fuites chroniques ou accidentelles de cuves ou bassins par exemple) ou au contraire donner lieu à des panaches plus étendus et diffus, dans les cas de contamination par des sols pollués, de pollution sur un linéaire (fossé perméable) ou à partir de larges dépôts de surface.

Les enregistrements BASOL, repérés par leurs coordonnées X et Y et déclarés par l'établissement industriel, révèlent parfois des localisations imprécises des lieux de pollution, ainsi que des lacunes ou erreurs sur les coordonnées géographiques (cas lors de changements de référentiels géodésiques ou saisie erronée).

Une analyse a donc été faite pour compléter ou relocaliser les lieux de pollution, lorsque cela s'imposait.

Les erreurs ou lacunes caractéristiques de coordonnées géographiques ont ainsi été corrigées ou complétées (sous le référentiel Lambert 93) : 180 coordonnées de sites ont été ainsi amendées (soit 20 % des sites en Rhône-Alpes).

⁴Sur un total de 454 sites rhonalpins montrant une atteinte passée ou actuelle à la qualité de l'eau,

L'essentiel des corrections a concerné la localisation exacte des sites lorsqu'elle s'avérait insuffisamment précise. Ainsi 50 sites, en région, sont positionnés sur le centre de la commune sur laquelle ils s'implantent. Ces localisations imparfaites du lieu des pollutions pouvaient donner lieu à des décalages sur carte et des erreurs évidentes de rattachement à la nappe exposée, ou à ses caractéristiques sur le lieu de la pollution (principalement son sens d'écoulement).

Pour certains sites, les coordonnées d'implantation correspondent à l'entrée de l'établissement (adresse postale) : si cela reste négligeable pour des sites de petite taille, les sites les plus étendus ont fait l'objet d'une expertise déplaçant, au mieux ces coordonnées sur la zone de pollution (si connue), sinon au centre de l'établissement.

Ce travail s'est appuyé notamment sur l'utilisation des contours (limites) d'établissements ICPE (lorsque disponibles), plans cadastraux (lorsque sites repérés), ainsi que sur des comparaisons visuelles à partir de fonds IGN (1/25 000), cartes ou photos (Google Maps ©). Au final, près de 10 % des sites ont fait l'objet d'un déplacement par rapport aux coordonnées saisies dans BASOL.

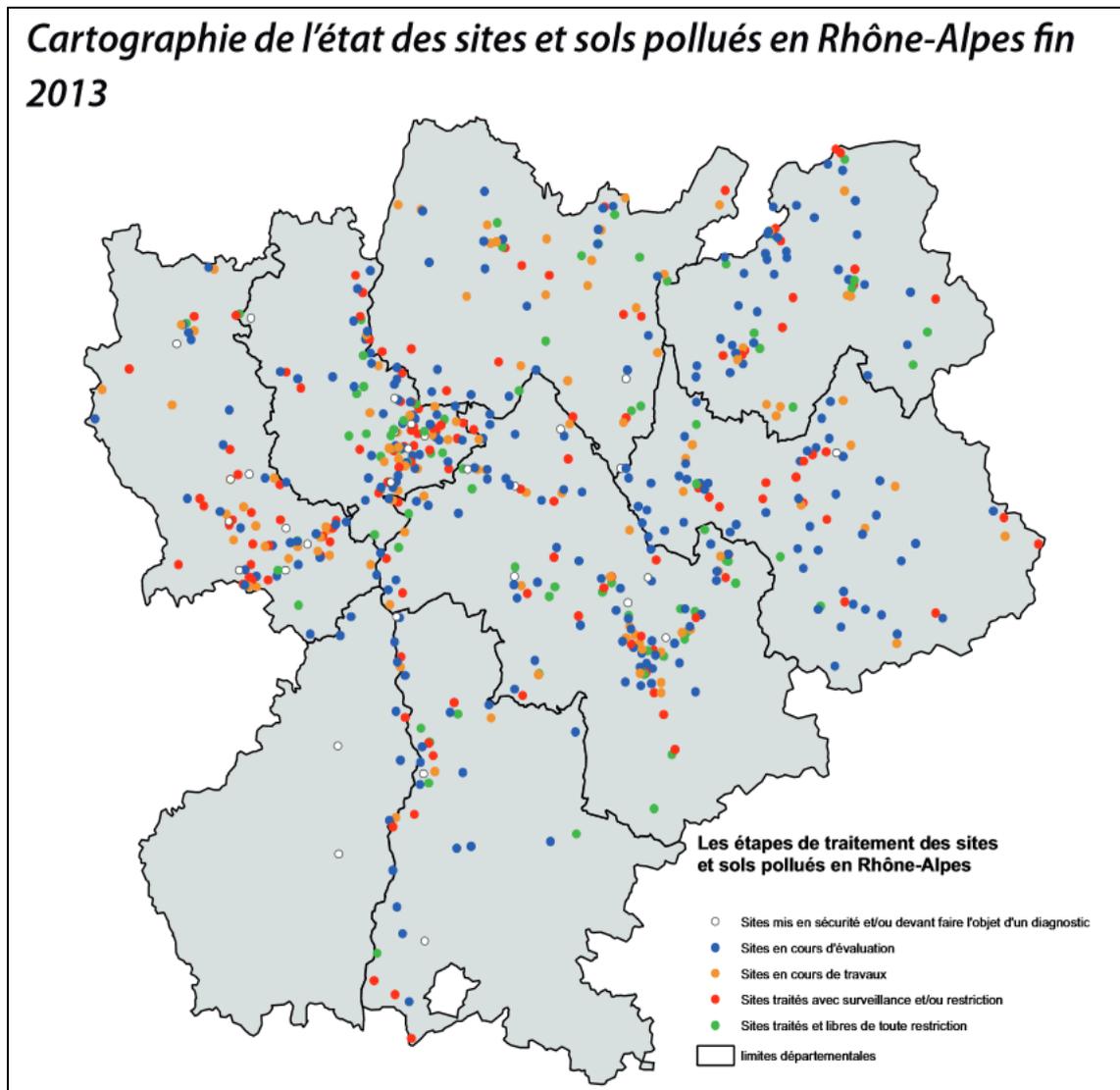


Illustration 54 : Carte des sites et sols pollués BASOL en Rhône-Alpes.

- **Caractérisation des impacts de pollution potentielle**

En l'absence de toute donnée cartographique précise, la taille des panaches de pollution potentiels est appréciée par l'application de critères simplifiés, exprimant l'importance de la source à l'origine de la pollution, l'évolution supposée du panache polluant en fonction de son évolution dans le temps et du comportement particulier du polluant incriminé.

Lorsque qu'aucune cartographie de panache de pollution n'est disponible localement, le choix d'un rayon de 250 m autour de l'installation est retenu (soit une couverture selon un disque de diamètre 500 m). Cette valeur correspond à celle prise en compte pour l'arrêté du 11 septembre 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 souterrains soumis à déclaration.

De même, un panache de pollution affectant un sol aura par défaut une taille de 200 m, représentée par un cercle de 100 m de rayon. Cette valeur est volontairement maximaliste, mais sans réelle incidence à l'échelle cartographique utilisée⁵.

L'estimation de la taille des panaches consiste à affecter à cette taille moyenne un coefficient de pondération lié à l'importance de la source de pollution (quantité, surface ou volume de polluant en cause), au type de polluant d'origine (caractère de solubilité et d'entraînement dans les eaux, à l'âge de la pollution (évolution en maturité du panache). 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.

L'estimation de la morphologie du panache consiste à préciser son extension, en cohérence avec le milieu impacté. 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.

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.

Pollution avérée de sol

En cas de pollution avérée de sol, 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 de la vitesse de transfert de la pollution au sein de la zone non saturée (séparant le sol du toit de la nappe).

Cette vulnérabilité intrinsèque est accessible à travers les résultats des travaux antérieurs du BRGM. Elle a été cartographiée en région en s'appuyant sur la méthode de l'IDPR (indice de

⁵ A l'échelle des cartes Géothermie, on notera que la présence partielle ou totale d'un panache au sein d'une maille de 500x500 m qualifie l'ensemble de la maille de cet état : une taille de panache inférieure à cette valeur n'a donc que peu d'influence sur le résultat final. A contrario, un panache plus important affectant le sol (>100 m voire >500 m) pourra couvrir plus d'une maille dans la grille.

développement et de persistance des réseaux) croisée avec les épaisseurs de zone non saturée équivalentes, à l'échelle d'unités fonctionnelles⁶ pour la région Rhône-Alpes (rapport RP-56386-FR). 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-saturée), cette analyse permet de disposer de valeurs de vulnérabilités intrinsèques à petite échelle (mailles de 250 x 250 m) pour l'ensemble de la région, décrites par un facteur de 1 (extrêmement peu vulnérable) à 100 (extrêmement vulnérable).

Appliquée aux sites BASOL affectés par des pollutions de sols, l'approche permet de traduire ce constat en risque d'atteinte à la nappe et d'apprécier cette atteinte par un facteur probabiliste.

Dans le cas présent, on considéra 5 classes de vulnérabilités intrinsèques, traduites par un facteur de pondération. La distribution des valeurs (facteur de 0,1 à 1) n'est pas linéaire, exprimant une atteinte de la nappe (traduite par la taille de panache) exponentiellement croissante avec sa vulnérabilité (exprimée par la proximité relative de la nappe avec le sol) :

- de 0 à 20	=>	facteur 0,1	minimisation de l'étendue du panache	(1,6% des sites sont concernés)
- de 20 à 40	=>	0,2		(17 % des sites)
- de 40 à 60	=>	0,4		(35 % des sites)
- de 60 à 80	=>	0,7		(38 % des sites)
- de 80 à 100	=>	1	critère maximaliste conservé	(8,4% des sites)

L'étendue du panache de base sur une pollution des sols (100 m par défaut) est également appréciée et pondérée par rapport à :

- l'importance du dépôt à l'origine de la pollution (surface, masse ou volume) ;
- l'ancienneté de l'événement à l'origine de la pollution (lorsque connue) ;
- le type de polluant (comportement particulier dans le sol).

Le cas standard⁷ (catégorie 1) est un dépôt à l'origine de la pollution de dimensions relativement modestes (stock de 10 et 500 t, représentant un dépôt de 10 à 1000 m³ et/ou couvrant de 0,1 à 1 ha). 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).

⁶ Les unités fonctionnelles du milieu souterrain représentent des entités de comportement hydrogéologique homogène et continu (soit près de 7 000 entités >1 ha à l'échelle de Rhône-Alpes).

⁷ Lorsqu'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 de pollution)

Dépôt à l'origine de la pollution de sol...			facteur pondérant	cat.
d'un poids	d'un volume	d'une surface		
supérieur ou égal à 10 000 tonnes	supérieur ou égal à 15 000 m ³	supérieure ou égale à 10 ha	x 3	3
entre 500 et 10 000 tonnes	entre 1 000 et 15 000 m ³	entre 1 et 10 ha	x 2	2
compris entre 10 et 500 t	compris entre 10 et 1 000 m ³	comprise entre 0.1 et 1 ha	x 1	1
inférieur à 10 tonnes	inférieur à 10 m ³	inférieure à 0.1 ha	x 0,5	0

Illustration 55 : Facteur de pondération lié à l'importance du dépôt (exprimé en poids, volume ou surface).

Pollution avérée de nappe

En cas de pollution avérée de nappe, on considérera une taille-type de panache de pollution au sein de la nappe la plus superficielle : par défaut, une pollution connue mais non caractérisée est représentée par un panache de 250 m de rayon autour de la source présumée (site repéré par ses coordonnées).

La vulnérabilité intrinsèque de la nappe n'entre plus en compte, puisque celle-ci est « déjà » polluée.

Comme pour les sols, une pondération équivalente est appliquée pour la caractérisation du panache en nappe :

- l'importance du dépôt à l'origine de la pollution (en surface, masse ou volume) ;
- l'ancienneté de l'événement à l'origine de la pollution (lorsque connue) ;
- le type de polluant (comportement particulier influençant l'extension du panache).

Les mêmes facteurs de pondération que pour une atteinte des sols sont affectés à la taille du panache, en fonction de l'importance du dépôt (exprimé en poids, volume ou surface) : voir tableau ci-avant.

- **Evolution du panache avec l'âge**

Les données de chronologie de BASOL sont utilisées pour qualifier l'âge de la pollution (origine) lorsque disponible.

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 donc 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).

- **Evolution du panache 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 inventorié dans BASOL 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 affectée d'un facteur pondérant x 3 (diamètre multiplié par 3).

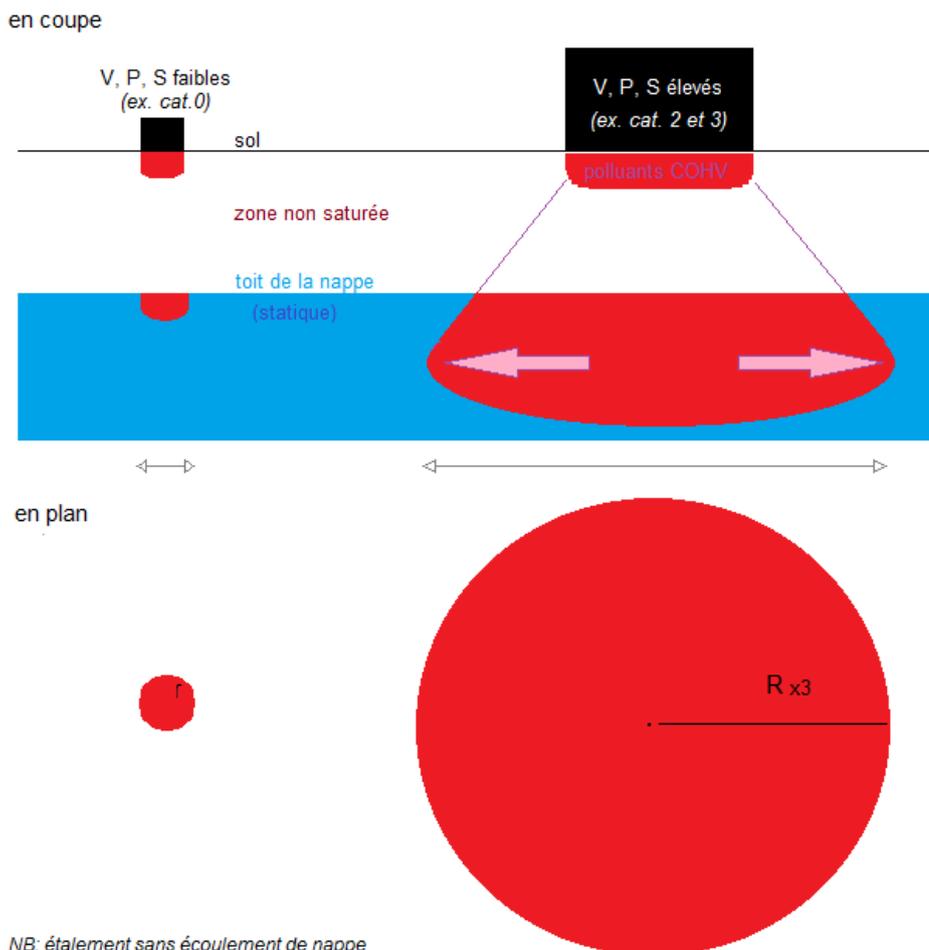


Illustration 56 : Détermination de la taille du panache selon l'importance de la source et type de polluants.

- **Caractérisation de l'environnement hydrogéologique**

La localisation et l'extension (taille relative) des panaches définies, il est nécessaire de préciser la géométrie présumée de ceux-ci, 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 les écoulements au sein de celle-ci règlent le comportement du panache (direction et vitesse d'écoulement). Il est également considéré que le panache se développe au sein un aquifère homogène, sans distinction des profondeurs et de la répartition des polluants sur la dimension verticale (la cartographie finale s'établissant en 2D).

La dispersion est le principal élément pris en compte pour l'étalement du panache de pollution. Celui-ci subit un étirement selon une dispersion longitudinale (suivant le sens de l'écoulement) et une dispersion transversale proportionnelles à la distance parcourue dans la nappe. La proportion généralement retenue est une dispersion transversale équivalent au 1/10^e 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, selon cette hypothèse, pour traduire la morphologie et la 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 1/10^e 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. 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.)

