

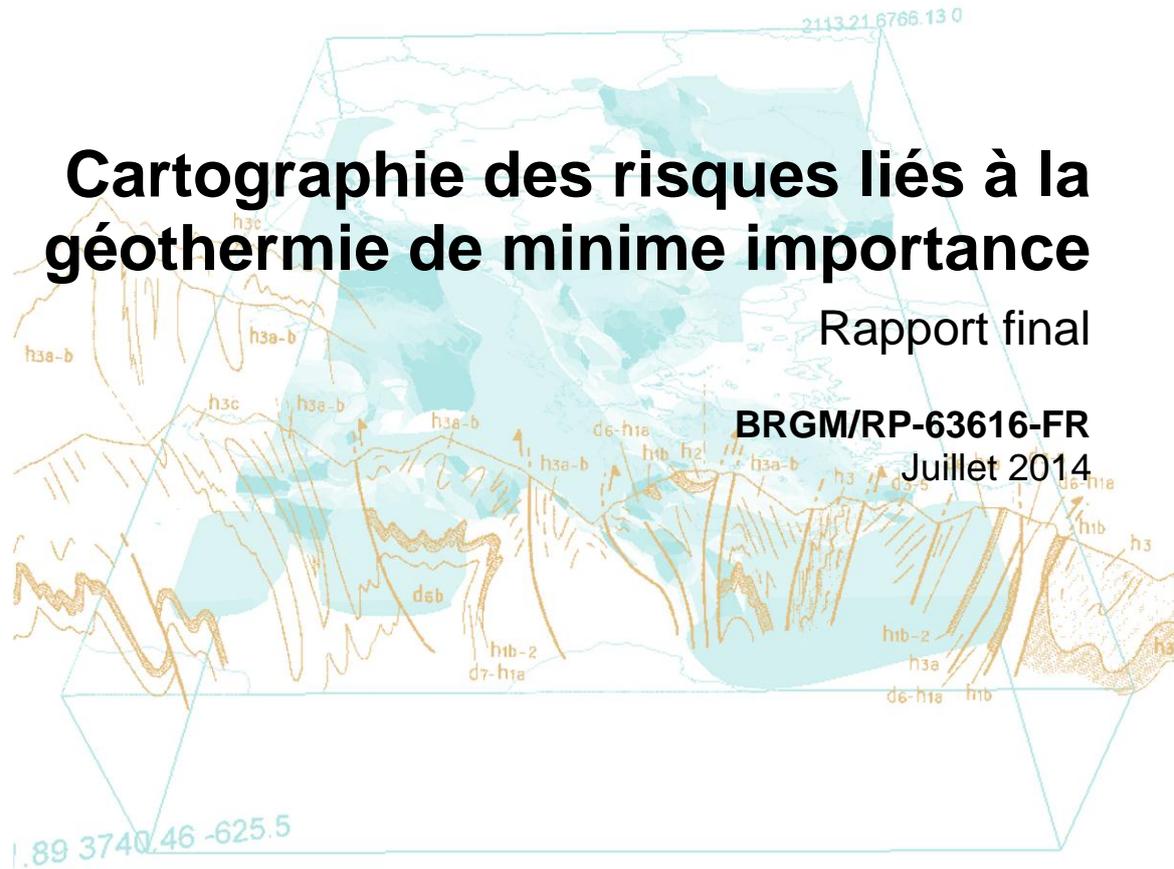


Cartographie des risques liés à la géothermie de minime importance

Rapport final

BRGM/RP-63616-FR

Juillet 2014



Cartographie des risques liés à la géothermie de minime importance

Rapport final

BRGM/RP-63616-FR

Juillet 2014

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

P. Durst, D. Midot, M. Herbaux(*), S. Schomburgk, G. Fourniguet, A.-V. Barras

(*) Cerema

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

<p>Approbateur :</p> <p>Nom : J.-C. Guillaneau</p> <p>Date :</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

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

P. Durst, D. Midot, M. Herbaux (Cerema), S. Schomburgk, G. Fourniguet, A.-V. Barras (2014) - Cartographie des risques liés à la géothermie de minime importance. Rapport final. BRGM/RP-63616-FR, 100 p., 55 fig., 10 tabl., 3 ann.

© BRGM, 2014, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

CONTEXTE DE REALISATION

La filière géothermie doit actuellement répondre à deux grands enjeux :

- se développer fortement et conformément aux attentes sur les énergies renouvelables,
- se développer dans de bonnes conditions de durabilité, c'est-à-dire en prévenant d'éventuels sinistres et des dégradations du milieu naturel.

Le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE) ayant décidé de réformer la réglementation applicable à la géothermie de minime importance, le BRGM (en collaboration avec le CEREMA) a réalisé une cartographie réglementaire permettant de définir si l'implantation d'une opération de géothermie de minime importance présente a priori des risques et/ou des contraintes particulières nécessitant le recours à l'avis d'un expert, voire si cette implantation n'exclut pas le projet du régime de minime importance.

OBJECTIF

L'objectif est, à partir de la méthodologie élaborée dans le cadre de la convention de service publique ADEME-BRGM n° 1305C0004, de réaliser à l'échelle nationale (hors DROM/COM) deux cartographies en fonction de l'usage, Sonde Géothermie Verticale (SGV) ou doublet sur nappe, au pixel de 500*500 m et comportant trois zones :

- **Zone verte** : zone ne présentant pas de risques identifiés ;
- **Zone orange** : zone qui nécessite l'avis d'un expert agréé ;
- **Zone rouge** : zone où la réalisation d'ouvrages de géothermie ne peut pas bénéficier du régime de la minime importance et nécessite donc une autorisation au titre du code minier.

Ces cartes réalisées à l'échelle nationale concerneront la tranche 10-200 m où peut s'appliquer le régime de minime importance.

En parallèle, des cartes plus précises et distinguant trois tranches de profondeur ont été réalisées pour l'Alsace et la Lorraine. Les autres régions devraient être réalisées dans les mois ou années à venir.

RESULTATS OBTENUS

La cartographie nationale a été réalisée en prenant en comptes les retours de la concertation faite sur la méthodologie provenant des groupes de travail organisés par le ministère et regroupant le MEDDE, le BRGM, le CEREMA, des représentants des professionnels de la géothermie, des services de l'Etat (DREAL, ARS...) et des associations de protection de l'environnement.

Des cartes de niveaux d'aléas correspondant à huit phénomènes redoutés ont été établies à partir des données disponibles. Ces niveaux d'aléa, affectés d'une pondération pouvant différer selon l'usage (SGV ou doublet sur nappe), sont ensuite sommés de manière à aboutir à un score par maille de 500*500 m. En fonction de seuils établis en collaboration avec les groupes de travail ces scores permettent le classement en zone verte, orange ou rouge (Figures 1 et 2).

Ces cartes sont destinées à entrer en vigueur en 2015 pour accompagner la nouvelle réglementation et seront mises en ligne en lien avec un outil de télédéclaration.

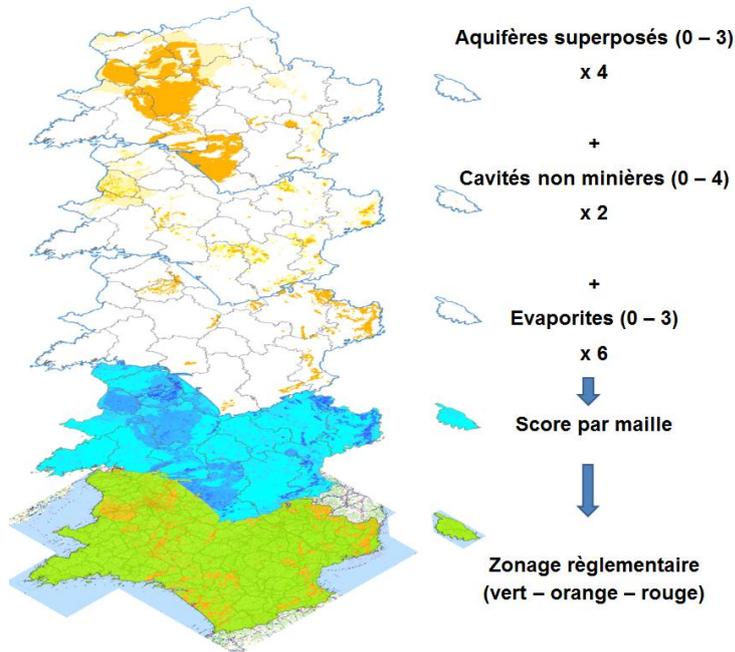


Figure 1 : Etablissement des cartes réglementaires à partir des cartes de niveaux d'aléa.

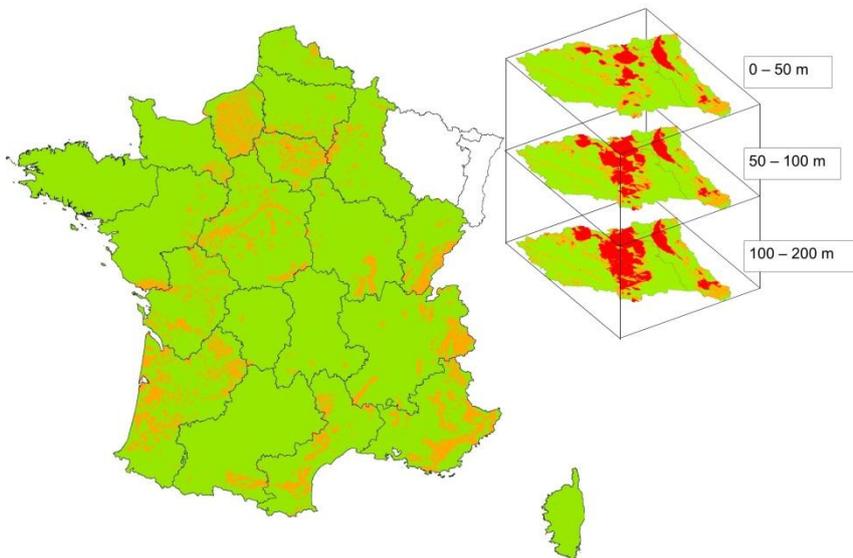


Figure 2 : Carte réglementaire pour la géothermie de minime importance concernant les doublets sur nappe.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Méthodologie	11
3. Création de la grille de base et du MNT	17
4. Création des cartes de phénomènes redoutés	19
4.1. AFFAISSEMENT/SURRECTION LIE AUX NIVEAUX EVAPORITIQUES	19
4.2. AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIE AUX CAVITES (HORS MINES)	26
4.3. AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIE AUX CAVITES MINIERES	29
4.4. MOUVEMENTS DE TERRAIN (GLISSEMENT)	35
4.5. POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES SOUTERRAINES	39
4.6. MISE EN COMMUNICATION D'AQUIFERES	48
4.7. ARTESIANISME	53
4.8. INONDATION PAR REMONTEE DE NAPPE	61

Liste des illustrations

Figure 1 : Etablissement des cartes réglementaires à partir des cartes de niveaux d'aléa.	4
Figure 2 : Carte réglementaire pour la géothermie de minime importance concernant les doublets sur nappe.	4
Figure 3 : Carte réglementaire nationale ainsi qu'Alsace et Lorraine pour les doublets sur nappe.	9
Figure 4 : Cartographies produites à l'échelle nationale et régionale.	12
Figure 5 : Exemple de construction de cartes réglementaire avec deux aléas.	16
Figure 6 : Grille de base à l'échelle de la France au pas de 500 m.	17
Figure 7 : Table attributaire des grilles de base.	18
Figure 8 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques à l'échelle nationale.	20
Figure 9 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 50 m.	22
Figure 10 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 100 m.	23

Figure 11 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 200 m.....	23
Figure 12 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Alsace pour une profondeur jusqu'à 50 m.	24
Figure 13 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Alsace pour une profondeur jusqu'à 100 m.	24
Figure 14 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Alsace pour une profondeur jusqu'à 200 m.	25
Figure 15 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) à l'échelle nationale.	26
Figure 16 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) en Lorraine	28
Figure 17 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) en Alsace	28
Figure 18 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières à l'échelle nationale	30
Figure 19 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 50 m.	32
Figure 20 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 100 m.	32
Figure 21 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 200 m.	33
Figure 22 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Alsace pour une profondeur jusqu'à 50 m.	33
Figure 23 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Alsace pour une profondeur jusqu'à 100 m.	34
Figure 24 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Alsace pour une profondeur jusqu'à 200 m.	34
Figure 25: Cartographie du phénomène mouvement de terrain (glissement) à l'échelle nationale.	36
Figure 26 : Cartographie du phénomène mouvement de terrain (glissement) en Lorraine.	38
Figure 27 : Cartographie du phénomène mouvement de terrain (glissement) en Alsace.....	38
Figure 28 : Exemple de panache dans la vallée du Rhône.....	40
Figure 29 : Cartographie du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines à l'échelle nationale.....	41
Figure 30 : Exemple du site 13.0111, à Miramas : deux localisations suivant les deux systèmes de coordonnées : Lambert II, Lambert93 I.....	42
Figure 31 : Statistique des localisations selon la définition du système de coordonnées.....	43
Figure 32 : Cartographie du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 50 m.....	45
Figure 33 : Cartographie du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 100 m.....	46
Figure 34 : Cartographie du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 200 m.....	46

Figure 35 : Cartographie du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines en Alsace.	47
Figure 36 : Concept de superposition des couches aquifères (couleur bleu), les intercalaires imperméables (couleur orange) et les ressources protégées (couleur verte)...	48
Figure 37 : Cartographie du phénomène mise en communication d'aquifères à l'échelle nationale.	49
Figure 38 : Cartographie du phénomène mise en communication d'aquifères en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 50 m.....	51
Figure 39 : Cartographie du phénomène mise en communication d'aquifères en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 100 m.....	51
Figure 40 : Cartographie du phénomène mise en communication d'aquifères en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 200 m.....	52
Figure 41 : Cartographie du phénomène mise en communication d'aquifères en Alsace.....	52
<i>Figure 42 : Exemple d'une chronique piézométrique avec une profondeur de la nappe proche de la surface (Source : ADES)</i>	<i>54</i>
Figure 43 : Secteurs d'artésianisme prouvés.....	55
Figure 44 : Cartographie du phénomène artésianisme à l'échelle nationale.....	56
Figure 45 : Cartographie du phénomène artésianisme en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 50 m.....	57
Figure 46 : Cartographie du phénomène artésianisme en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 100 m.....	58
Figure 47 : Cartographie du phénomène artésianisme en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 200 m.....	58
Figure 48 : Cartographie du phénomène artésianisme en Alsace pour des profondeurs jusqu'à 50 m.	59
Figure 49 : Cartographie du phénomène artésianisme en Alsace pour des profondeurs jusqu'à 100 m.....	59
Figure 50 : Cartographie du phénomène artésianisme en Alsace pour des profondeurs jusqu'à 200 m.....	60
Figure 51 : Couverture des classes selon le type d'agrégation.....	61
Figure 52 : Exemple des cartes d'épaisseur de la zone non saturée (ZNS) selon le type d'agrégation.....	62
Figure 53 : Cartographie du phénomène remontée de nappe à l'échelle nationale.....	63
Figure 54 : Cartographie du phénomène remontée de nappe en Lorraine.....	64
Figure 55 : Cartographie du phénomène remontée de nappe en Alsace.....	65

Liste des tableaux

Table 1 : Récapitulatif des niveaux des phénomènes et des facteurs aggravants proposés pour la cartographie réglementaire nationale.	13
Table 2 : Récapitulatif des niveaux des phénomènes et des facteurs aggravants proposés pour la cartographie réglementaire régionale et locale.....	15
Table 3 : Caractérisation du phénomène affaissement/surrection lié aux niveaux d'évaporites.	25
Table 4 : Caractérisation du phénomène effondrement/ affaissement lié aux cavités non minières	29
Table 5 : Caractérisation du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités minières. .	35
Table 6 : Caractérisation du phénomène mouvements de terrain (glissement).....	39
Table 7 : Caractérisation de l'aléa pollution des sols et des nappes souterraines.....	47
Table 8 : Niveaux du phénomène mise en communication d'aquifères	53
Table 9 : Niveaux du phénomène artésianisme.	60
Table 10 : Niveaux du phénomène remonté de nappe	65

Liste des annexes

Annexe 1 Cartes réglementaires nationales	67
Annexe 2 Cartes réglementaires Alsace	73
Annexe 3 Cartes réglementaires Lorraine.....	87

1. Introduction

Dans le cadre du projet de décret relatif aux activités géothermiques de minime importance, il a été commandé au BRGM la réalisation de cartes de zonages de risque. Cette réalisation a été financée par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDDE / DGPR), l'ADEME, dans le cadre de la convention n° 1305C0004, et le BRGM sur sa dotation de Service Public. Ce rapport présente la carte nationale et les cartes des régions Alsace et Lorraine (Figure 3).

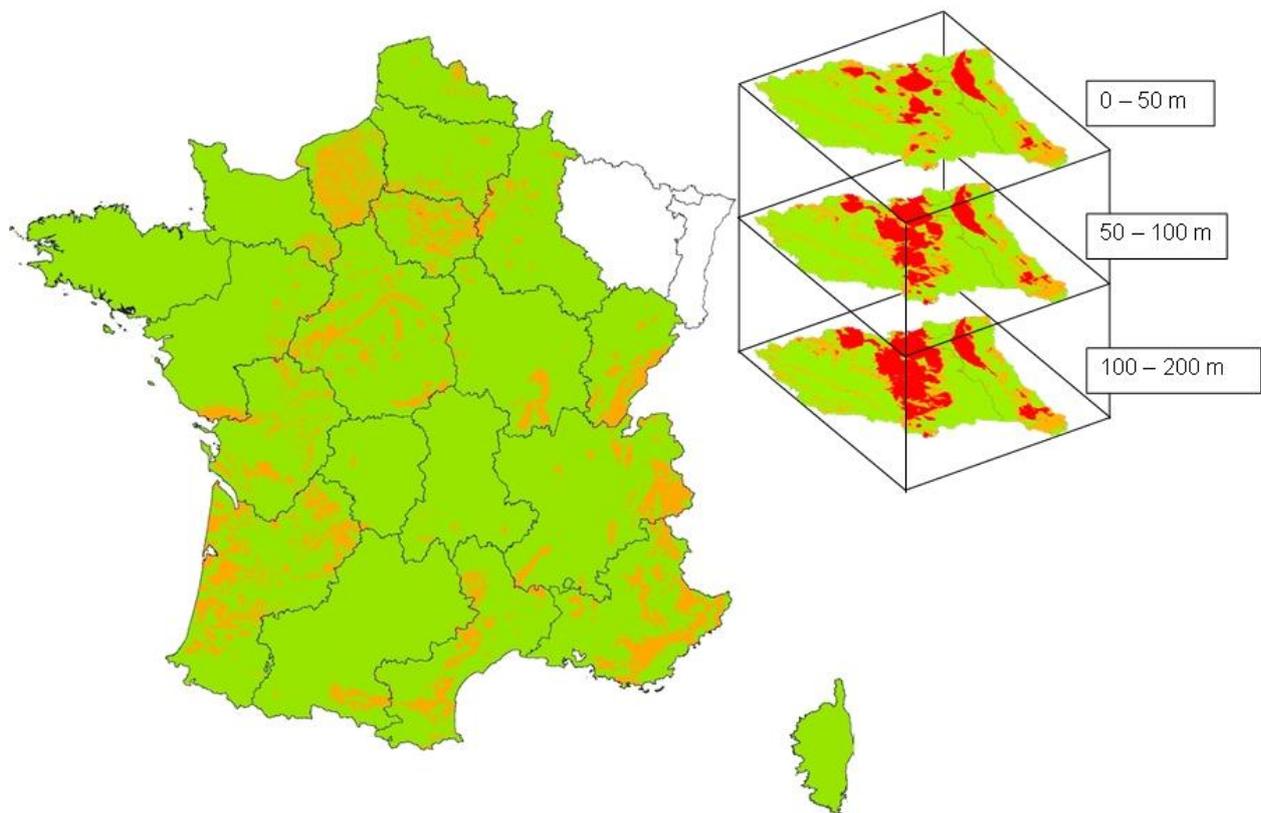


Figure 3 : Carte réglementaire nationale ainsi qu'Alsace et Lorraine pour les doublets sur nappe.

Ces cartes ont été réalisées à partir de la méthodologie établie en mars 2013 avec la collaboration des CETE de l'Est et de l'Île-de-France (Rapport BRGM/RP-61768-FR). Cette méthodologie, destinée aux cartographies régionales et nationales, a évolué en cours d'année suite :

- aux discussions et remarques issues du Groupe de Travail Cartographie mis en place par le MEDDE. Ce groupe de travail comprend des représentants du MEDDE, des CETE, du BRGM, des DREAL, des agences de bassin et des professionnels de la géothermie,
- aux problématiques techniques apparues lors de la création des cartes au niveau national et au niveau des deux régions pilote (Alsace et Lorraine),
- aux réunions de concertation entre le MEDDE et le BRGM,

- aux réunions de concertation internes au BRGM avec la Direction des Systèmes d'Information chargée de la mise en ligne des cartographies.

Les modifications majeures concernent le poids respectif des différents phénomènes dans l'établissement des deux cartographies finales ainsi que les niveaux d'aléa de chaque phénomène.

Il est à noter que les cartes présentées dans ce rapport n'ont pas encore été validées définitivement et doivent encore incorporer d'éventuelles zones rouges définies par les DREAL.

2. Méthodologie

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

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

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

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

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

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

Les cartes réalisées à l'échelle régionale ou locale sont construites selon différentes tranches de profondeur : 0-50 m, 50-100 m, 100-200 m. Six cartes sont donc disponibles.

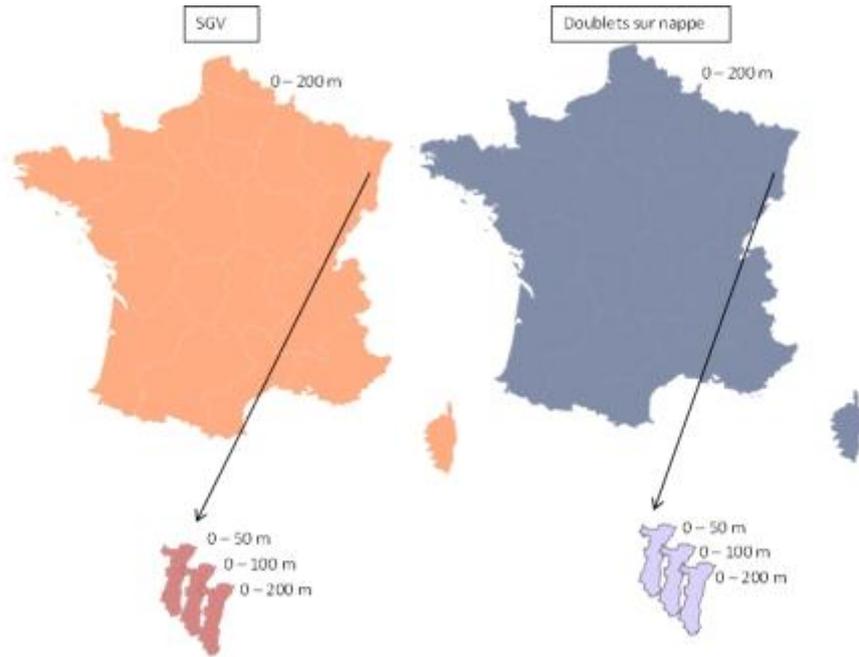


Figure 4 : Cartographies produites à l'échelle nationale et régionale.

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

Les phénomènes retenus sont :

Pour la carte nationale (8 phénomènes)

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

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

- phénomène de biseau salé en bordure de mer le cas échéant (ce phénomène n'est pas pertinent pour l'Alsace et la Lorraine).

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

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

Cartographie nationale :

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

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

Cartographie régionale et locale :

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

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

La grille de précision des cartes est le pixel de 500*500 m pour les cartographies nationales et régionales.

La superposition de l'ensemble des couches permet ainsi d'obtenir la cartographie composée zones vertes, orange et rouges à l'échelle nationale comme régionale et locale. Un exemple est présenté sur la Figure 5.

