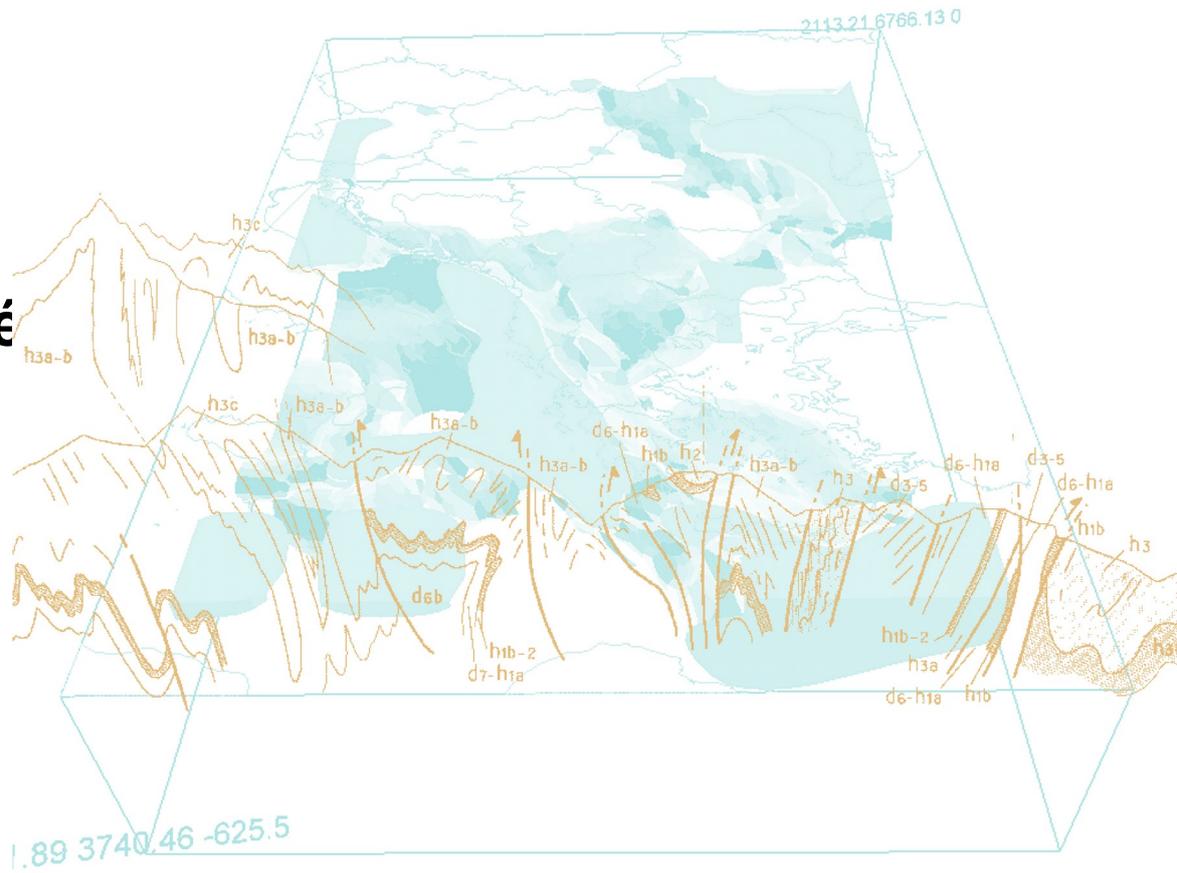




gé



Révision de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance en ex-région Rhône-Alpes

Rapport final

BRGM/RP-73624-FR
Novembre 2024

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

Cartannaz C., Durst P.

Vérificateur :

Nom : Monnot Pascal
Fonction : chef de projet
Date : 13/11/24



Approbateur :

Nom : Buschaert Stéphane
Fonction Directeur Auvergne Rhône Alpes
Date : 26/11/24

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.
Contact : qualite@brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

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

Cartannaz C., Durst P. (2024) – Révision de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance en ex-région Rhône-Alpes. Rapport final. BRGM/RP-73624-FR, 45 p., 41 ill.

Synthèse

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

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

En 2016, une carte régionale révisée Rhône-Alpes a été élaborée. Cette carte n'a pas été validée par arrêté préfectoral dans la l'attente de la complétion de la nouvelle région par l'élaboration d'une carte révisée portant sur l'ancienne région Auvergne. Les développements et clarifications méthodologiques depuis cette cartographie (Addendum au Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance, 2023), ainsi que les retours sur cette proposition de 2016 ont amené à une révision dans le but d'assurer la cohérence de cette cartographie avec celle des autres territoires. Le travail a porté sur :

- Une meilleure qualification de l'aléa « affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques ».
- Un traitement de l'aléa « pollution des nappes et de sols » conforme à l'addendum.
- Une qualification de l'aléa « affaissement/effondrement lié aux cavités minières » prenant en compte les cartes d'aléa produites depuis 2016.
- L'abandon des phénomènes « risque sismique » et « anciens sites industriels et activités de services ». Non présents dans le guide méthodologique, ils ont été définitivement écartés dans l'addendum.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Révision de la cartographie du phénomène « affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques »	10
2.1. RAPPEL SUR LA MÉTHODOLOGIE DE CARTOGRAPHIE « AFFAISSEMENT/SURRECTION LIÉ AUX FORMATIONS ÉVAPORITIQUES » DE 2016 10	
2.2. « NOUVELLE PROPOSITION DE CARTOGRAPHIE POUR LE PHÉNOMÈNE D’AFFAISSEMENT/SURRECTION LIÉ AUX FORMATIONS ÉVAPORITIQUES ».....	12
2.2.1. Prise en comptes des forages validés de la BSS entre 0 et 200 m de profondeur	12
2.2.2. Choix de la cartographie d’une susceptibilité moyenne.....	13
2.3. NOUVELLE CARTOGRAPHIE.....	14
2.3.1. Plaine de la Bresse.....	14
2.3.2. Chablais et bordure du lac Léman.....	15
2.3.3. Le bassin molassique genevois :.....	17
2.3.4. Le massif des Bornes.....	19
2.3.5. Vallée de l’Arve.....	19
2.3.6. Jura géologique de l’Ain.....	19
2.3.7. Le cas des formations antétriasiques.....	21
2.3.8. Les évaporites sens stricto.....	21
2.3.9. Le bassin rhodanien au niveau de Valence.....	22
2.3.10. Les Baronnie.....	23
2.4. NOUVELLE CARTOGRAPHIE DE L’ALÉA.....	24
3. Phénomène de « pollution des sols et des nappes d’eau souterraine »	26
4. Phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités minières »	29
5. Autres modifications	33
5.1. HARMONISATION MÉTHODOLOGIQUE.....	33
5.2. PRISE EN COMPTE DE L’ANNEAU DU CERN.....	33
5.3. PRISE COMPTE DES NAPPE STRATÉGIQUES DU SAGE DE L’ARVE.....	34
6. Cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance	35
7. Bibliographie	45

Liste des figures

Figure 1 - Carte de 2016 des niveaux de susceptibilité du phénomène « Affaissement/surrection lié aux évaporites ».....	11
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Figure 2 - Localisation des forages validés exploités dans cette étude (profondeur de 10 à 200 m)	13
Figure 3 - Présence de gypse dans le sondage BSS001REDL (Saint-Cyr-sur-Menthon)	14
Figure 4 - Coupe géologique qui montre les structures plissées du Trias (couleur orange)	15
Figure 5 - Localisation de la coupe géologique (trait rouge). Croisillon : zone à susceptibilité forte de 2016. Polygone violet : Lias, Polygone fuchsia : Trias, polygone jaune : Keuper avec gypse. Point rouge sondage BSS avec gypse à moins de 200 m	15
Figure 6- Exemple de fond de vallée non prise en compte dans la cartographie 2016. Le trias en fond de vallée est recouvert de formation superficielle, il n'a donc pas été pris en compte	16
Figure 7 - Cas des formations superficielles (moraines) qui recouvrent les formations évaporitiques	16
Figure 8 - Présence de gypse dans le sondage BSS001RHLR	18
Figure 9 - Forage au niveau de Salève qui présente quelques passée de gypse dans le Chattien supérieur	18
Figure 10 - Forage au niveau de Messery qui présente du gypse fibreux dans le Chattien supérieur	19
Figure 11 - Forage avec gypse (point rouge) sur les formations liasiques de la commune de Vaux-Févrux. Carré hachuré : susceptibilité moyenne non identifiée en 2016. Carré avec croisillon : susceptibilité forte non identifiée en 2016	20
Figure 12 - Coupe géologique montrant les marnes irisées à gypse au niveau de Champfromier	21
Figure 13 - Trias gypseux non pris en compte lors de la cartographie de 2014	22
Figure 14 - Forage géologique validé au niveau du bassin rhodanien au sud de Valence. L'interprétation de la stratigraphie en Jurassique est probablement fausse et doit être attribuée au Trias	23
Figure 15 – Nouvelle carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/surrection lié aux évaporites » dans l'ancienne région Rhône-Alpes	25
Figure 16 - Carte de 2016 des niveaux d'aléa du phénomène « pollution des nappes et des sols » en région Rhône-Alpes	26
Figure 17 - Carte de 2024 des niveaux d'aléa du phénomène « pollution des nappes et des sols » dans l'ancienne région Rhône-Alpes	27
Figure 18 – Localisation des deux secteurs concernés par l'aléa « gaz de mine »	29
Figure 19 - Carte de 2016 des niveaux d'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lie aux cavités minières » dans l'ancienne région Rhône-Alpes	31
Figure 20 - Carte de 2024 des niveaux d'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lie aux cavités minières » dans l'ancienne région Rhône-Alpes	31
Figure 21 – Périmètre de l'anneau du CERN	33
Figure 22 - Zone productive reconnue pour l'AEP du SAGE de l'Arve	34
Figure 23 – Evolution du phénomène « mise en communication d'aquifères » sue le SAGE de l'Arve	34
Figure 24 - Cartes réglementaires pour échangeurs ouverts de la gamme de profondeur 10 50 mètres	35
Figure 25 - Cartes réglementaires pour échangeurs fermés de la gamme de profondeur 10 50 mètres	36

Figure 26 - Cartes réglementaires pour échangeurs ouverts de la gamme de profondeur 10-100 mètres.....	37
Figure 27 - Cartes réglementaires pour échangeurs fermés de la gamme de profondeur 10-100 mètres.....	38
Figure 28 - Cartes réglementaires pour échangeurs ouverts de la gamme de profondeur 10-200 mètres.....	39
Figure 29 - Cartes réglementaires pour échangeurs fermés de la gamme de profondeur 10-200 mètres.....	40
Figure 30 – Comparaison des projets de carte réglementaire pour échangeurs fermés de la gamme de profondeur 10-100 mètres entre le projet de 2016 (à gauche) et le projet actuel (à droite).....	41

1. Introduction

En 2016, une carte régionale révisée Rhône-Alpes a été élaborée. Cette carte n'a pas été validée par arrêté préfectoral dans l'attente de la complétion de la nouvelle région par l'élaboration d'une carte révisée portant sur l'ancienne région Auvergne. Les développements et clarifications méthodologiques depuis cette cartographie (addendum), ainsi que les retours sur cette proposition de 2016 ont amené à une révision dans le but d'assurer la cohérence de cette cartographie avec celle des autres territoires. Le travail a porté sur :

- Une meilleure qualification de l'aléa « affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques ».
- Un traitement de l'aléa « pollution des nappes et de sols » conforme à l'addendum.
- Une qualification de l'aléa « affaissement/effondrement lié aux cavités minières » prenant en compte les cartes d'aléa produites depuis 2016.
- L'abandon des phénomènes « risque sismique » et « anciens sites industriels et activités de services » précédemment pris en compte en 2016 en Rhône-Alpes. Non présents in fine dans le guide méthodologique, ils ont été définitivement écartés dans l'addendum.

2. Révision de la cartographie du phénomène « affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques »

2.1. RAPPEL SUR LA MÉTHODOLOGIE DE CARTOGRAPHIE « AFFAISSEMENT/SURRECTION LIÉ AUX FORMATIONS ÉVAPORITIQUES » DE 2016

Le phénomène, d'affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques, a été cartographié suivant une maille de 500 m de côté.

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

Compte-tenu des 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.

Ainsi, la carte de zonage réglementaire de 2016 (Figure 1) du phénomène d'affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques est unique et correspond aux deux types d'usages géothermiques : les sondes géothermiques verticales (échangeur fermé) et l'exploitation par doublets sur aquifère (échangeur ouvert), pour toutes les gammes de profondeur (10 m - 50 m, 10 m - 100 m, 10 m - 200 m).

2.2. « NOUVELLE PROPOSITION DE CARTOGRAPHIE POUR LE PHÉNOMÈNE D'AFFAISSEMENT/SURRECTION LIÉ AUX FORMATIONS ÉVAPORITIQUES »

2.2.1. Prise en comptes des forages validés de la BSS entre 0 et 200 m de profondeur

Un travail sur 7343 forages validés de la BSS a été réalisé. Ils ont été replacés sur la carte avec leur différente profondeur maximale. Chaque forage a été analysé pour savoir s'il contient la présence d'évaporites au travers les mots clé suivants tout en gardant l'indication de leurs profondeurs minimales d'apparition et la stratigraphie de la formation dans laquelle elles se situent :

- Gypse, gypsifère, etc.,
- Cargneule, cargneulisé, etc.,
- Halite,
- Sel,
- Anhydrite.