Les plus grands étirements sont donnés pour des vitesses des eaux « rapides »⁸ (cas courant des nappes alluviales d'accompagnement de cours d'eau), tandis que les écoulements lents donnent lieu à des panaches plus ramassés.

En outre, la méconnaissance des écoulements souterrains donne lieu à des panaches également moins étirés et relativement plus larges, afin d'exprimer l'incertitude sur le cheminement des polluants au sein de la nappe.

Lorsqu'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).

Etape 1 (en rose) : détermination de la taille du panache sans prise en compte de l'écoulement de nappe

Etape 2 (en rouge) : resserrement et étirement du panache selon le sens d'écoulement des eaux

⁸ Vitesses globalement supérieures à 1 km/an (cf. eaux de la nappe du Rhin 1700 m/an , nappe Rhône 1 800 m/an)

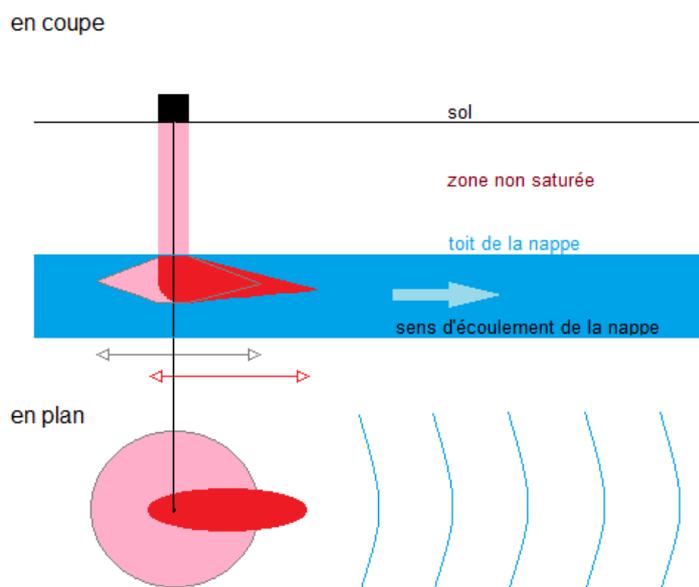


Illustration 57 : Détermination de l'étiement du panache selon le sens d'écoulement de la nappe.

c) Résultats

Les panaches de pollution recomposés au droit des sites pollués donnent lieu à un inventaire et une cartographie régionale dont les résultats sont donnés ci-après.

- **Données**

401 sites présentent des panaches de pollution potentiels affectant directement la nappe, avec des extensions appréciables comprises entre 250 et 6 750 m. (cf. figure 57).

La taille médiane des panaches est de 500 m (soit la taille exacte d'une maille cartographique).

La taille théorique moyenne par défaut des panaches (« tâche » de 250 m de rayon) est atteinte ou dépassée dans 54 % des cas (inférieure à cette taille par défaut dans 46 % des situations).

La grande majorité des panaches (43 %) ont une longueur modeste, inférieure à 250 m. A l'inverse moins de 30 % des panaches ont une taille supérieure à 1 km et 7 % s'étirent sur plus de 3 kms.

Par ailleurs, 635 sites présentent des pollutions de sols, avec présence de nappe, susceptible de donner lieu à un panache de pollution consécutif à son atteinte (cf. figure 58).

La taille médiane des panaches engendrés reste très modeste, de l'ordre de 70 m (très inférieure à la taille d'une maille cartographique).

Le plus long panache théorique atteint 1 890 m, alors que les plus longs panaches concernent des sites également touchés par une pollution de nappe avérée.

La grande majorité des panaches (35%) présente une taille inférieure à 60 m, et un dixième fait moins de 20 m.

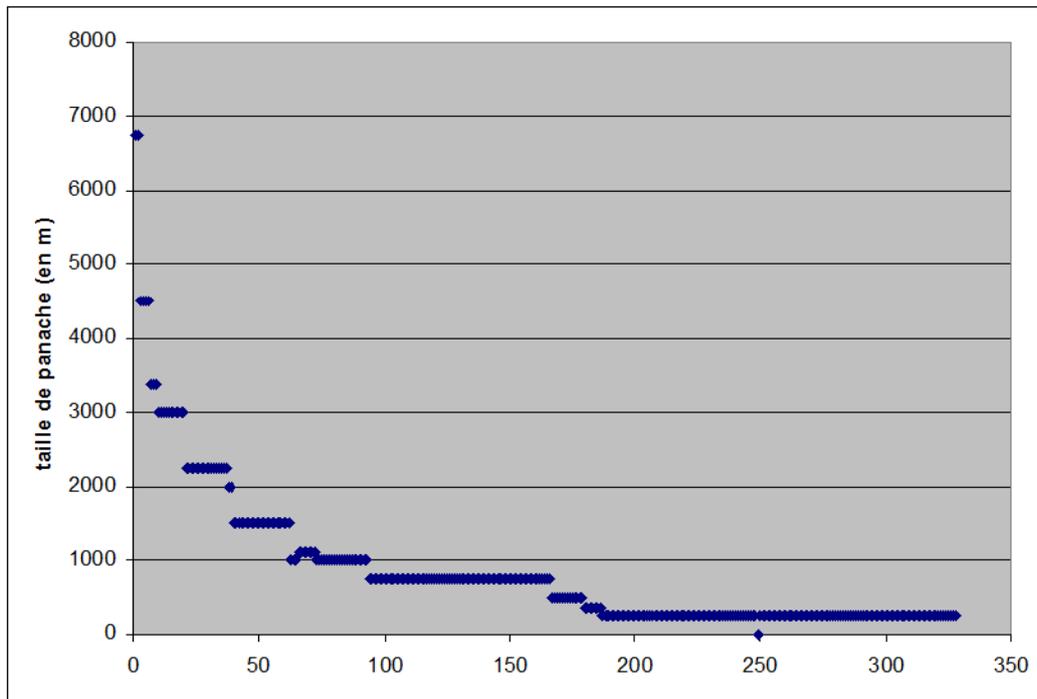


Illustration 58 : Distribution des tailles de panaches estimés sur les pollutions connues de nappes (sites Rhône-Alpes).

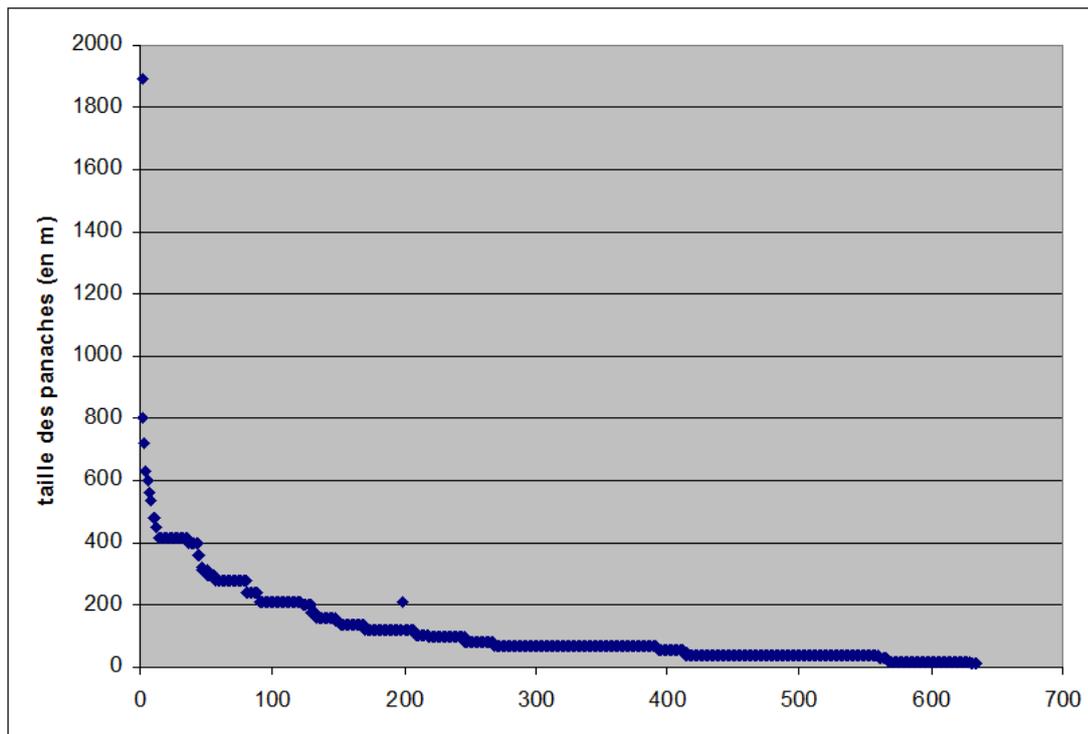


Illustration 59 : Distribution des tailles de panaches estimés sur les pollutions provenant des sols (sites Rhône-Alpes).

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

- **Cartes**

Les grands bassins industriels régionaux présentent le plus grand nombre de sites pollués et de panaches résultants (Lyon, Grenoble). Certains territoires montrent des recouvrements des panaches de pollutions : ces expositions multiples ne donnent pas lieu à un comptage multiple.

La traduction cartographique des panaches potentiels dans la grille d'état aboutit à un zonage différencié exprimant l'origine du panache en chaque maille : pollution de nappe avérée, pollution de nappe ayant pour origine une pollution de sol avérée, pollution de nappe et de sol.

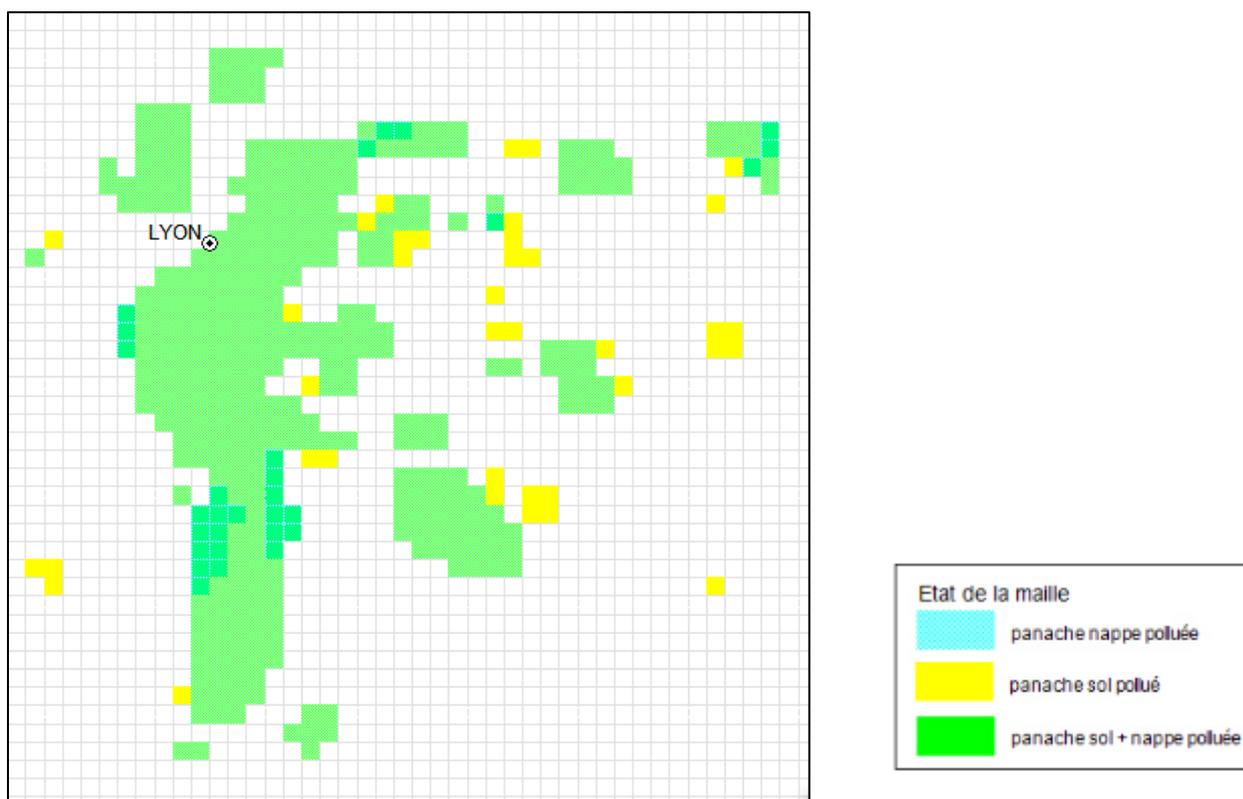
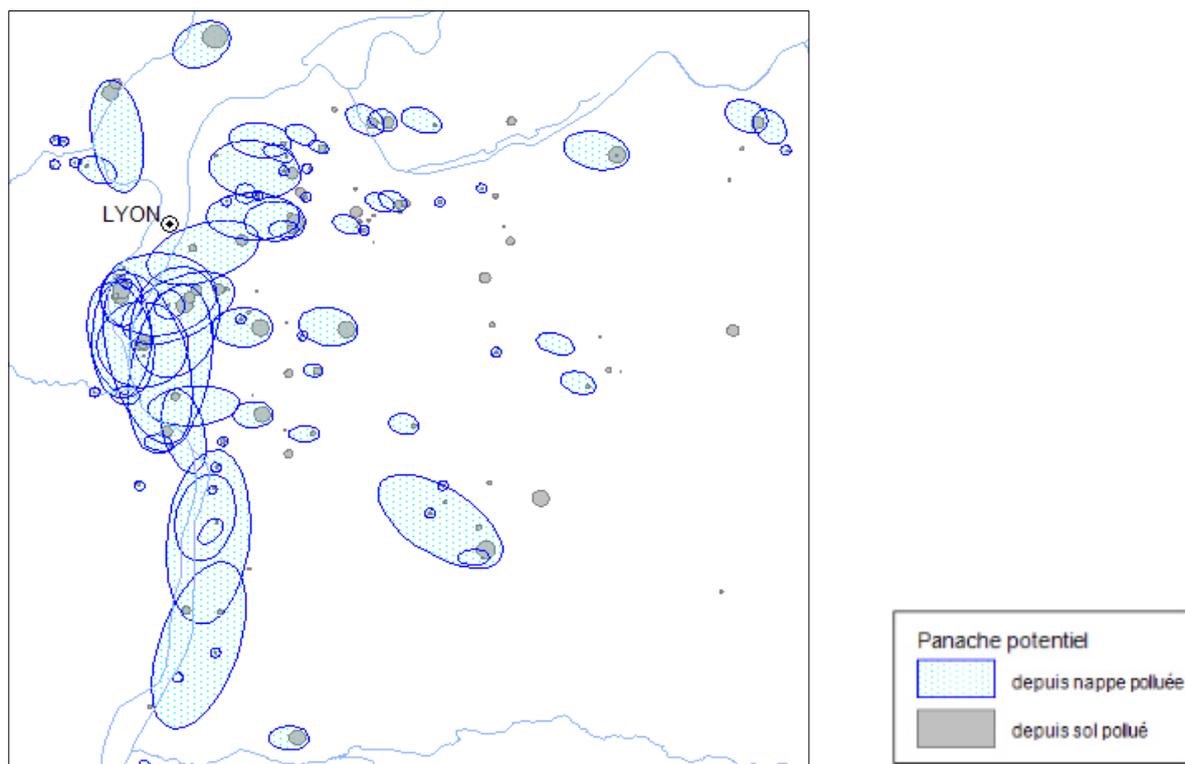


Illustration 60 : Zoom sur le bassin lyonnais : panaches et traduction en grille d'état (maillage 500x500 m).