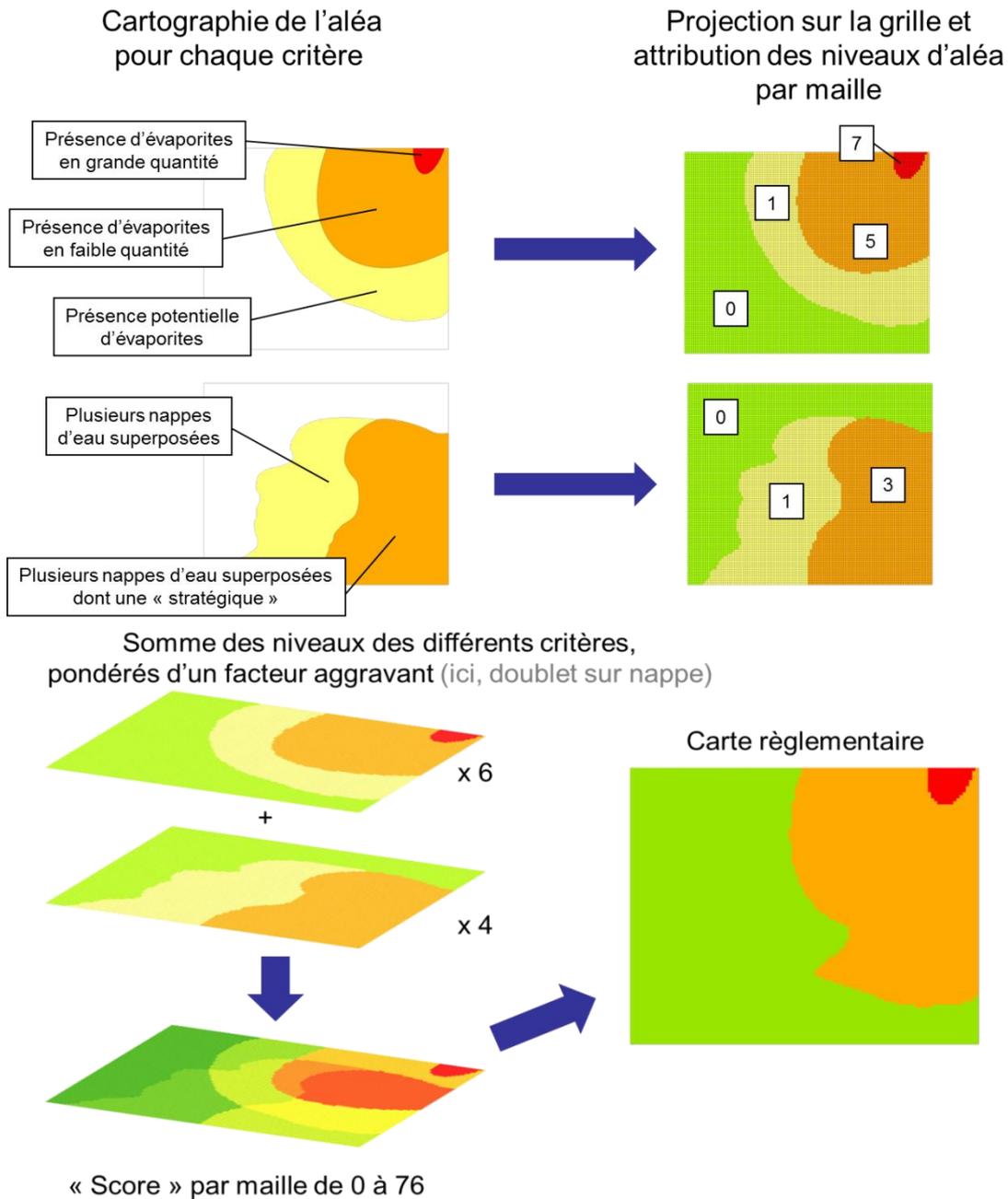


Figure 5 : Exemple de construction de cartes réglementaire avec deux aléas.

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

- les zones dites vertes qui ne présentent pas d'enjeux identifiés ;
- les zones dites orange dans lesquelles un examen des projets au cas par cas est nécessaire avec l'intervention d'un d'expert pour un avis favorable ;
- les zones dites rouges dans lesquelles la réalisation d'ouvrages de géothermie est réputée présenter des dangers et inconvénients graves et ne peut pas bénéficier du régime de la minime importance prévu par l'article L.112-3 du code minier.

3. Création de la grille de base et du MNT

Une grille de base devant servir à l'ensemble des cartographies a été définie au pas de 500 m pour l'ensemble de la France métropolitaine. Elle a été créée dans le système géodésique officiel en France, le réseau géodésique français 1993 (RGF93) et répond à la directive INSPIRE. Les cartes régionales Alsace et Lorraine ont été constituées à partir d'extraits de cette grille nationale (Figure 4).

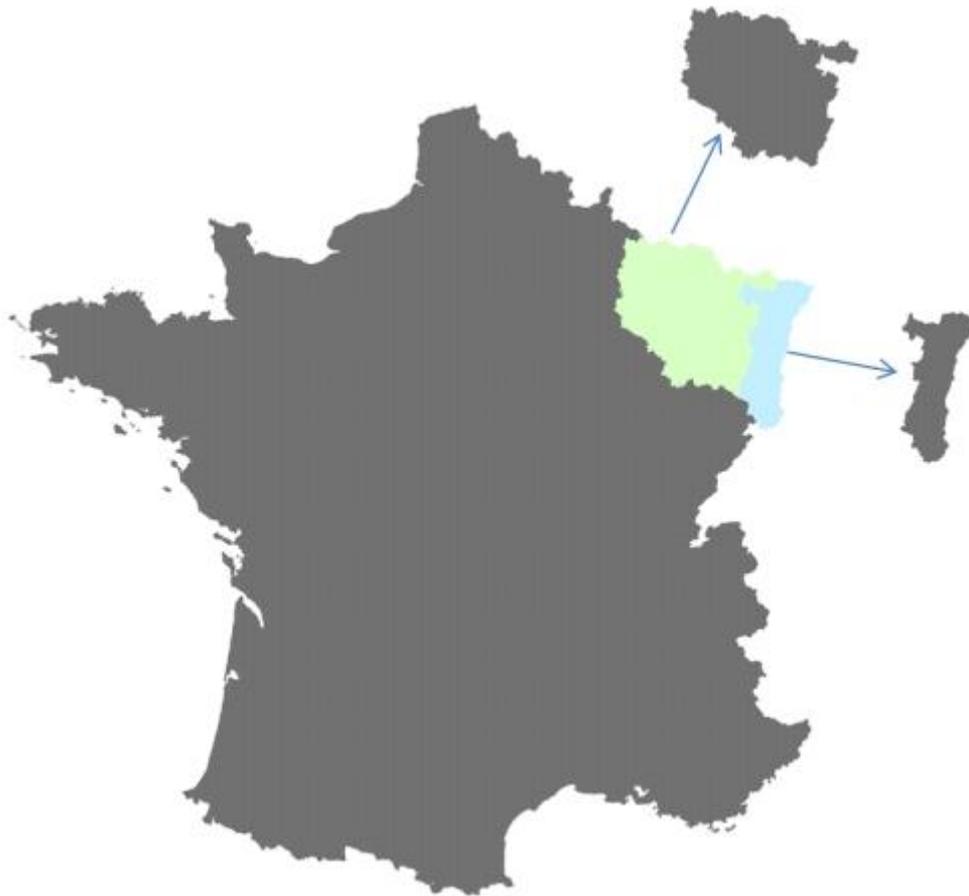


Figure 6 : Grille de base à l'échelle de la France au pas de 500 m.

Le modèle numérique de terrain (MNT) a été constitué en prenant la moyenne des valeurs du MNT IGN au pas de 25 m sur chaque pixel de 500*500 m.

La table attributaire de cette grille (au format shapefile ou "fichier de formes") comprend, outre les champs obligatoires FID et Shape (Figure 5) :

- Maille_n (texte de longueur 20), un identifiant unique à chaque maille de 500*500 m à l'échelle nationale ;
- Maille_l (texte de longueur 20), un identifiant unique à chaque maille de la carte

régional ou locale ;

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

FID	Shape	Maille_n	Maille_l	Profondeur	X_RGF93	Y_RGF93	Z_NGF	evaporites	cavite_nm	cav_min	MVT	BASOL	artesian	com_aquif	remontee	biseau_sal	admin	Doublet	SGV	cl_doublet	cl_sgv	
96	Polygone	96		-1	670238	6139238	821	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	24	36	2	2
97	Polygone	97		-1	670738	6139238	682	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	24	36	2	2
98	Polygone	98		-1	671238	6139238	650	3	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	26	36	2	2
99	Polygone	99		-1	671738	6139238	773	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	24	36	2	2
100	Polygone	100		-1	672238	6139238	724	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	24	36	2	2
101	Polygone	101		-1	672738	6139238	613	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	24	36	2	2
102	Polygone	102		-1	673238	6139238	539	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	24	36	2	2
103	Polygone	103		-1	617738	6139738	1838	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1
104	Polygone	104		-1	618238	6139738	1915	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1
105	Polygone	105		-1	618738	6139738	1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
106	Polygone	106		-1	619238	6139738	2124	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1
107	Polygone	107		-1	619738	6139738	2129	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1
108	Polygone	108		-1	658238	6139738	1339	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1
109	Polygone	109		-1	658738	6139738	1218	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1
110	Polygone	110		-1	657238	6139738	1165	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1
111	Polygone	111		-1	657738	6139738	1146	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1
112	Polygone	112		-1	658238	6139738	1185	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	20	32	2	2
113	Polygone	113		-1	658738	6139738	1130	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	30	2	2
114	Polygone	114		-1	659238	6139738	1092	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	30	2	2
115	Polygone	115		-1	659738	6139738	924	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	30	2	2
116	Polygone	116		-1	660238	6139738	828	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	20	30	2	2
117	Polygone	117		-1	660738	6139738	882	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	20	30	2	2
118	Polygone	118		-1	661238	6139738	890	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	20	30	2	2

Figure 7 : Table attributive des grilles de base.

4. Création des cartes de phénomènes redoutés

4.1. AFFAISSEMENT/SURRECTION LIE AUX NIVEAUX EVAPORITIQUES

Cartes nationales

La cartographie à l'échelle nationale a été réalisée à partir des cartes géologiques au 1/50000e vectorisée. L'ensemble des polygones correspondant à des affleurements de formation géologiques susceptibles de contenir des évaporites a été utilisé, en tenant compte d'un tampon de sécurité de 2000 m de manière à prendre en compte la possibilité de retrouver ces niveaux jusqu'à une profondeur de 200 m.

Niveaux :

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

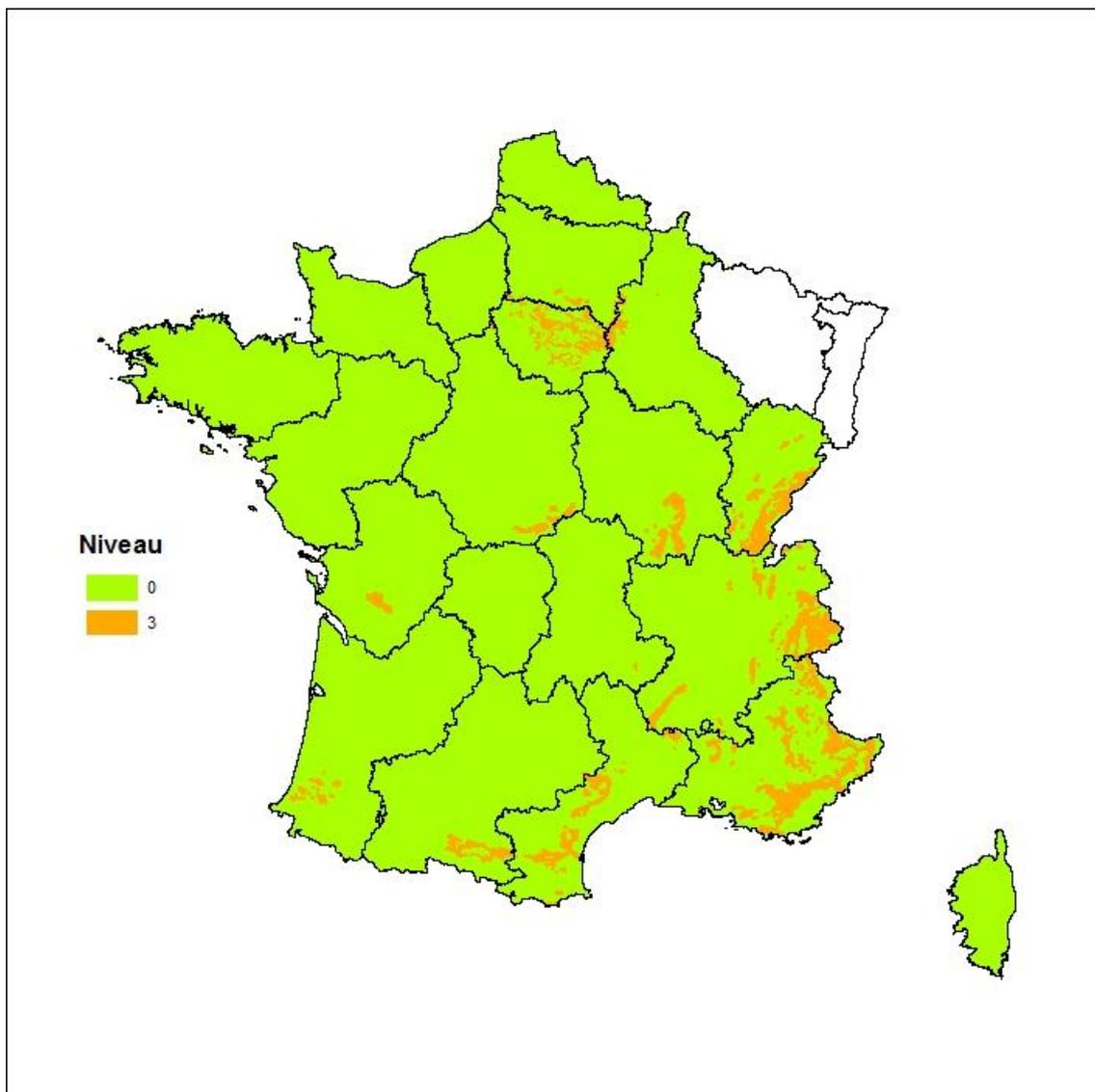


Figure 8 : Cartographie du phénomène Affaissement/surection lié aux niveaux évaporitiques à l'échelle nationale.

Cartes Alsace et Lorraine

- Qualification du phénomène à l'échelle régionale

Il n'existe pas de cartographie des aléas liés à ce phénomène actuellement dans les régions Alsace et Lorraine. En l'absence de cartographie, ce phénomène est qualifié en fonction de sa susceptibilité (probabilité d'occurrence).

- **Susceptibilité forte** : présence avérée d'un ou plusieurs horizons évaporitiques *en quantité importante*, définie soit à partir d'informations provenant de sondages ou figurant dans les notices de cartes géologiques, soit à dire d'expert sur la base du retour d'expérience.
- **Susceptibilité moyenne** : présence avérée d'un ou plusieurs horizons évaporitiques *en faible quantité*, définie soit à partir d'information provenant de

sondages ou figurant dans les notices géologiques, soit à dire d'expert sur la base du retour d'expérience.

- **Susceptibilité faible** : pas d'horizons évaporitiques connus mais formation susceptible d'en contenir.
- **Susceptibilité nulle**: formation ne pouvant pas contenir des horizons évaporitiques.

Pour la région Lorraine, le seuil entre forte et faible quantité a été fixé sur la base de l'épaisseur cumulée des horizons évaporitiques recoupés en sondage. Ce seuil a été fixé, en première approximation, à 2 mètres, quelle que soit la tranche de profondeur considérée. Cette valeur a été retenue sur la base de critères de stabilité : plus les bancs susceptibles d'être dissous / ou hydratés sont épais, plus les dégâts potentiels en surface seront importants.

Dans le cas de l'Alsace où la densité d'information est moindre (voir ci-dessous), la différence entre niveaux de susceptibilité forte et moyenne a été définie sur la base de la présence ou non d'horizons évaporitiques massifs. Pour certaines zones où les informations sont très hétérogènes, la susceptibilité a été définie à dire d'expert, sur la base du retour d'expérience.

C'est le cas du Champ de fractures de Saverne où la complexité géologique, jointe à une densité d'information faible ne permet de différencier des zones à l'intérieur de cette entité géologique. C'est donc l'intégralité du Champ de fractures de Saverne qui a été qualifiée en susceptibilité forte à dire d'expert.

- Données utilisées à l'échelle régionale

Les données utilisées pour établir les cartographies régionales Alsace et Lorraine sont :

- la carte géologique harmonisée à échelle de 1/50 000 (données vectorisées) ;
- la base de données du LOGISO (LOGs validés et cartes ISOvaleurs) qui a pour objectif de codifier, harmoniser et valoriser les données de forages de la BSS, dans l'optique de produire à la demande des cartes isovaleurs (isohypses, isopaques, etc.), et les logs vérifiés de la BSS pour connaître la profondeur des niveaux évaporitiques.

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

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

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

Pour chaque tranche de profondeur (0-50 m, 0-100 m et 0-200 m), l'épaisseur cumulée correspond à la somme des passes élémentaires dont la profondeur est incluse dans la tranche considérée. Si une couche d'évaporites massives se termine en dessous de la limite inférieure d'une tranche, elle est considérée dans son épaisseur totale pour le cumul des épaisseurs. Un jeu de données sur les puissances cumulées d'évaporites par tranche de profondeur a été ainsi constitué. Il a été complété par les sondages ne contenant pas d'évaporites massives afin de contraindre les interpolations qui ont été réalisées par la méthode du krigeage.

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

La susceptibilité du phénomène « affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques » a été cartographiée pour 3 gammes de profondeur : 0-50m, 0-100m, 0-200m.

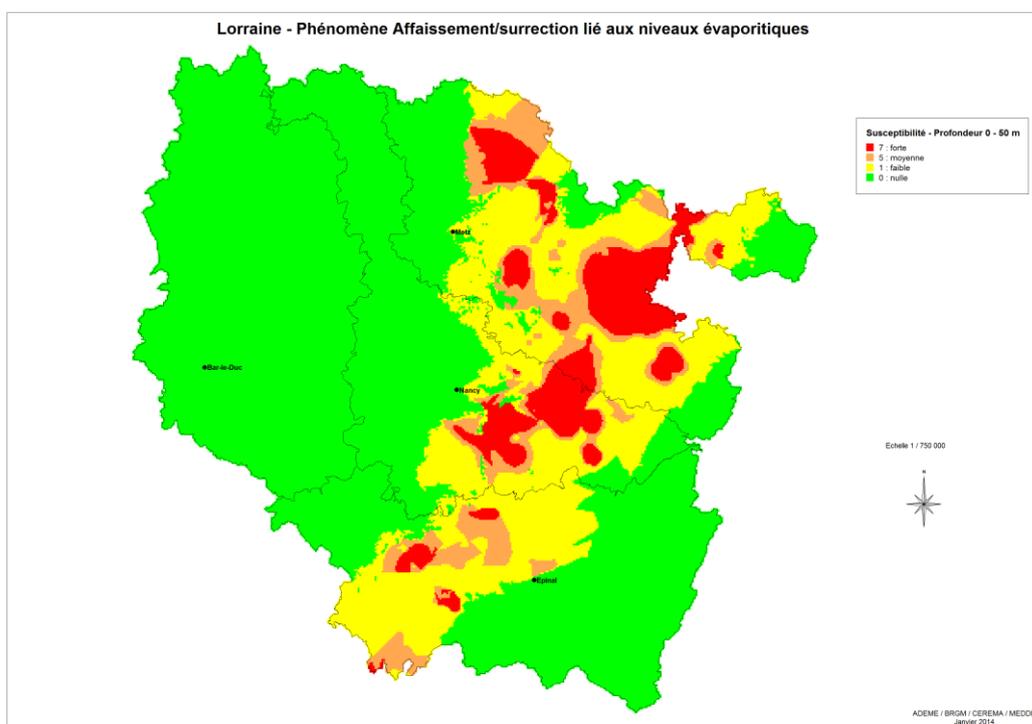


Figure 9 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 50 m.

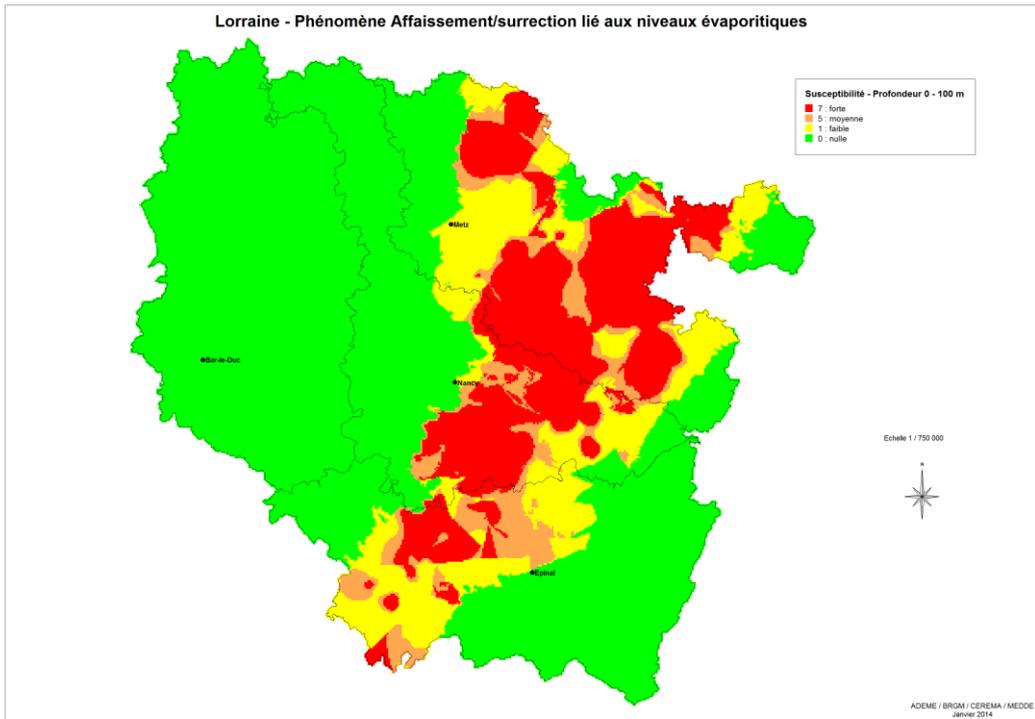


Figure 10 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 100 m.

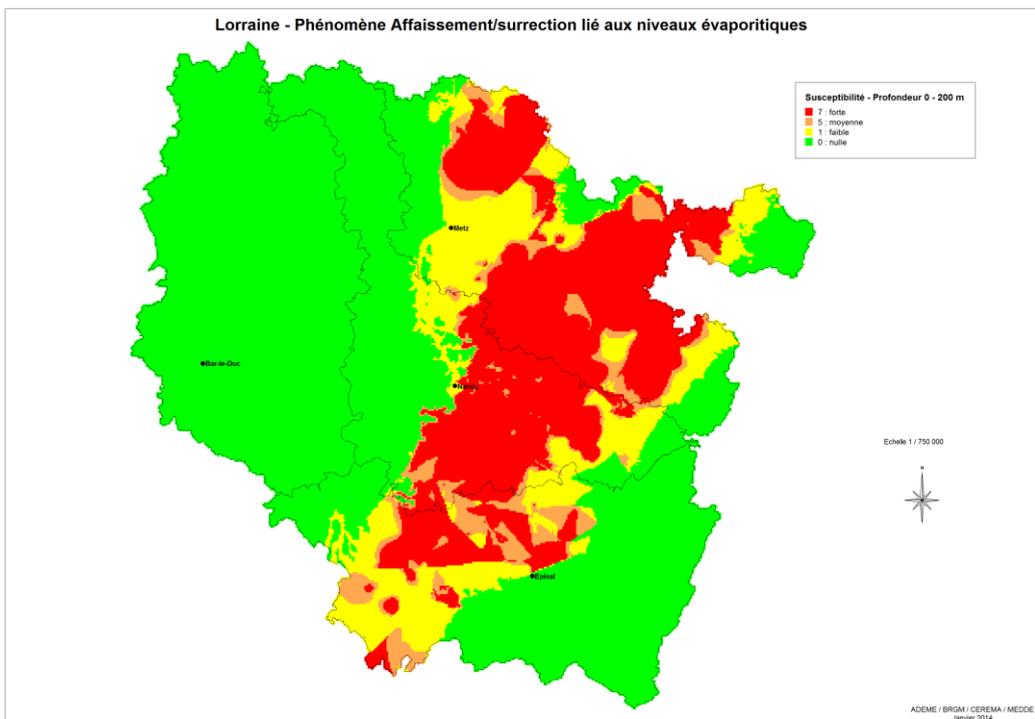


Figure 11 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 200 m.

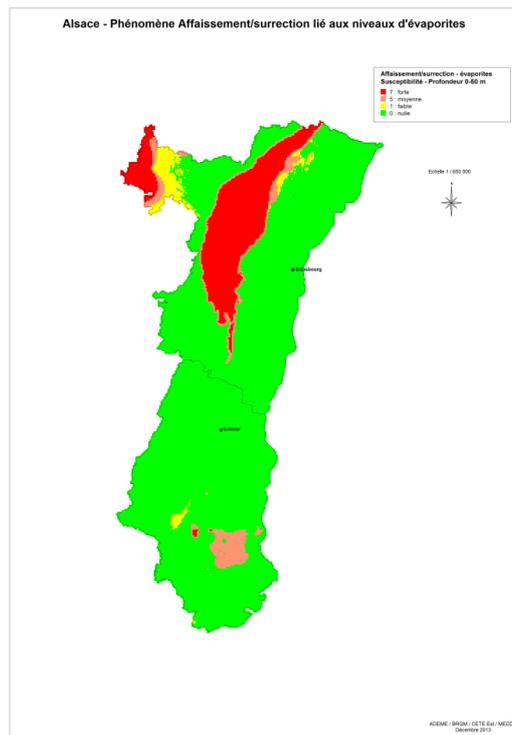


Figure 12 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Alsace pour une profondeur jusqu'à 50 m.

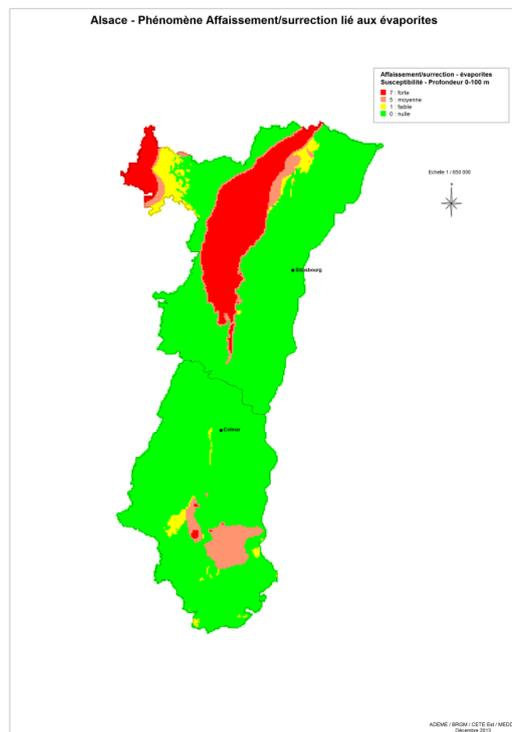


Figure 13 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Alsace pour une profondeur jusqu'à 100 m.