Ce travail n'a pas été effectué sur l'ensemble des forages de la BSS (à savoir les forages non validés) à cause de leur grand nombre et de l'absence d'affectation de la stratigraphie. Il faut bien prendre en compte que ces derniers ne sont pas validés et représentent seulement la description brute des foreurs qui ne sont pas des géologues. Il faut également garder à l'esprit que ceux qui sont validés demande un regard critique quant à l'attribution de la stratigraphie et à la description des différentes passes géologiques.

C'est au total 91 sondages qui présentent des évaporites à moins de 200 m de profondeur. Lorsque la présence et la quantité d'évaporites est subodorée comme peu importante comme par exemple des lentilles ou des placages le long de fractures, la susceptibilité de ces forages est mise en moyenne. En effet, par assimilation au contexte minier du bassin ferrifère lorrain et si l'on assimile un vide minier à une lentille d'évaporite complètement dissoute, alors une lentille de 1 m d'épaisseur (voir plus) et de 40 m de longueur à 100 m de profondeur n'aurait pas d'incidence en surface. De même pour une lentille de 20 m de longueur à 50 m de profondeur.

Par contre, lorsqu'il y a un doute quant au volume des évaporites ou lorsque les couches d'évaporite dépassent 1 m de puissance et pouvant s'étendre sur plus de 20 à 40 m, alors la susceptibilité est placée en forte.

25 forages ont une susceptibilité moyenne principalement dans les formations tertiaires et 66 ont une susceptibilité forte principalement dans les formations du Trias et plus particulièrement le Keuper.

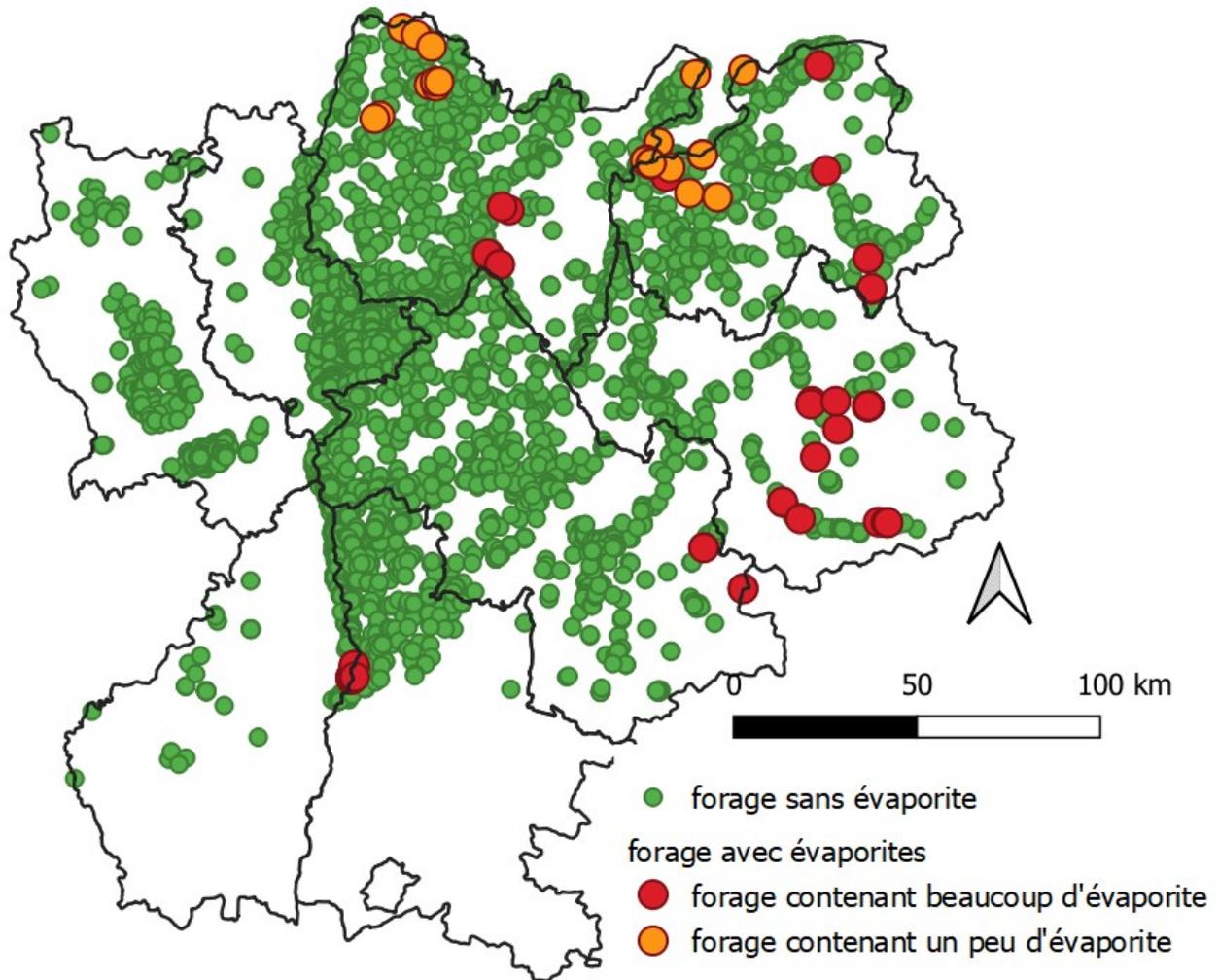


Figure 2 - Localisation des forages validés exploités dans cette étude (profondeur de 10 à 200 m)

2.2.2. Choix de la cartographie d'une susceptibilité moyenne

Afin de favoriser les zones aux développements de la géothermie, il est décidé d'être moins binaire (susceptibilité forte versus susceptibilité nulle) dans le raisonnement d'attribution des susceptibilités et de rajouter la susceptibilité moyenne. En effet, avec une maille de 500 m par 500 m qui représente une grande surface d'un quart de kilomètre carrée, cette dernière peut se retrouver cartographiée en susceptibilité forte au moindre doute de présence d'évaporite avec par exemple seulement 1 m² d'une formation susceptible au sein de cette grande maille. Le corollaire est que l'on bloque la géothermie de minime importance sur les 149 999 autres m². L'objectif est donc de cartographier cette maille en susceptibilité moyenne afin d'autoriser les futures études plus détaillées qui permettraient ou non la réalisation des ouvrages géothermiques.

En outre, une étude plus approfondie de la cartographie de 2016 montre que toutes les zones susceptibles de rencontrer des évaporites ne sont pas couvertes. En effet, le traitement de la susceptibilité a principalement été effectué à l'aide d'un SIG par des croisements de couches géologiques selon des critères comme la distance entre les formations et les différentes stratigraphies des formations. Faute de temps et de moyen, il n'y a pas eu de vérification de

cette cartographie ni de la validité de la méthode appliquée selon une approche d'expert. Il en résulte des manquements comme par exemple la présence de formations évaporitiques sous des formations superficielles car ces dernières n'ont pas été prises en compte dans le traitement sous SIG. Si l'on continue avec un raisonnement binaire (forte/nulle) la correction de ces manquements va entraîner de facto une surface plus importante en susceptibilité forte qui entraînera l'interdiction de la géothermie de minime importance sur des zones plus importantes.

De même, lorsque l'on superpose la cartographie de la susceptibilité de présence d'évaporite de 2016 avec les forages validés de la BSS qui présentent des évaporites à moins de 200 m de profondeur, il s'avère que de nombreux forages présentant des évaporites se trouvent localisés dans les zones de susceptibilité nulle. Ce qui pose un problème sur la validité de la méthodologie de cartographie, qui n'a pas pu être améliorée et validée suite au faible moyen attribué.

Si l'on souhaite diminuer les zones de susceptibilité forte, un autre angle d'attaque est la prise en compte des différentes profondeurs. Sur le long terme, et avec des modèles géologiques qui pourraient être ciblé sur des secteurs à enjeux, il pourrait être opportun de réaliser une cartographie sur des tranches 10-50 m et 10-100m. Cela libérerait des zones qui sont actuellement en susceptibilité forte. Le choix de distinguer les différentes profondeurs n'a pas été pris en compte dans ce rapport.

Enfin, un autre angle d'attaque, serait également de prendre en compte la présence d'aquifère au-dessus des zones d'évaporite. En cas d'absence d'aquifère, la susceptibilité serait faible même lorsque la présence d'évaporite serait avérée. De même, à ce stade la prise en compte de l'absence d'aquifère au-dessus des évaporites n'est pas abordé dans ce rapport.

2.3. NOUVELLE CARTOGRAPHIE

2.3.1. Plaine de la Bresse

Le forage BSS001PZVE dans le Pliocène, décrit environ 10% de gypse et d'anhydrite entre 220 et 230 m. De même sur le forage BSS001REDL, le gypse y est décrit à partir de la profondeur de 190 m.

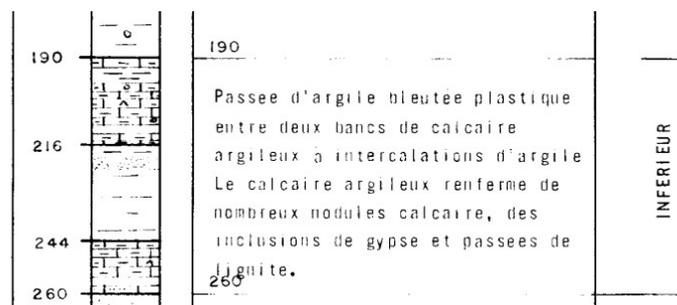


Figure 3 - Présence de gypse dans le sondage BSS001REDL (Saint-Cyr-sur-Menthon).

Bien qu'il y est quelque indice de gypse au sein des forages notamment dans le Pontien/fin Miocène (Etrez). Ce secteur est écarté dans son ensemble car la quantité de gypse est probablement insuffisante pour créer des affaissements en surface. Il serait quand même intéressant d'effectuer une étude plus détaillée (Géologie, géophysique aéroportée et/ou interférométrie radar) sur ces formations pour écarter définitivement le risque affaissement lié

aux évaporites. La zone qui présente un forage avec des évaporites à 190 m de profondeur a quand même été placée en susceptibilité moyenne.

Concernant le gisement de sel oligocène (Etrez), sa profondeur supérieure à 200 m ne présente pas de risque dans le cadre de sondages inférieurs à 200 m de profondeur.

2.3.2. Chablais et bordure du lac Léman

La logique de cartographie de 2016 a consisté en une évaluation de l'épaisseur des terrains qui recouvrent le toit du Trias en effectuant la différence entre le MNT et l'interpolation du toit du Trias. L'interpolation du toit du Trias a été effectuée suivant une méthodologie sous SIG/GDM qui a sélectionné certains points de l'ensemble des polygones du Trias, qui ont ensuite été interpolés.

Cette méthode, si elle peut s'avérer astucieuse, car relativement rapide à mettre en place par rapport à un modèle géologique 3D, est malheureusement soit trop conservatrice dans les zones plissées et/ou faillées (Figure 4 Figure 5), soit pas assez et ne correspond pas à la réalité des structures géologiques.

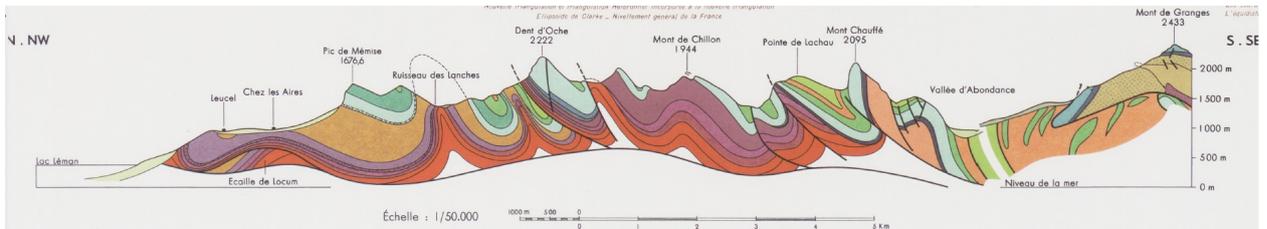


Figure 4 - Coupe géologique qui montre les structures plissées du Trias (couleur orange)

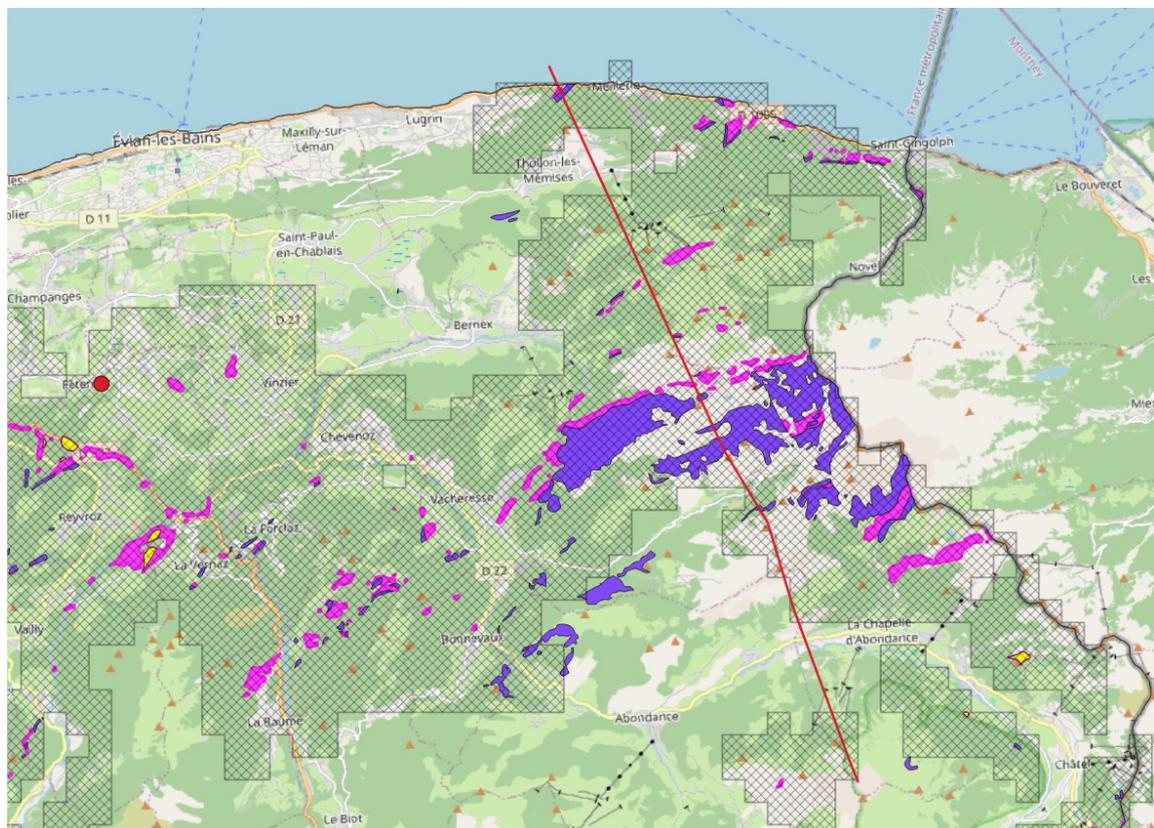


Figure 5 - Localisation de la coupe géologique (trait rouge). Croisillon : zone à susceptibilité forte de 2016. Polygone violet : Lias, Polygone fuchsia : Trias, polygone jaune : Keuper avec gypse. Point rouge sondage BSS avec gypse à moins de 200 m.