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

Cartographie des panaches de pollutions potentiels en Rhône-Alpes

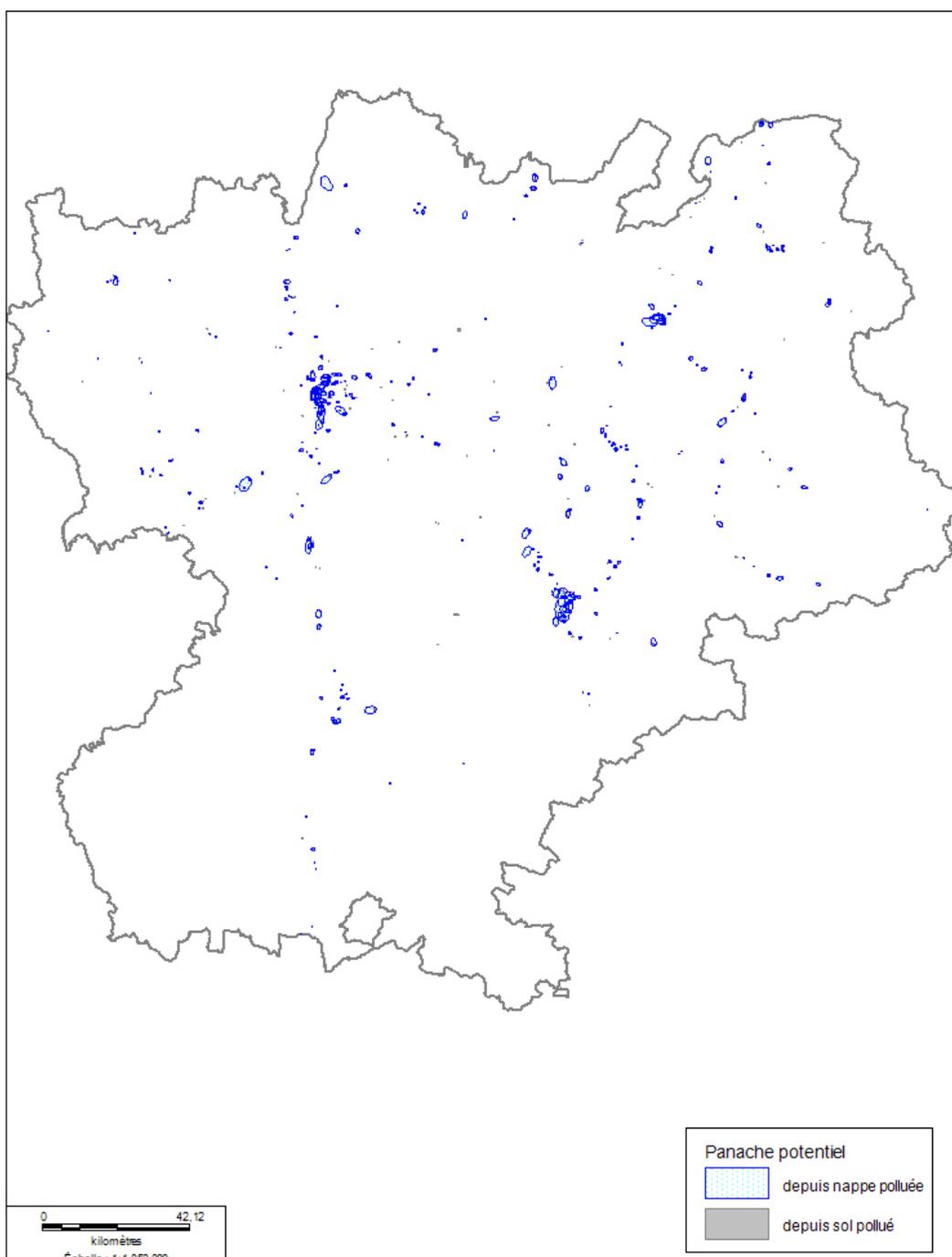


Illustration 61 : Carte des panaches

Grille des panaches de pollutions potentiels en Rhône-Alpes

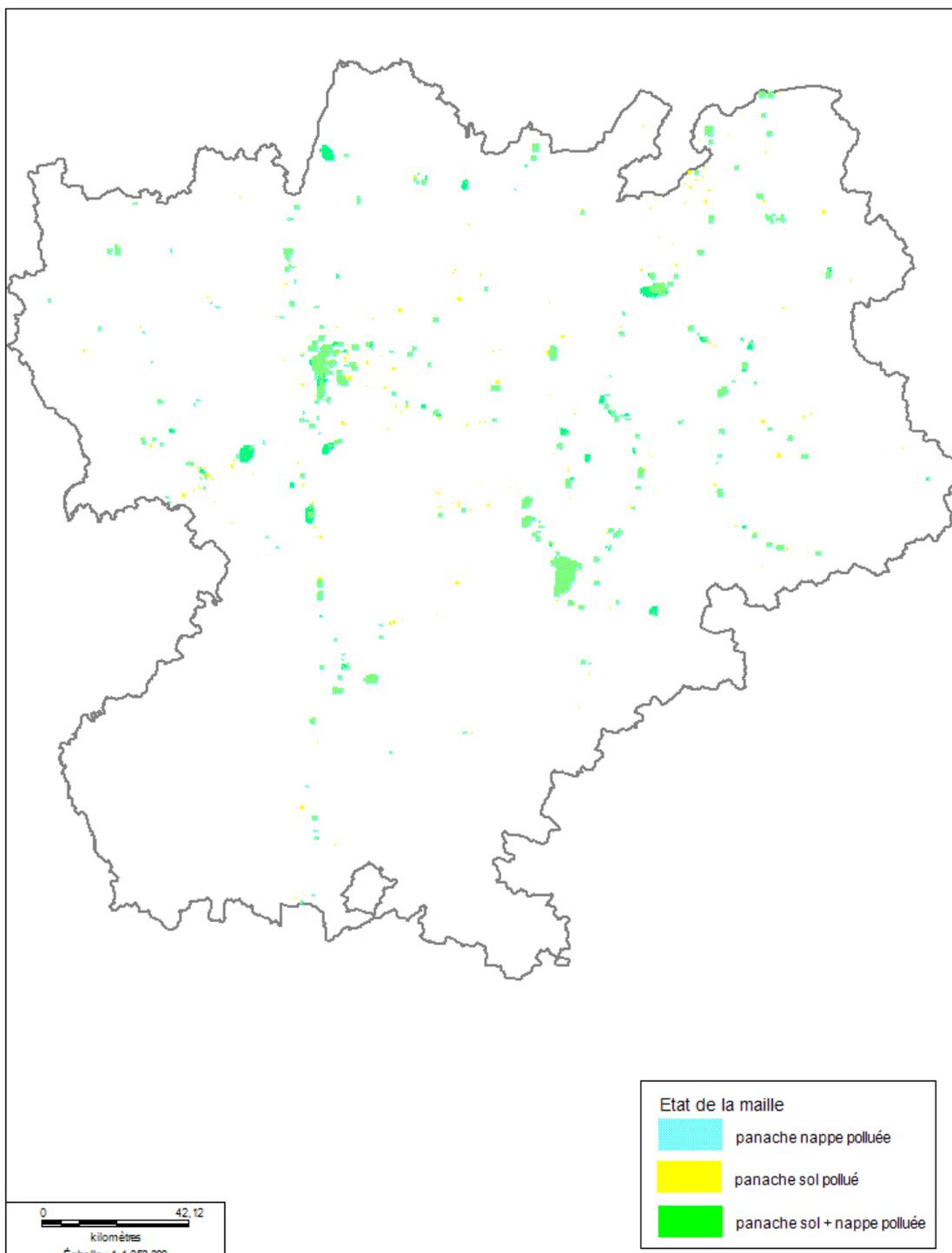


Illustration 62 : Grille de traduction des emprises de panaches de pollution

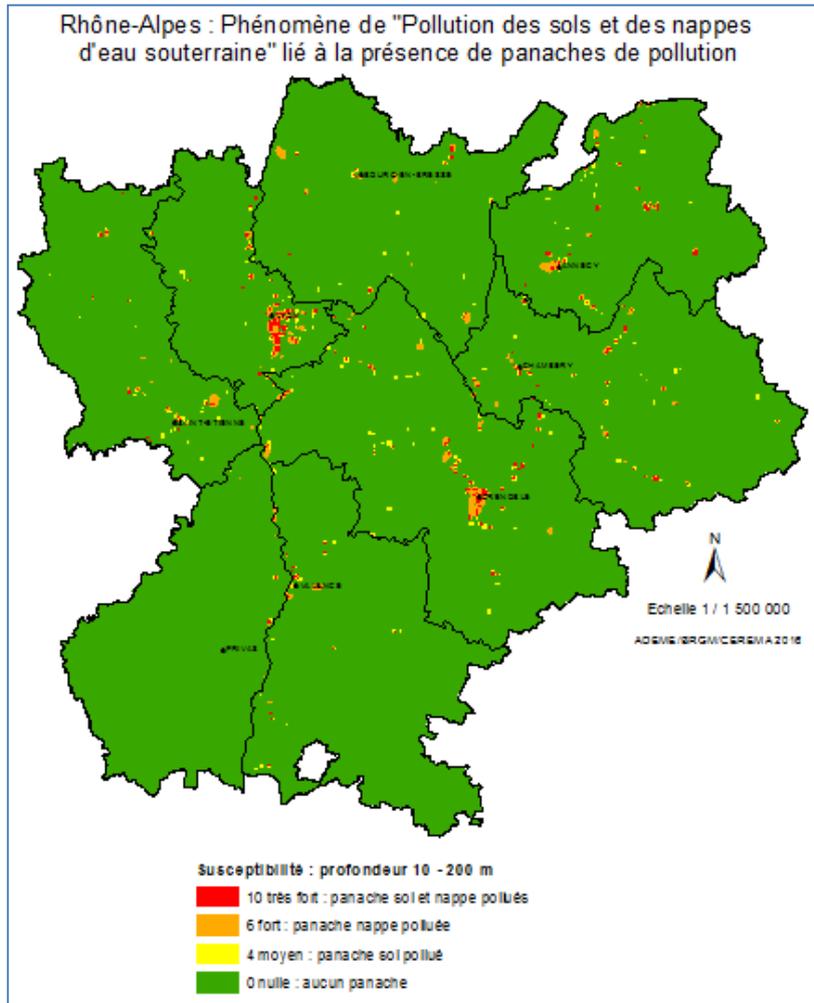


Illustration 63 : Carte des niveaux de susceptibilité du phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine » lié à la présence de panaches de pollution en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 - 200 m.

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

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

→ Compte-tenu de la qualification spécifique du phénomène adoptée en Rhône-Alpes, là où le guide propose une valeur de susceptibilité pour la présence d'un panache de pollution (10), nous avons adopté pour ce phénomène les valeurs suivantes, qui complètent le 1^{er} phénomène (§ 4.5) dans l'élaboration de la carte réglementaire :

Niveaux aléa / Susceptibilité du phénomène	Nul	Moyen (panache sol pollué)	Fort (panache nappe polluée)	Très fort (panache sol et nappe pollués)
Valeur du niveau d'aléa	0	4	6	10

4.7. PHENOMENE ARTESIANISME

4.7.1. Phénomène redouté

Définition de l'artésianisme : aptitude d'un aquifère captif à permettre la remontée d'eau spontanée par des ouvrages (puits, forages).

Cette remontée d'eau en surface peut ainsi entraîner des écoulements d'eau sur le sol, et/ou une déstabilisation d'une formation superficielle. L'aquifère concerné a ainsi une surface piézométrique située au-dessus de la surface du sol. 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 régionale en Rhône-Alpes du phénomène d'artésianisme. La qualification du phénomène est donc basée sur le retour d'expérience (connaissance de forages artésiens) et sur la comparaison entre le niveau piézométrique des aquifères et l'élévation du terrain.

La qualification est établie ainsi :

- **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 :

- Le référentiel hydrogéologique français BD-LISA (Base de données des limites des systèmes aquifères) qui fournit le contour des entités hydrogéologiques et leur ordre relatif en profondeur ;
- Les données recueillies dans le cadre du projet de Synthèse Hydrogéologique du Bassin Rhône-Méditerranée-Corse ;
- L'atlas du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères de la région Rhône-Alpes ;
- Des entretiens téléphoniques de différents professionnels (Bureaux d' Etudes Techniques BURGEAP et Idées Eaux en particulier).
- Le contenu des dossiers de certains ouvrages répertoriés en BSS. En effet, la majorité des informations relatives à l'artésianisme n'apparaît pas lors de la simple consultation des fiches BSS numériques. Suite aux entretiens téléphoniques et différentes recherches

bibliographiques mettant en avant les phénomènes d'artésianismes observés dans la région, le BRGM a consulté les archives BSS afin d'identifier les forages artésiens. Les informations alors retrouvées sont incluses dans les rapports de foration, les coupes géologiques ou techniques des forages, les documents manuscrits de foreurs ou hydrogéologues agréés...

Les secteurs à susceptibilité moyenne sont identifiés majoritairement dès la tranche de profondeur 10 - 50 m. Ce sont des parties des entités hydrogéologiques codées 505AA02 (Graviers sous couverture argileuse du "Saint-Côme" du Val de Saône), 507AE00 (Formations molassiques de la Dombes et de la Bresse), 113AI01 (Forez), 760AC05 (Séchilienne), DG218 (Molasse-Valréas), DG511 (Lavours), 507AC00 (Sulignat), 517AE00 (Arbroz), 516AI00 (Fillinges), 516AC00 (Gavot) et 516AD01 (Terrasses Thonon) et la Molasse GrignanGrillon, le ViaducCotière-BonnaSabla, l'Est-Lyonnais et les Cônes de déjection-Gresivaudan.

Dans la tranche 100-200 m sont de plus concernées des parties complémentaires de l'entité hydrogéologique 507AE00 (Formations molassiques de la Dombes et de la Bresse), qui n'apparaissent que sur la carte 10 – 200 m car rencontrées vers 180 m de profondeur.

Pour déterminer les indices ponctuels d'artésianisme ont été utilisés :

- Les ouvrages de la BSS identifiés comme artésiens (traitement automatique) ;
- Les piézomètres artésiens de la base de données ADES (accès aux données sur les eaux souterraines).

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 intersectent ont une susceptibilité forte. Sept des neuf forages identifiés concernent un aquifère artésien dès la tranche de profondeur 10-50 m, deux forages concernent des aquifères artésiens à partir de 70 m et à partir de 80 m de profondeur (donc pour la tranche 10-100 m).

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

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

4.7.4. Cartographie de l'aléa du phénomène artésianisme

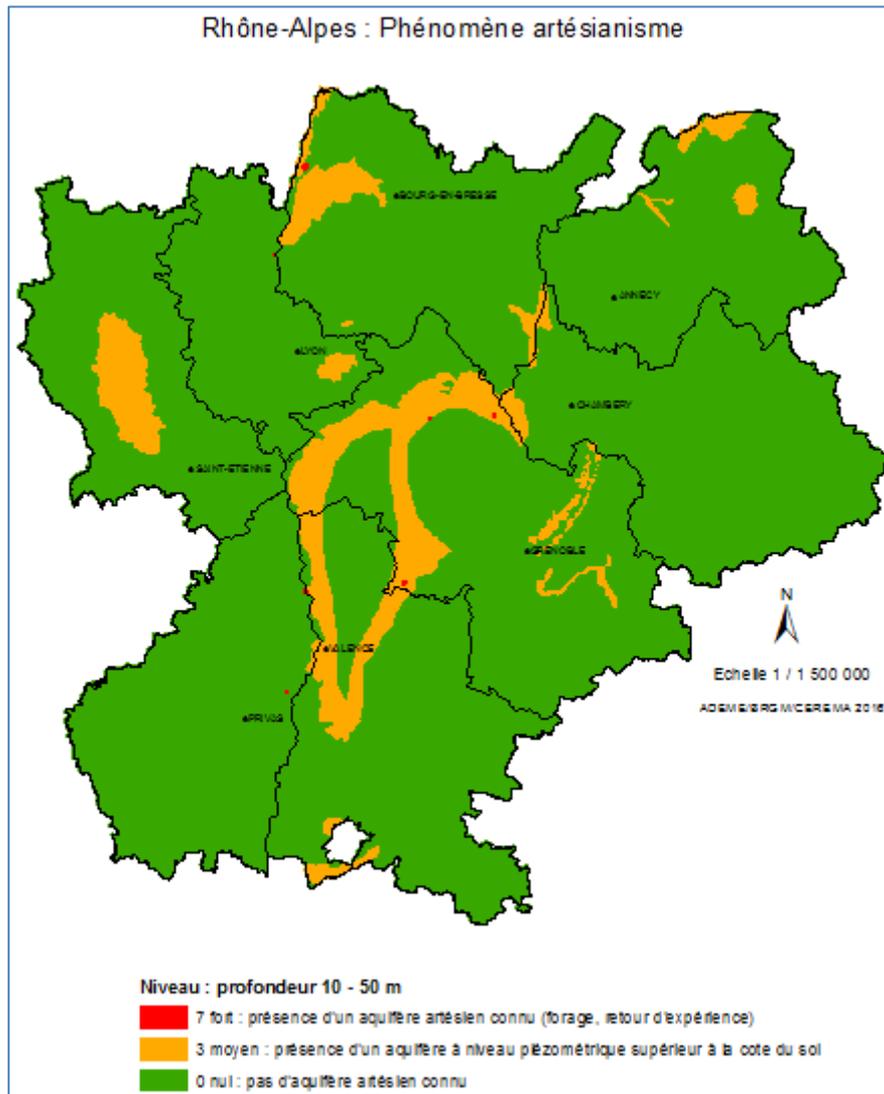


Illustration 64 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 - 50 m.