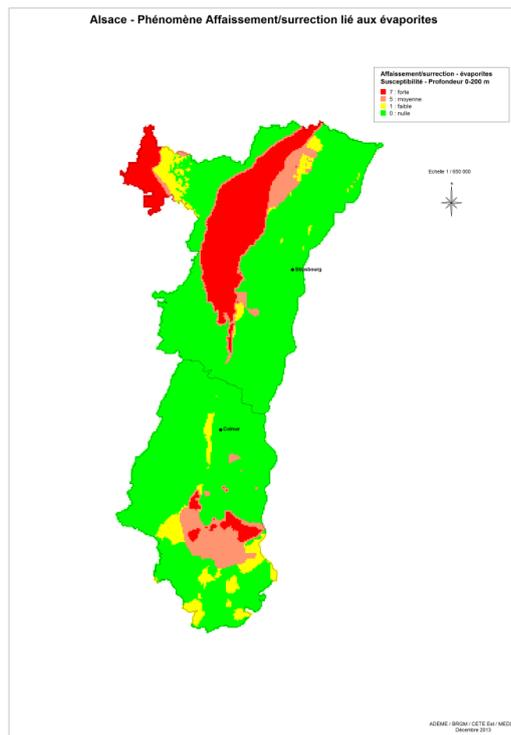


Figure 14 : Cartographie du phénomène Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques en Alsace pour une profondeur jusqu'à 200 m.

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

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

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

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

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

Cartes nationales

La base de données BD Cavités mémorisant de façon homogène l'ensemble des cavités souterraines abandonnées en France métropolitaine "hors mines" a été utilisée, ainsi que les cartes géologiques au 1/50000 pour les formations géologiques susceptibles de contenir des cavités (karsts).

Niveaux :

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

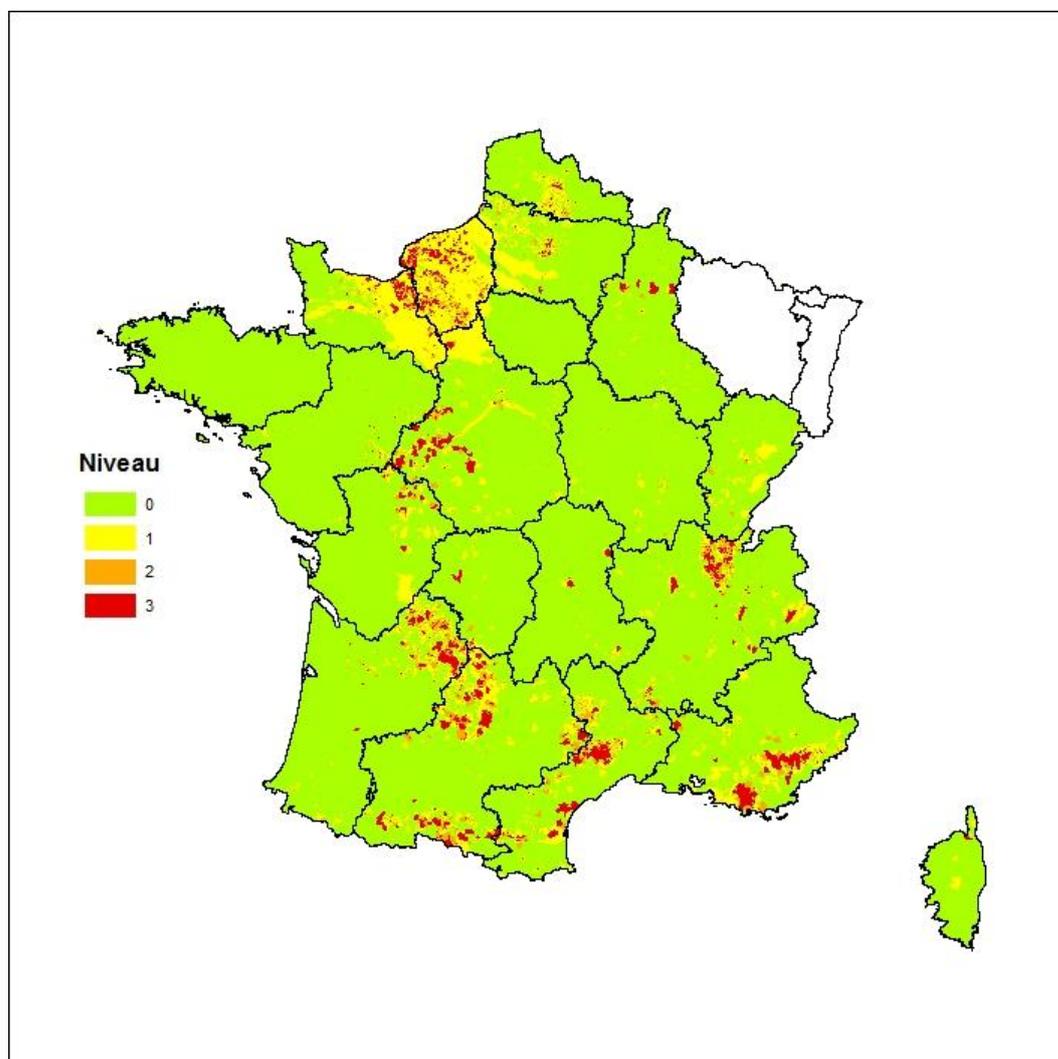


Figure 15 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) à l'échelle nationale.

Cartes Alsace et Lorraine

- Qualification du phénomène à l'échelle régionale

Il n'existe pas de cartographie des aléas liés à ce phénomène actuellement dans les régions Alsace et Lorraine.

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

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

- Données utilisées à l'échelle régionale

Les données utilisées pour les régions Alsace et Lorraine sont :

- la carte géologique harmonisée à échelle de 1/50 000 (données vectorisées) ;
- la BD Cavités (Les enregistrements sont disponibles depuis le site <http://www.bdcavités.net/> du BRGM au format csv).

L'aléa affaissement/effondrement lié aux cavités est traduit sous forme d'un cercle centré sur la position présumée de la cavité et de rayon égal à une zone d'influence forfaitaire de 50 m, augmentée de la précision de positionnement.

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

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 : 0-200m.

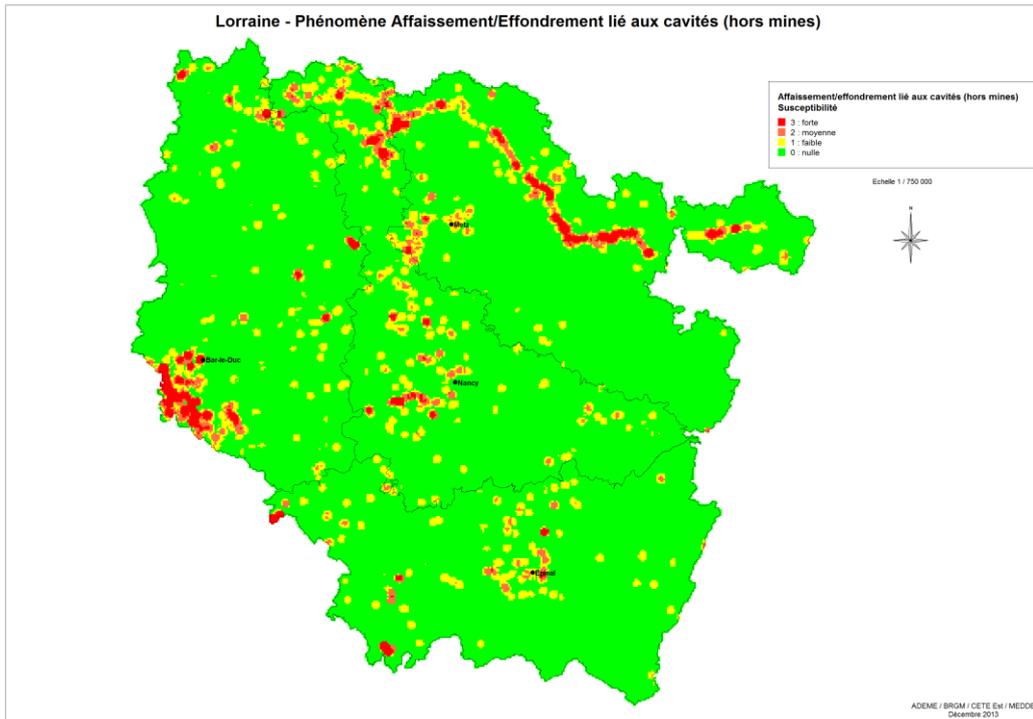


Figure 16 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) en Lorraine

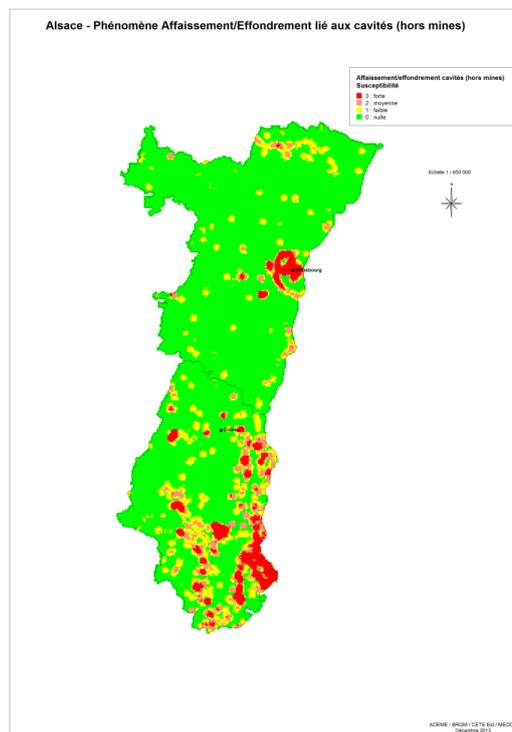


Figure 17 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) en Alsace

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

Susceptibilité	Nul	Faible	Moyen	Fort
Facteur de pondération	0	1	2	3

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

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

4.3. AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIE AUX CAVITES MINIERES

Cartes nationales

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

Niveaux :

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

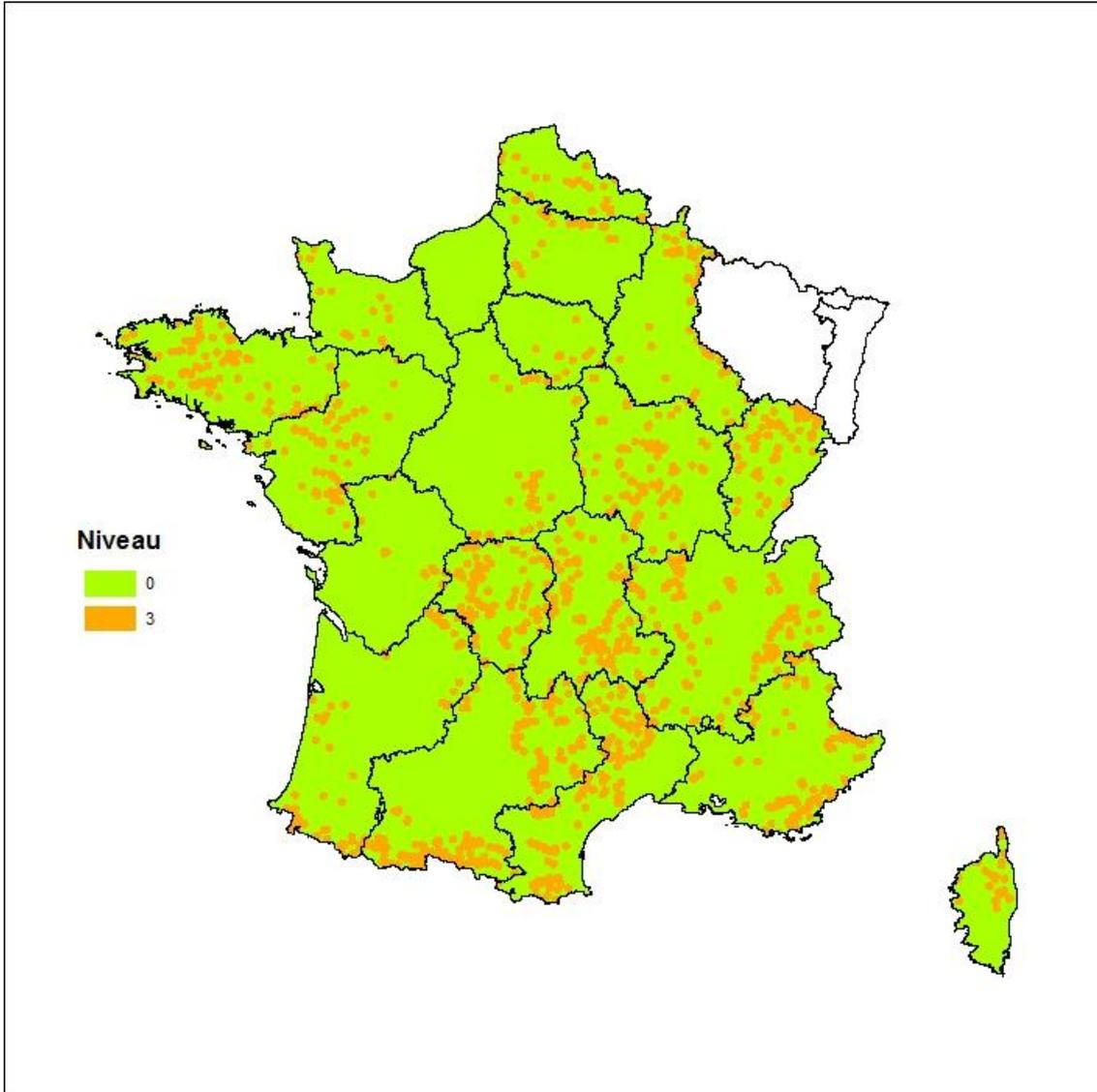


Figure 18 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières à l'échelle nationale

Cartes Alsace et Lorraine

- Qualification du phénomène à l'échelle régionale

En région Lorraine et dans une moindre mesure en région Alsace, les grands bassins miniers tels que les bassins ferrifère et charbonnier en Lorraine et les bassins pétrolifère et salifère en Alsace ont fait l'objet de cartographies de l'aléa mouvements de terrain. Pour les exploitations minières plus petites, il n'existe pas de cartographie de l'aléa. Aussi, en fonction des données initiales disponibles, le phénomène d'affaissement / effondrement lié aux cavités minières a été qualifié différemment.

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

- **Niveau fort** : zone potentiellement concernée par des phénomènes d'effondrements localisés et généralisés,

- **Niveau moyen** : zone potentiellement concernée par des phénomènes d'affaissement progressif (lents),
- **Niveau faible** : zones exploitées qui ne peuvent engendrer en surface que des mouvements résiduels de faible ampleur,
- **Niveau nul** : zones sans travaux miniers.

A noter que les phénomènes de type fontis (niveau fort) ne seront pris en compte que sur la tranche de profondeur 0-50 m.

Les autres phénomènes seront pris en compte sur la tranche de profondeur 0 à 200 m.

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

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

- Données utilisées à l'échelle régionale

Dans les deux régions Alsace et Lorraine, ont été utilisées les cartes d'aléas mouvements de terrain réalisés par les GIP GEODERIS et les données de la base Sigmines des « Mines et exploitations » gérée par le BRGM (<http://sigminesfrance.brgm.fr/>).

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

- Cartographie régionale du phénomène affaissement/effondrement lié aux cavités minières

La susceptibilité du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières » a été cartographiée pour 3 gammes de profondeur : 0-50 m, 0-100 m, 0-200 m.

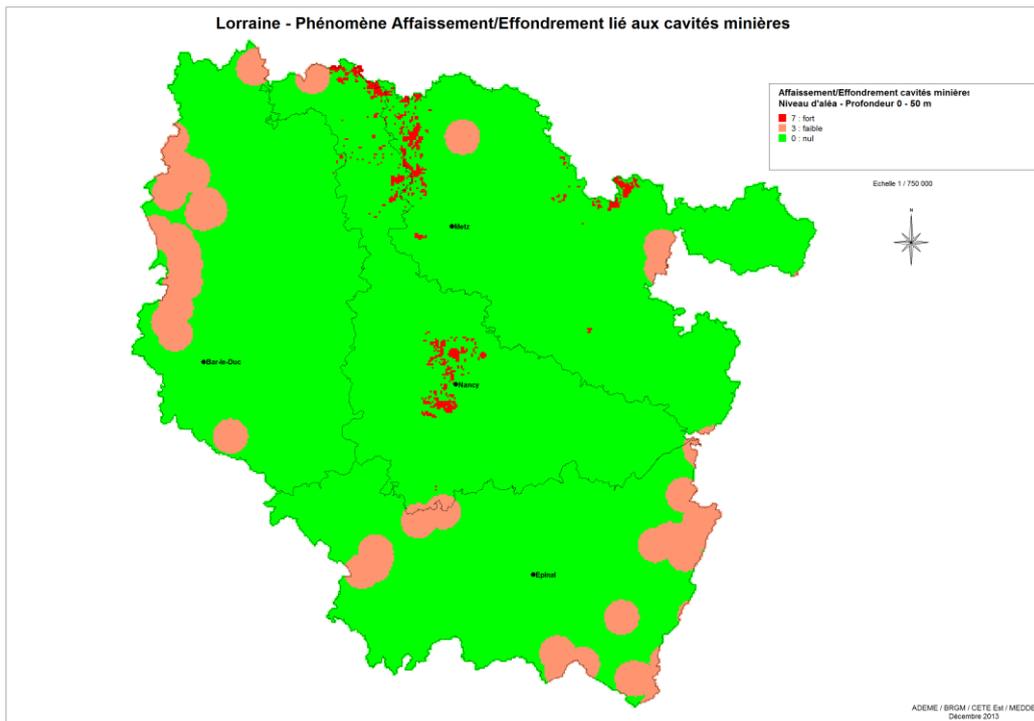


Figure 19 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 50 m.

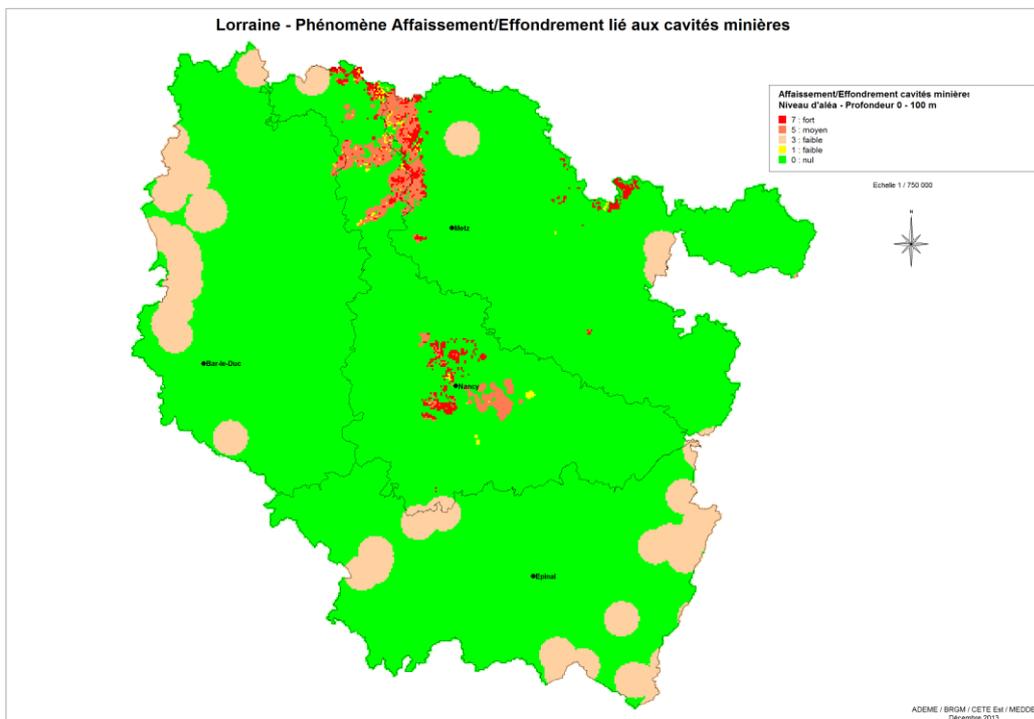


Figure 20 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 100 m.

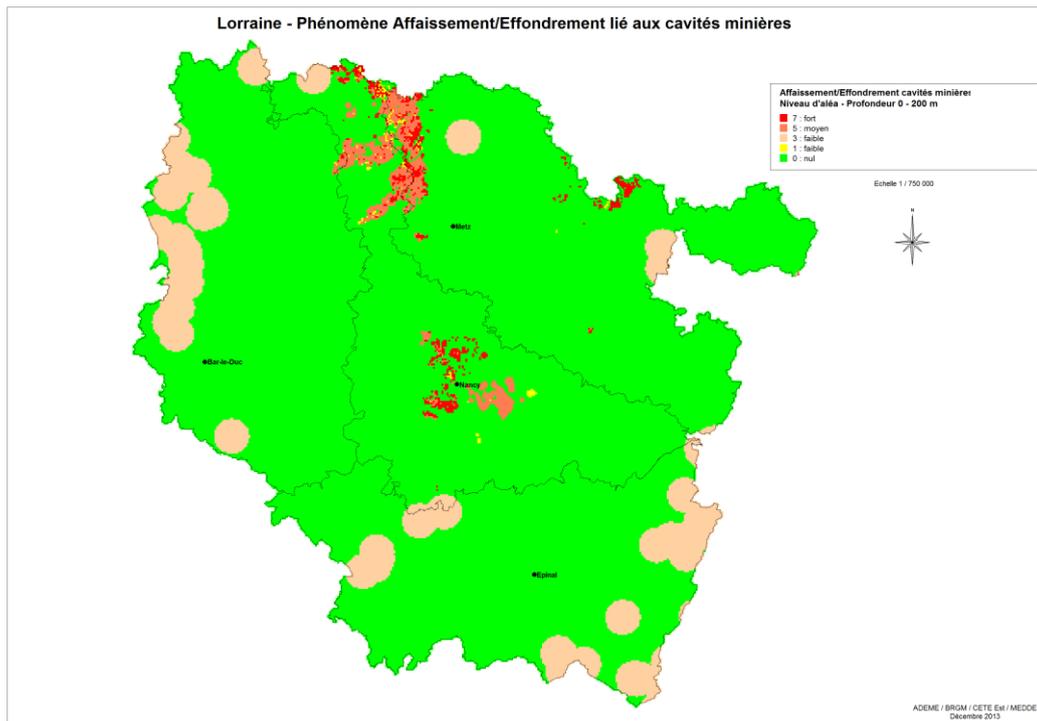


Figure 21 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 200 m.

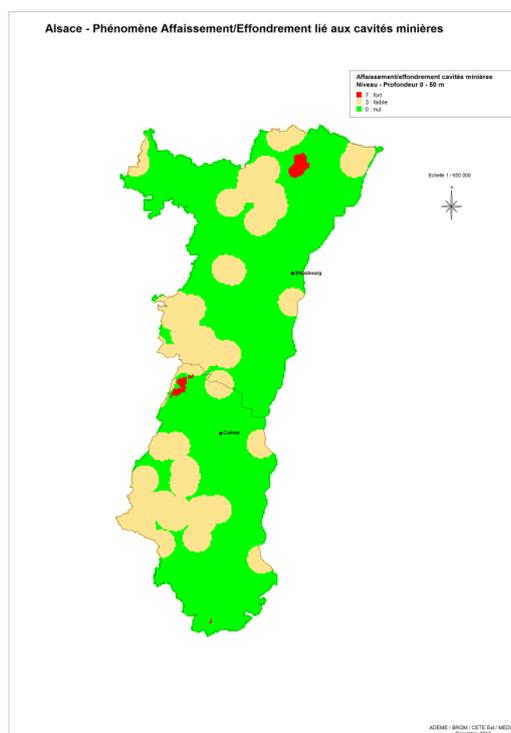


Figure 22 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Alsace pour une profondeur jusqu'à 50 m.

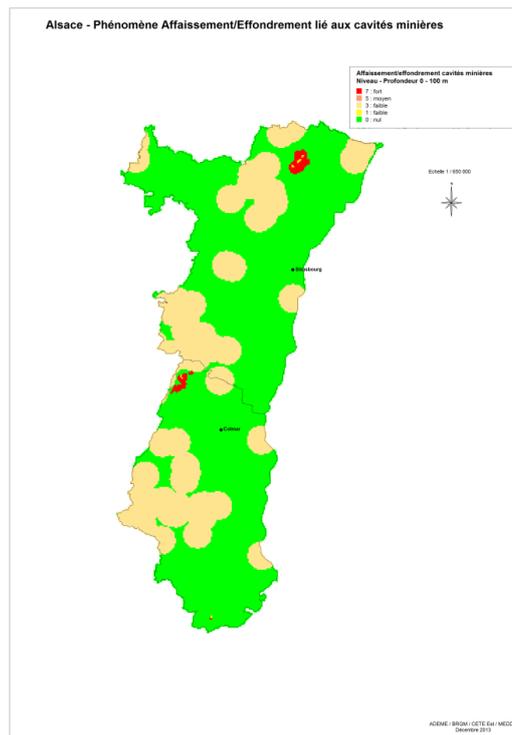


Figure 23 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Alsace pour une profondeur jusqu'à 100 m.

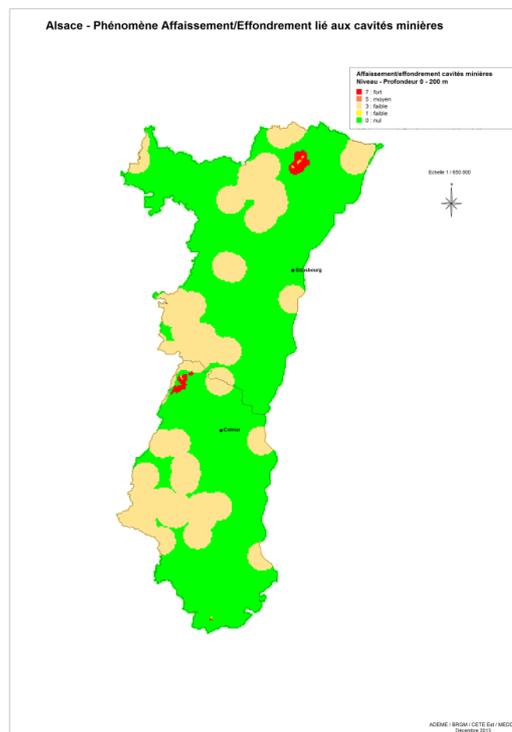


Figure 24 : Cartographie du phénomène Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Alsace pour une profondeur jusqu'à 200 m.