Par exemple, un problème de la méthode est que seulement le toit du Trias a été modélisé, alors qu'il aurait fallu également prendre en compte le mur du Trias. Ce qui a pour effet notamment de ne pas prendre en compte le fond des vallées ou creux topographiques par rapport à l'interpolation du toit du Trias (Figure 6) lors de la présence de formations superficielles.

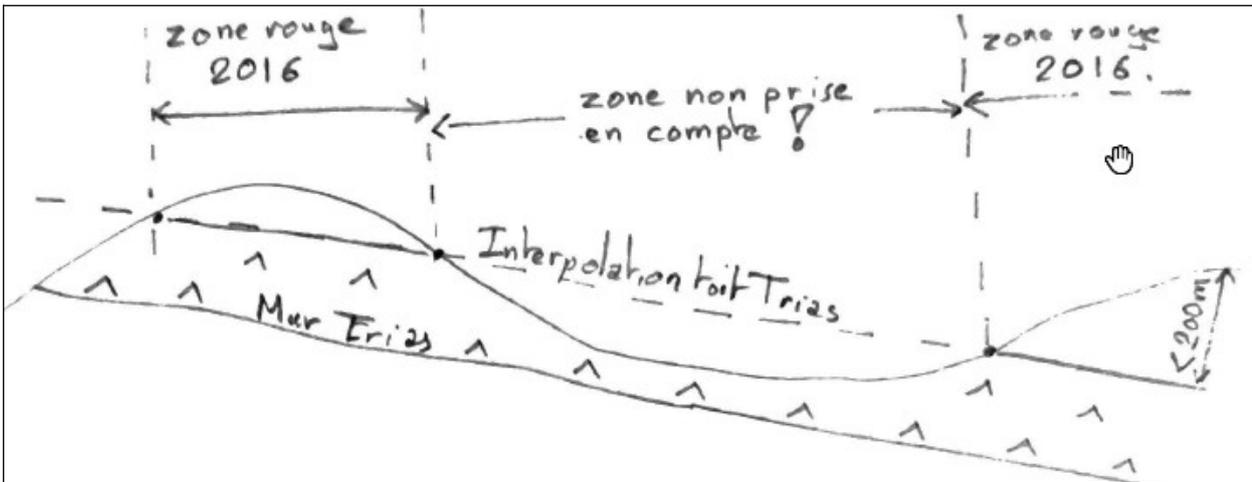


Figure 6- Exemple de fond de vallée non prise en compte dans la cartographie 2016. Le trias en fond de vallée est recouvert de formation superficielle, il n'a donc pas été pris en compte.

En outre, elle ne prend pas en compte la présence des formations superficielles dans les autres contextes morphologiques qui pourraient recouvrir du Trias. En effet, ces dernières peuvent avoir une épaisseur bien inférieure à 200 m et être entièrement traversées par un sondage qui atteindrait de facto les formations évaporitiques sous-jacentes. Ces formations superficielles n'ont pas été prises en compte avec par exemple les moraines quaternaires qui recouvrent la bordure du lac Léman et qui cachent les formations évaporitiques (Figure 7).

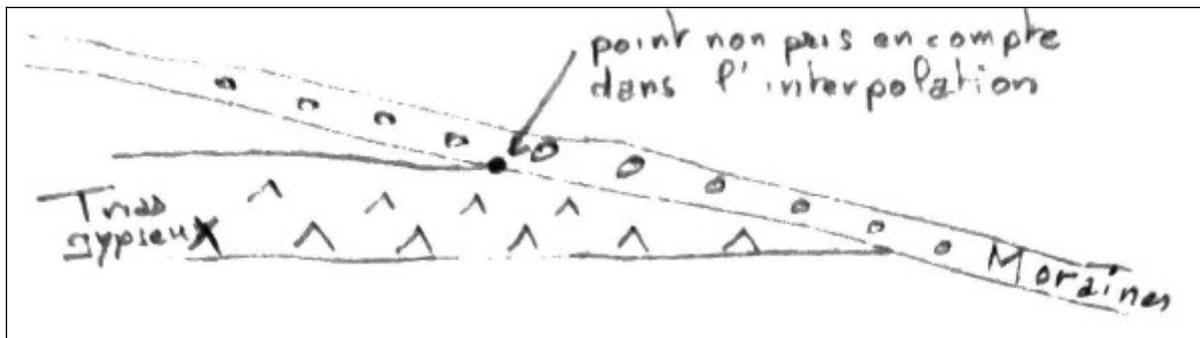


Figure 7 - Cas des formations superficielles (moraines) qui recouvrent les formations évaporitiques.

Ceci ne sont que des exemples avec des couches non plissées. Il y a probablement d'autres incohérences et encore plus si l'on prend en compte le cas de couches plissées et faillées. À l'issue de la prestation de 2016, les moyens alloués n'auront clairement pas permis de dégager

le temps nécessaire pour faire des travaux complémentaires permettant d'assurer une sorte de « contrôle qualité » de la cartographie produite.

L'auteur n'a pas connaissance d'un modèle géologique 3D, ou d'écorchés géologiques sous les formations superficielles qui permettraient d'améliorer la cartographie. La solution qui a donc été choisie afin de dégeler les zones à l'utilisation de la géothermie minime importance est de descendre l'ensemble de la cartographie en susceptibilité moyenne sauf au niveau des polygones de trias qui affleurent.

Des zones anciennement en susceptibilité nulle sont également cartographiées en susceptibilité moyenne dans la nouvelle cartographie. Ce travail se base à dire d'expert et ne s'appuie pas sur l'établissement de nouvelles coupes géologiques ou d'un quelconque modèle géologique 3D. Le choix de la sécurité a largement été choisi en cas de doute. Lors d'une hésitation entre nulle/moyenne c'est forcément la susceptibilité moyenne qui a été choisie. De même entre forte/moyenne. Il en résulte une augmentation de la surface non nulle qui ne pourra être réduite qu'avec des moyens alloués en adéquation.

Le gypse est localement assez abondant pour avoir fait jadis l'objet d'une exploitation à Chouilly et à Bernex. Le village de Bernex n'a pas été mis en évidence avec la méthode de cartographie en 2016. Pour cette raison, le secteur a largement été étendu et placé en susceptibilité moyenne.

2.3.3. Le bassin molassique genevois :

Du gypse et de l'anhydrite sont présents dans les grès et marnes gris à gypse d'âge chattien.

C'est le Chattien supérieur qui présente des évaporites, le Chattien inférieur lui a plutôt des dépôts d'environnement d'eau douce. Les cartes géologiques au 50 000 ne distinguent pas le Chattien inférieur du supérieur. Cette formation est absente (probablement érodée) dans le bassin savoyard du plateau des Bornes ; elle est bien développée dans le bassin genevois, où elle atteint au moins 300 m. Elle est caractérisée par une lithologie complexe : marnes grises, calcaires et grès déposés en milieux lacustre et palustre, dolomies et évaporites (gypse, anhydrite) d'origine continentale. Du gypse a été recoupé dans le sondage BSS001RHLR (Figure 8) entre 35 et 135 m de profondeur. La quantité d'évaporite est difficilement appréciable. Il semble que le gypse ne soit présent que sous forme de concrétion ou bien soit recristallisé dans les fractures. Néanmoins, soulignons l'étude d'Angellino V. en 1986 sur le comportement gonflant des faciès à anhydrite des Marnes et Grès gris à gypse (« Molasse grise ») du bassin genevois. Pour cette raison la zone est placée en susceptibilité moyenne.

Au niveau de Salève, un seul forage a mis en évidence la présence de gypse (Figure 9). Afin de ne pas étendre la zone de susceptibilité moyenne sur l'ensemble du bassin genevois, seule une zone de 2 km autour du forage est cartographiée en susceptibilité moyenne. La quantité de gypse semble assez faible pour présenter un risque à l'utilisation de la géothermie de minime importance.

Au niveau de Messery (Figure 10), c'est de nouveau le gypse fibreux du Chattien supérieur qui est mis en cause dans la cartographie en susceptibilité moyenne. Soulignons que l'Aquitainien formé de grès molassique à intercalations marneuses et molasse bariolée parfois gypseuse n'a pas été sélectionné car la quantité en gypse est peu importante.

Au niveau de Divonne-les-Bains, le gypse décrit dans le Valanginien est anecdotique et n'est pas pris en compte dans la susceptibilité.

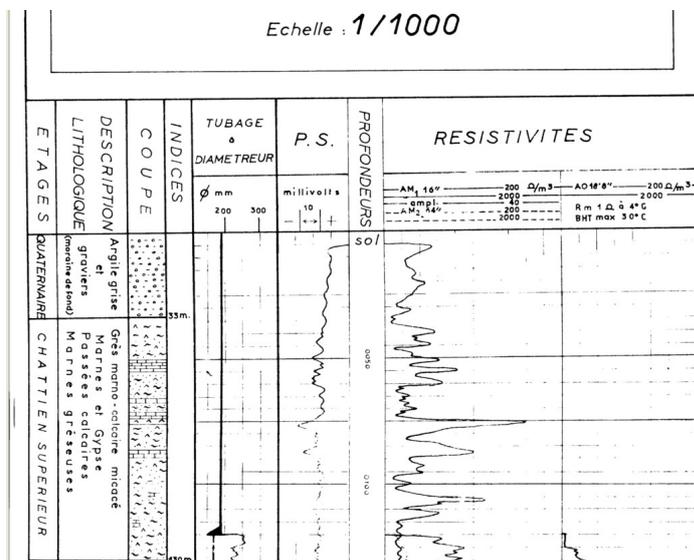


Figure 8 - Présence de gypse dans le sondage BSS001RHLR

Type	Zone	Numéro	An.	Permis	Dép.	Opérateur	Nom
W	16	1107	59	M 54	74	PREPA	SALEVE
X : 12789 E Y : 51g1528 897.995 122.555 Zs : 840 Zt :							1
Début 3/6/59 Fin 27/7/59 Fond 1175,60							Tubages 9 5/8 à 115,50
P	Coupe	Car.	Étage	LITHOLOGIE		MESURES ÉLECTRIQUES — ESSAIS	
10			S U P É R I E U R	Quaternaire - marne jaune plus ou moins sableuse		CE	150 - 1084
				Marne grise ou gris clair plus ou moins sableuse, alternant avec des bancs de grès blanchâtres quartzifères à ciment plus ou moins calcaire		ML	.....
				Marne grise, puis jaune, limonitique plus ou moins sableuse, avec passées de grès gris blanchâtre et jaunâtre		L	.....
160				Quelques passées de gypse		IL	.....
		1				GRN	.....
						Ø	.....
						TH	500 - 1084
						CCL	.....
						Ind. P	3 niveaux
						D	.....
						Sonic	.....
						CVL	.....
						Sismo	.....

Figure 9 - Forage au niveau de Salève qui présente quelques passées de gypse dans le Chattien supérieur

06297X0002

DÉPARTEMENT : HAUTE-SAVOIE

COMMUNE : MESSERY Indice de classement : 629 | 7 | 2

DÉSIGNATION : MESSERY 1 Cote du sol (z) = ±425,30 m.
Pièce 1

Coupe établie par : PREPA
Interprétation de : M. PREPA

PROFONDEURS DE 0 m. À 737,75 m	NATURE DES TERRAINS	INTERPRÉTATION	COTE
0 m - 16 m	Argile grise et graviers	Quaternaire	♂
16 m - 62 m	Marnes grises à passées de grès gris, de calcaire beige à gris et de gypse fibreuse	Chattien Supérieur	♂

Figure 10 - Forage au niveau de Messery qui présente du gypse fibreux dans le Chattien supérieur

2.3.4. Le massif des Bornes

Au niveau du chevauchement de la Klippe des Annes (généralement le gypse souligne ces chevauchements), une susceptibilité forte est cartographiée au niveau du contact chevauchant et une susceptibilité moyenne au-dessus et à l'intérieur de la klippe. La susceptibilité forte cartographiée en 2016 en dessous de la nappe a été mise en nulle car nous sommes dans les terrains tertiaires et crétacés exempts d'évaporites.