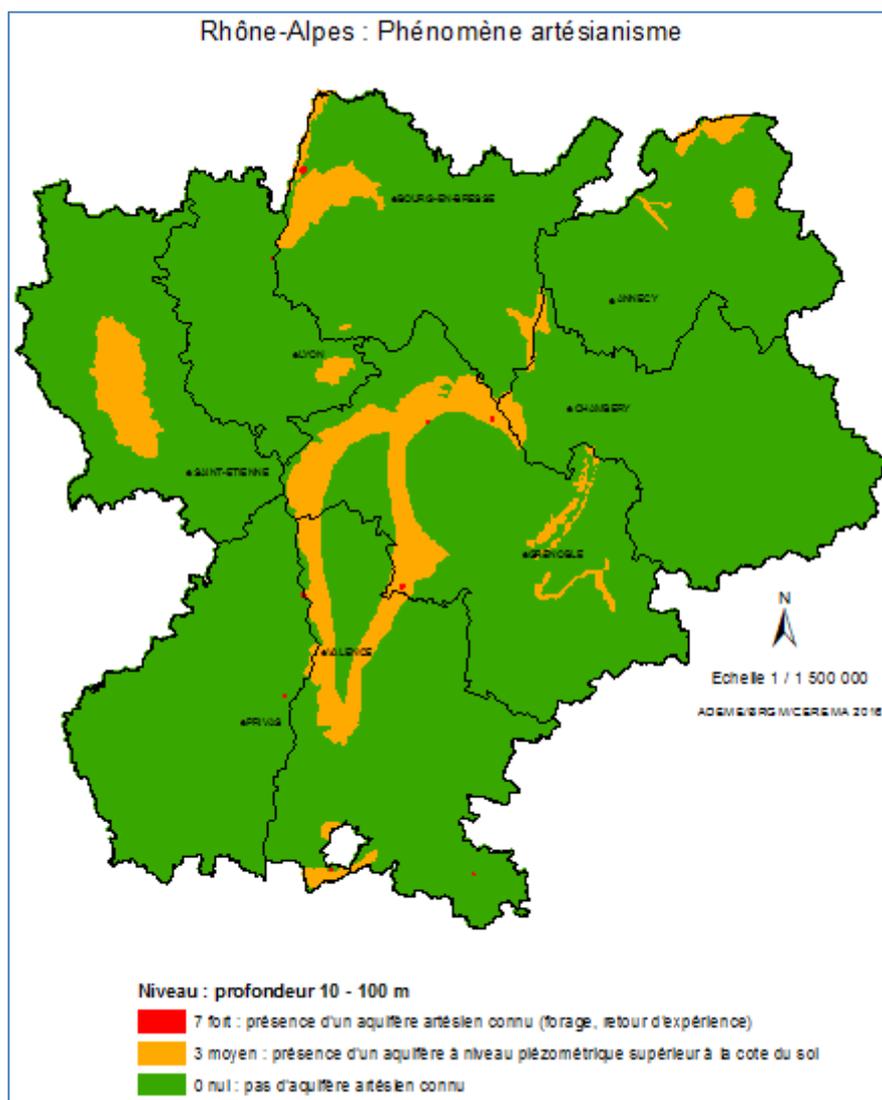


Illustration 65 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 - 100 m.

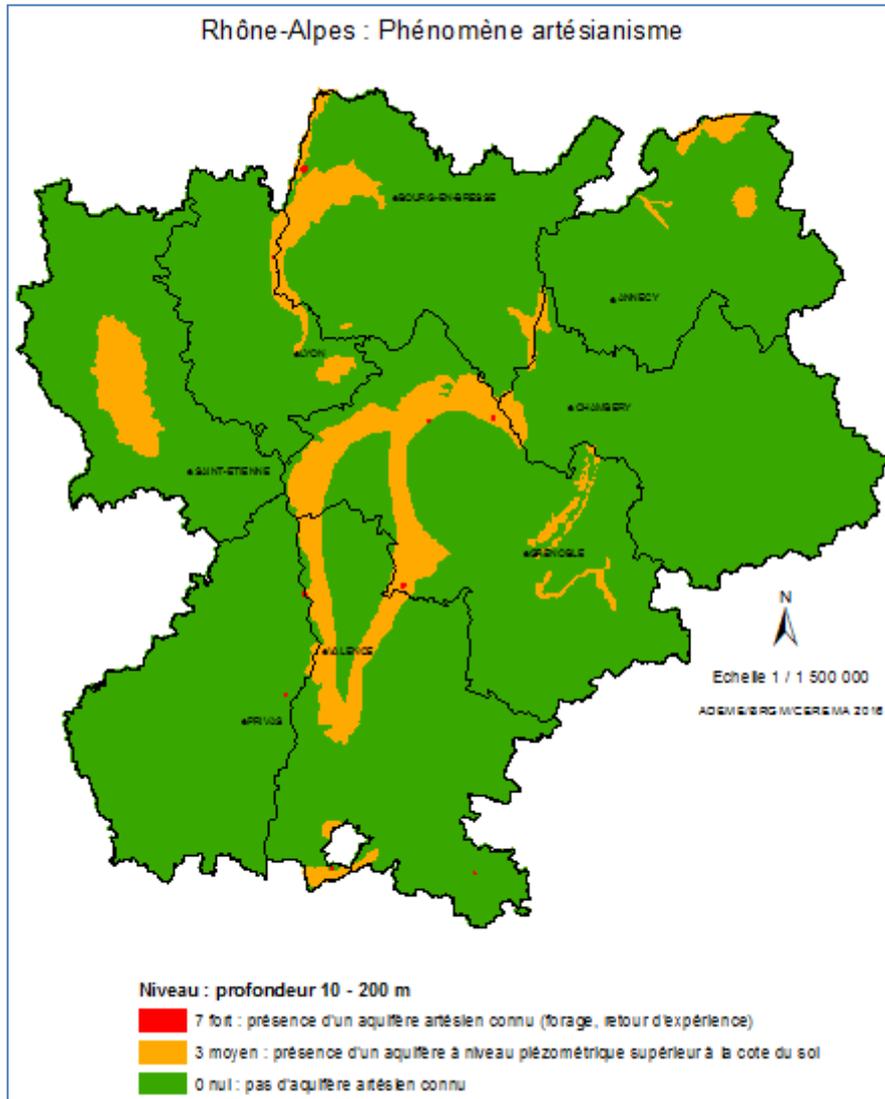


Illustration 66 : Carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 - 200 m.

4.7.5. Cotation de l'aléa du phénomène artésianisme

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

Les valeurs de niveau d'aléa/susceptibilité fournies par le guide (0, 3 et 7) ont été retenues en Rhône-Alpes :

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

→ Les valeurs des facteurs aggravants fournies par le guide (2 pour les échangeurs ouverts et 4 pour les échangeurs fermés) 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'être confronté à l'artésianisme sans y être préparé).

Pour la cartographie Rhône-Alpes, l'analyse est différente : nous prenons en compte le fait que d'expérience, les foreurs, quel que soit le type d'ouvrage à réaliser (échangeur fermé ou échangeur ouvert) ont la même connaissance du contexte hydrogéologique local, et donc que le risque est identique, avec des valeurs égales de facteur aggravant (4) :

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

4.8. PHENOMENE DE MISE EN COMMUNICATION D'AQUIFERES

4.8.1. Phénomène redouté

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

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

Il n'existe pas de carte 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 considéré.

→ Après décision du comité de pilotage de l'étude, la prise en compte en Rhône-Alpes d'une 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, n'a pas été validée. Il a 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.

La susceptibilité a donc été établie ainsi en Rhône-Alpes

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

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

4.8.3. Données utilisées pour le traitement

Pour déterminer la présence d'aquifères ont été utilisés :

- le référentiel hydrogéologique français BD-LISA (Base de données des limites des systèmes aquifères) qui fournit le contour des entités hydrogéologiques et leur ordre relatif en profondeur. Nous avons pris en compte les entités hydrogéologiques superficielles (de type alluvions, cônes de déjection...) et les entités hydrogéologiques

définies à l'échelle régionale (niveau 2 du référentiel) identifiées soit comme systèmes aquifères dans la pile du sous-sol, soit comme domaines hydrogéologiques avec milieu karstique (*confer* illustrations 64 et 65).

- les ouvrages « eau » de la Banque de données du sous-sol (BSS) pour préciser localement la profondeur du toit des aquifères ;
- l'atlas du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères de la région Rhône-Alpes qui fournit pour sa zone d'étude (20 % du territoire régional) les informations sur le nom de la ressource en eau souterraine potentielle a priori la plus intéressante, dans un maillage de 500 x 500 m et les profondeurs d'accès à la ressource du meilleur aquifère selon les tranches :
 - o Profondeur < 5 m.
 - o Profondeur >= 5 m et < 15 m.
 - o Profondeur >= 15 m et < 30 m.
 - o Profondeur >= 30 m.
 - o Profondeur non connue précisément.
 - o Présence de plusieurs aquifères superposés fournie en plus ;
- l'expertise de l'hydrogéologue régional.

L'étude de certaines formations aquifères a notamment fait l'objet d'expertise afin de préciser leurs profondeurs et définir leur appartenance à telle tranche de profondeur. Ce sont notamment les « formations molassiques de la Dombes et de la Bresse (code 507AE) », les « formations calcaires jurassiques sous couverture du fossé bressan (code 505AK) » et les « calcaires jurassiques du Haut-Bugey (code 515AL) ».

CODE-ENTITE	DENOMINATION ENTITE
515AL	Calcaires jurassiques du Haut-Bugey
521AT	Formations molassiques de l'Est Lyonnais
507AD	Formations argilo-sableuses du Plio-quaternaire ancien du Val de Saône
521AU	Formations molassiques du Bas-Dauphiné
515AO	Calcaires jurassiques et crétacés de la Haute Chaîne et du Pays de Gex
521AQ	Terrasses fluvio-glaciaires du Rhône entre Vertrieu et Saint- Romain-de-Jalionas
516AI	Sillons fluvio-glaciaires des vallées de la Menoge et de l'Arve
516AF	Sillons fluvio-glaciaires du pays de Gex
521AM	Alluvions fluvio-glaciaires de la plaine de Bièvre-Valloire
515AM	Calcaires jurassiques du Bas-Bugey
533AP	Formations du houiller, dolomies et marnes du Trias et du Lias, calcaires du Jurassique et du Crétacé inférieur de la bordure cévenole entre St Ambroix et Alès
515AP	Calcaires jurassiques et crétacés du Haut Jura
521AR	Alluvions anciennes de la plaine de Valence
521AF	Alluvions anciennes des basses terrasses entre la confluence de l'Isère et de la Drôme
521AO	Formations fluvio-glaciaires du Bas-Dauphiné - Véga et Sévenne
521AP	Formations fluvio-glaciaires du Bas-Dauphiné - Gère et Vésonne
561AA	Molasse miocène du Comtat Venaissin

521AD	Formations glaciaires du plateau de Louze, de Saint-Prim et de Salaise-sur-Sanne
621AX	Calcaires jurassiques et triasiques des Monts d'Or
533AF	Calcaires jurassiques de la bordure sous-cévenole
505AA	Graviers sous couverture argileuse du "Saint-Côme" du Val de Saône
515AR	Calcaires du Jurassique moyen et supérieur du Revermont et de la Petite Montagne
521AN	Alluvions anciennes des terrasses de l'Isère
507AC	Formations plio-quadernaires de la Dombes
533AH	Calcaires urgoniens en rive droite de l'Ardèche de Vallon-Pont-d'Arc à Saint Martin d'Ardèche
531AA	Alluvions des hautes terrasses de Donzère - Les Granges-Contardes
565AA	Massif calcaire du Crétacé supérieur du Dévoluy
158AA	Massif volcanique du Deves (Massif Central)
516AG	Sillons fluvio-glaciaires du sud genevois
159AA	Massif volcanique du Velay oriental (Massif Central)
521AG	Formations morainiques de la basse vallée de l'Ain
113AC	Calcaires de l'Eocène-Oligocène inf., majoritairement lacustres, du Bassin Parisien
515AA	Formations crétacées et miocènes des synclinaux du Haut-Jura et du Haut-Doubs
507AE	Formations molassiques de la Dombes et de la Bresse
507AB	Formations fluvio-glaciaires du couloir de Certines
521AJ	Formations fluvio-glaciaires du couloir de Décines-Chassieu
565AF	Calcaires du Crétacé inférieur des Monts de Vaucluse et de la montagne du Lubéron
534AQ	Calcaires urgoniens du bassin hydrogéologique de la Cèze
521AK	Formations fluvio-glaciaires du couloir d'Heyrieux
521AH	Formations fluvio-glaciaires de Meximieux à Montluel
515AI	Calcaires jurassiques et crétacés du plateau de Champagnole
525AA	Alluvions du plateau de la Matheysine
533AK	Grès du Trias (moyen et inférieur) ardéchois
521AI	Formations fluvio-glaciaires du couloir de Meyzieu
516AH	Sillons fluvio-glaciaires d'Evian
533AE	Calcaires urgoniens de la Montagne de la Serre
516AE	Sillons fluvio-glaciaires de Thonon-les-Bains
505AK	Formations calcaires jurassiques sous couverture du fossé bressan
515AN	Calcaires jurassiques et crétacés sous couverture du Pays de Gex

Illustration 67 : Liste des entités de de nature « Système aquifère » issues du référentiel hydrogéologique BDLISA en Rhône-Alpes.

CODE-ENTITE	DENOMINATION ENTITE
517AB	Formations crétacée du Royans
517AK	Calcaires et marnes crétacés de la Chartreuse
517AN	Calcaires et marnes jurassiques et crétacés de la Chaîne des Aravis
517AL	Calcaires et marnes jurassiques et crétacés des Bornes occidentales
528AA	Calcaires jurassiques entre Saint-Peray (Crussol) et Charmes-sur-Rhône
517AP	Calcaires et marnes jurassiques et crétacés des Bauges orientales
517AA	Formations crétacées du Vercors
516AM	Calcaires crétacés du Salève, de la Mandallaz et d'Age
523AB	Calcaires, marnes et grès du Jurassique et du Trias de la Côte mâconnaise
517AC	Formations variées secondaires et tertiaires de la bordure nord du Vercors
517AI	Calcaires et marnes secondaires du Massif de Platé
531AF	Calcaires barrémo-bédoulien de Montélimar-Francillon et Valdaine
517AO	Calcaires et marnes jurassiques et crétacés des Bauges occidentales
531AE	Calcaires et marnes crétacés et jurassiques de la vallée du Rhône au Diois et aux Baronnies
517AF	Formations variées secondaires et tertiaires du domaine Briançonnais : nappes de charriage des Préalpes médianes et ultrahelvétique ouest
533AG	Calcaires urgoniens en rive gauche de l'Ardèche de Vallon-Pont-d'Arc à Saint Martin d'Ardèche
516AN	Calcaires jurassiques et crétacés du Gros Foug
516AQ	Calcaires jurassiques et crétacés des chaînons jurassiens du Mont Tournier, de la montagne du Ratz et de l'anticlinal de Poliénas
516AP	Calcaires jurassiques et crétacés de l'Épine
516AO	Calcaires jurassiques et crétacés de Vuache
517AM	Grès oligocènes et calcaires liasiques du synclinal de Thônes
531AD	Calcaires cénomano-turonien de la Forêt de Saoû
505AK	Formations calcaires jurassiques sous couverture du fossé bressan

Illustration 68 : Liste des entités de de nature « Domaine hydrogéologique » et de milieu « karstique » issues du référentiel hydrogéologique BDLISA en Rhône-Alpes.