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

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

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

Niveaux aléa/ susceptibilité du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort
Cartes d'aléa minier	0	1	5	7
Base « Mines et exploitations »	0	3	--	--

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

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

4.4. MOUVEMENTS DE TERRAIN (GLISSEMENT)

Cartes nationales

La qualification du phénomène est basée sur les données de la BDMVT. Cette base de données mémorise de façon homogène, l'ensemble des informations disponibles en France, sur des situations récentes et sur des événements passés, et permet de porter à connaissance des phénomènes.

Niveaux :

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

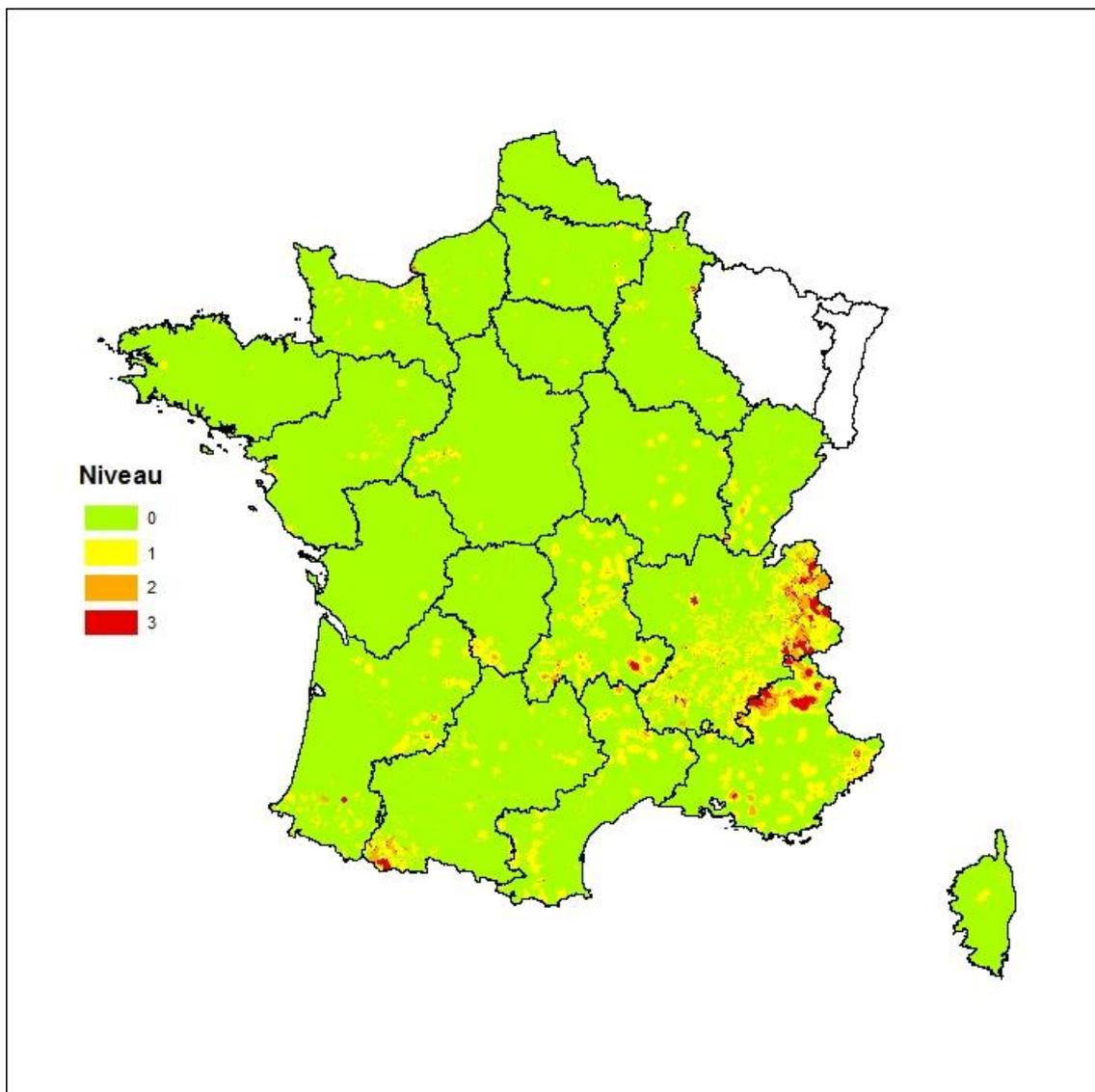


Figure 25: Cartographie du phénomène mouvement de terrain (glissement) à l'échelle nationale.

Cartes Alsace et Lorraine

- Qualification du phénomène à l'échelle régionale

En région Lorraine comme en région Alsace, certaines communes ou groupes de communes ont fait l'objet d'une cartographie de l'aléa glissements de terrain, d'autres non.

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

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

- **Niveau fort** : dans les zones cartographiées en aléa « fort ».
- **Niveau moyen** : dans les zones cartographiées en aléa « moyen ».

- **Niveau faible** : dans les zones cartographiées en aléa « faible ».
- **Niveau nul** : dans les zones cartographiées en aléa « nul ».

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

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

- Données utilisées à l'échelle régionale

Dans les deux régions Alsace et Lorraine, ont été utilisées les cartes d'aléa glissements de terrain ainsi que les données de la base relative aux mouvements de terrain : la BDMVT (<http://www.bdmvt.net/>).

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

Les glissements de terrains non localisés sont représentés par convention au centroïde des communes et n'ont pas été pris en compte.

- Cartographie régionale du phénomène glissements de terrain

Les glissements de terrain étant des phénomènes superficiels, apparaissant à des profondeurs inférieures à 50 m, leur susceptibilité a été cartographiée pour une seule gamme de profondeur : 0-200 m.

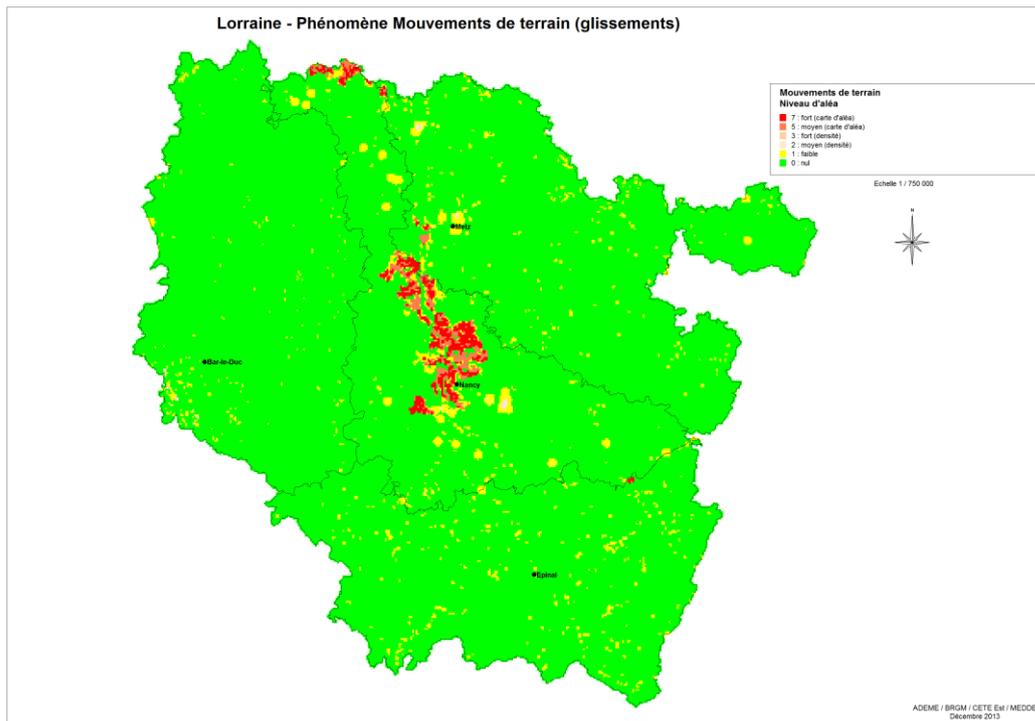


Figure 26 : Cartographie du phénomène mouvement de terrain (glissement) en Lorraine.

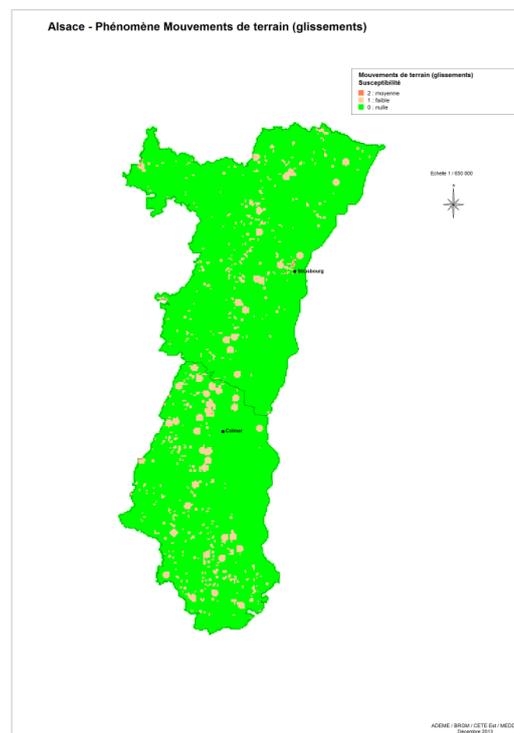


Figure 27 : Cartographie du phénomène mouvement de terrain (glissement) en Alsace.

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

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

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

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

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

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.

4.5. POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES SOUTERRAINES

Cartes nationales

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

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

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

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

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

Les sites classés comme :

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

n'ont pas été retenus (511 points).

Niveaux :

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

L'inventaire au niveau national des panaches de pollution dans les eaux souterraines n'est pas disponible actuellement. Il existe des zones de pollutions très importantes non encore cartographiées ou non validées, par exemple dans la vallée du Rhône (Figure 28) et dans les régions PACA, Alsace

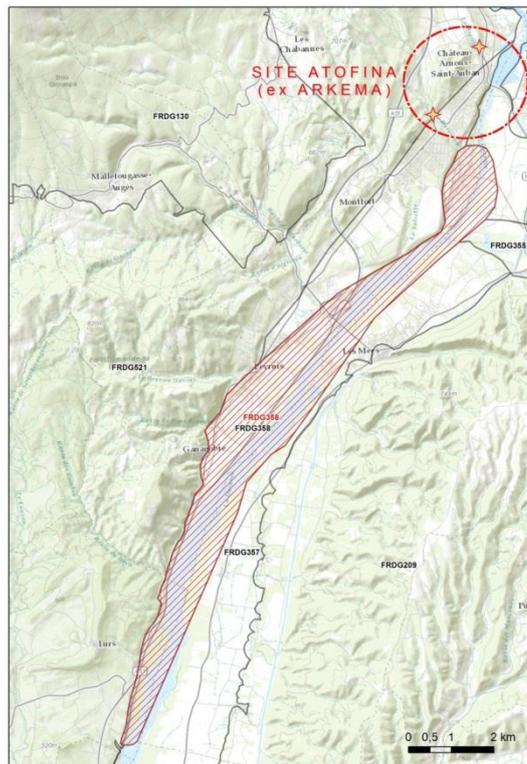


Figure 28 : Exemple de panache dans la vallée du Rhône.

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

commune.

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

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

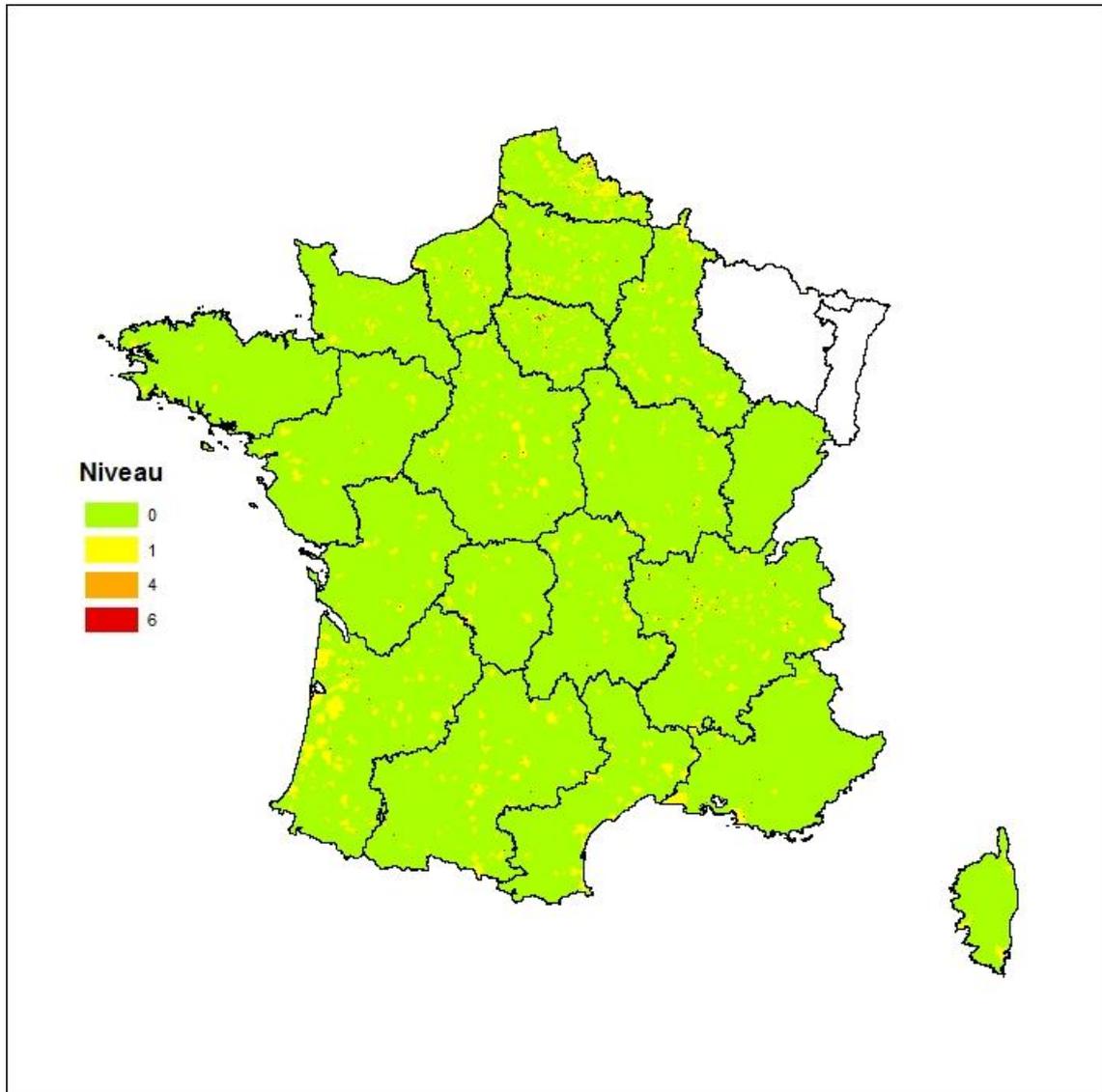


Figure 29 : Cartographie du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines à l'échelle nationale.

Remarque concernant la base BASOL :

Pour certains sites, deux systèmes, deux systèmes de coordonnées existent et ne sont pas toujours cohérence (Figure 30). Une vérification systématique a été entreprise de manière à s’assurer, à minima, que le site soit localisé dans la commune correspondante.

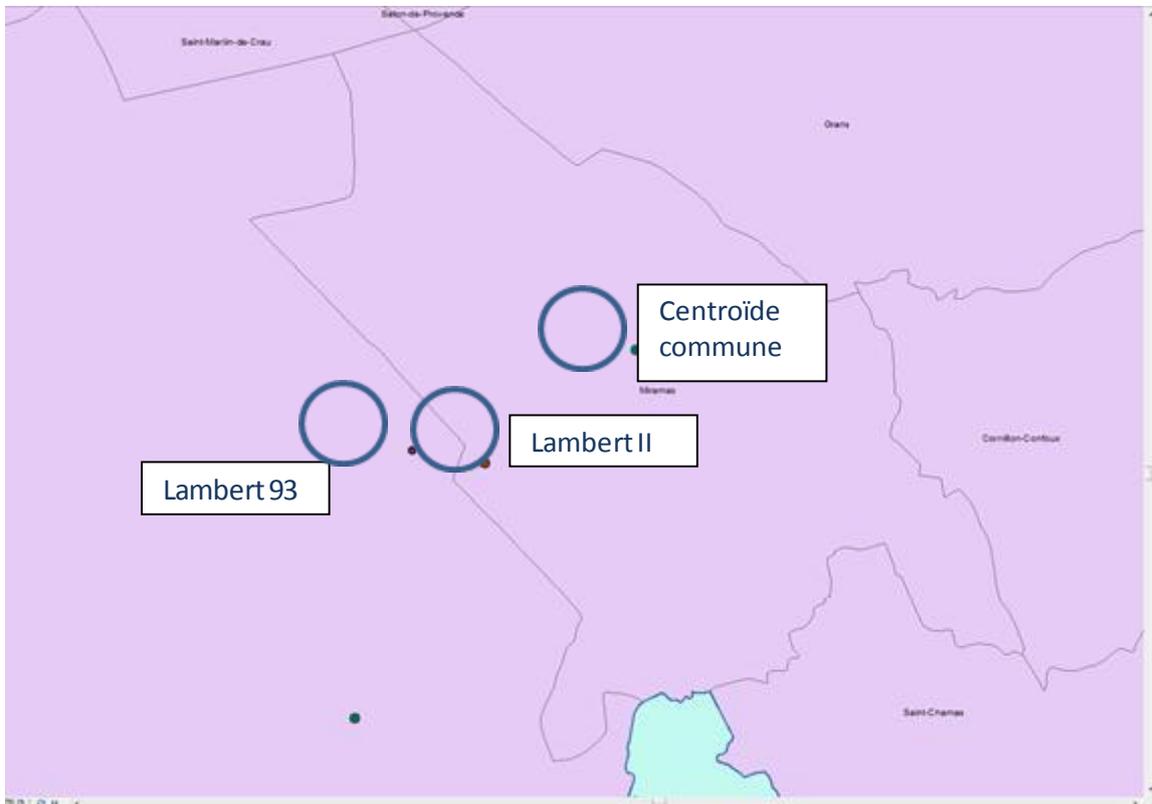


Figure 30 : Exemple du site 13.0111, à Miramas : deux localisations suivant les deux systèmes de coordonnées : Lambert II, Lambert93 I.

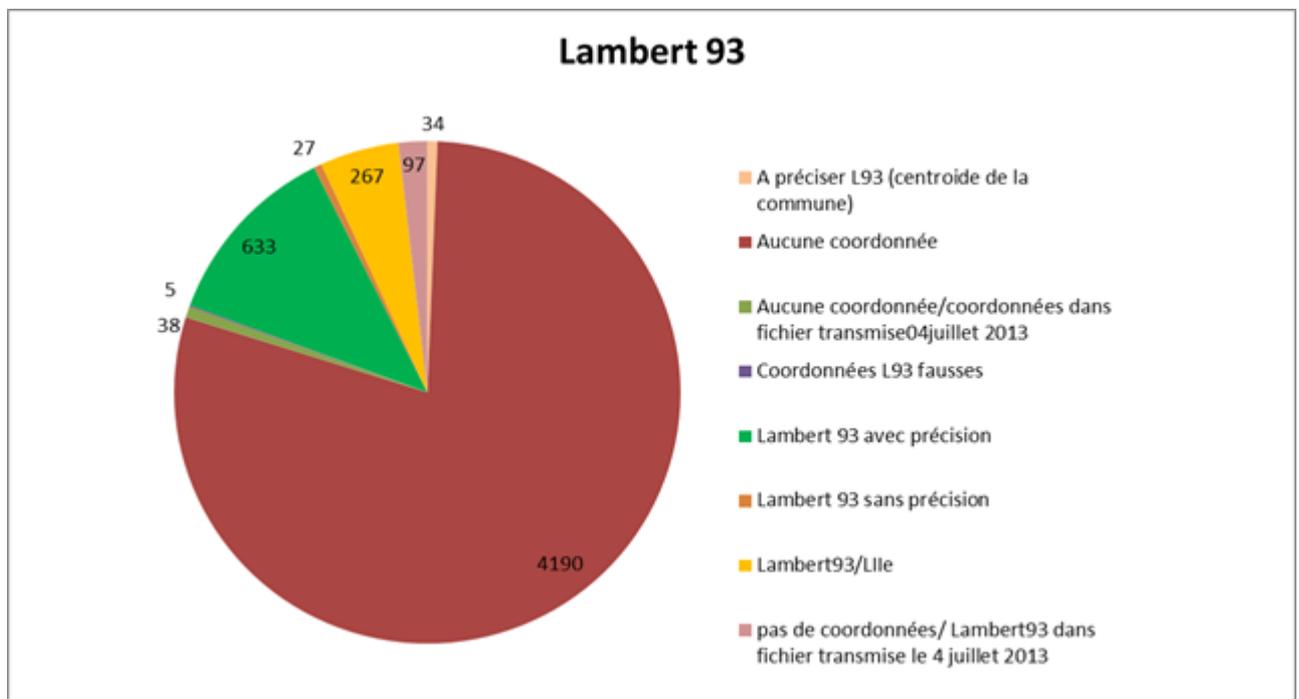
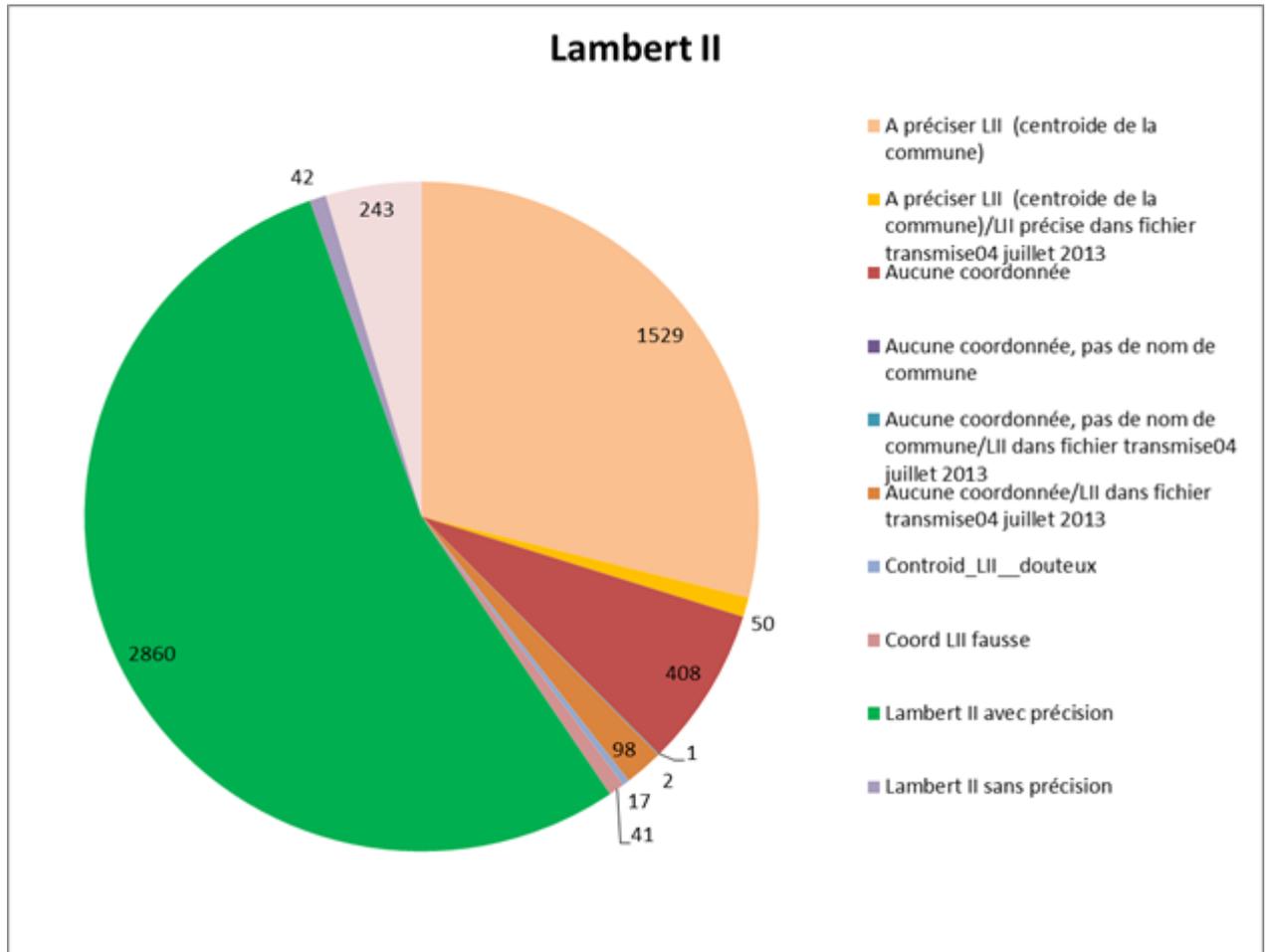


Figure 31 : Statistique des localisations selon la définition du système de coordonnées.

Cartes Alsace et Lorraine

- Qualification du phénomène à l'échelle régionale

Dans les régions Alsace et Lorraine, les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif sont recensés dans la base de données BASOL.

En région Alsace, des données complémentaires comme par exemple les panaches de pollution de la nappe d'Alsace aux COHV au droit de la Communauté Urbaine de Strasbourg, établis par l'ONAP, ont été intégrés.