2.3.5. Vallée de l'Arve

La quantité de gypse décrit dans la littérature, bien que présente, n'est pas énorme. Aussi, lorsque le trias n'affleurerait pas la susceptibilité a été placée en moyenne. Les structures géologiques sont en outre assez verticales au niveau de la vallée de Chamonix. Seul le trias présent à l'affleurement est cartographié avec une susceptibilité forte.

Dans la plaine de Passy, les alluvions fluvio-glaciaires de l'Arve sont plus profondes que 200 m, aussi la susceptibilité a été mise en nulle.

2.3.6. Jura géologique de l'Ain

Les sondages BSS validés ont montrés la présence de gypse (commune de Boyeux, Cossieux, Vaux-Févroux, Souclins) sous les formations du Lias (Figure 11). Aussi par extension, dans la nouvelle cartographie l'ensemble des formations du Lias de l'Ain a été cartographié suivant une susceptibilité moyenne. Néanmoins, lorsque les forages ont montré la présence d'évaporite, la zone est cartographiée avec une susceptibilité forte.



Figure 11 - Forage avec gypse (point rouge) sur les formations liasiques de la commune de Vaux-Féroux. Carré hachuré : susceptibilité moyenne non identifiée en 2016. Carré avec croisillon : susceptibilité forte non identifiée en 2016.

Au niveau de Champfromier (Figure 12), la zone a été largement réduite car le Lias et le Trias plongent rapidement en profondeur de part et d'autre de la formation liasique affleurante. Des zones en susceptibilité moyenne ont été cartographiées en cas de doute de la profondeur des formations triasiques. Un modèle géologique sous GeoModeller aiderait à affiner la cartographie.

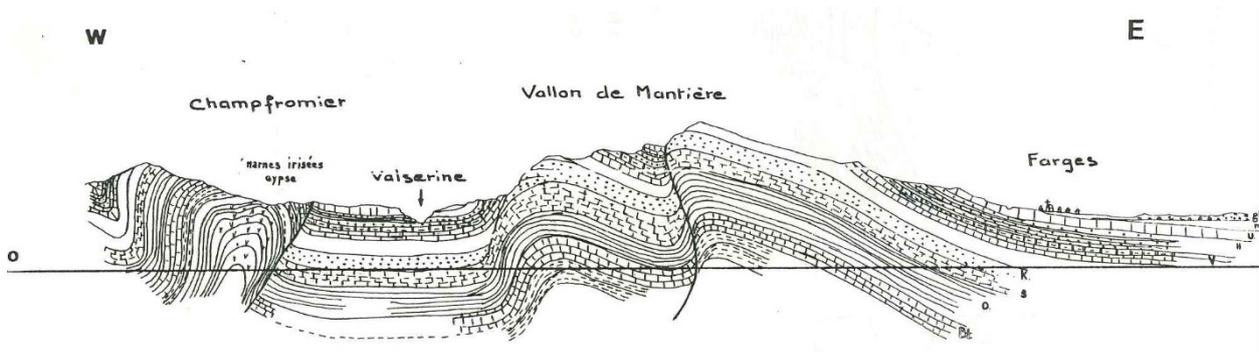


Figure 12 - Coupe géologique montrant les marnes irisées à gypse au niveau de Champfromier

2.3.7. Le cas des formations antétriasiques

Ces formations constituent pour la majorité le socle cristallophyllien. Il est très facile pour un expert de faire la distinction entre ces formations est celles qui renferment des évaporites. Dans ce cas, le niveau de susceptibilité est moyen pour permettre la possibilité de faire de la géothermie, surtout lorsque la maille de 500 par 500 m se superpose sur 99% de socle cristallophyllien.

Les cas où ces formations de socle recouvrent par chevauchement les évaporites sont également bien documenté comme le mont Jovet, où l'unité des schistes lustrées repose sur une grande masse de gypse. Ces contextes ont été laissés en susceptibilité forte.

2.3.8. Les évaporites sensu stricto

Les communes d'Aime et de Brides-les-Bains, qui présentent du Trias gypseux n'ont pas été identifiées en 2016 (Figure 13), probablement dû à la limite de la méthode de cartographie du Trias par SIG/GDM.

Ces zones ont donc été rajoutées en susceptibilité forte lorsque le Trias gypseux affleure, et en susceptibilité moyenne le long des grands accidents tectoniques qui sont associés avec ces évaporites.



Figure 13 - Trias gypseux non pris en compte lors de la cartographie de 2014

2.3.9. Le bassin rhodanien au niveau de Valence

Cette zone a été cartographiée en susceptibilité nulle en 2016. Les formations géologiques qui contiennent des évaporites sont sous les formations superficielles quaternaires du Rhône.

Les forages de la BSS ont montré la présence de gypse dont l'épaisseur cumulée dépasse largement 1 m de puissance (Figure 14). Les formations triasiques affleurent à la surface sur la bordure ouest du bassin.

L'ensemble de la zone a été cartographié en susceptibilité moyenne sauf au niveau des mailles où les forages montrent du gypse qui de fait sont cartographiées en susceptibilité forte.

L'extension latérale de ces zones en lentilles pourrait être affiné par l'acquisition de mesures géophysiques aéroportées.

BSS001YZXB

08187X0153/S-7418

Log validé

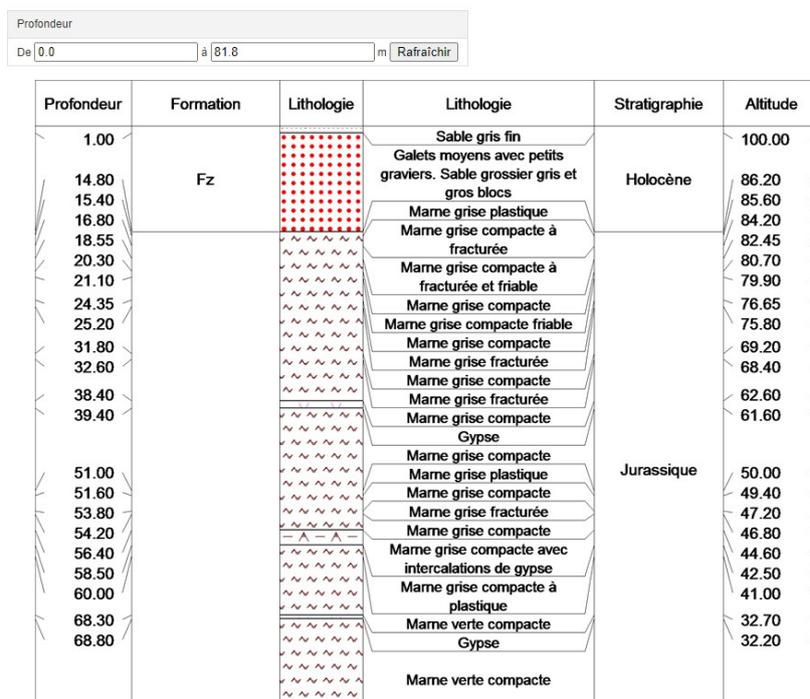


Figure 14 - Forage géologique validé au niveau du bassin rhodanien au sud de Valence. L'interprétation de la stratigraphie en Jurassique est probablement fautive et doit être attribuée au Trias.

2.3.10. Les Baronnie

La zone est marquée par la présence des diapirs évaporitiques de Propiac, Montaulieu et Condorcet (Hamon, 2021). La mise en place de ces diapirs s'effectue de manière ascensionnelle et est contrôlée par les accidents géologiques. La logique de cartographie de 2016 suivant une interpolation du toit du Trias perd ici tout son sens. En effet, les diapirs présentent des contacts subverticaux, plutôt que subhorizontaux, car leurs contacts sont plutôt contrôlés par les failles fortement inclinées.

La nouvelle cartographie de la susceptibilité réduit considérablement les zones à susceptibilité forte et se concentre uniquement sur les affleurements de trias évaporitiques. En parallèle, les failles qui ont structurées la mise en place de ces diapirs ont été mise en susceptibilité moyenne afin qu'une étude plus approfondie puisse valider ou non la présence d'évaporite en profondeur.

2.4. NOUVELLE CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA

La nouvelle cartographie des zones réglementaires de la géothermie de minime importance liées aux évaporites dans la région Rhône-Alpes (Figure 15 Erreur : source de la référence non trouvée), suivant une maille de 500 m par 500 m, présente une surface de 887 km² en susceptibilité forte contre 2137 km² cartographié en 2016, soit une surface de susceptibilité forte qui a été divisé par 2,4. Ce qui ouvre plus de possibilité au développement de la géothermie minime importance.

Néanmoins de nouvelles zones à susceptibilité forte ont été rajoutées par rapport à la première version de 2016. Il s'agit notamment :

- Des formations évaporitiques sous les formations liasiques ;
- Sous les formations superficielles (À ce stade, l'ensemble de la problématique liée aux formations superficielles n'a pas été balayé) ;
- Le long d'accidents majeurs (À ce stade, l'ensemble des accidents majeurs n'a pas été balayé) ;
- De zones dont l'exploitation des sondages validés de la BSS a mis en évidence la présence d'évaporite ;
- De zone d'évaporite à l'affleurement.

En parallèle, 1726.5 km² ont été cartographiés en susceptibilité moyenne. Il s'agit principalement lorsque la présence d'évaporite est a priori peu abondante en quantité et qui soit peu probable que la géothermie de minime importance puisse créer des affaissements importants en surface

Cette cartographie représente l'image des connaissances au moment de sa réalisation (absence de modèles géologiques 3D, de coupes géologiques 3D, recherche bibliographique complète non effectuée, données BSS non validées non exploitées, études géophysiques aéroportées inexistantes, etc.). Il se peut que certaines zones sujettes à la présence d'évaporite puissent être oubliées.

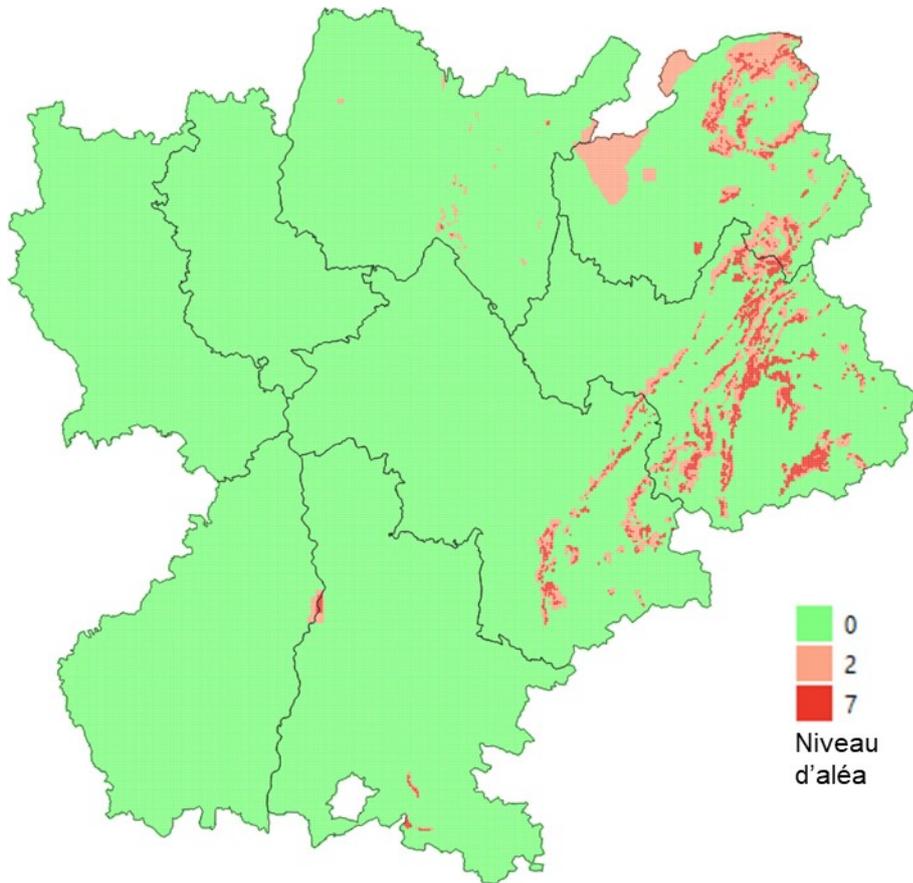


Figure 15 – Nouvelle carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/surrection lié aux évaporites » dans l'ancienne région Rhône-Alpes

3. Phénomène de « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine »

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour caractériser l'aléa « pollution des nappes et des sols » dans la cartographie de 2016 : traitement des données ponctuelles, estimation de panaches de pollution et prise en compte de panaches de pollution connus. Les différents niveaux d'aléa ont ensuite été sommés (Figure 16) alors que, s'agissant d'un même phénomène, seul le niveau d'aléa maximum pour chaque maille doit être retenu. Un nouveau traitement a donc été effectué, à partir des données de l'étude 2016, en veillant à respecter les recommandations de l'addendum. (Figure 17)