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

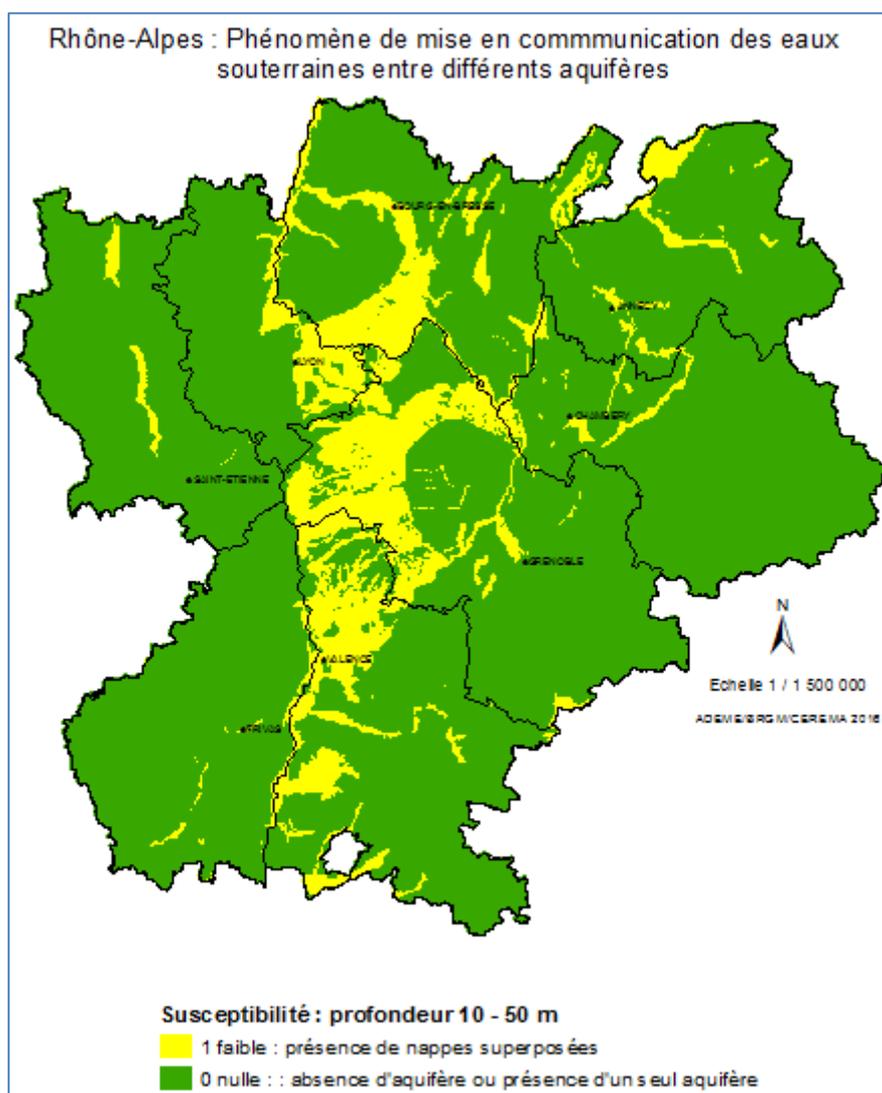


Illustration 69 : Carte des niveaux de susceptibilité du phénomène de mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 - 50 m.

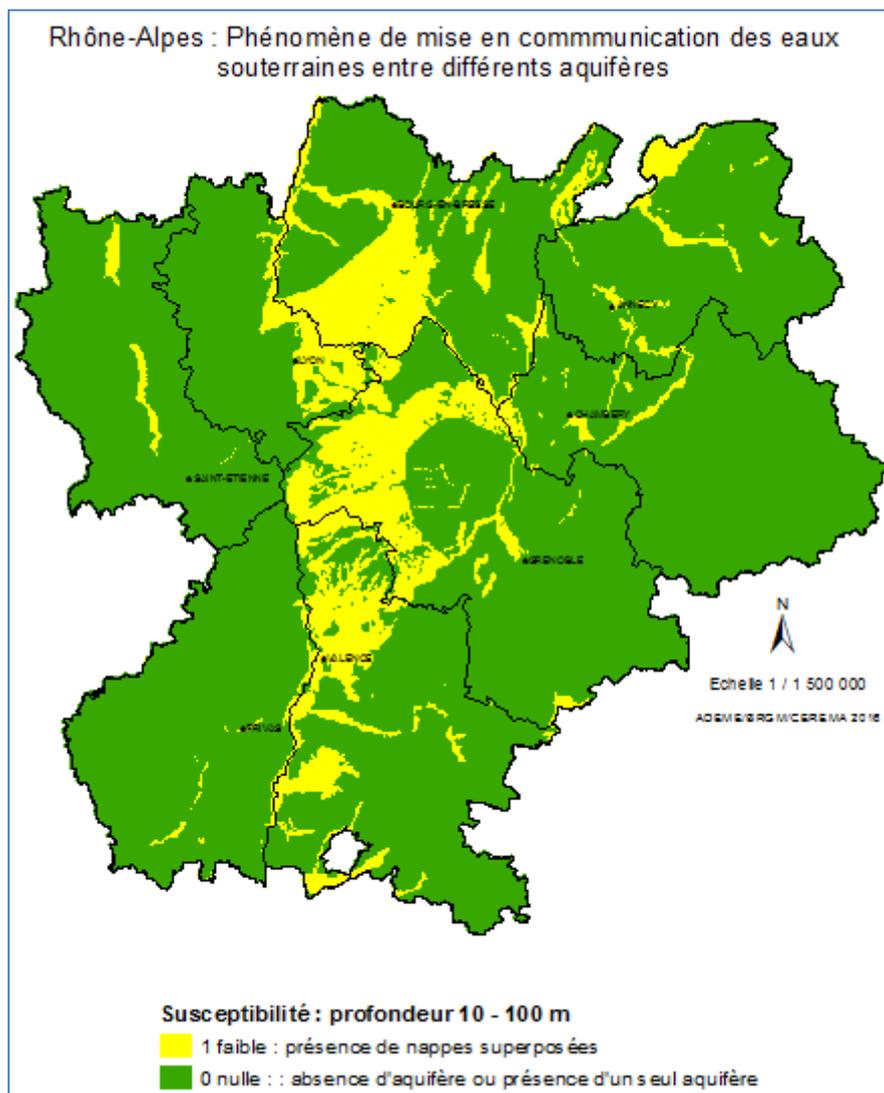


Illustration 70 : Carte des niveaux de susceptibilité du phénomène de mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 - 100 m.

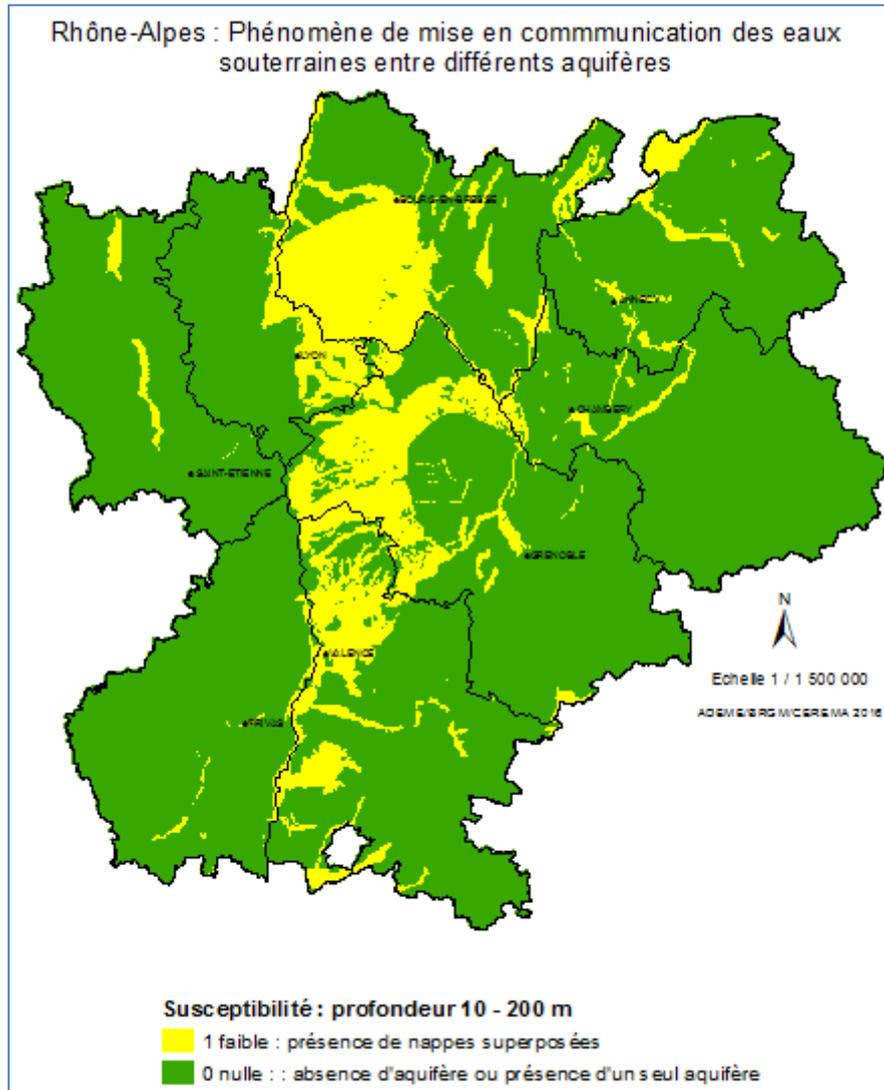


Illustration 71 : Carte des niveaux de susceptibilité du phénomène de mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères en Rhône-Alpes pour une profondeur 10 - 200 m.

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

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

→ Compte-tenu de la qualification spécifique du phénomène adoptée en Rhône-Alpes (2 niveaux de susceptibilité, § 4.8.2), parmi les valeurs du guide (0, 1, 4), nous avons retenu en Rhône-Alpes les valeurs suivantes :

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

4.9. PHENOMENE D'INONDATION PAR REMONTEE DE NAPPE

4.9.1. Phénomène redouté

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

4.9.2. Qualification du phénomène

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

La qualification du phénomène d'inondation par remontée de nappe à l'échelle régionale est basée sur les données de cette étude. Elle est la même qu'à l'échelle nationale et est conforme au guide méthodologique.

Si la zone non saturée (ZNS) est au-dessus de la surface (classe d'épaisseur ZNS max = 1), ou si l'épaisseur de la zone non saturée est entre 0 et 1 m (classe d'épaisseur ZNS max = 2) ou si l'épaisseur de la zone non saturée est entre 1 et 5 m (classe d'épaisseur ZNS max = 3), alors il y a présence d'un aquifère ayant un niveau piézométrique connu pour être entre 0 et 5 m de la surface en hautes eaux. Si l'épaisseur de la zone non saturée est > 5 m (classe d'épaisseur ZNS max = 4), alors il n'y a pas d'aquifère ayant un niveau piézométrique connu pour être à moins de 5 m de la surface en hautes eaux.

Il a été distingué :

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

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

4.9.3. Données utilisées pour le traitement

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

4.9.4. Cartographie de l'aléa remontée de nappe

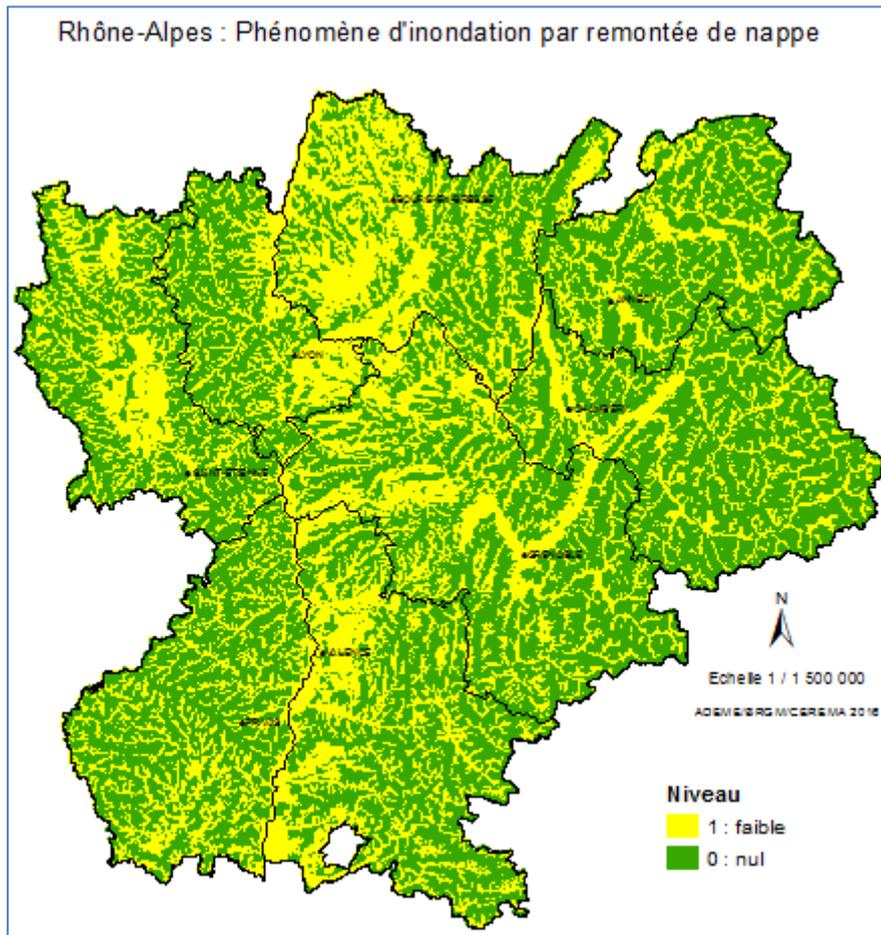


Illustration 72 : Carte des niveaux d'aléa / susceptibilité du phénomène d'inondation par remontée de nappe en Rhône-Alpes.

4.9.5. Cotation de l'aléa remontée de nappe

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

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

Niveaux aléa / susceptibilité	Nul	Faible
Valeur du niveau	0	1

4.10. PHENOMENE DE SEISME (NOUVEAU PAR RAPPORT AU GUIDE)

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

4.10.1. Phénomène redouté

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

4.10.2. Qualification du phénomène

La qualification de l'aléa la plus simple et pertinente est d'utiliser la cartographie nationale de l'aléa sismique en France basée sur la probabilité d'occurrence des séismes.

Le zonage sismique de la France, en vigueur à compter du 1er mai 2011, est défini par le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010. Il est défini par commune et découpe la France 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.

Chaque commune de la région Rhône-Alpes appartient à une zone de sismicité (attribuée à son territoire communal).

Il a été distingué :

- **Niveau faible** : appartenance à une zone de sismicité moyenne (4) ou forte (5)
- **Niveau nul** : appartenance à une zone de sismicité très faible (1), faible (2) ou modérée (3)

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

4.10.3. Données utilisées et traitement

Les données proviennent du zonage sismique national.