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

- **Susceptibilité forte** : pollution avérée de la nappe à partir des données Basol et présence d'aquifère,
- **Susceptibilité moyenne** : présence d'un site Basol et présence d'aquifère,
- **Susceptibilité faible** : présence d'un site Basol et absence d'aquifère,
- **Susceptibilité nul** : pas de sites Basol répertoriés.

Pour les panaches de pollutions déjà identifiés et cartographiés, la susceptibilité sera considéré comme forte voire très forte si la pollution est considérée comme présentant un risque d'impact important.

- Données utilisées à l'échelle régionale

Pour la pollution avérée ou suspectée a été utilisée, en Alsace comme en Lorraine, la base des sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif : base BASOL (<http://basol.developpement-durable.gouv.fr/>).

Les panaches de pollutions des eaux souterraines n'ont été cartographiés qu'en région Alsace. Les données proviennent soit de publications (panaches aux COHV ou autres polluants), du BRGM (langues salées du Bassin potassique) soit du GIP GEODERIS (panache de pollution de Pechelbronn).

Pour la présence d'aquifères, la base BD-LISA (Base de données des Limites des Systèmes Aquifères) qui fournit les contours des entités hydrogéologiques françaises ainsi que les logs vérifiés de la BSS et les modèles géologiques et hydrogéologiques locaux ont été utilisés dans les deux régions.

L'atlas des potentiels géothermiques des aquifères, disponible uniquement en région Lorraine, a fourni des données sur la profondeur (www.geothermie-perspectives.fr).

- Cartographie régionale du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines

En région Lorraine, la susceptibilité du phénomène « pollution des sols et des nappes souterraines » a été cartographiée pour 3 gammes de profondeur : 0-50 m, 0-100 m, 0-200 m. En région Alsace, en raison de l'absence de données sur la profondeur des aquifères, elle n'a été cartographiée que pour une gamme de profondeur : 0 - 200 m.

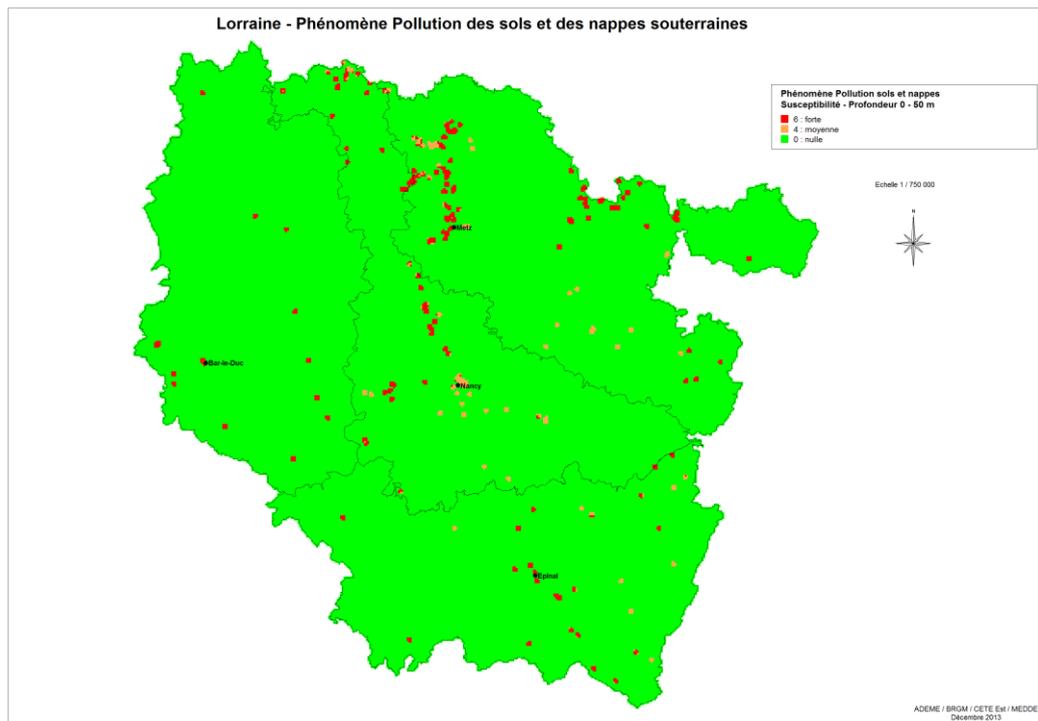


Figure 32 : Cartographie du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 50 m.

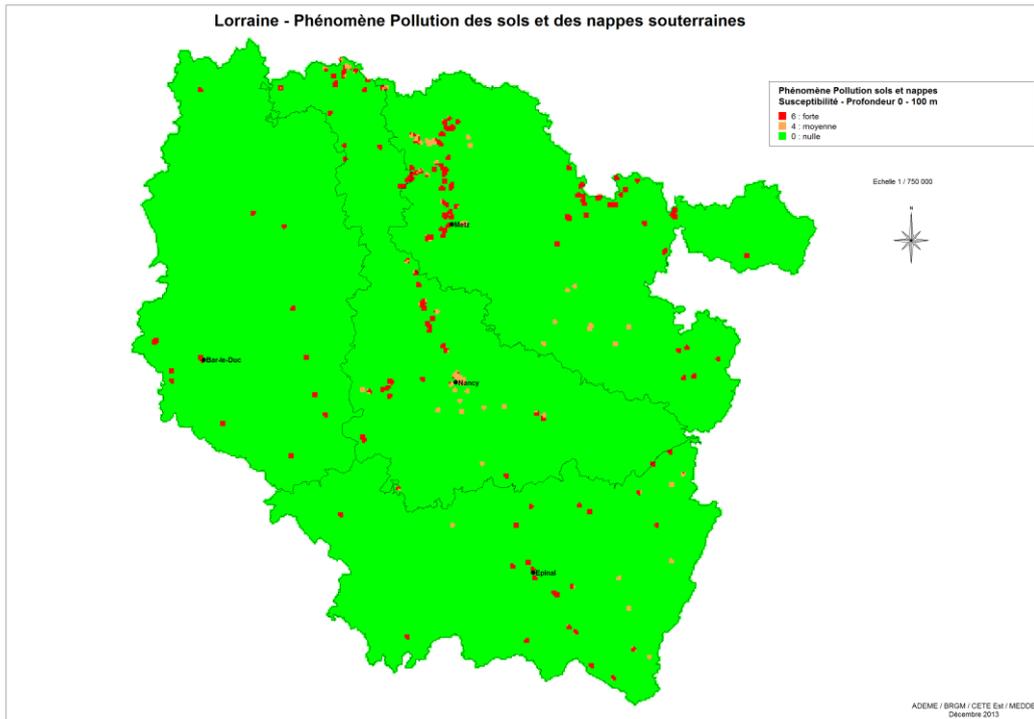


Figure 33 : Cartographie du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 100 m.

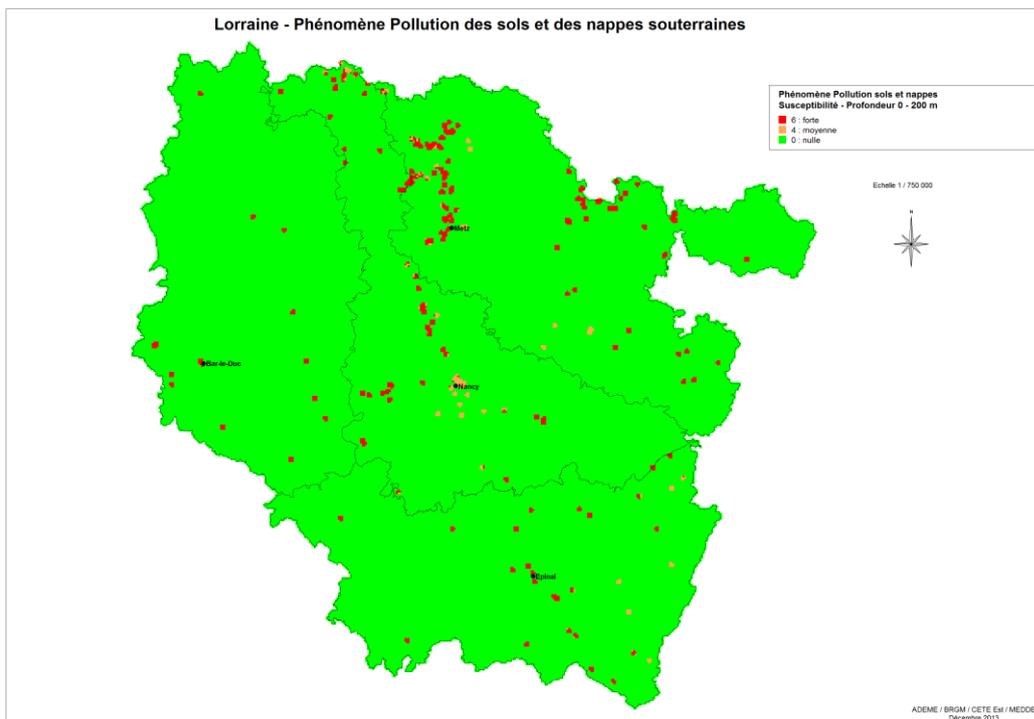


Figure 34 : Cartographie du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 200 m.

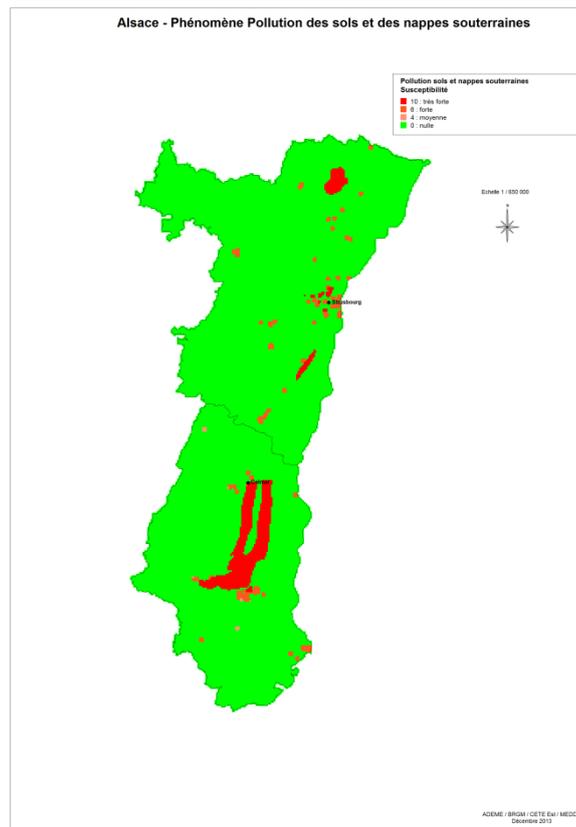


Figure 35 : Cartographie du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines en Alsace.

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

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

susceptibilité du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort	Très fort
BASOL	0	1	4	6	--
Panaches de pollutions				6	10

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

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

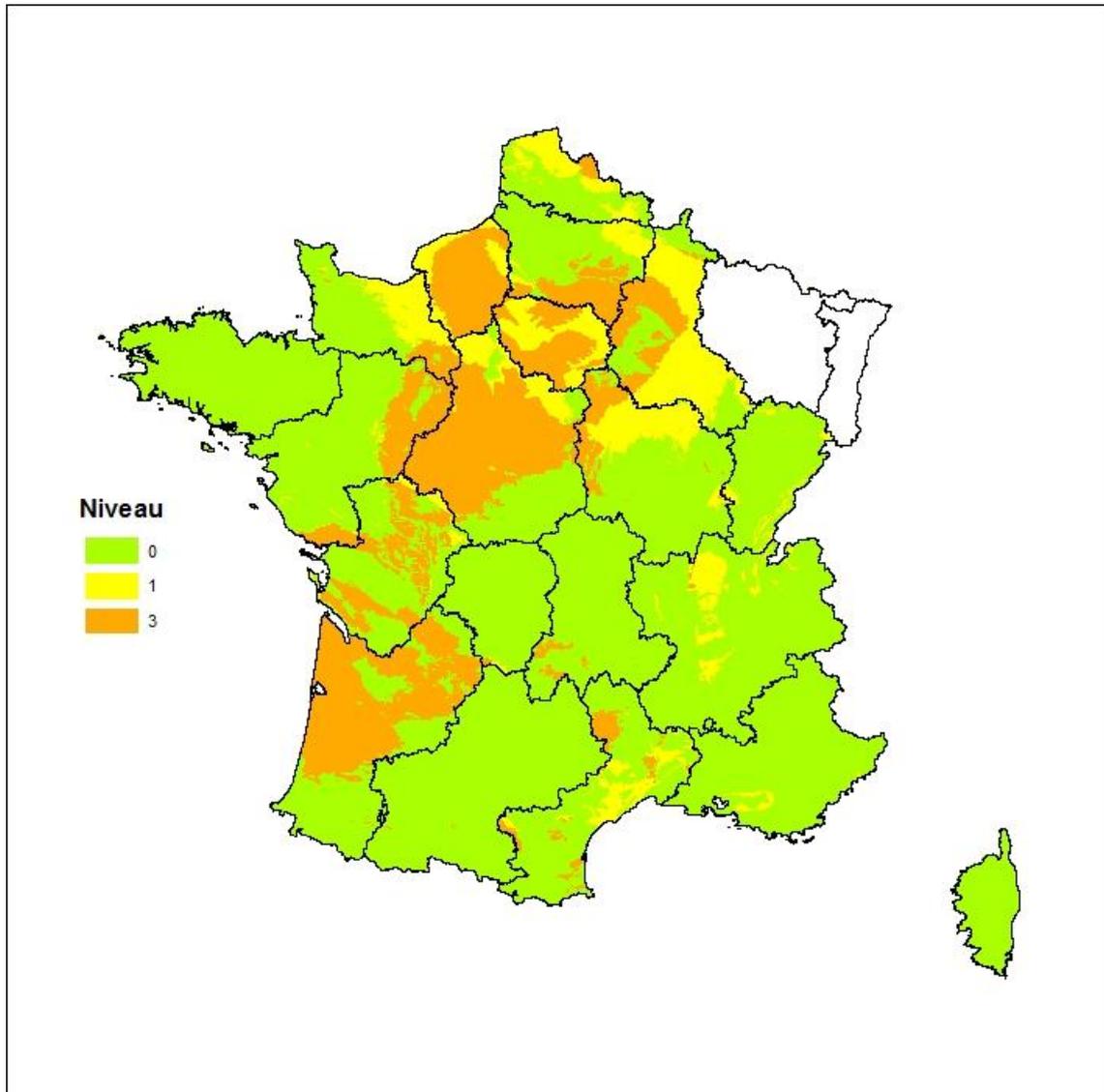


Figure 37 : Cartographie du phénomène mise en communication d'aquifères à l'échelle nationale.

Cartes Alsace et Lorraine

- Qualification du phénomène à l'échelle régionale

Il n'existe pas de cartographie régionale tant en Alsace qu'en Lorraine du phénomène mise en communication d'aquifères. La qualification du phénomène sera basée sur la probabilité d'avoir un ou plusieurs aquifères dans la gamme de profondeur considérée et sur l'usage et ou l'importance des aquifères qui pourraient être mis en connexion : alimentation en eau potable, ressource stratégique etc.

La susceptibilité a été établie comme suit :

- **Susceptibilité moyenne** : nappes superposées dont NAEP, ressources stratégiques, AEP futures,
 - **Susceptibilité faible** : nappes superposées,
 - **Susceptibilité nul** : pas plus d'un aquifère dans la tranche de terrain considérée.
- Données utilisées à l'échelle régionale

Pour la présence d'aquifère, la base BD-LISA (Base de données des Limites des Systèmes Aquifères) qui fournit les contours des entités hydrogéologiques françaises ainsi que les logs vérifiés de la BSS et les modèles géologiques et hydrogéologiques locaux ont été utilisés dans les deux régions.

L'atlas des potentiels géothermiques des aquifères, disponible uniquement en région Lorraine, a fourni des données sur la profondeur (www.geothermie-perspectives.fr). De ce fait, la susceptibilité d'avoir des aquifères superposés par gamme de profondeur n'a pu être qualifiée qu'en région Lorraine. En Alsace, dès l'instant qu'au moins deux aquifères étaient connus dans une zone, on les a considérés comme potentiellement superposés quelles que soit les profondeurs envisagées.

- Cartographie régionale du phénomène mise en communication d'aquifères

En région Lorraine, la susceptibilité du phénomène « mise en communication d'aquifères » a été cartographiée pour 3 gammes de profondeur : 0-50 m, 0-100 m, 0-200 m. En région Alsace, en raison de l'absence de données sur la profondeur des aquifères, elle n'a été cartographiée que pour une gamme de profondeur : 0-200 m.

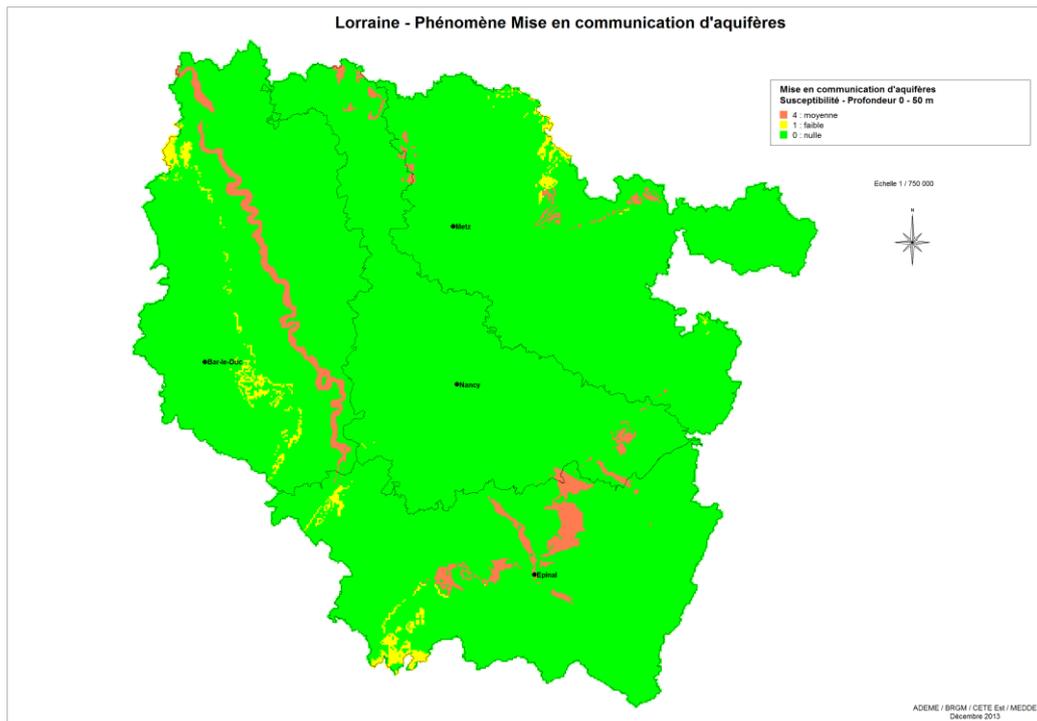


Figure 38 : Cartographie du phénomène mise en communication d'aquifères en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 50 m.

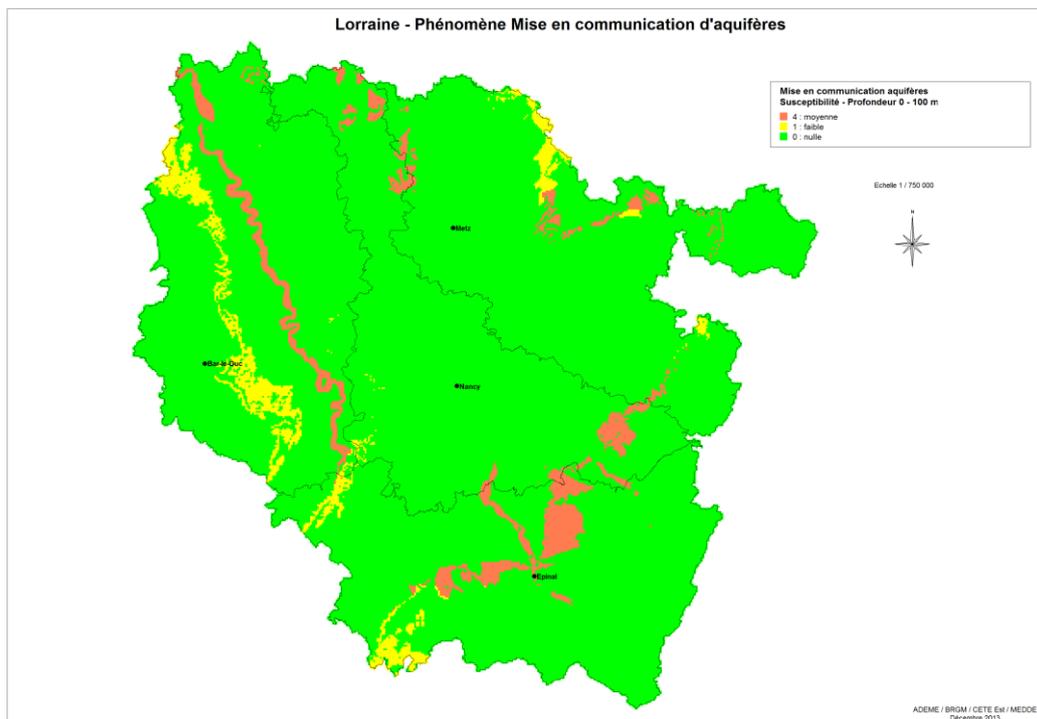


Figure 39 : Cartographie du phénomène mise en communication d'aquifères en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 100 m.

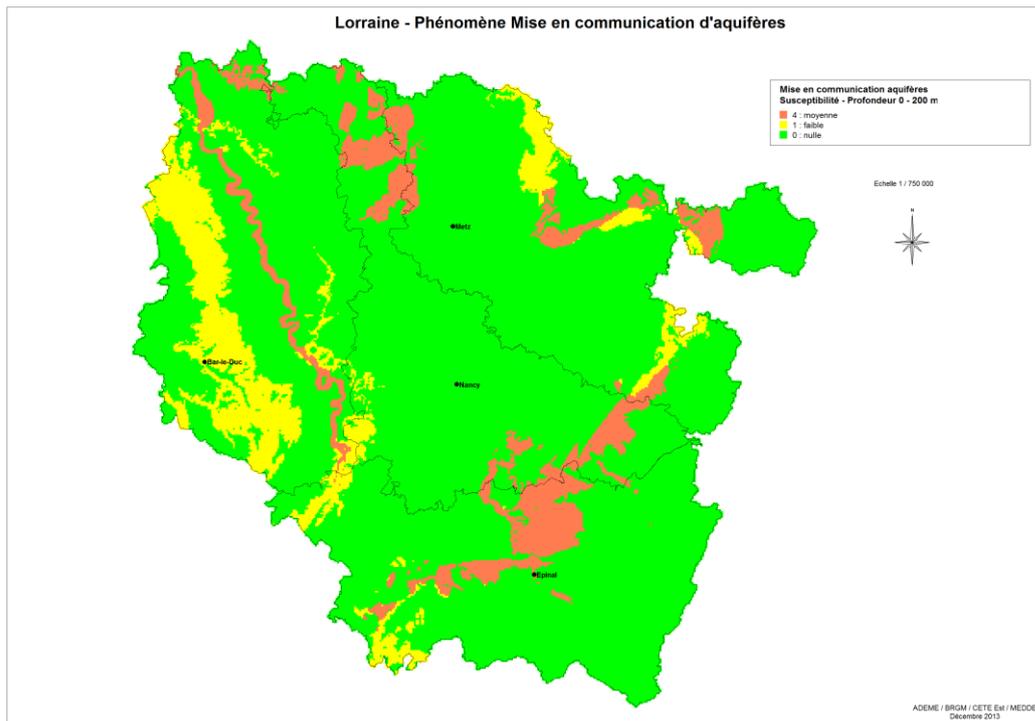


Figure 40 : Cartographie du phénomène mise en communication d'aquifères en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 200 m.

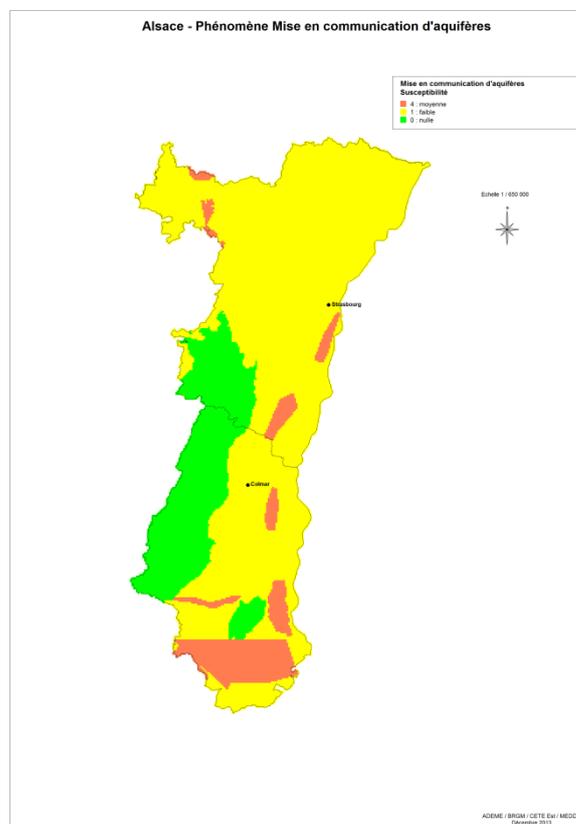


Figure 41 : Cartographie du phénomène mise en communication d'aquifères en Alsace.

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

Susceptibilité du phénomène	Nul	Faible	Moyen
Facteur de pondération	0	1	3

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

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

4.7. ARTESIANISME

Cartes nationales

Lorsqu'un atlas des potentiels et/ou un modèle hydrogéologique comportant les données nécessaires existent, ils seront utilisés pour la cartographie.