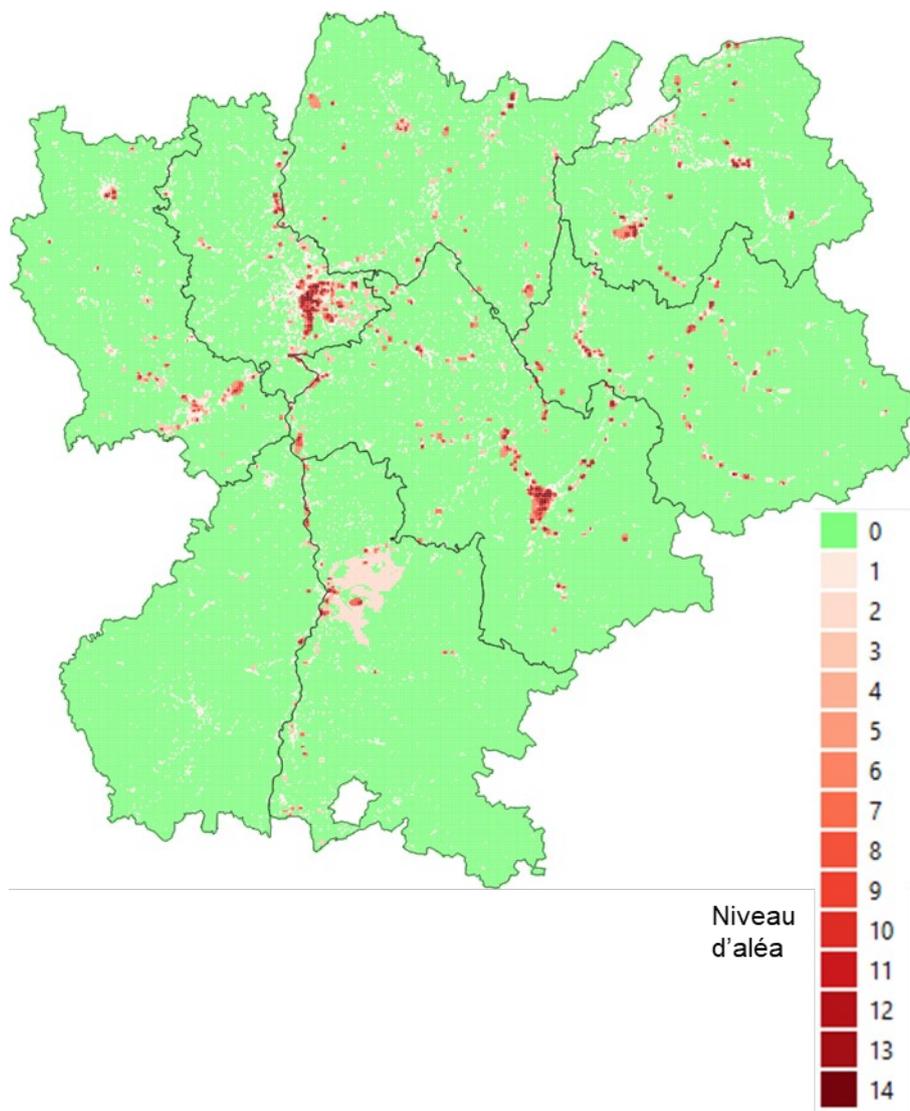


Figure 16 - Carte de 2016 des niveaux d'aléa du phénomène « pollution des nappes et des sols » en région Rhône-Alpes

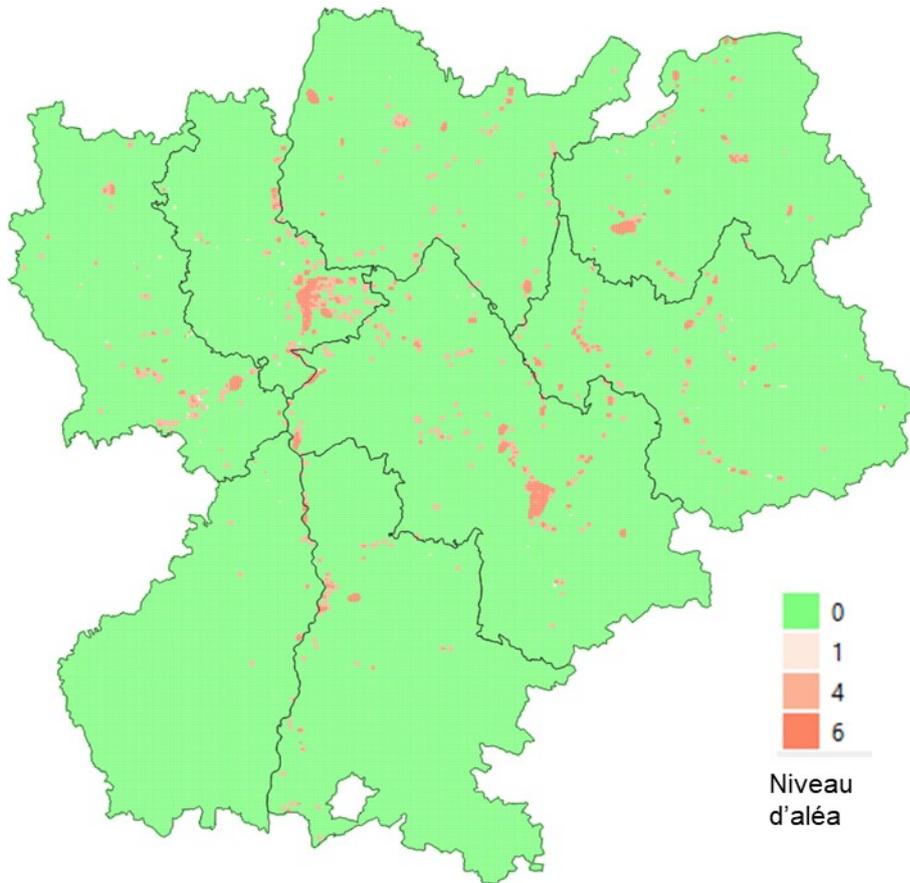


Figure 17 - Carte de 2024 des niveaux d'aléa du phénomène « pollution des nappes et des sols » dans l'ancienne région Rhône-Alpes

4. Phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités minières »

Depuis 2016, Géoderis a réalisé une cartographie de l'aléa minier dans la région Rhône-Alpes. Cette carte a donc été prise en compte au lieu de des données ponctuelles utilisée dans le projet de carte de 2016. La cotation des niveaux d'aléa est celle de l'addendum au « Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance » (Tableau 1). En cas de présence de plusieurs aléas sur une maille, seul le plus élevé est pris en compte.

Tableau 1 Cotation en fonction des cartes d'aléa « effondrements localisés, affaissements, tassements et échauffement »

Qualification	Cotation
Nul	0
Faible	1
Moyen	3
Fort	7

En outre, cette carte d'aléa fait apparaître deux secteurs concernés par l'aléa « gaz de mine », l'un vers La Tour-du-Pin, l'autre vers La Mure (Figure 18).

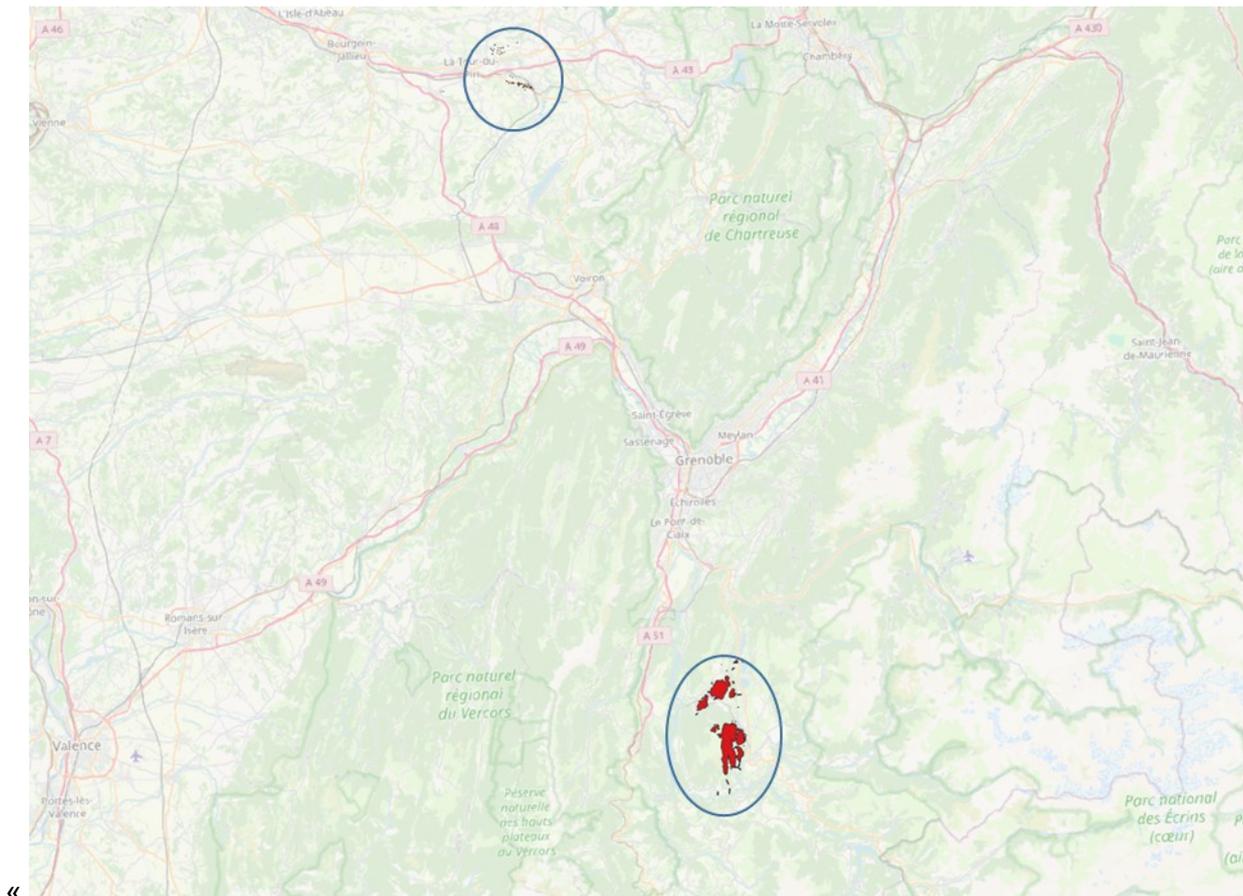


Figure 18 – Localisation des deux secteurs concernés par l'aléa « gaz de mine »

Ce phénomène a été coté conformément à la méthodologie développée pour la « Cartes des zones réglementaires à la géothermie de minime importance. Bassin minier du Nord-Pas-de-Calais » (). Si un autre aléa minier est présent sur une maille, les niveaux s'additionnent.

Tableau 2 Cotation en fonction des cartes d'aléa « Gaz de mine »

Niveau d'aléa	Nul	Faible	Moyen	Fort et très fort
Cotation du niveau d'aléa	0	4	7	10

Les carte de niveau d'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lie aux cavités minières » du projet de 2016 et celle actualisée sont présentés Figure 19 et Figure 20.

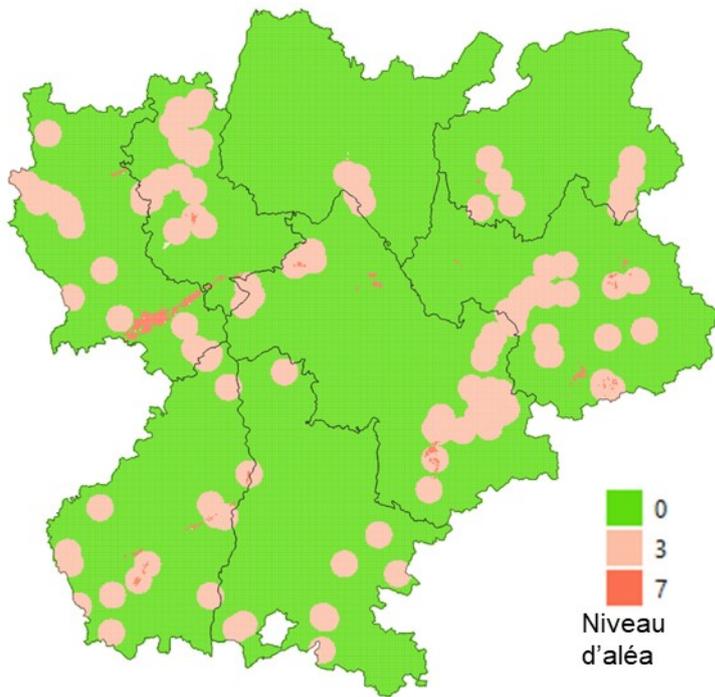


Figure 19 - Carte de 2016 des niveaux d'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières » dans l'ancienne région Rhône-Alpes

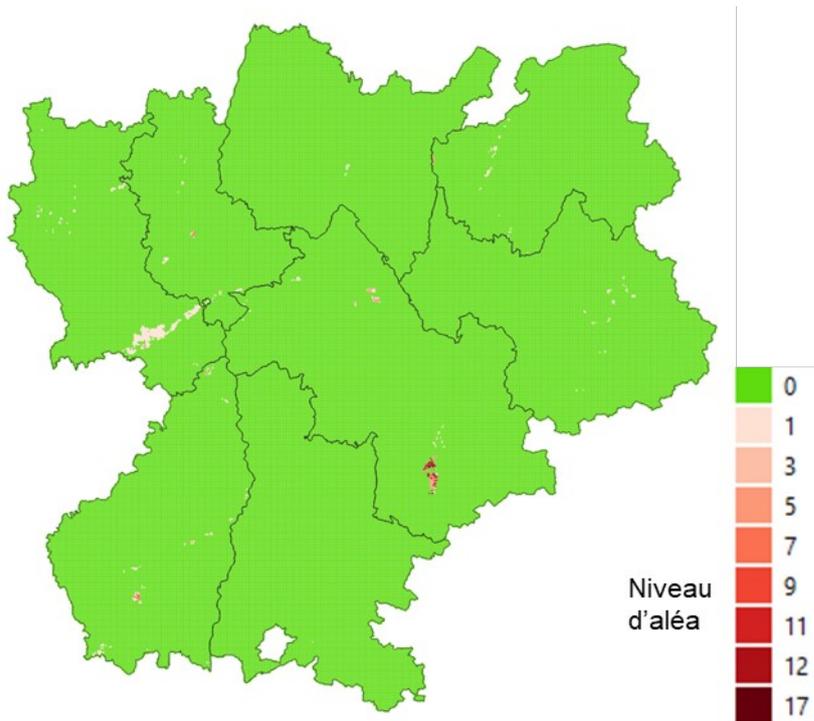


Figure 20 - Carte de 2024 des niveaux d'aléa du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières » dans l'ancienne région Rhône-Alpes

5. Autres modifications

5.1. HARMONISATION MÉTHODOLOGIQUE

- Les phénomènes « risque sismique » et « anciens sites industriels et activités de services », on présents dans le guide méthodologique, ont été définitivement écartés dans l'addendum. Ils ont été supprimés de cette carte.
- Les facteurs aggravants concernant le phénomène « artésianisme » ont été ramenés à ceux du guide méthodologique, à savoir 2 pour les échangeurs ouverts et 4 pour les échangeurs fermés.