A partir du site internet <http://www.prim.net/> et de l'application GASPARE (Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques naturels et technologiques) de la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du ministère en charge de l'écologie, il est possible de télécharger [la liste des aléas et leurs codes recensés dans GASPARE](#). Concernant l'aléa sismique nous disposons de la liste des communes des départements de la région Rhône-Alpes avec la zone de sismicité d'appartenance. Nous avons ensuite traité ces données sous SIG.

Seules les zones de sismicité 2, 3 et 4 sont présentes en Rhône-Alpes.

N.B. : La valeur de sismicité définie pour une commune est affectée à chaque maille intersectant son territoire. Dans le cas où une maille intersecte les morceaux de territoires de deux communes ou plus, c'est la valeur de sismicité communale la plus forte qui est affectée à la maille.

4.10.4. Cartographie de l'aléa lié au séisme

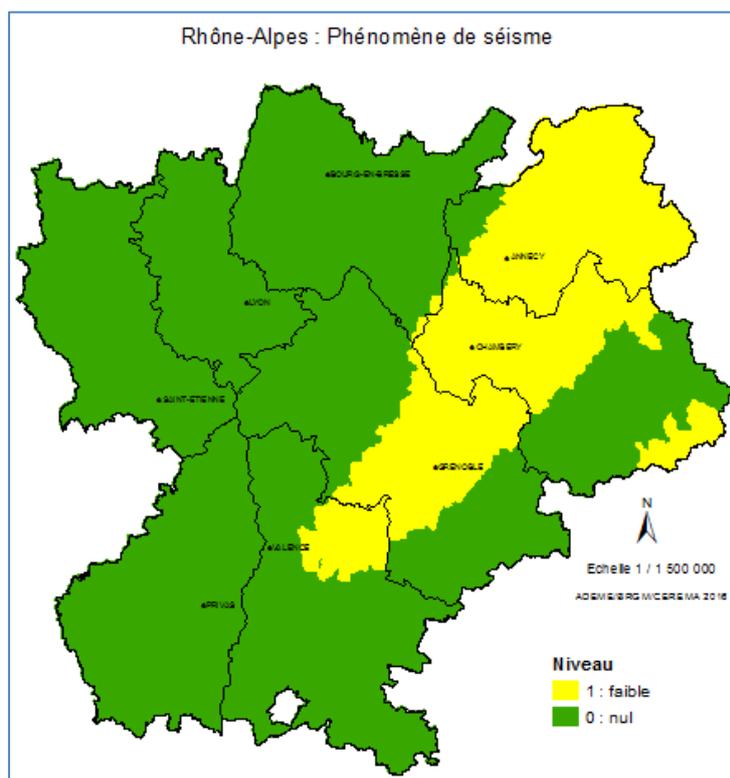


Illustration 73 : Carte des niveaux d'aléa / susceptibilité du phénomène de séisme en Rhône-Alpes.

4.10.5. Cotation de l'aléa lié au séisme

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
Valeur du niveau	0	1

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 (NOUVEAU PAR RAPPORT AU GUIDE)

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

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

Pour déterminer la pollution potentielle liée aux (anciens) sites industriels et activité de service, nous utilisons la base de données des anciens sites industriels et activités de service BASIAS résultant de l'inventaire historique effectué dans les départements de Rhône-Alpes. 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 5 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

Nous utilisons la base de données d'anciens sites industriels et activités de service BASIAS résultant de l'inventaire effectué dans les départements de Rhône-Alpes. Cet inventaire est en phase de finalisation. Les données disponibles datent du 27/02/2015.

40 232 sites BASIAS ont été inventoriés en Rhône-Alpes. La répartition des sites (chaque site a une localisation ponctuelle (coordonnées X, Y) à l'échelle régionale est cartographiée ci-après.

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.

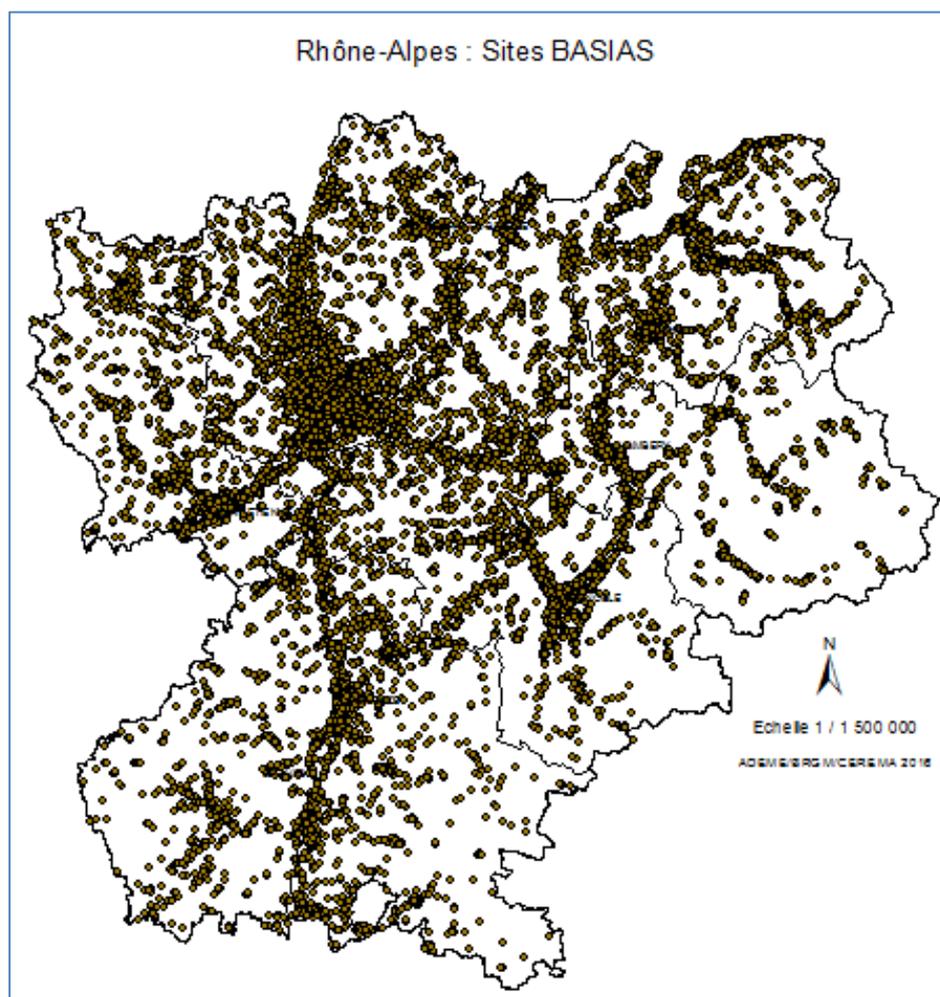


Illustration 74 : Carte de localisation des sites BASIAS en Rhône-Alpes.

4.11.4. Cartographie de l'aléa lié au phénomène de pollution potentielle BASIAS

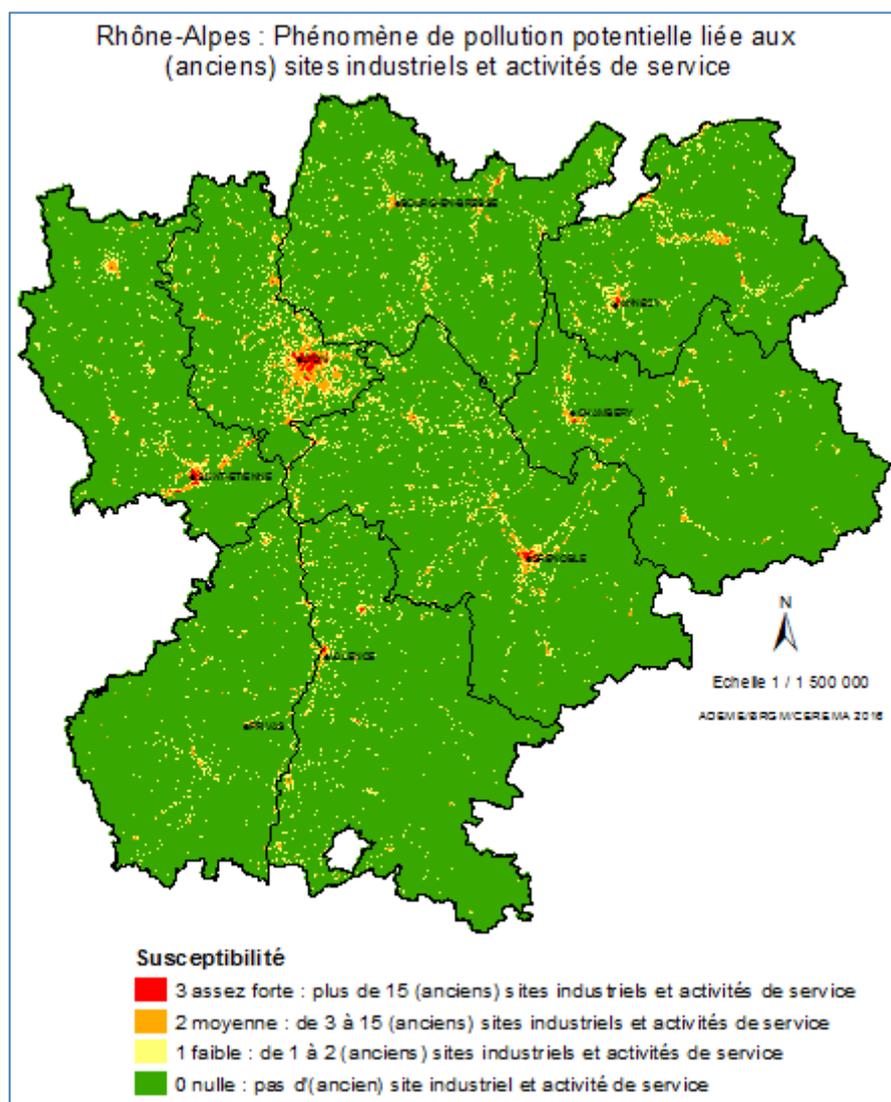


Illustration 75 : Carte des niveaux de susceptibilité du phénomène de pollution potentielle liée aux (anciens) sites industriels et activités de service en Rhône-Alpes.

4.11.5. Cotation de l'aléa lié au phénomène de 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 du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Assez fort
Valeur du niveau	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

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 (échangeur ouvert, échangeur fermé) envisagé.

→ Afin de tenir compte du contexte montagnard de haute altitude, pour lequel les données sont notoirement insuffisantes, le comité de pilotage de l'étude régionale a décidé de classer les secteurs présentant des altitudes supérieures ou égales à 2 000 m (hors zones urbanisées des stations de sports d'hiver, identifiées dans la base de données Corine Land Cover) en zonage réglementaire orange, zone qui nécessite l'avis d'un expert agréé.

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.

Carte	Type d'usage	Superficie de la zone verte en Rhône-Alpes		Superficie de la zone orange en Rhône-Alpes		Superficie de la zone rouge en Rhône-Alpes	
		(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
1	Doublet 10 - 50 m	32435	71,71	10626	23,49	2173	4,80
2	Doublet 10 - 100 m	32427	71,69	10634	23,51	2173	4,80
3	Doublet 10 - 200 m	32263	71,32	10790	23,86	2181	4,82
4	Sonde 10 - 50 m	33234	73,47	9848	21,77	2152	4,76
5	Sonde 10 - 100 m	33219	73,44	9863	21,80	2152	4,76
6	Sonde 10 - 200 m	33055	73,07	10019	22,15	2160	4,78

Illustration 76 : Tableau de répartition de la superficie des zones verte, orange et rouge en Rhône-Alpes selon le type d'usage et la profondeur d'investigation pour la géothermie de minime importance.

Une comparaison est établie avec la carte nationale déclinée pour Rhône-Alpes dans le tableau ci-dessous.

Type d'usage	Profondeur	Carte nationale pour Rhône-Alpes			Carte régionale Rhône-Alpes		
		Zone verte (%)	Zone orange (%)	Zone rouge (%)	Zone verte (%)	Zone orange (%)	Zone rouge (%)
Doublet	10 – 50 m	87,99	12	0,01	71,71	23,49	4,80
	10 – 100 m				71,69	23,51	4,80
	10 – 200 m				71,32	23,86	4,82
Sonde	10 – 50 m	88,06	11,74	0,20	73,47	21,77	4,76
	10 – 100 m				73,44	21,80	4,76
	10 – 200 m				73,07	22,15	4,78

Illustration 77 : Tableau comparatif des résultats de la répartition des zones vertes, orange et rouges entre la carte nationale déclinée en Rhône-Alpes et la carte régionale issue de la présente étude.

La carte régionale diminue sensiblement la part des zones vertes du territoire qui passe en moyenne de 88 % à 73 %, au profit des zones orange qui passent de 12 à 23 % et rouges qui passent de 0 à près de 5 %. Cette régionalisation de la carte réglementaire a pour effet de mettre davantage en évidence les zones à risque du territoire de la région Rhône-Alpes vis-à-vis de la réalisation de forages géothermiques.

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 corps du rapport pour les phénomènes traités.

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

La difficulté d'obtenir les épaisseurs des formations évaporitiques, compte-tenu des données disponibles et du contexte plissé rhône-alpin, fait que seuls deux niveaux de susceptibilité ont été retenus (forte et nulle) face aux quatre niveaux indiqués dans le guide.

Le guide propose quatre valeurs de niveau ((0, 1, 5 et 7) ; compte-tenu de la qualification spécifique du phénomène adoptée en Rhône-Alpes, seuls deux niveaux (0 et 7) ont été retenus.

Susceptibilité	Nulle	Forte
Valeur du niveau	0	7

6.2. 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 (MEEM 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 1^{er} basé sur la présence d'un site issu de la banque de données BASOL et le 2^d 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.

Pour le premier phénomène, après décision du comité de pilotage de l'étude, nous avons pris en compte une susceptibilité supplémentaire, la présence d'une nappe connue comme nappe à pollution diffuse (information Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse). L'emprise surfacique de cette nappe, celle des alluvions anciennes de la plaine de Valence étant qualifiée comme étant en susceptibilité moyenne. **Quatre susceptibilités au total ont été prises en compte (nulle, faible, moyenne et forte) correspondant à quatre niveaux (0, 1, 2 et 3).**

Niveaux aléa/ susceptibilité du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort
Valeur du niveau d'aléa à partir de BASOL	0	1	-	3
Valeur du niveau d'aléa lié à l'emprise cartographique de la nappe à pollution diffuse			2	

Pour le second phénomène (panaches de pollution), 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).

Niveaux aléa / Susceptibilité du phénomène	Nul	Moyen (panache sol pollué)	Fort (panache nappe polluée)	Très fort (panache sol et nappe pollués)
Valeur du niveau d'aléa	0	4	6	10

6.3. POUR LE PHENOMENE D'ARTESIANISME

Les valeurs des facteurs aggravants fournies par le guide (2 pour les échangeurs ouverts et 4 pour les échangeurs fermés) 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'être confronté à l'artésianisme sans y être préparé).

Pour Rhône-Alpes, l'analyse est différente : nous prenons en compte le fait que d'expérience, les foreurs, quel que soit le type d'ouvrage à réaliser (échangeur fermé ou échangeur ouvert) ont la même connaissance du contexte hydrogéologique local, et donc que le risque est identique, avec des valeurs égales de facteur aggravant (4) :

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

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

Après décision du comité de pilotage de l'étude, la prise en compte en Rhône-Alpes d'une 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, n'a pas été validée. Il a 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.

Seuls deux niveaux d'aléa/susceptibilité ont été retenus.

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

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

6.5.1. Séisme

Conformément au programme technique validé par les partenaires de l'étude (MEEM 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 :

Niveaux aléa / 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	1	1

6.5.2. Pollution potentielle BASIAS

Conformément au programme technique validé par les partenaires de l'étude (MEEM 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 :

Niveaux aléa / susceptibilité du phénomène	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

6.6. SPECIFICITE DE LA CARTE DES ZONES REGLEMENTAIRES

Afin de tenir compte du contexte montagnard de haute altitude pour lequel les données sont notoirement insuffisantes, le comité de pilotage de l'étude régionale a décidé de classer les secteurs présentant des altitudes supérieures ou égales à 2000 m (hors zones urbanisées des stations de sports d'hiver, identifiées dans la base de données Corine Land Cover) en zonage réglementaire orange, zone qui nécessite l'avis d'un expert agréé.