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

Niveaux :

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

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

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

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

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

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

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



Figure 42 : Exemple d'une chronique piézométrique avec une profondeur de la nappe proche de la surface (Source : ADES)

- 2) Les données ponctuelles des forages AEPs, qui précisent
 - « Artésien » dans le champ « Mode gisement » (140 points) ou
 - « Captif » dans le champ « Mode gisement » pour les forages définies dans le champ « Nature » 'Source' (55 points).

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

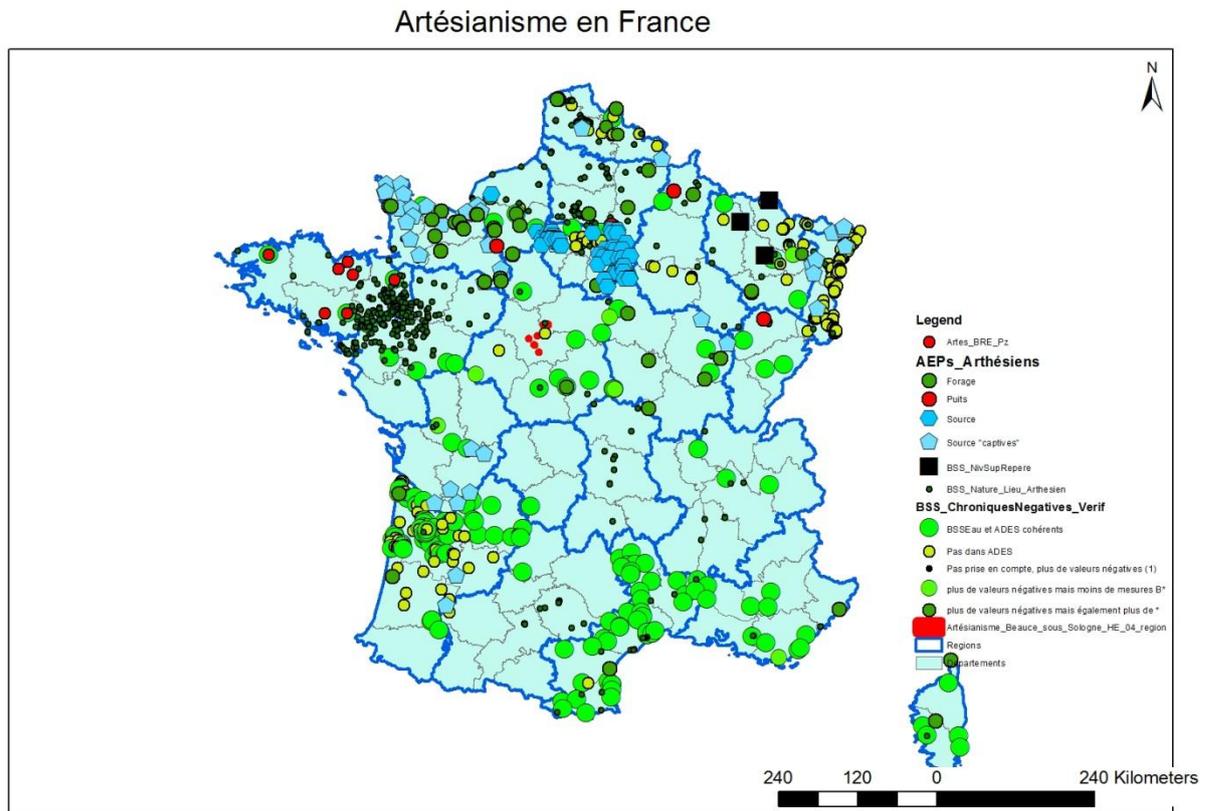


Figure 43 : Secteurs d'artésianisme prouvés.

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

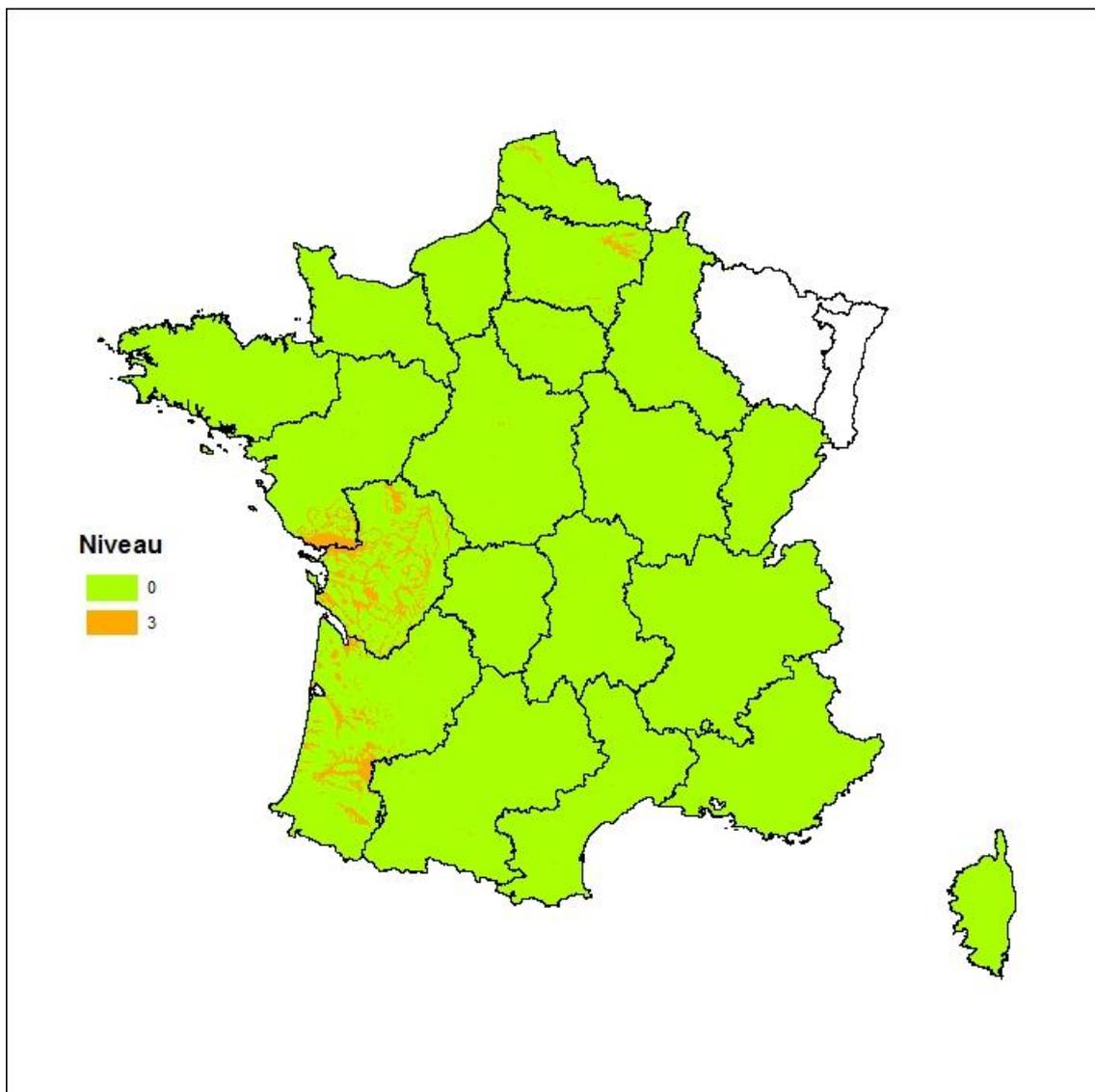


Figure 44 : Cartographie du phénomène artésianisme à l'échelle nationale.

Cartes Alsace et Lorraine

- Qualification du phénomène à l'échelle régionale

Il n'existe pas de cartographie régionale tant en Alsace qu'en Lorraine du phénomène d'artésianisme. La qualification du phénomène est donc basée sur le retour d'expérience et sur la comparaison entre le niveau piézométrique des aquifères et l'élévation du terrain. Elle a été établie comme suit :

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

- **Niveau nul** : pas d'aquifère artésien connu dans la tranche de terrain considérée.

- Données utilisées à l'échelle régionale

En régions Alsace et Lorraine, ont été utilisés :

- les sondages artésiens recensés dans la BSS ;
- la carte géologique harmonisée à échelle de 1/50 000 (données vectorisées) ;
- le MNT au pas de 50m de l'IGN;
- les modèles hydrogéologiques et les cartes piézométriques locaux.

En Lorraine, a été utilisé également l'atlas des potentiels géothermiques des aquifères pour les données sur la profondeur.

Les indices d'artésianisme recensés ponctuellement dans la BSS ont été étendus soit à partir de critères topographiques (extension à une même altitude que les sondages), géologiques (extension des terrains alluvionnaires) ou sur une base forfaitaire, le cas échéant.

- Cartographie régionale du phénomène artésianisme

En région Alsace comme en région Lorraine, la susceptibilité du phénomène « artésianisme » a été cartographiée pour 3 gammes de profondeur : 0-50 m, 0-100 m, 0-200 m.

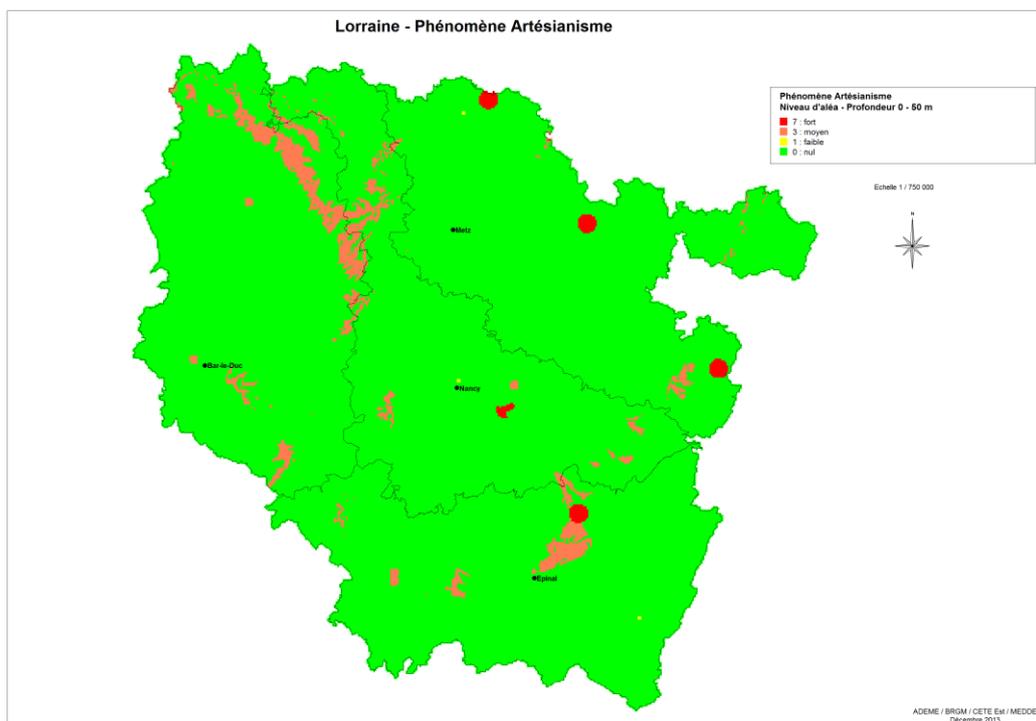


Figure 45 : Cartographie du phénomène artésianisme en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 50 m.

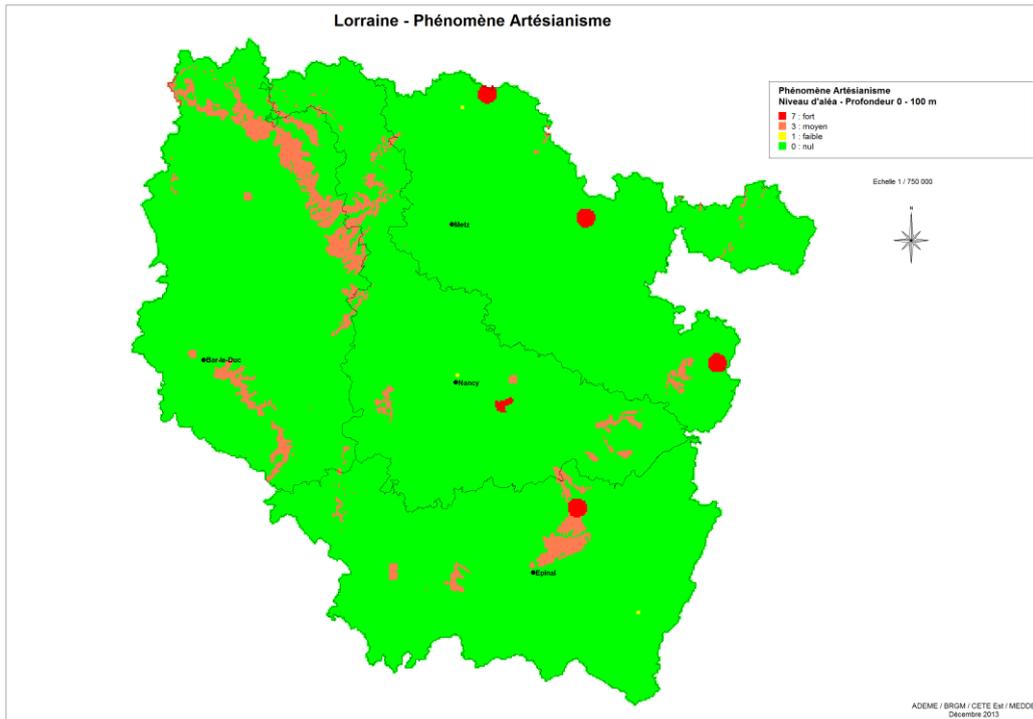


Figure 46 : Cartographie du phénomène artésianisme en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 100 m.

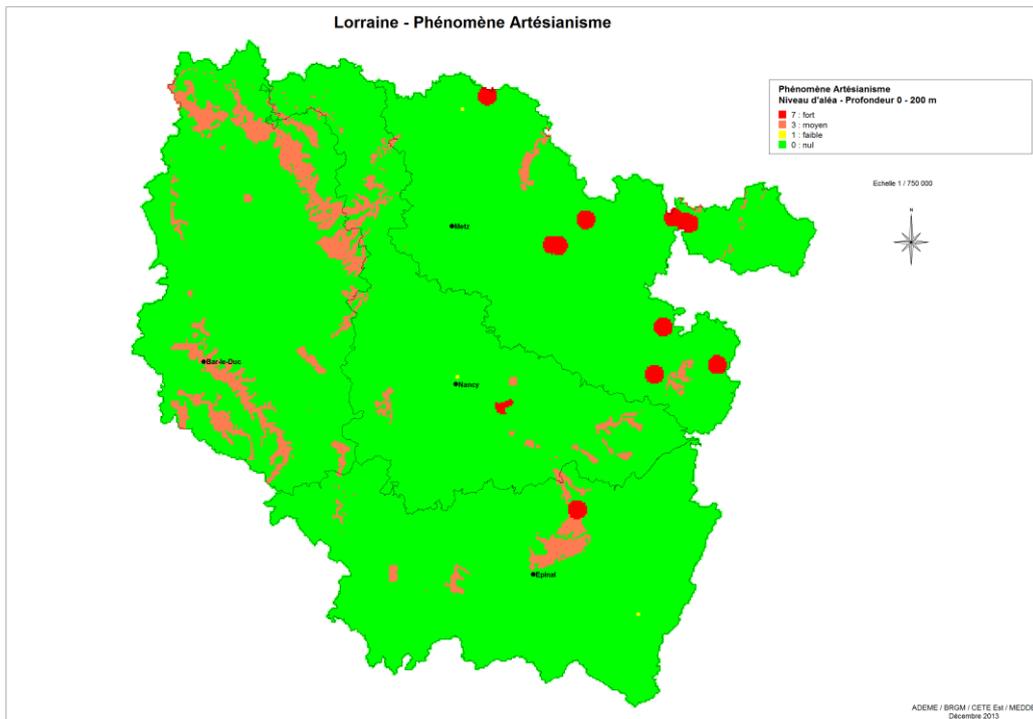


Figure 47 : Cartographie du phénomène artésianisme en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 200 m.

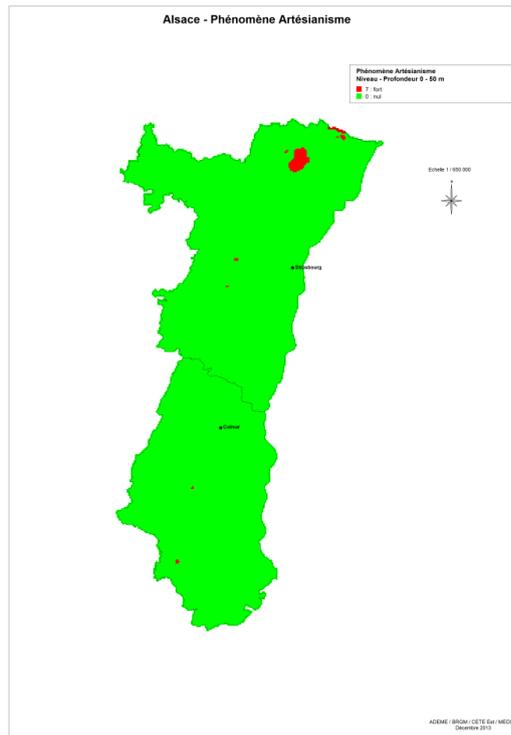


Figure 48 : Cartographie du phénomène artésianisme en Alsace pour des profondeurs jusqu'à 50 m.

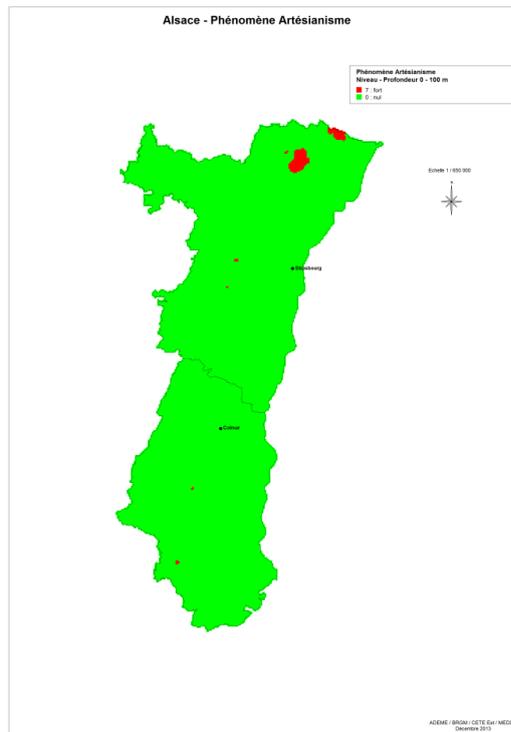


Figure 49 : Cartographie du phénomène artésianisme en Alsace pour des profondeurs jusqu'à 100 m.

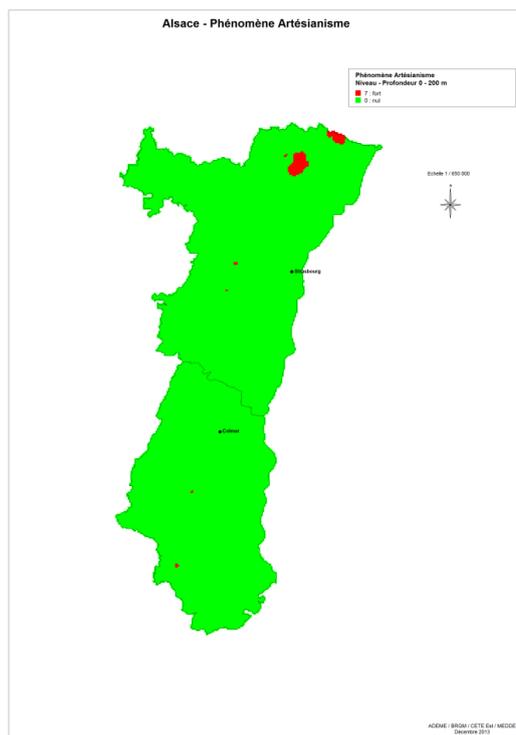


Figure 50 : Cartographie du phénomène artésianisme en Alsace pour des profondeurs jusqu'à 200 m.

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

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

Table 9 : Niveaux du phénomène artésianisme.

Compte tenu des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le facteur aggravant potentiel est estimé de niveau **faible (2)** pour les doublets sur nappe et **moyen (4)** pour les sondes géothermiques verticales.

4.8. INONDATION PAR REMONTEE DE NAPPE

Cartes nationales

La création de ces deux classes a été réalisée à partir de l'épaisseur de la zone non saturée (ZNS) calculée pour des mailles de 100*100 m et disponible sur le site <http://www.inondationsnappes.fr>. Des tests d'agrégation vers une maille nationale de 500 m ont montré que les zones basses comme les vallées sont les mieux prises en compte avec le calcul de maxima. Une agrégation des mailles par médianes montre de nombreuses zones ne prenant pas en compte les vallées liées à leurs surfaces trop faibles. Pourtant, ces zones peuvent générer un risque de remontée de nappe (Figure 51Figure 52).

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

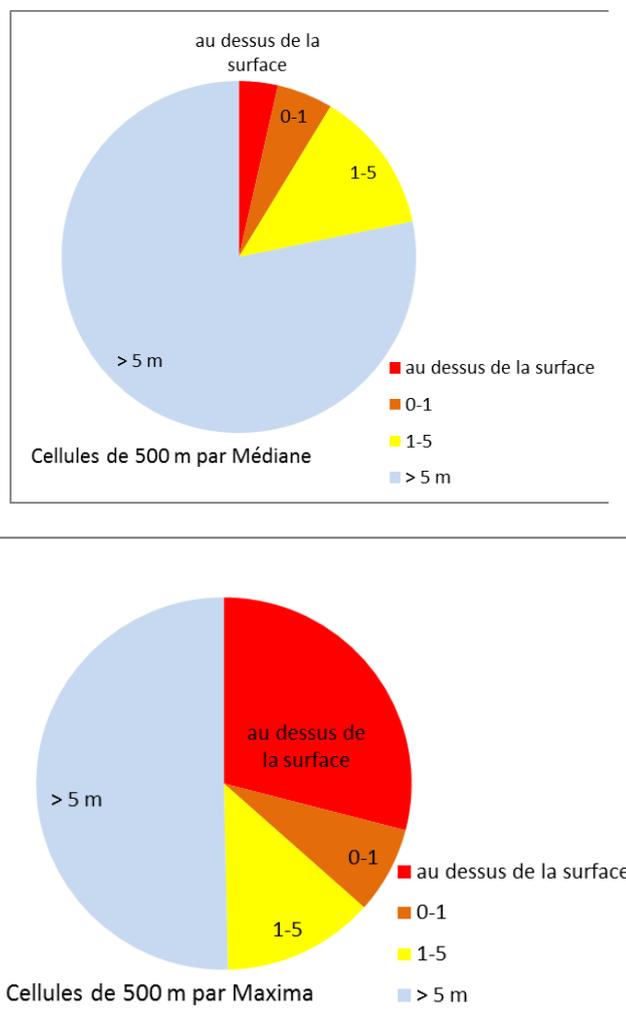


Figure 51 : Couverture des classes selon le type d'agrégation.

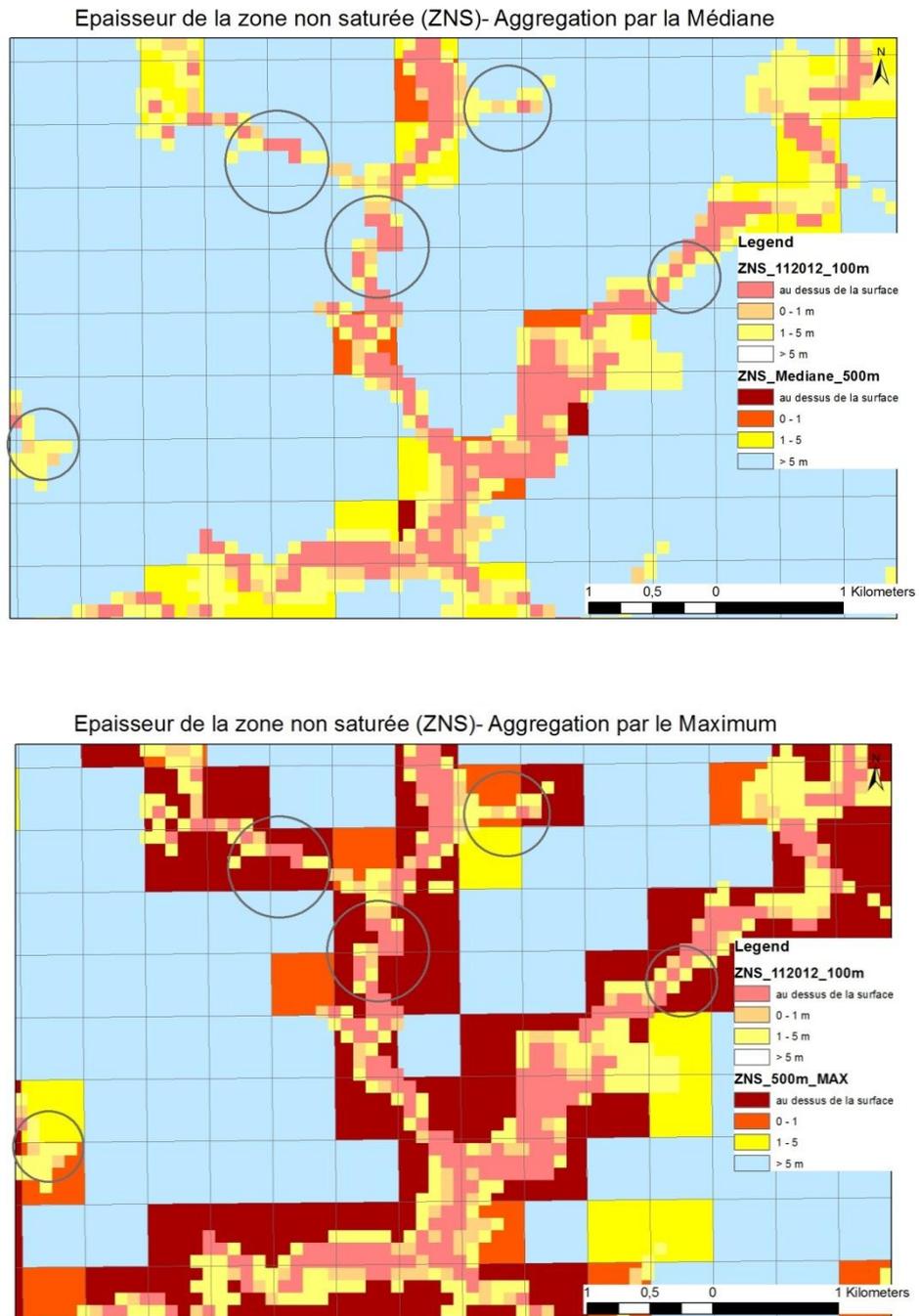


Figure 52 : Exemple des cartes d'épaisseur de la zone non saturée (ZNS) selon le type d'agrégation.