5.2. PRISE EN COMPTE DE L'ANNEAU DU CERN

Une valeur de 1 a été attribuée au champ « admin » sur le périmètre de l'anneau du CERN ; ce qui entraine son classement en zone rouge (Figure 21)

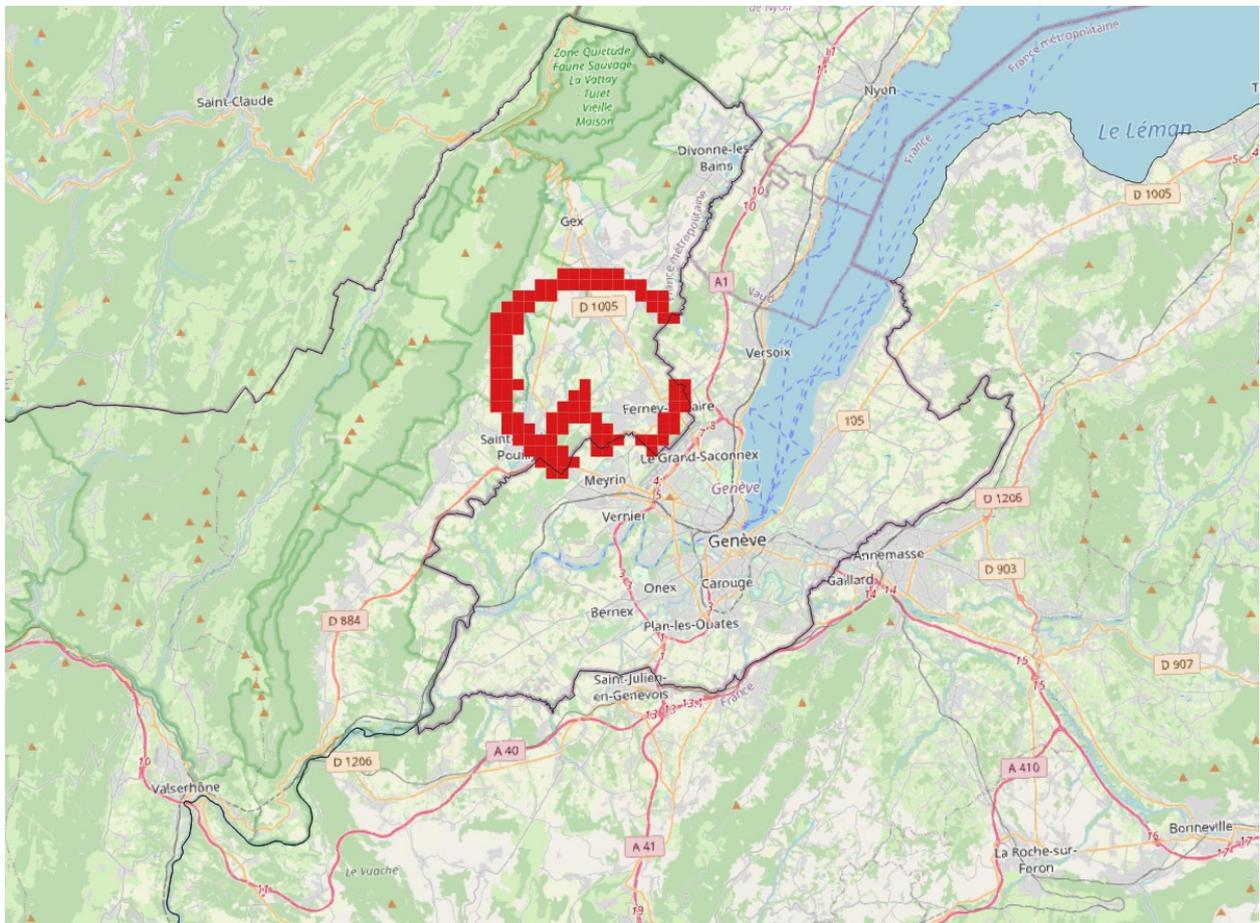


Figure 21 – Périmètre de l'anneau du CERN

5.3. PRISE COMPTE DES NAPPES STRATÉGIQUES DU SAGE DE L'ARVE

Le SAGE de l'Arve a défini des « zone productive reconnue pour l'AEP » (Figure 22).

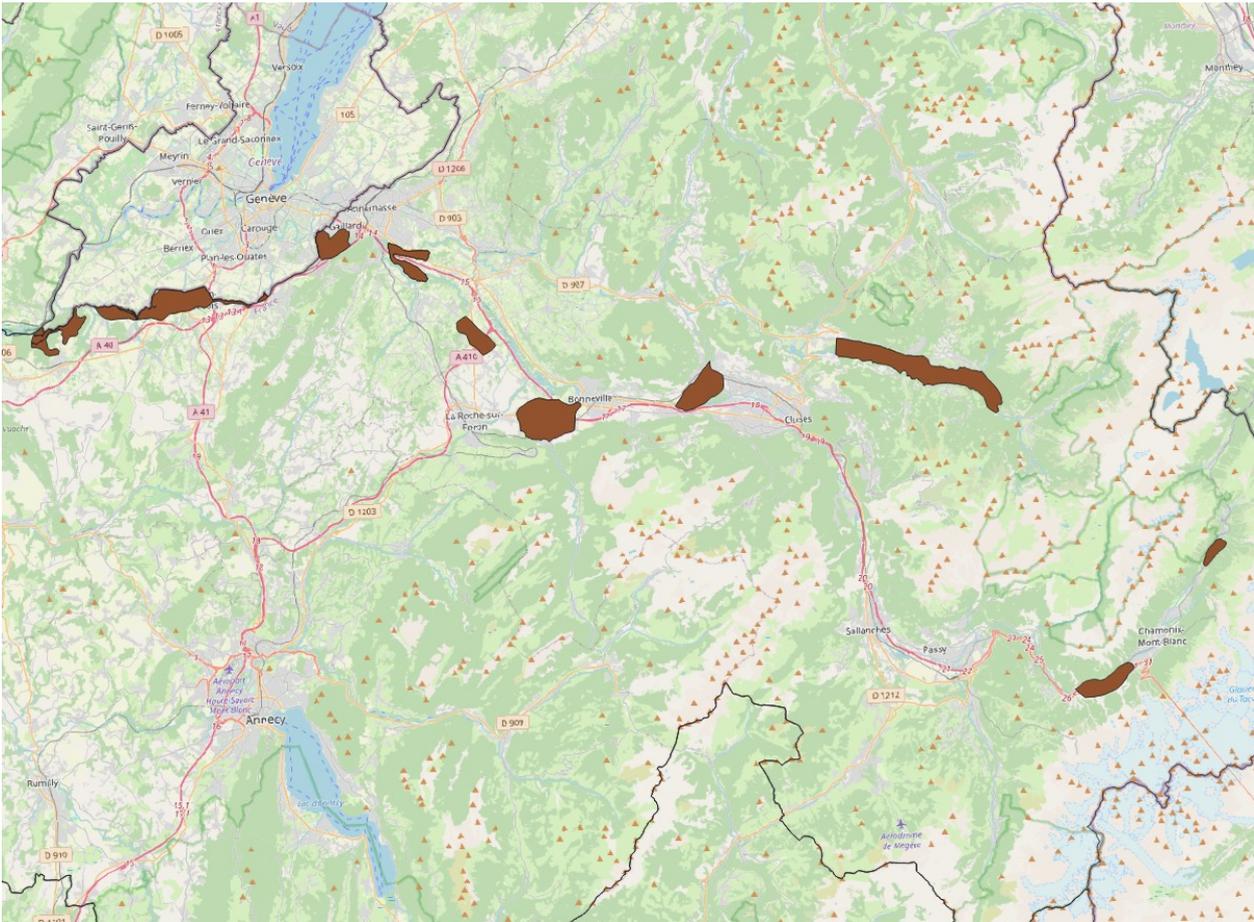


Figure 22 - Zone productive reconnue pour l'AEP du SAGE de l'Arve

Les mailles concernées par le phénomène « mise en communication d'aquifères » sur ces zones passent d'un niveau d'aléa 1 à 4 (Figure 23)

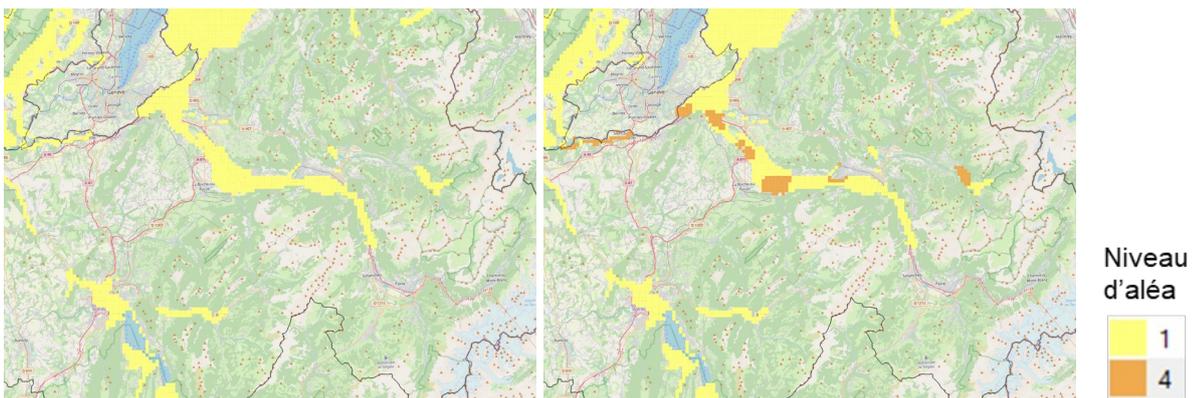


Figure 23 – Evolution du phénomène « mise en communication d'aquifères » sur le SAGE de l'Arve

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

La prise en compte des nouvelle cartographie d'aléa « affaissement/surrection lie aux formations évaporitiques », « pollution des nappes et de sols », « affaissement/effondrement lie aux cavités minières » et « mise en communication d'aquifères » ainsi que l'abandon des phénomènes « risque sismique » et « anciens sites industriels et activités de services » et la prise compte de l'anneau CERN aboutit à une nouvelle proposition de carte réglementaire (Figure 24, Figure 25, Figure 26, Figure 27, Figure 28 et Figure 29).

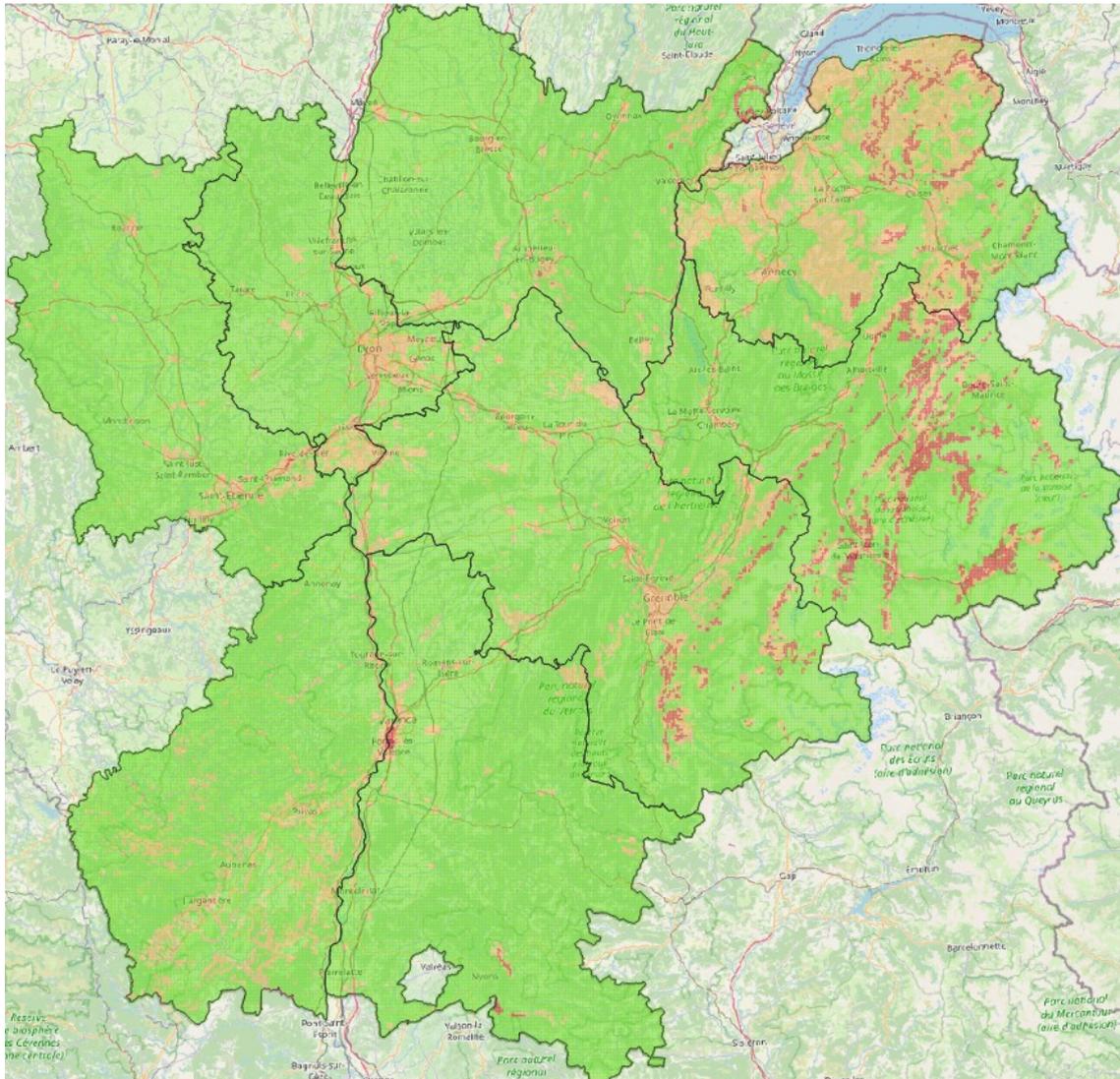


Figure 24 - Cartes réglementaires pour échangeurs ouverts de la gamme de profondeur 10 50 mètres