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

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

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

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. Conformément au guide méthodologique, les phénomènes retenus en Rhône-Alpes 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.

De plus, conformément au programme technique validé par les partenaires de l'étude (MEEM représenté par la DREAL Rhône-Alpes, ADEME, CEREMA et BRGM), il a été décidé de retenir deux phénomènes supplémentaires 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 constitué de 18 0937 mailles de 500 m de côté répertoriant les trois zones (rouge, orange, verte) mentionnées précédemment.

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 de la carte régionale est sensiblement la même pour les SGV que pour les doublets sur aquifère, sensiblement identique selon la profondeur. On compte environ 72 % de zones vertes (simple déclaration), 23 % de zones oranges (simple déclaration avec intervention d'un expert) et un peu moins de 5 % de zones rouges (autorisation).

La carte régionale diminue sensiblement la part des zones vertes du territoire qui passe en moyenne de 88 % à 73 %, au profit des zones orange qui passent de 12 à 23 % et rouges qui passent de 0 à près de 5 %. Cette régionalisation de la carte réglementaire a pour effet de mettre davantage en évidence les zones à risque du territoire de la région Rhône-Alpes vis-à-vis de la réalisation de forages géothermiques.

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 en Rhône-Alpes sont mises à disposition sur le site internet <http://www.geothermie-perspectives.fr>.

8. Bibliographie

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

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

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

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

Foucault A., Raoult J.-F. (2001) - Dictionnaire de Géologie. 5e édition. Editions Dunod. 379 p.

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

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

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"

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

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

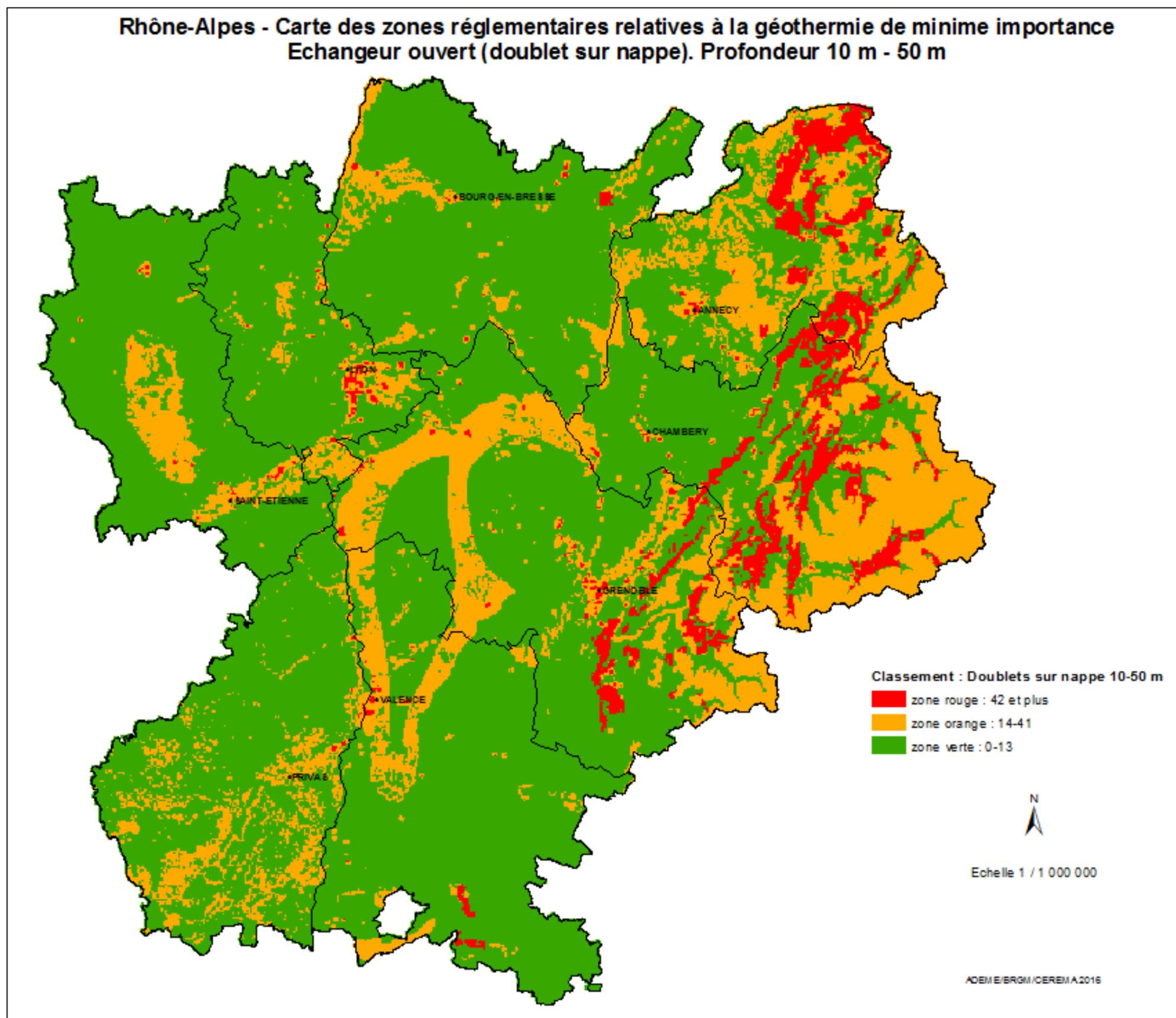
Base de données BASIAS > <http://basias.brgm.fr>

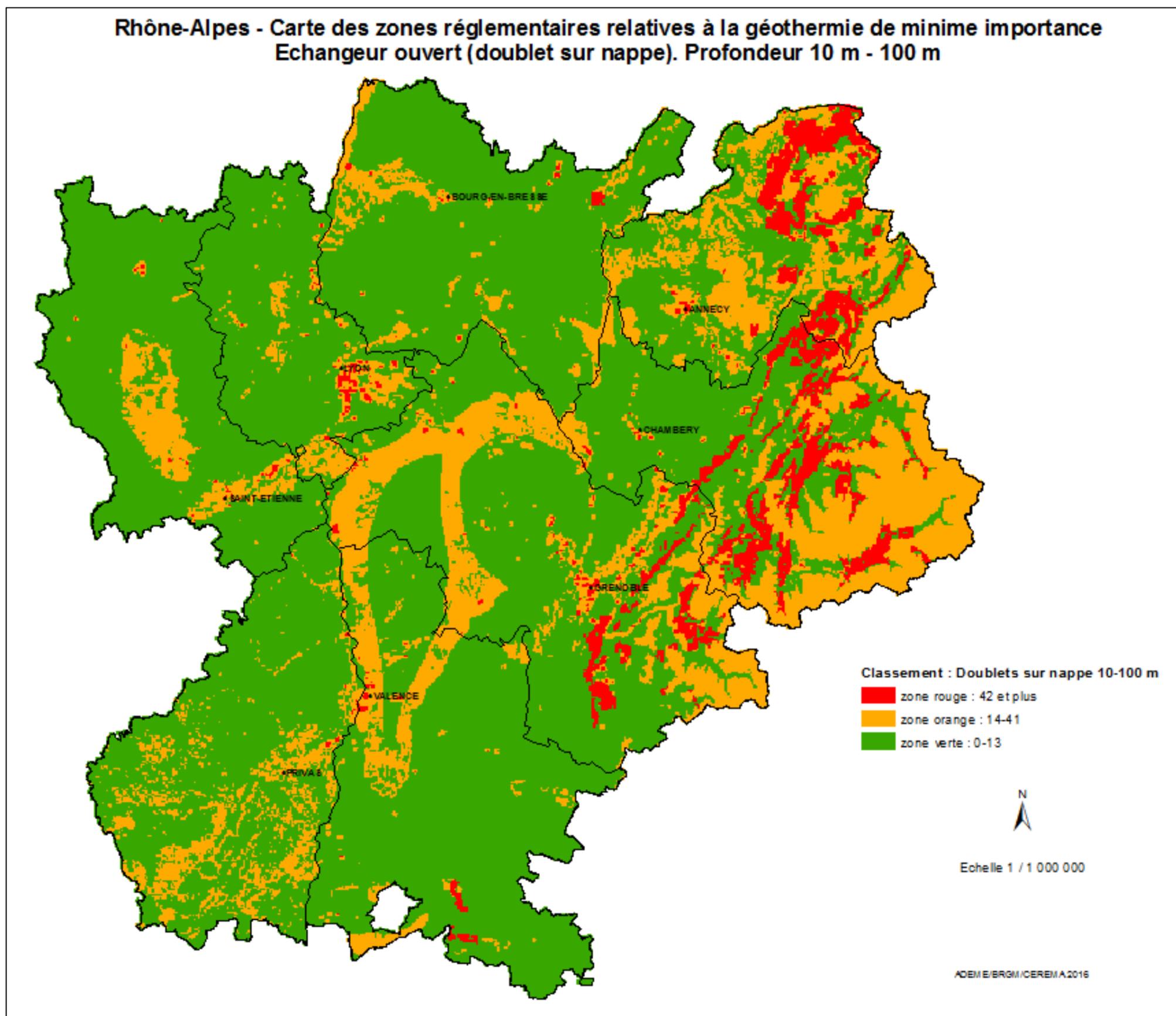
Base de données BASOL > <http://basol.environnement.gouv.fr>

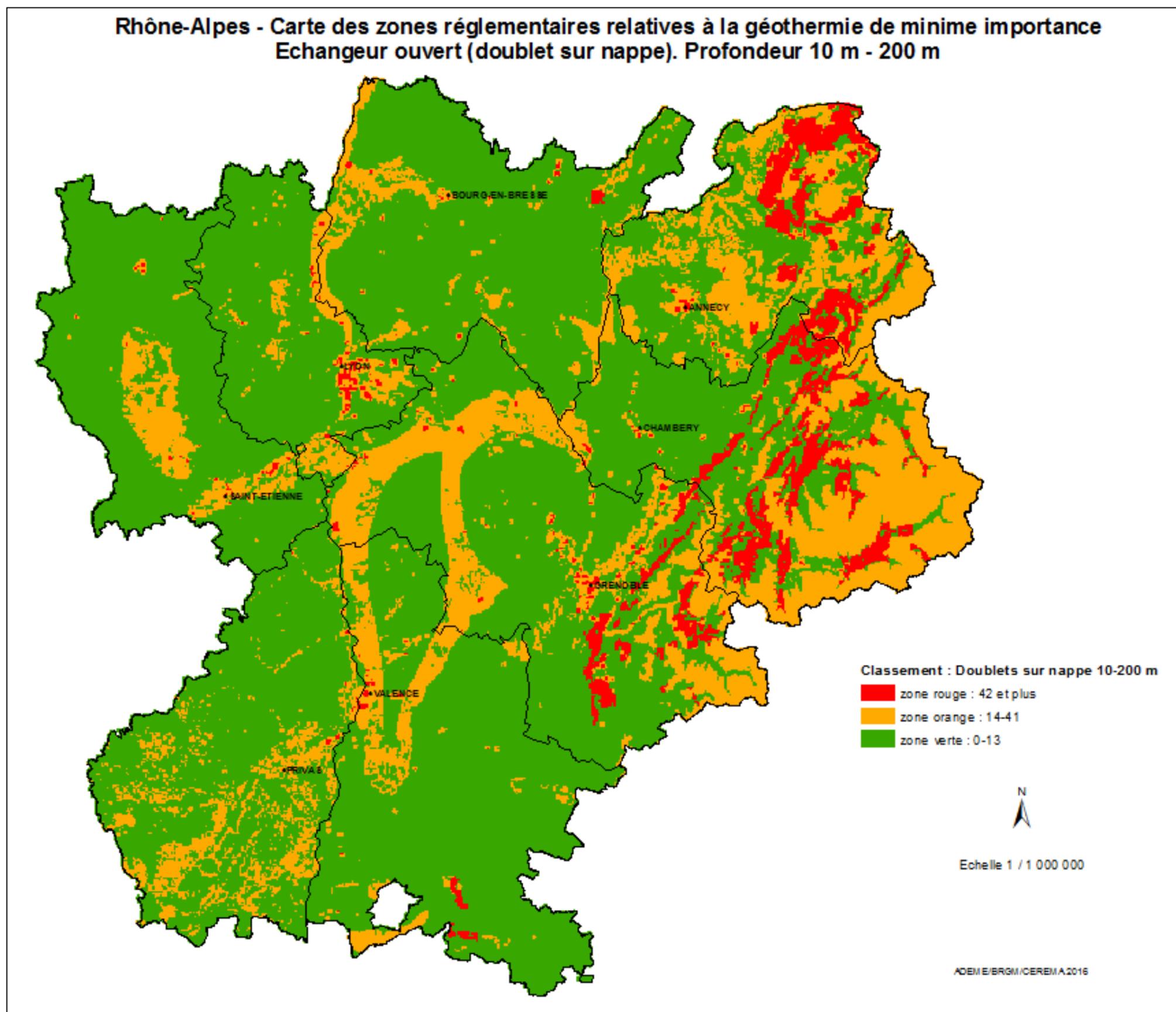
Tableau de bord Santé-Environnement Rhône-Alpes « Sites et sols pollués » (2014) - Observatoire Régional de la Santé & Conseil Régional Rhône-Alpes