Niveaux :

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

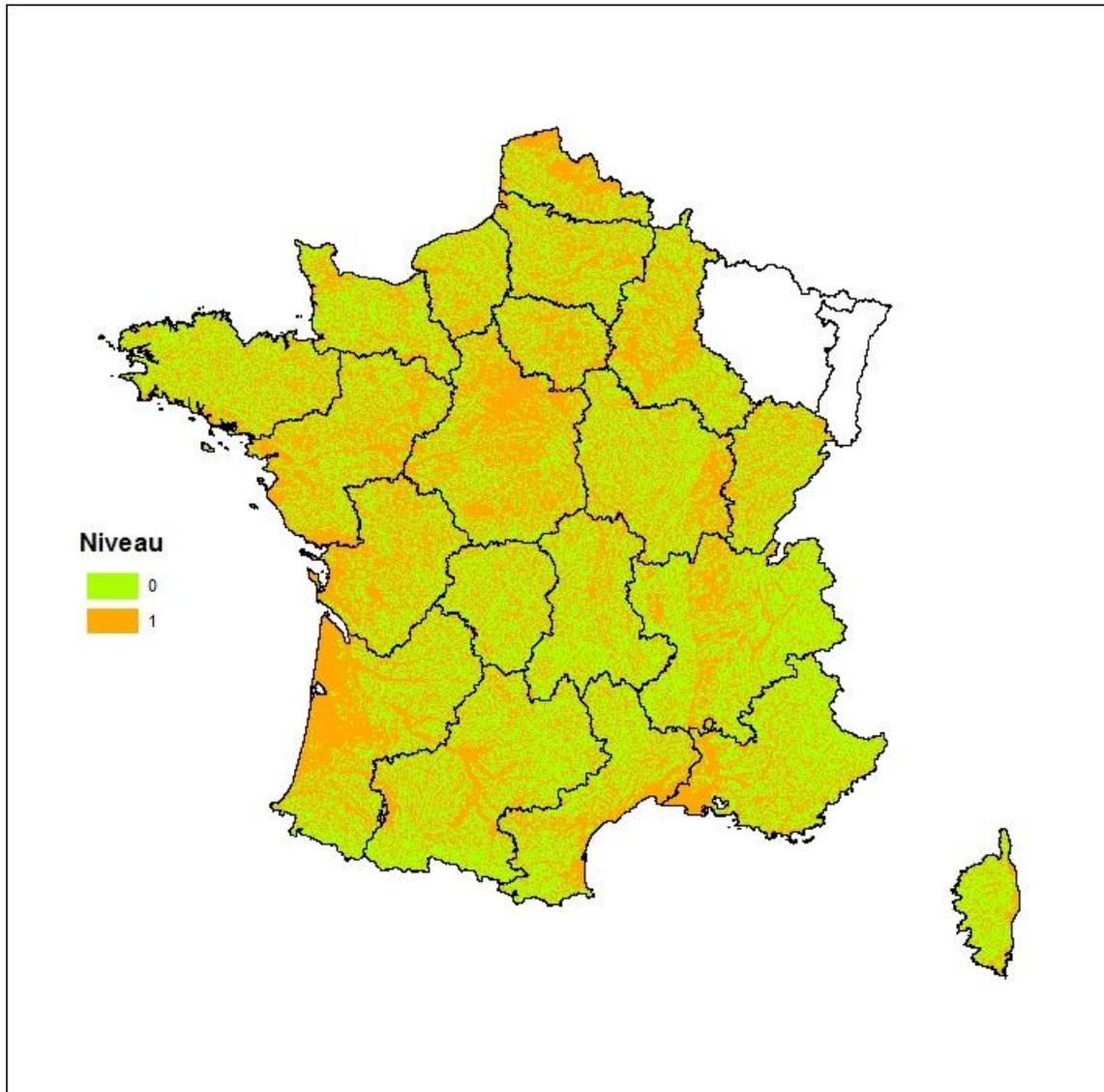


Figure 53 : Cartographie du phénomène remontée de nappe à l'échelle nationale.

Cartes Alsace et Lorraine

- Qualification du phénomène à l'échelle régionale

La qualification du phénomène d'inondation par remontée de nappe à l'échelle régionale est la même qu'à l'échelle nationale. Elle est basée sur les données du site <http://www.inondationsnappes.fr>.

Il a été distingué :

- **Niveau faible** : présence d'un aquifère ayant un niveau piézométrique connu pour être entre zéro et cinq mètres de la surface en hautes eaux.
- **Niveau nul** : pas d'aquifère ayant un niveau piézométrique connu pour être à moins de cinq mètres de la surface en hautes eaux.

- Données utilisées à l'échelle régionale

Elles proviennent pour les deux régions du site <http://www.inondationsnappes.fr>.

- Cartographie régionale du phénomène inondation par remontée de nappe

L'inondation par remontée de nappe étant un phénomène superficiel, apparaissant à des profondeurs inférieures à 50 m, sa susceptibilité a été cartographiée pour une seule gamme de profondeur : 0-200m.

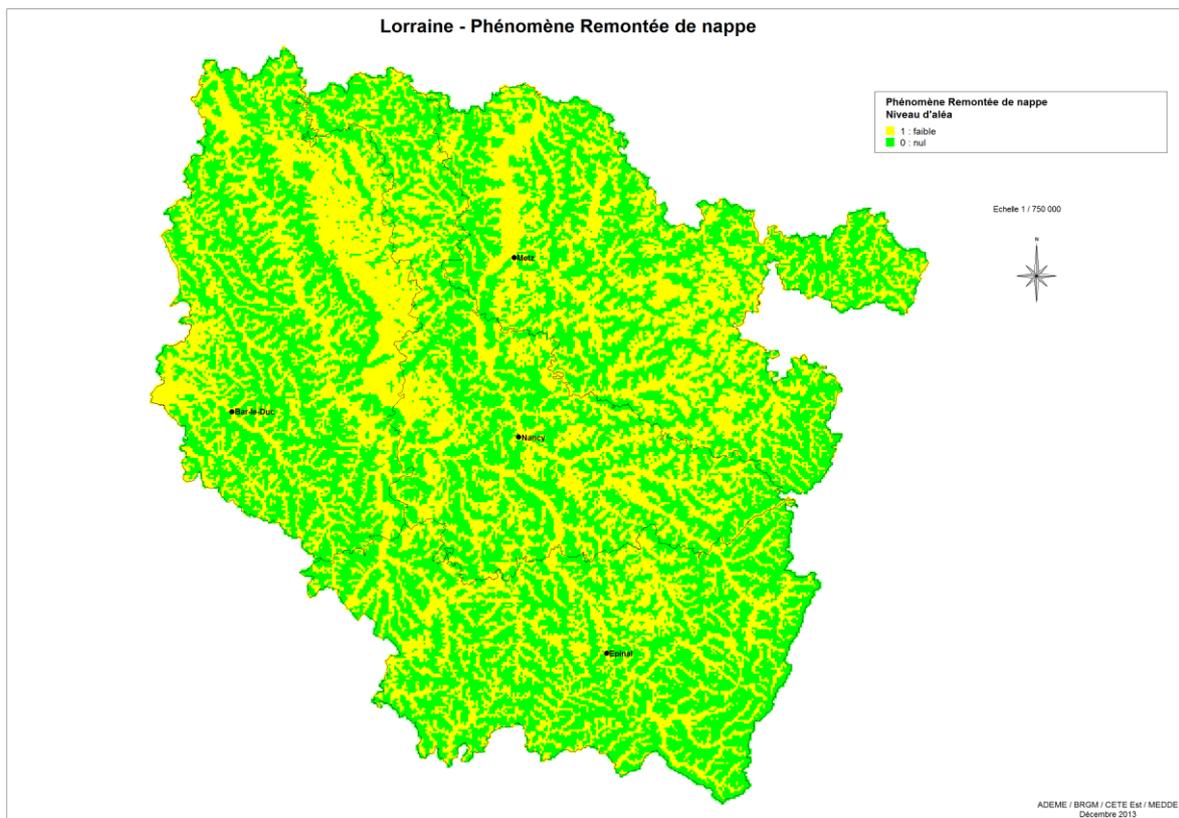


Figure 54 : Cartographie du phénomène remontée de nappe en Lorraine.

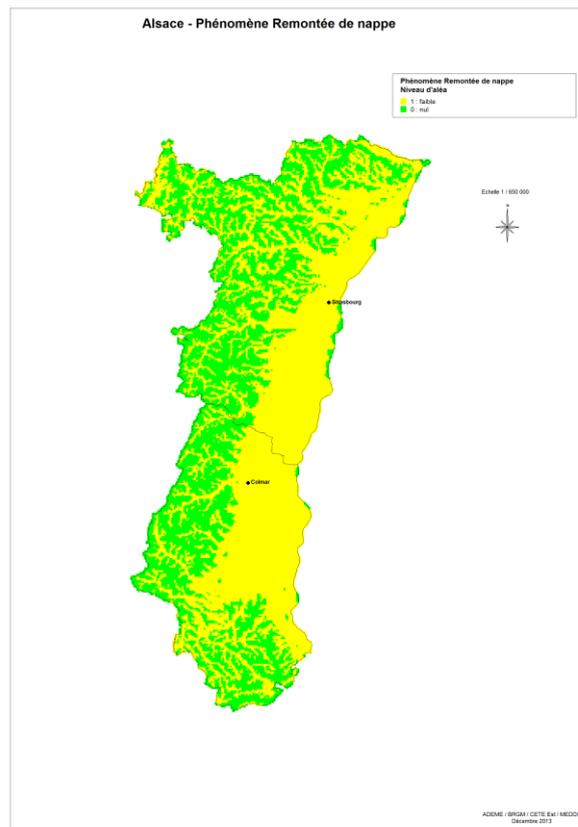


Figure 55 : Cartographie du phénomène remontée de nappe en Alsace.

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

Susceptibilité du phénomène	Nul	Faible
Facteur de pondération	0	1

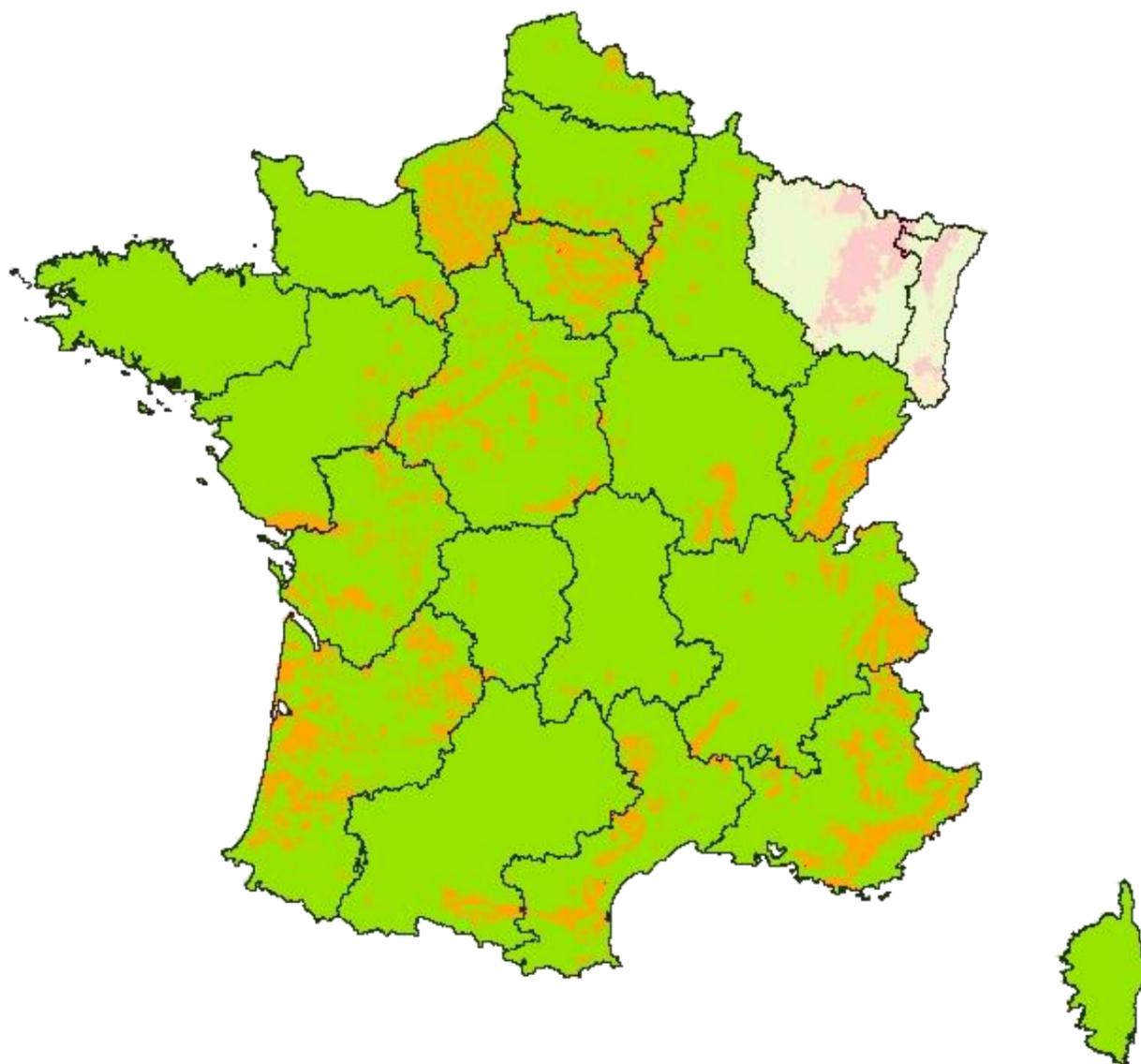
Table 10 : Niveaux du phénomène remonté de nappe

Compte tenu de la nature du phénomène redouté et des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le facteur aggravant potentiel est estimé de **niveau nul (0)** pour les sondes géothermiques verticales (absence de réinjection dans le sous-sol) et **moyen (2)** pour les doublets sur nappe.

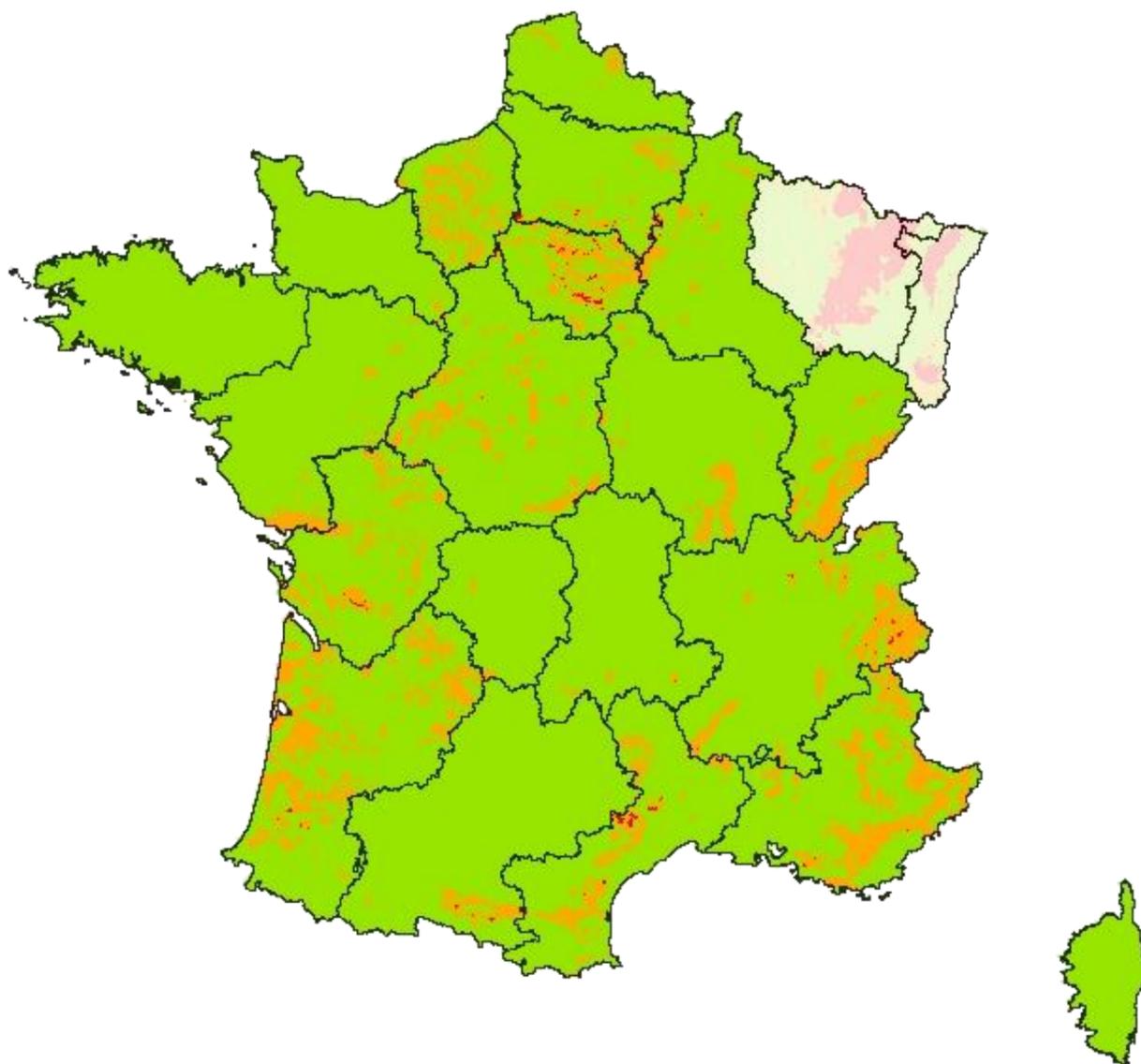
Annexe 1

Cartes réglementaires nationales

Carte réglementaire relative à la géothermie
de minime importance
Doublets sur nappe



Carte réglementaire relative à la géothermie
de minime importance
Sondes géothermiques verticales



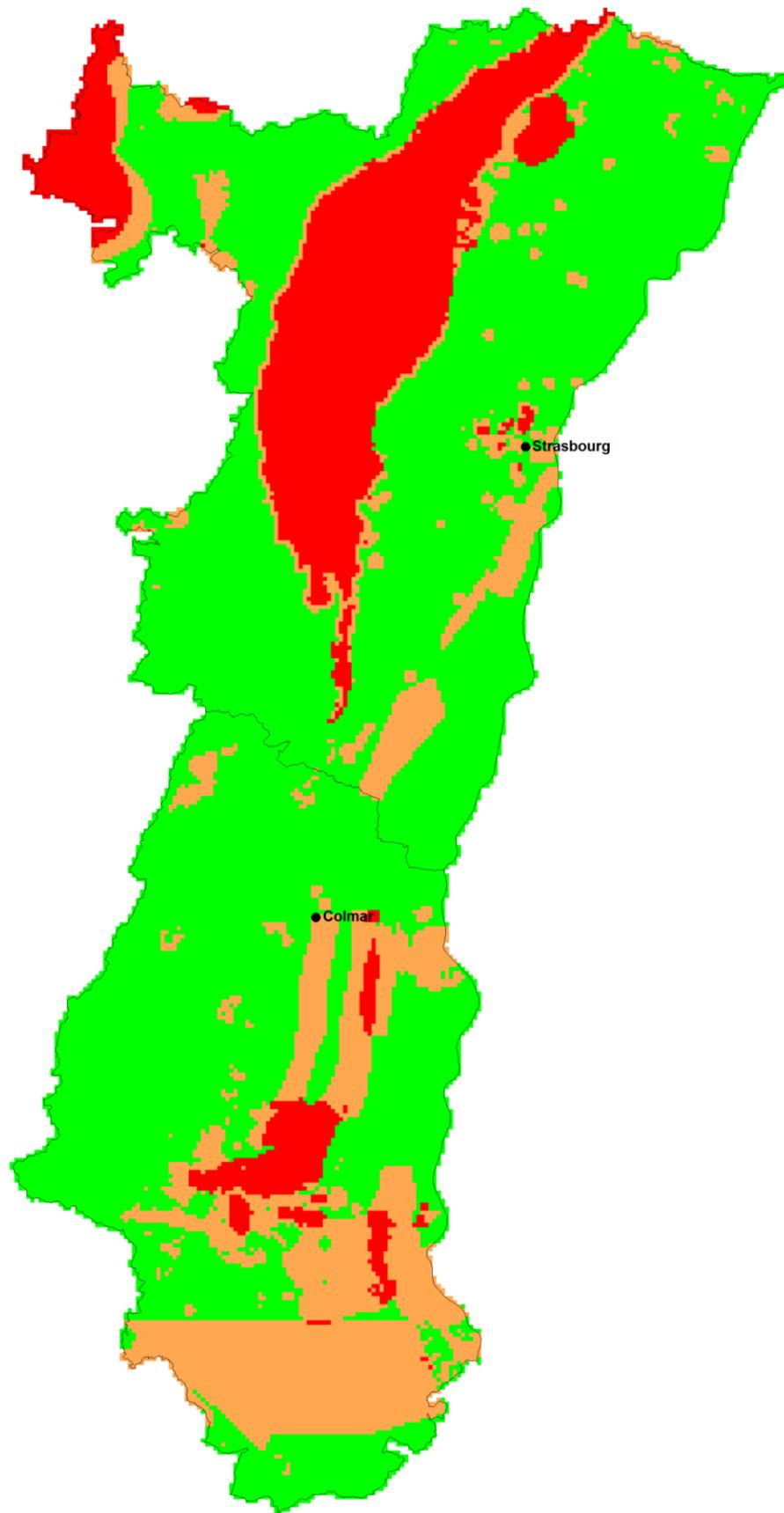
Annexe 2

Cartes réglementaires Alsace

Alsace - Carte des zonages relatifs à la géothermie dite de minime importance Doublets sur nappe

**Classement, profondeur 0-50 m
Niveau final**

- 0 - 13 : vert
- 14 - 41 : orange
- 42 et plus : rouge



Echelle 1 / 650 000

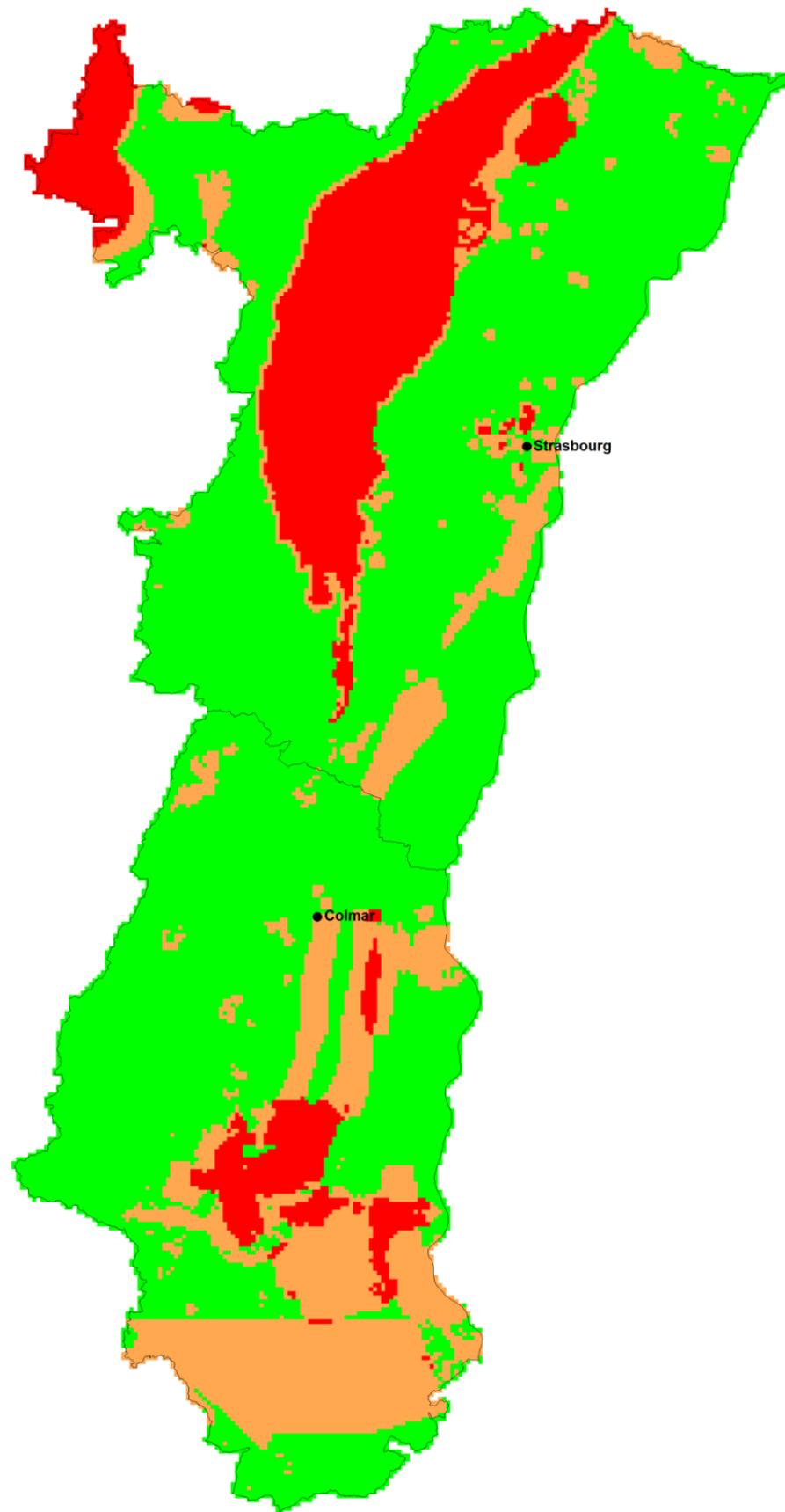


ADEME / BRGM / CEREMA / MEDDE
Janvier 2014

Alsace - Carte des zonages relatifs à la géothermie dite de minime importance Doublets sur nappe