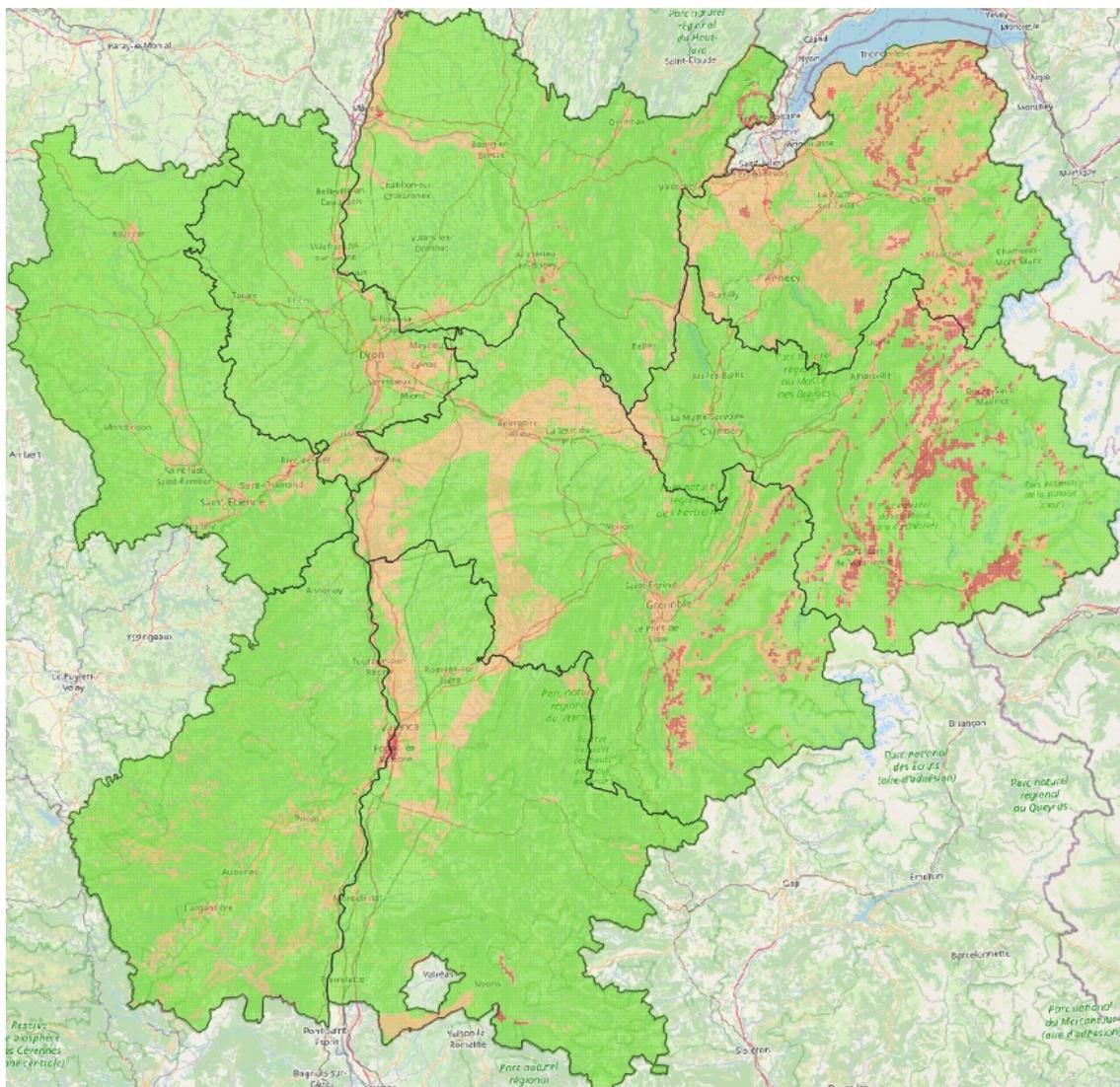


Figure 25 - Cartes réglementaires pour échangeurs fermés de la gamme de profondeur 10 50 mètres

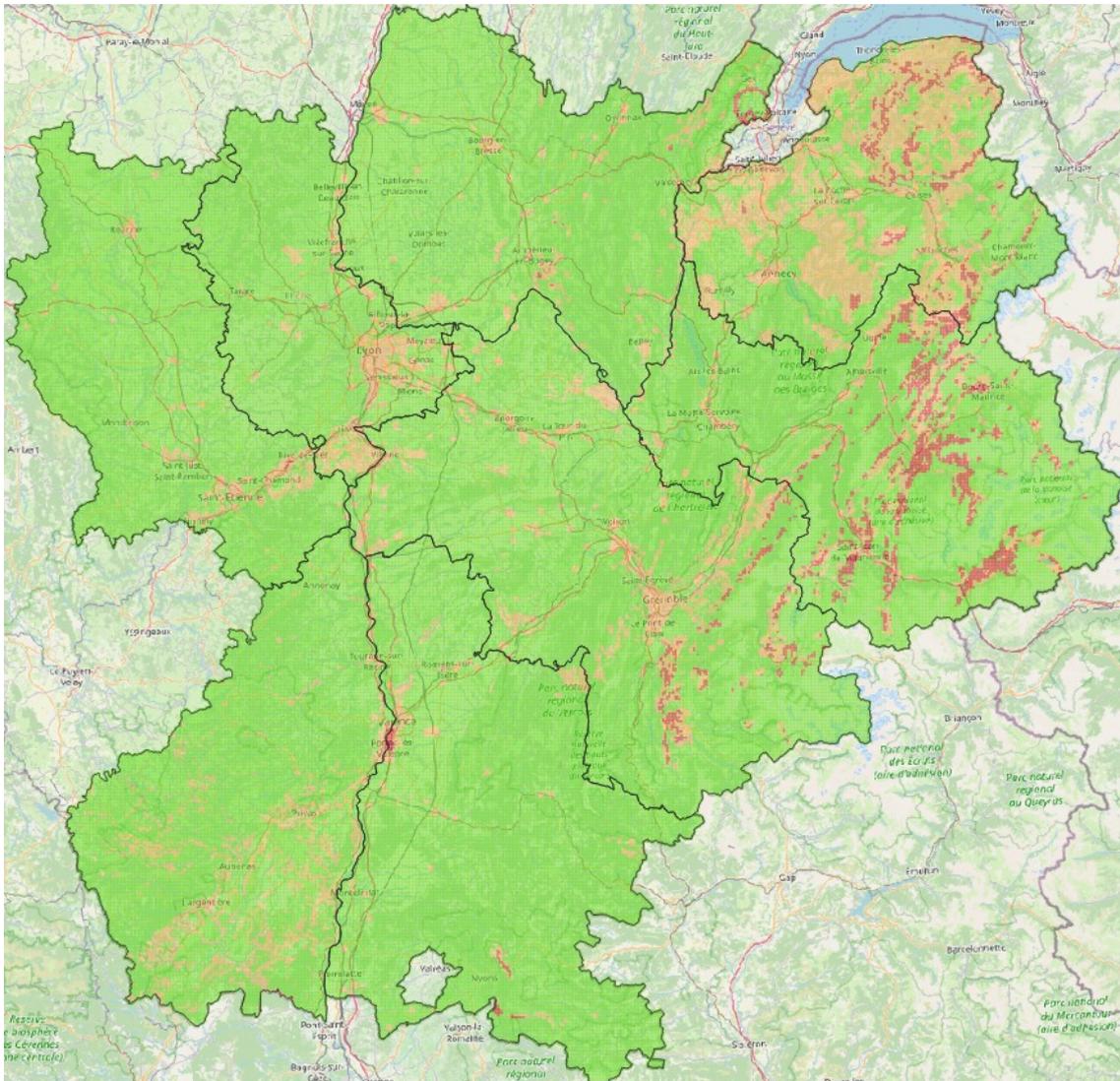


Figure 26 - Cartes réglementaires pour échangeurs ouverts de la gamme de profondeur 10-100 mètres

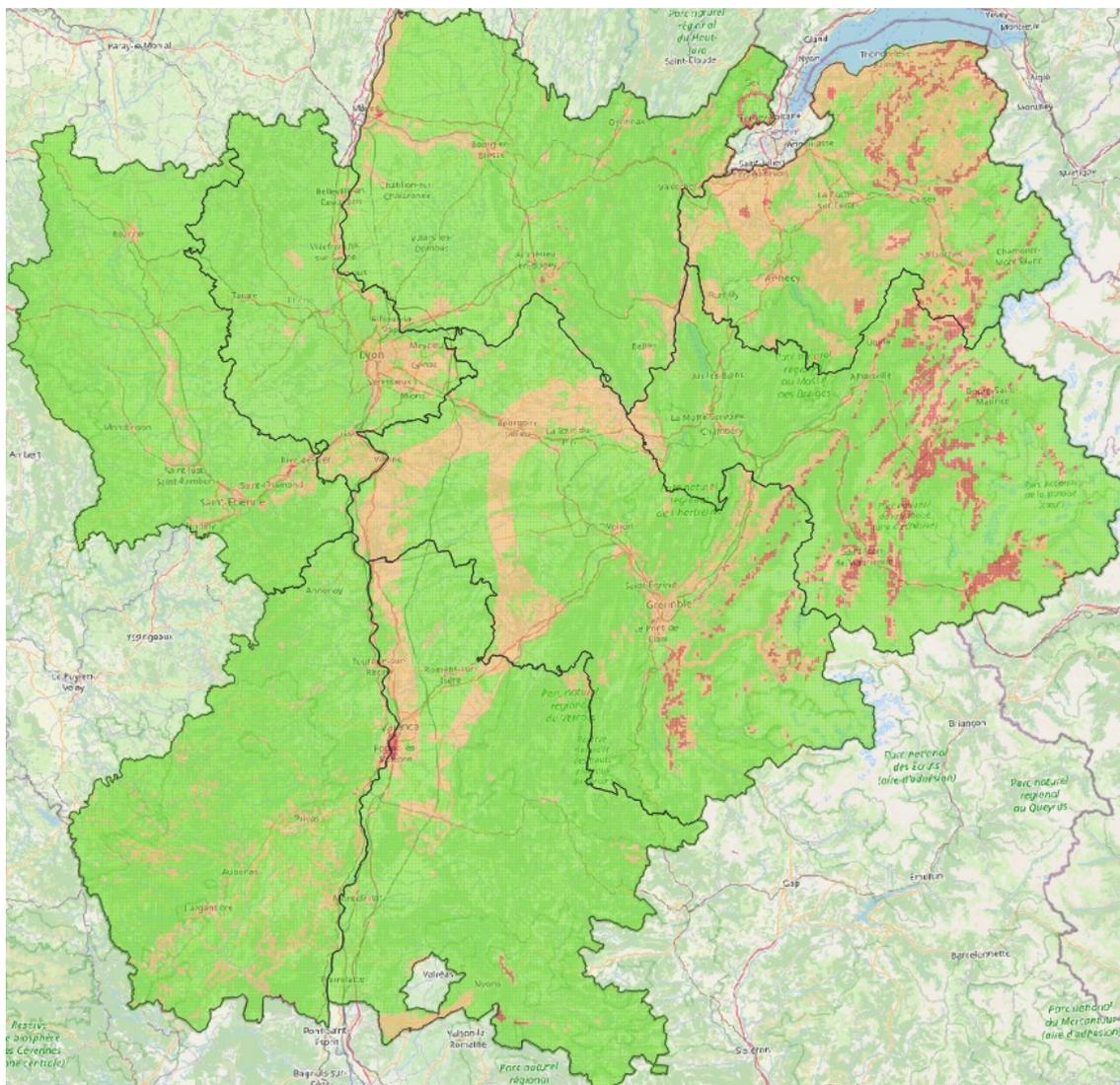


Figure 27 - Cartes réglementaires pour échangeurs fermés de la gamme de profondeur 10-100 mètres