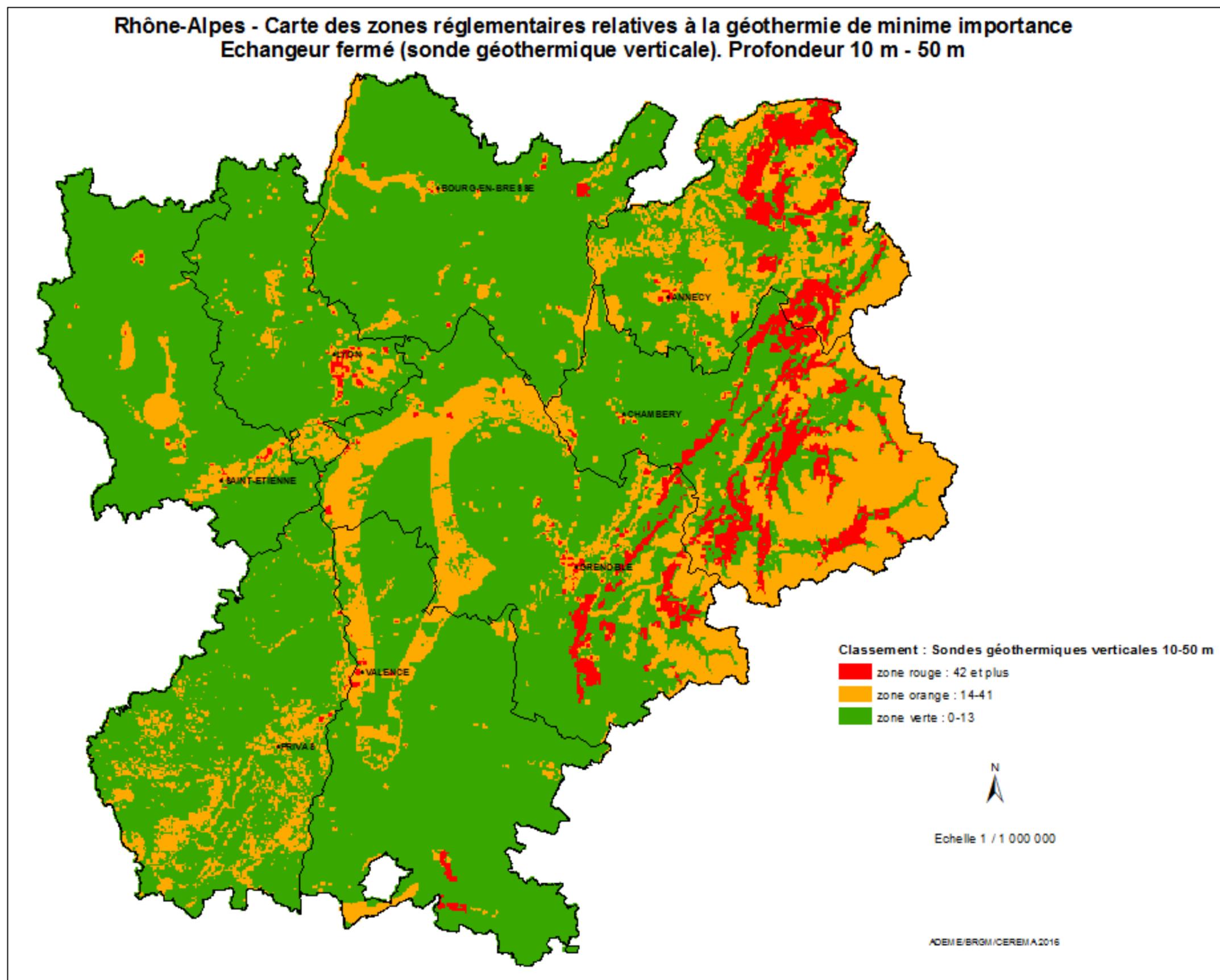
Annexe 1

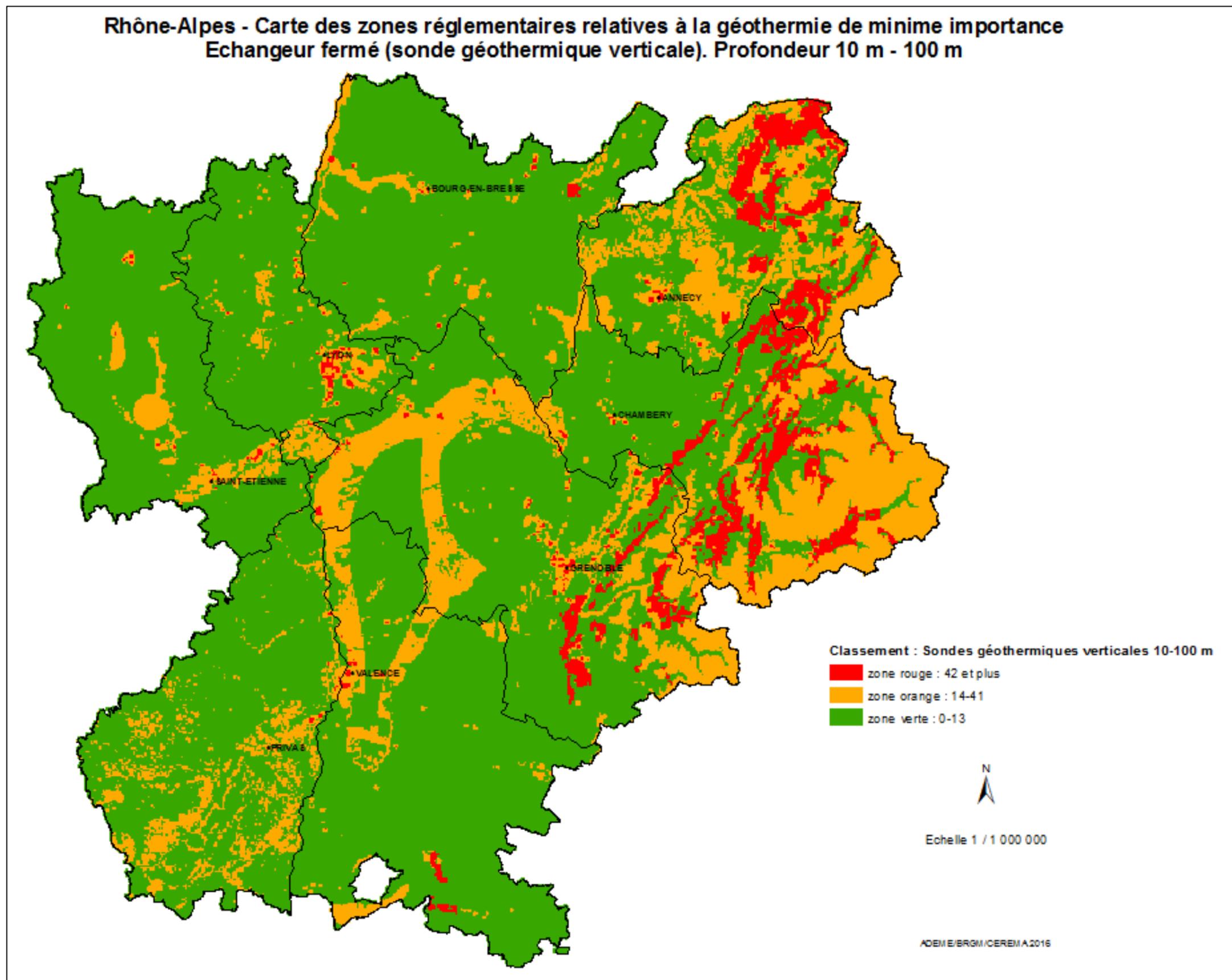
Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Rhône-Alpes

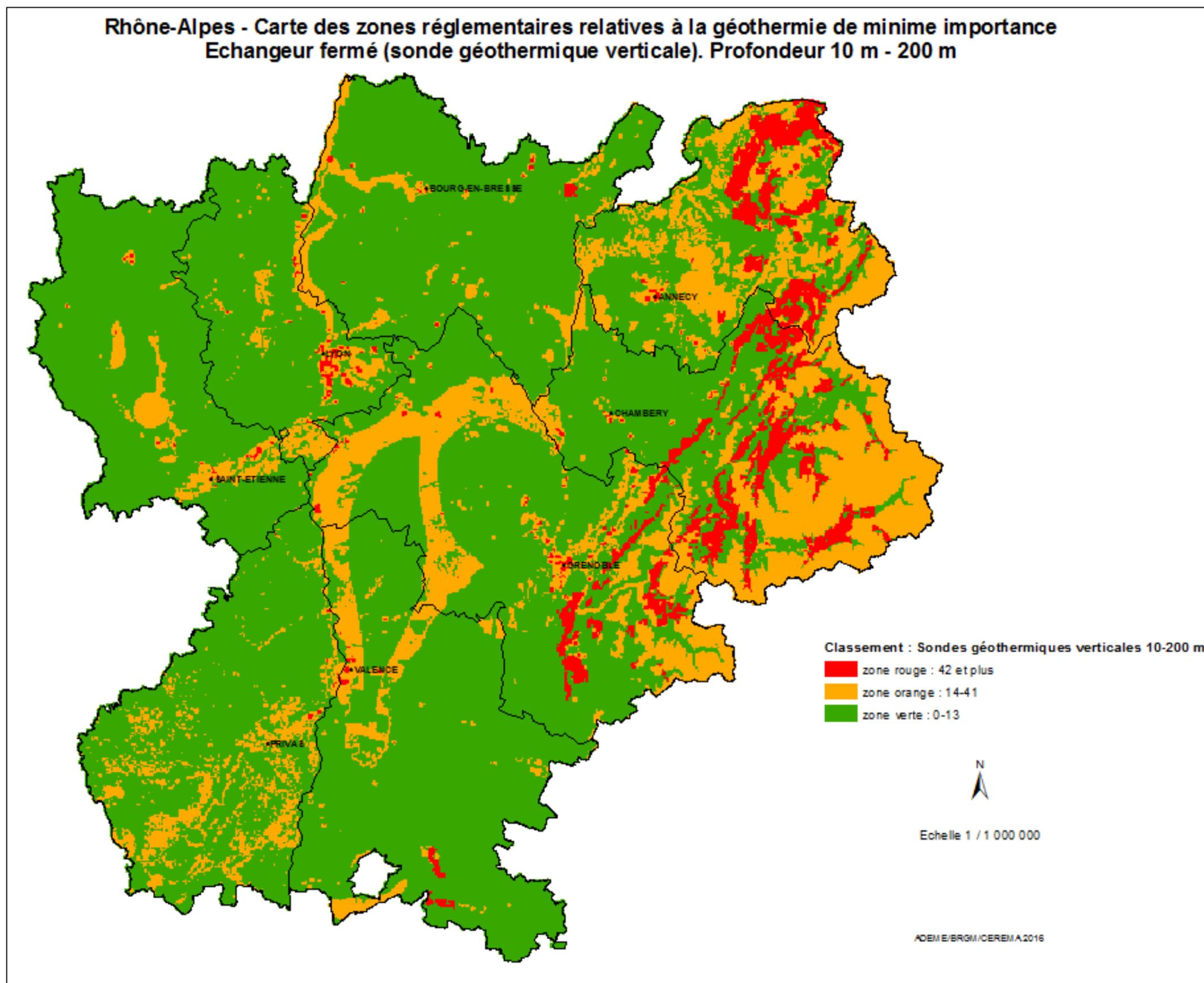












Annexe 2

Cotation des phénomènes pour la carte Rhône-Alpes

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	0/7	6	10	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Affaissement/ effondrement lié aux cavités (hors mines)	0/1/2/3/5/7	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Affaissement/ effondrement lié aux cavités minières	0/1/3/5/7	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
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 *	0/1/2/3	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	4	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 Rhône-Alpes. ** phénomène ajouté en Rhône-Alpes					
Classement en zone verte, orange ou rouge, selon la somme	Somme [0 - 13] : Vert		Somme [14 - 41] : Orange		Somme > 41 : Rouge

Annexe 3 Fiche de synthèse

Objet

Maître d'ouvrage :

Type de carte : Régionale Locale

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

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

Date de réalisation : ___/___/___

Type de carte actuellement en vigueur sur cette emprise géographique.

Nationale Régionale

Date de réalisation de la carte actuellement en vigueur : ___/___/___

Rapport

Fourniture d'un rapport contenant :

Description du travail effectué.

Oui Non

Documentation des sources de données utilisées.

Oui Non

Justification des éventuels écarts par rapport à la méthodologie.

Oui Non Sans objet

Cartes pour chaque phénomène et chaque tranche de profondeur.

Oui Non

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

Oui Non

Système d'information géographique

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

Oui Non

Taille de pixel utilisée.

500 × 500 250 × 250 100 × 100

Méthodologie

Respect de la méthodologie pour la construction de la carte de chaque phénomène.

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

Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques.

Oui Non Écart justifié Inchangé

Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines).

Oui Non Écart justifié Inchangé

Affaissement/effondrement lié aux cavités minières.

Oui Non Écart justifié Inchangé

Mouvements de terrain (glissement).

Oui Non Écart justifié Inchangé

Pollution des sols et des nappes souterraines.

Oui Non Écart justifié Inchangé

Artésianisme.

Oui

Non

Écart justifié

Inchangé

Mise en communication d'aquifères.

Oui

Non

Écart justifié

Inchangé

Remontée de nappe.

Oui

Non

Écart justifié

Inchangé

Biseau salé.

Oui

Non

Écart justifié

Inchangé

Respect de la méthodologie de pondération et d'addition des différents phénomènes.

Oui

Non

Remarques :

Nom, prénom :

Date :

Signature :

Annexe 4

Données utilisées pour les cartes en Rhône-Alpes

Phénomènes redoutés	Données utilisées	Sites ou services consultés
Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques.	Carte géologique harmonisée au 1/50 000 ^{ème} (données vectorisées). Base de données du LOGISO et les logs vérifiés de la BSS pour connaître les niveaux évaporitiques. Retour d'expérience	BRGM
Affaissement/effondrement liés aux cavités (hors mines).	Cartes d'aléas Base de données BDcavités. Carte géologique harmonisée au 1/50 000 ^{ème} (données vectorisées).	BRGM CEREMA DDT, DREAL BDcavités dans Géorisques (www.georisques.gouv.fr/dossiers/cavites-souterraines)
Affaissement/effondrement liés aux cavités minières.	Cartes d'aléas. Base de données « Mines et exploitations ».	BRGM CEREMA DDT, DREAL GEODERIS SIG MINES FRANCE (www.sigminesfrance.brgm.fr)
Mouvements de terrain (glissement de terrain).	Cartes d'aléas mouvement de terrain (PPR, départementales, communales) Base de données BDMvt. Base de données BD-RTM	BRGM CEREMA DDT, DREAL, RTM BDMvt dans Géorisques (www.georisques.gouv.fr/dossiers/mouvements-de-terrain)
Pollution des sols et des nappes souterraines, liée aux sites industriels	Recensement des sites ou nappes pollués : base de données BASOL Référentiel hydrogéologique (BD-LISA), Atlas du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères de la région Rhône-Alpes (site internet et rapport BRGM/RP- 60856-FR) Modèles géologiques et	BASOL (www.basol.developpement-durable.gouv.fr) DREAL, DDT BRGM CEREMA Atlas des potentiels géothermiques (www.geothermie-perspectives.fr).

	hydrogéologiques locaux.	BD-LISA : Sandre (www.sandre.eaufrance.fr), Ades (www.ades.eaufrance.fr) ou eaufrance (www.eaufrance.fr).
Pollution des sols et des nappes souterraines, avérée par la présence de panaches de pollution	<p>Recensement des sites ou nappes pollués : base de données BASOL</p> <p>DREAL</p> <p>Référentiel hydrogéologique (BD-LISA),</p> <p>Atlas du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères de la région Rhône-Alpes (site internet et rapport BRGM/RP- 60856-FR)</p> <p>Modèles géologiques et hydrogéologiques locaux.</p> <p>Panaches de pollution cartographiés</p>	<p>BASOL (www.basol.developpement-durable.gouv.fr)</p> <p>DREAL, DDT</p> <p>BRGM</p> <p>CEREMA</p> <p>Atlas des potentiels géothermiques (www.geothermie-perspectives.fr).</p> <p>BD-LISA : Sandre (www.sandre.eaufrance.fr), Ades (www.ades.eaufrance.fr) ou eaufrance (www.eaufrance.fr).</p>
Phénomène artésianisme	<p>Atlas du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères de la région Rhône-Alpes (site internet et rapport BRGM/RP- 60856-FR)</p> <p>Modèles géologiques et hydrogéologiques locaux.</p> <p>Les niveaux piézométriques et les niveaux du sol recensés dans la BSS.</p> <p>Carte géologique harmonisée au 1/50 000^{ème} (données vectorisées).</p> <p>Les cartes piézométriques locales.</p> <p>Retour d'expérience.</p>	<p>DREAL, DDT</p> <p>BRGM</p> <p>CEREMA</p> <p>Atlas des potentiels géothermiques (www.geothermie-perspectives.fr).</p> <p>BD-LISA : Sandre (www.sandre.eaufrance.fr), Ades (www.ades.eaufrance.fr) ou eaufrance (www.eaufrance.fr).</p>
Mise en communication d'aquifère	<p>Référentiel hydrogéologique (BD-LISA),</p> <p>Atlas du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères de la région Rhône-Alpes (site internet et rapport</p>	<p>BRGM</p> <p>CEREMA</p> <p>Atlas des potentiels</p>

	BRGM/RP- 60856-FR) Modèles géologiques et hydrogéologiques locaux. Les logs vérifiés de la BSS.	géothermiques (www.geothermie-perspectives.fr). BD-LISA : Sandre (www.sandre.eaufrance.fr), Ades (www.ades.eaufrance.fr) ou eaufrance (www.eaufrance.fr). Agences de l'eau
Remontée de nappe	Cartographie remontée de nappe	BRGM Remontée de nappes : http://www.inondationsnappes.fr
Séisme	Zonage sismique national : Liste des aléas et leurs codes recensés dans GASPAS. Liste des communes des départements de la région Rhône-Alpes avec la zone de sismicité d'appartenance	Site internet http://www.prim.net/ et application Gaspar (Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques naturels et technologiques) de la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du ministère en charge de l'écologie,
Pollution potentielle liée aux (anciens) sites industriels et activités de service	Extraction régionale de la Base de données d'anciens sites industriels et activités de service BASIAS	BRGM http://basias.brgm.fr/



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Rhône-Alpes

151, Boulevard Stalingrad
69626 – Villeurbanne Cedex

Tél. : 04 72 82 11 50