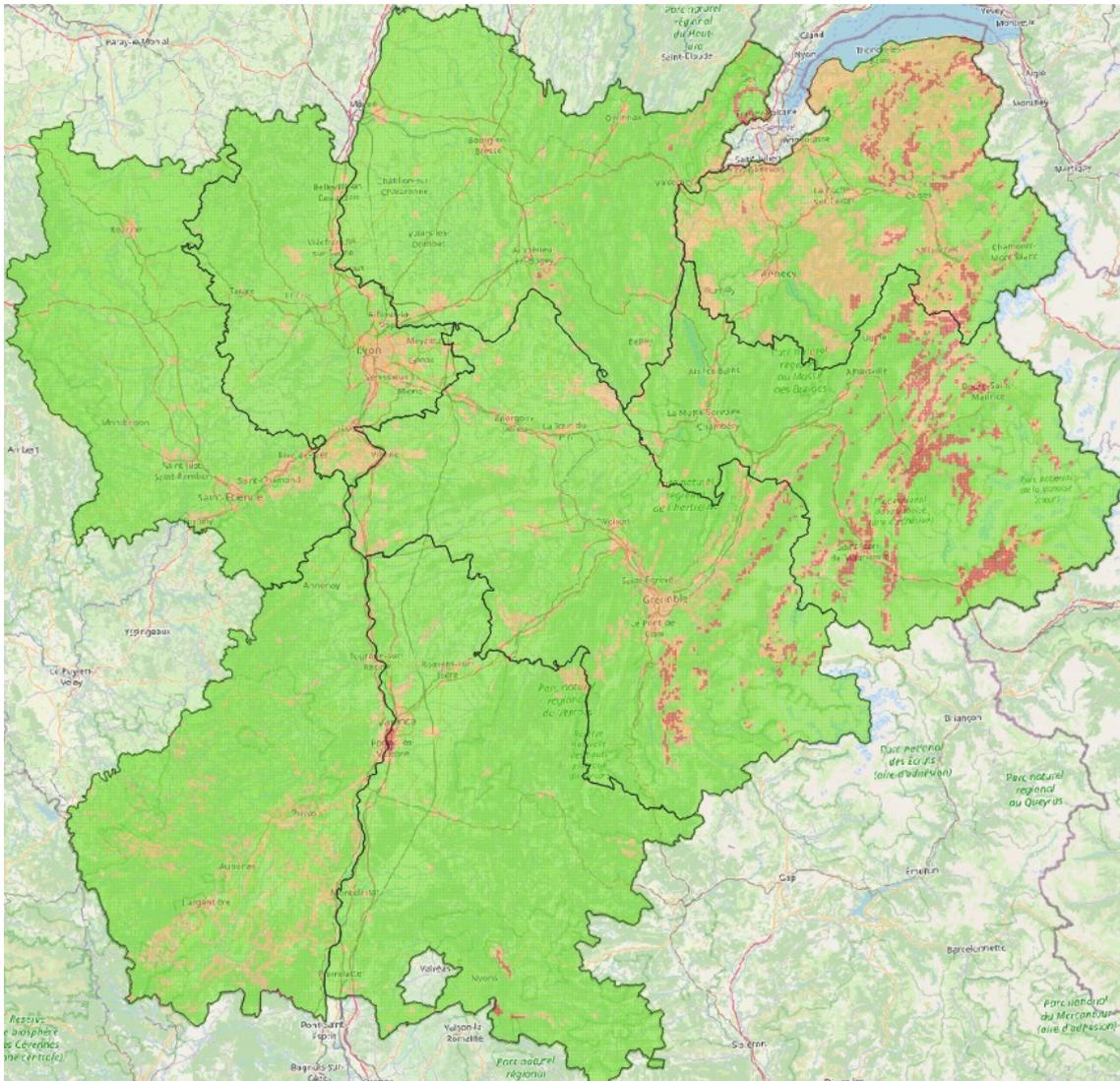


Figure 28 - Cartes réglementaires pour échangeurs ouverts de la gamme de profondeur 10-200 mètres

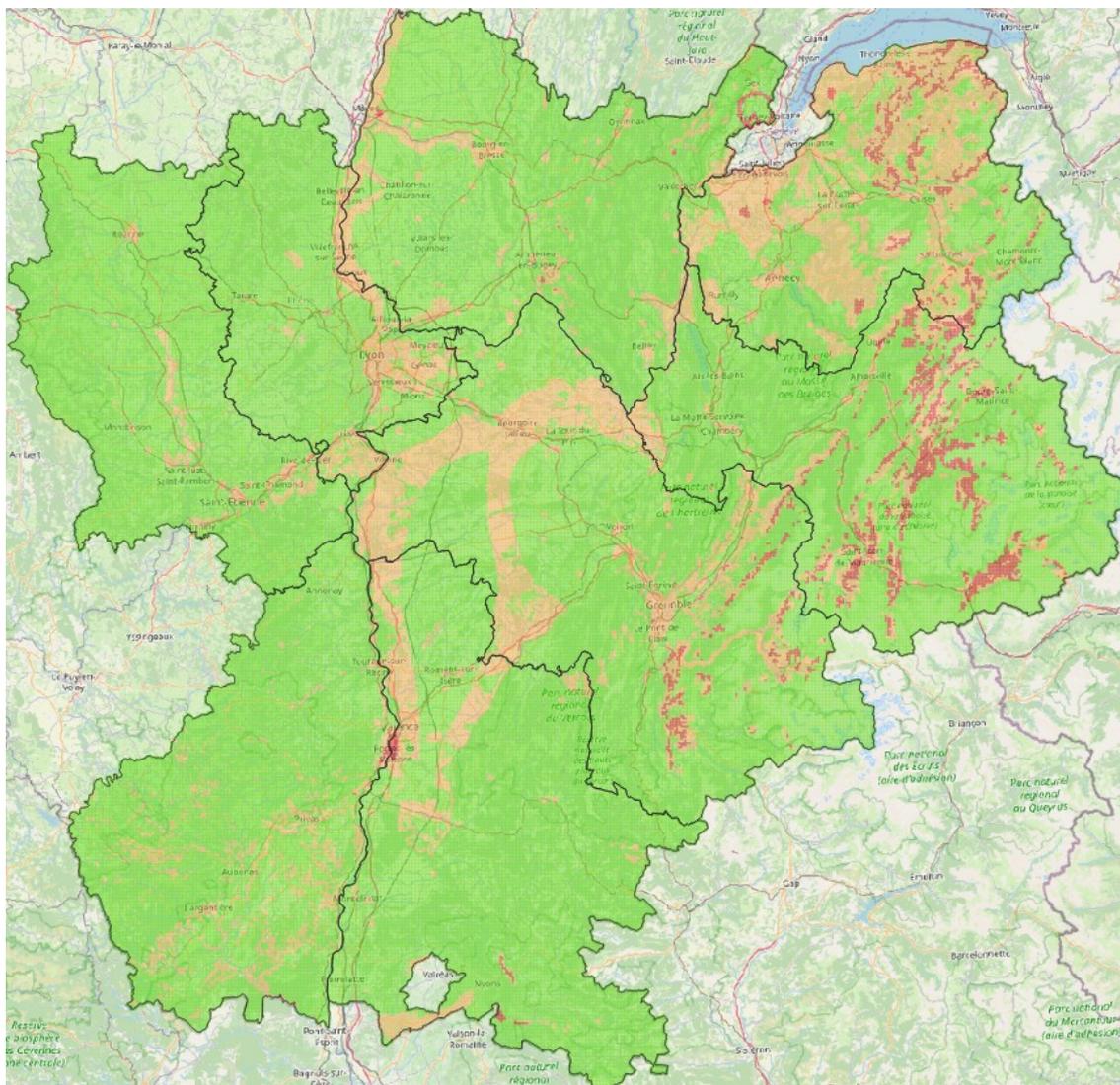


Figure 29 - Cartes réglementaires pour échangeurs fermés de la gamme de profondeur 10-200 mètres

La Figure 30 montre l'évolution de la proposition de carte pour les systèmes fermés jusqu'à 100m

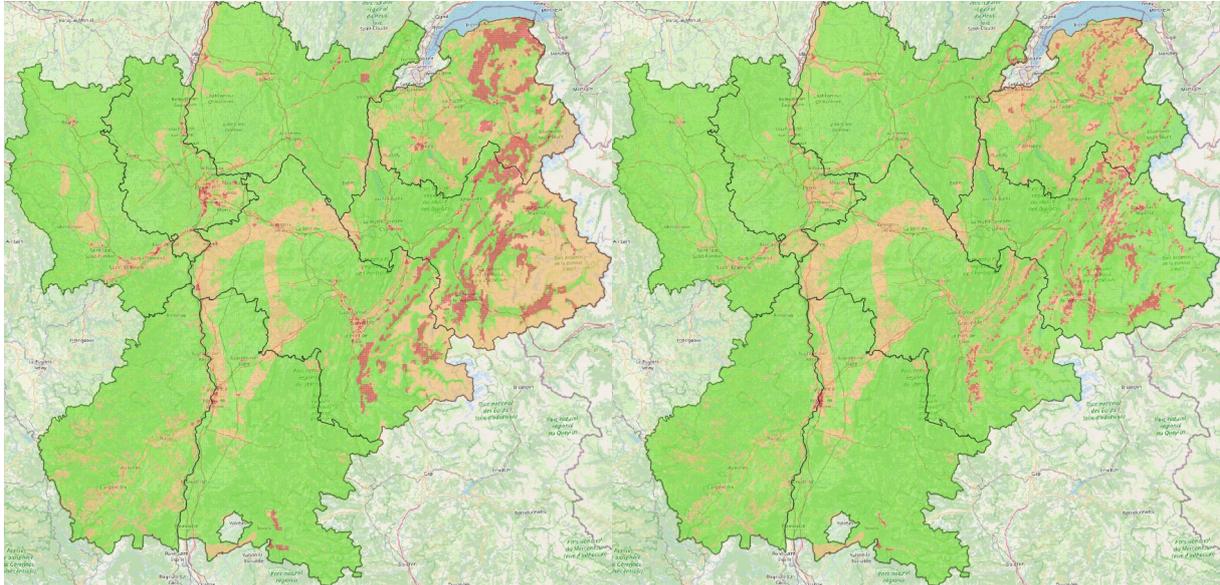


Figure 30 – Comparaison des projets de carte réglementaire pour échangeurs fermés de la gamme de profondeur 10-100 mètres entre le projet de 2016 (à gauche) et le projet actuel (à droite)

Les statistiques de cette cartographie en pourcentage de surface et de population sont présentées Tableau 3 et Tableau 4

Tableau 3 – Répartitions des zones vertes, orange et rouges en fonction de la surface et de la population pour les systèmes ouverts

Systèmes ouverts, par surface				
		Carte initiale	Projet 2016	Projet actuel
Vert	50 m	88,0%	71,7%	85,8%
	100 m		71,7%	85,8%
	200 m		71,3%	85,9%
Orange	50 m	12,0%	23,5%	12,1%
	100 m		23,5%	12,0%
	200 m		23,9%	12,1%
Rouge	50 m	0,0%	4,8%	2,1%
	100 m		4,8%	2,1%
	200 m		4,8%	2,1%

Systèmes ouverts, par population				
		Carte initiale	Projet 2016	Projet actuel
Vert	50 m	81,1%	52,4%	60,3%
	100 m		52,3%	60,2%
	200 m		51,0%	60,2%
Orange	50 m	18,7%	36,3%	38,6%
	100 m		36,4%	38,6%
	200 m		37,4%	38,6%
Rouge	50 m	0,2%	11,3%	1,1%
	100 m		11,3%	1,1%
	200 m		11,6%	1,1%

Tableau 4 – Répartitions des zones vertes, orange et rouges en fonction de la surface et de la population pour les systèmes fermés

Systèmes fermés, par surface				
		Carte initiale	Projet 2016	Projet actuel
Vert	50 m	88,1%	73,5%	81,6%
	100 m		73,4%	81,6%
	200 m		73,1%	81,3%
Orange	50 m	11,7%	21,8%	16,2%
	100 m		21,8%	16,2%
	200 m		22,1%	16,5%
Rouge	50 m	0,2%	4,8%	2,2%
	100 m		4,8%	2,2%
	200 m		4,8%	2,2%

Systèmes fermés, par population				
		Carte initiale	Projet 2016	Projet actuel
Vert	50 m	81,5%	55,0%	57,0%
	100 m		55,0%	57,0%
	200 m		53,5%	56,1%
Orange	50 m	17,7%	34,2%	41,6%
	100 m		34,3%	41,6%
	200 m		35,4%	42,6%
Rouge	50 m	0,8%	10,8%	1,4%
	100 m		10,8%	1,4%
	200 m		11,1%	1,4%

7. Bibliographie

Abad J. (BRGM) et Bourhis F. (CEREMA) avec la collaboration de Szczyglowski M., Mossmann J-R., Parmentier M., Manlay A. (2021) – Cartes des zones réglementaires à la géothermie de minime importance. Bassin minier du Nord-Pas-de-Calais. Région Hauts-de-France. Rapport final. BRGM/RP-70704-FR, 102 p., 54 ill., 19 tabl., 1 ann.

ANGELILLO V. 1986. Le comportement gonflant des faciès à anhydrite des Marnes et Grès gris à gypse (« Molasse grise ») du bassin genevois. Exemple de la galerie de décharge du bassin de l'Aire. Diplôme inédit Ing.-géol. Univ. Genève et Service cantonal de géologie de Genève, 124 p

Célini, N., Callot, J.P., Ringenbach, J.C., Graham, R. (2020,). Jurassic salt tectonics in the SW sub-Alpine fold and thrust belt. *Tectonics*

Hamon A., Caroline Mehl, Damien Huyghe, Sidonie Révillon, and Jean-Paul Callot. Salt activity and diapirism during the Paleogene in the Baronnies Orientales (South-East basin, France) : paleogeographic and structural implications. the 23rd EGU General Assembly, held online 19-30 April, 2021, id.EGU21-15420

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.



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

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