Classement, profondeur 0-100 m
Niveau final

■	0 - 13
■	14 - 41
■	42 - 97



Echelle 1 / 650 000

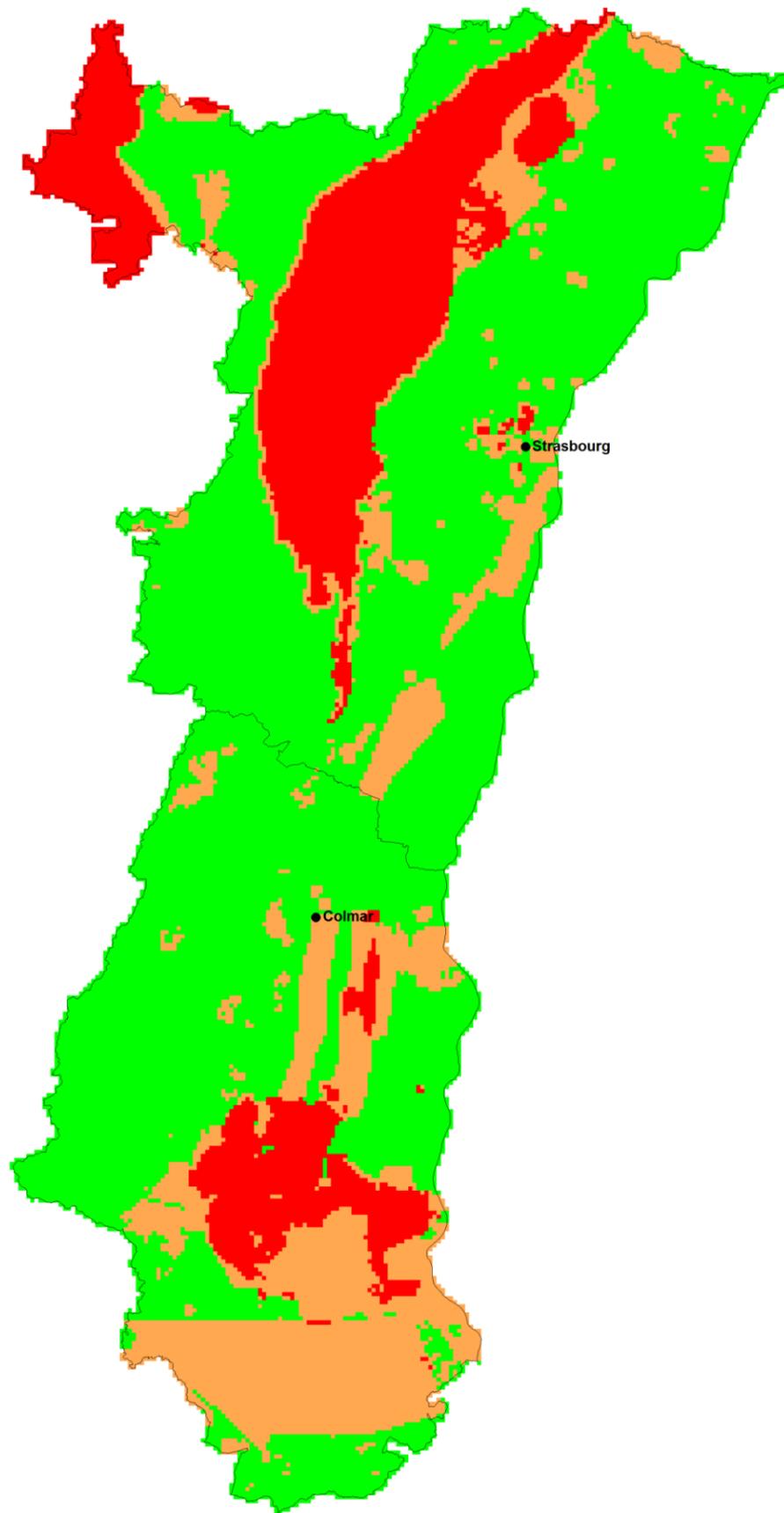


ADEME / BRGM / CEREMA / MEDDE
Janvier 2014

Alsace - Carte des zonages relatifs à la géothermie dite de minime importance Doublets sur nappe

Classement, profondeur 0-200 m
Niveau final

■	0 - 13
■	14 - 41
■	42 - 104



Echelle 1 / 650 000

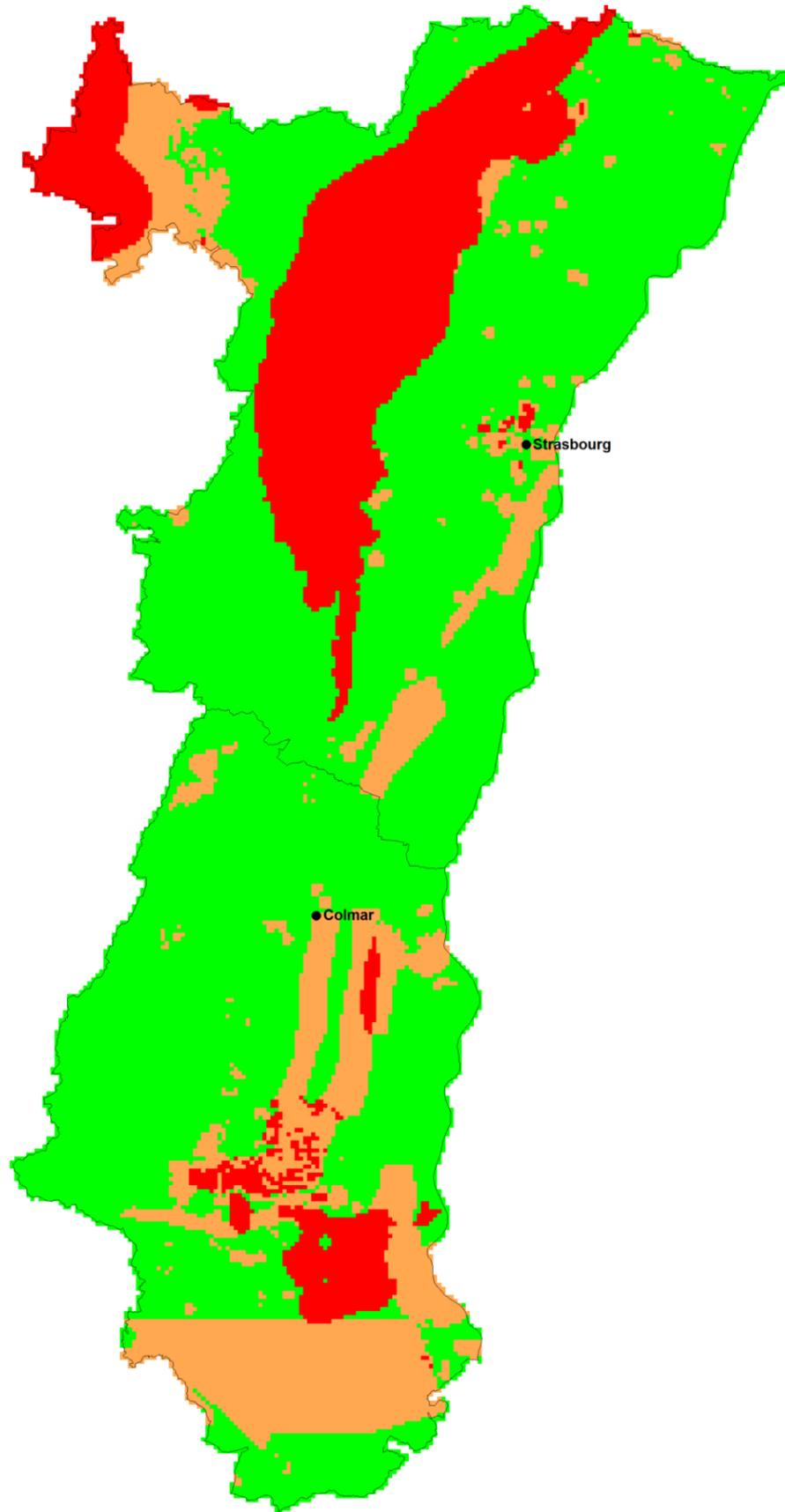


ADEME / BRGM / CEREMA / MEDDE
Janvier 2014

Alsace - Carte des zonages relatifs à la géothermie dite de minime importance Sondes géothermiques verticales

**Classement, profondeur 0-50 m
Niveau final**

- 0 - 13 : vert
- 14 - 41 : orange
- 42 et plus : rouge



Echelle 1 / 650 000

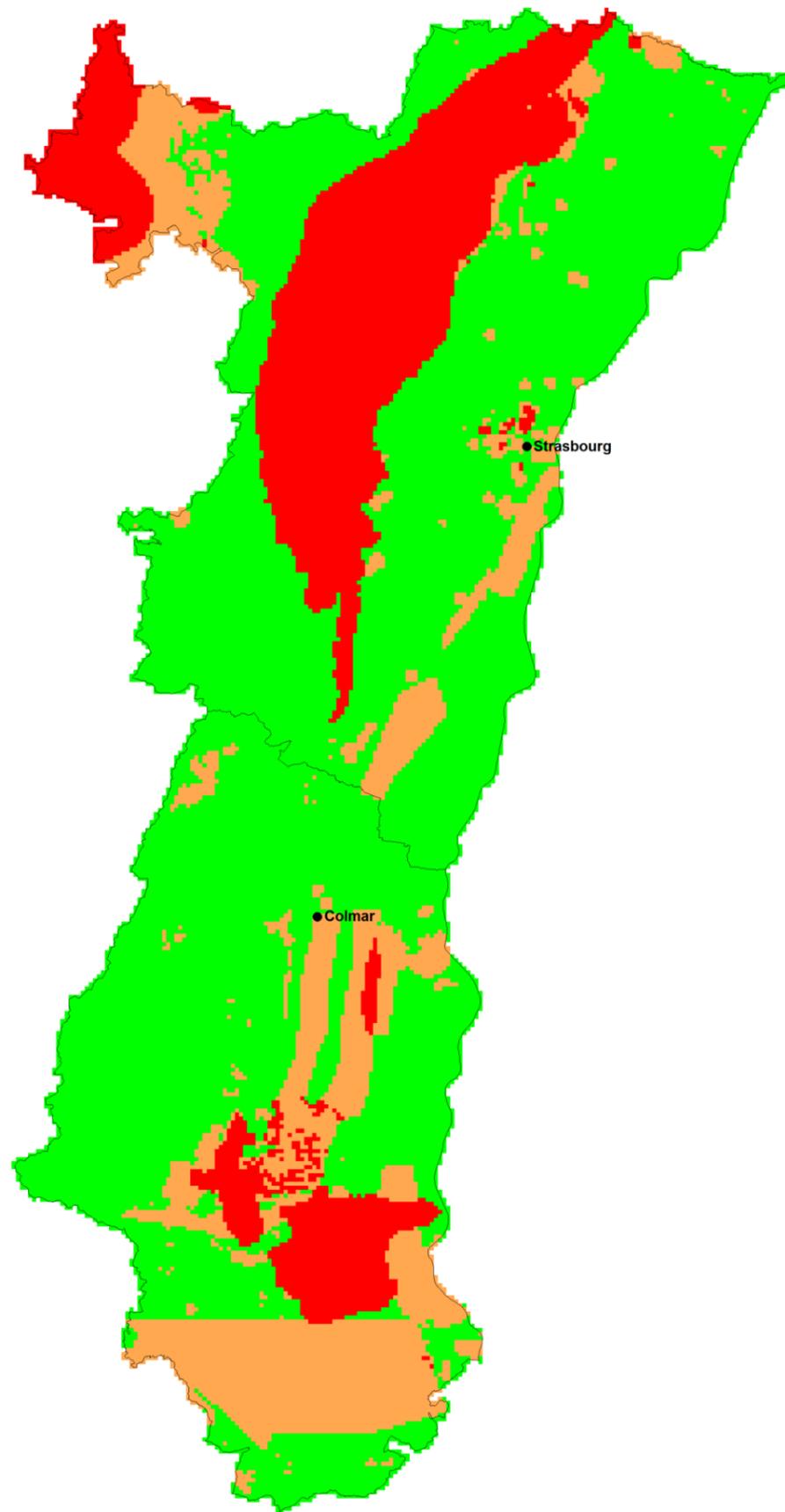


ADEME / BRGM / CEREMA / MEDDE
Janvier 2014

Alsace - Carte des zonages relatifs à la géothermie dite de minime importance Sondes géothermiques verticales

**Classement, profondeur 0-100 m
Niveau final**

- 0 - 13 : vert
- 14 - 41 : orange
- 42 et plus : rouge



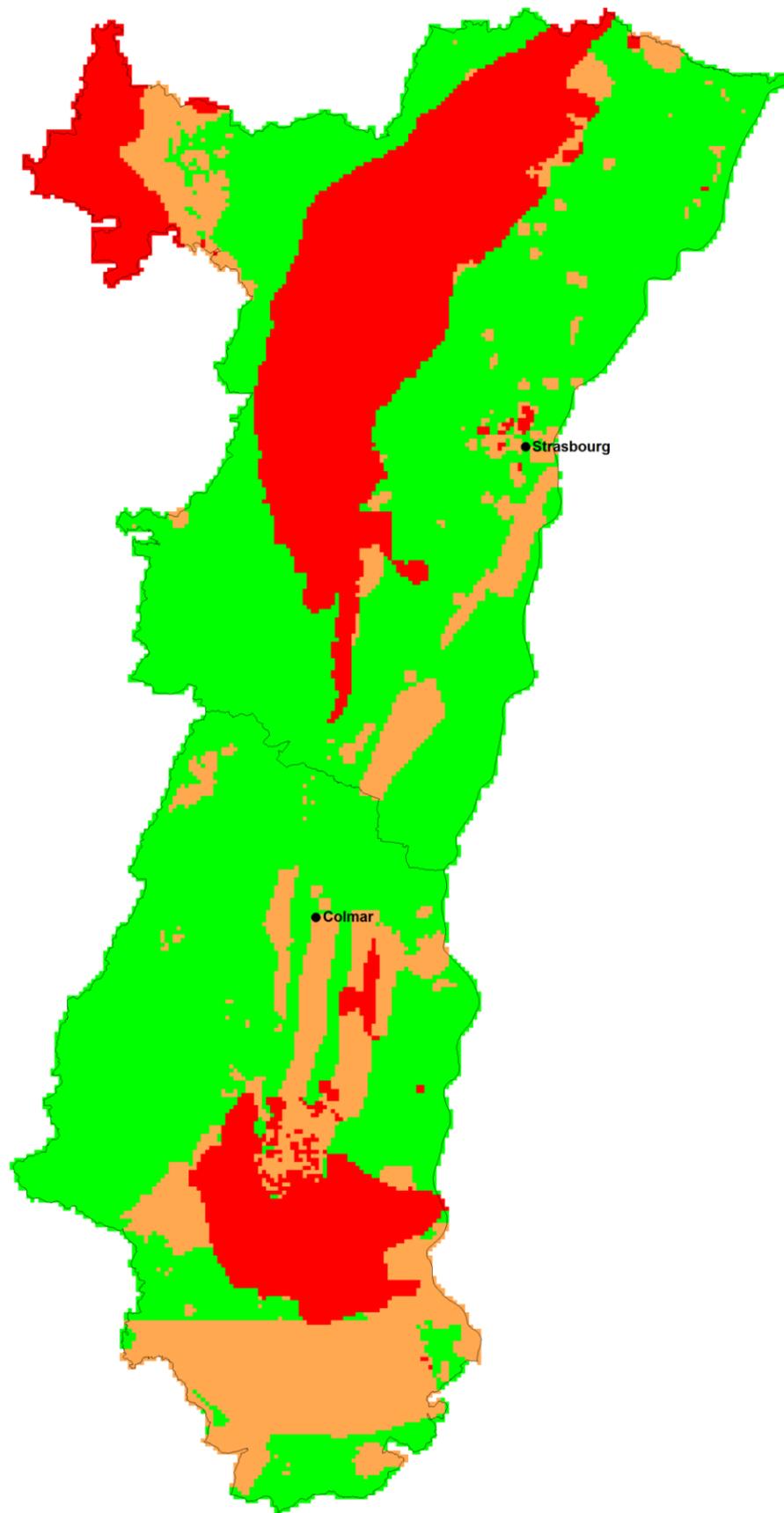
Echelle 1 / 650 000



Alsace - Carte des zonages relatifs à la géothermie dite de minime importance Sondes géothermiques verticales

**Classement, profondeur 0-200 m
Niveau final**

- 0 - 13 : vert
- 14 - 41 : orange
- 42 et plus : rouge



Echelle 1 / 650 000

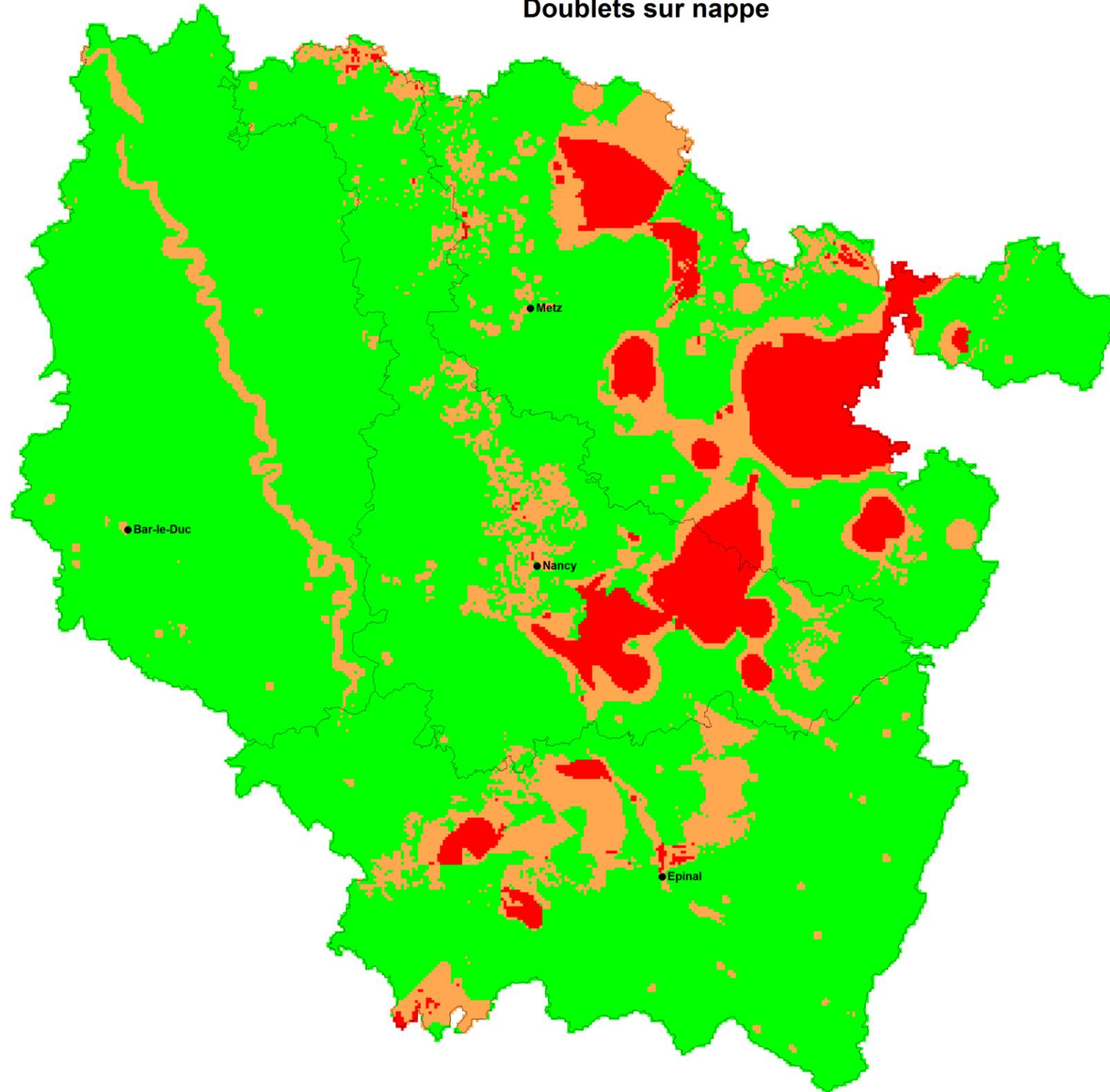


ADEME / BRGM / CEREMA / MEDDE
Janvier 2014

Annexe 3

Cartes réglementaires Lorraine

Lorraine - Carte des zonages relatifs à la géothermie dite de minime importance Doublets sur nappe



Classement, profondeur 0 - 50 m
Niveau final

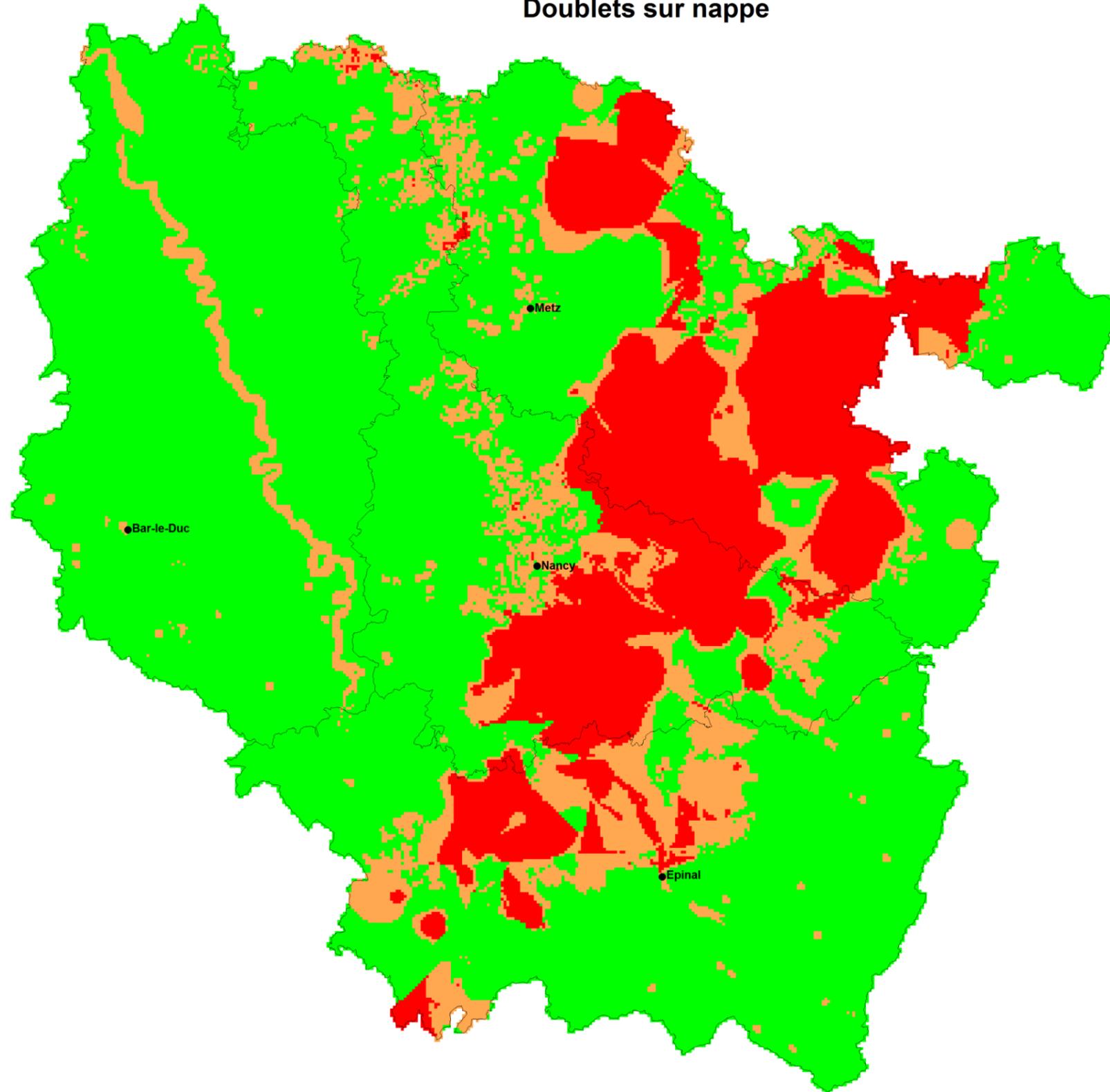
- 0 - 13 : vert
- 14 - 41 : orange
- 42 et plus : rouge

Echelle 1 / 750 000



ADEME / BRGM / CEREMA / MEDDE
Janvier 2014

Lorraine - Carte des zonages relatifs à la géothermie dite de minime importance Doublets sur nappe



Classement, profondeur 0-100 m
Niveau final

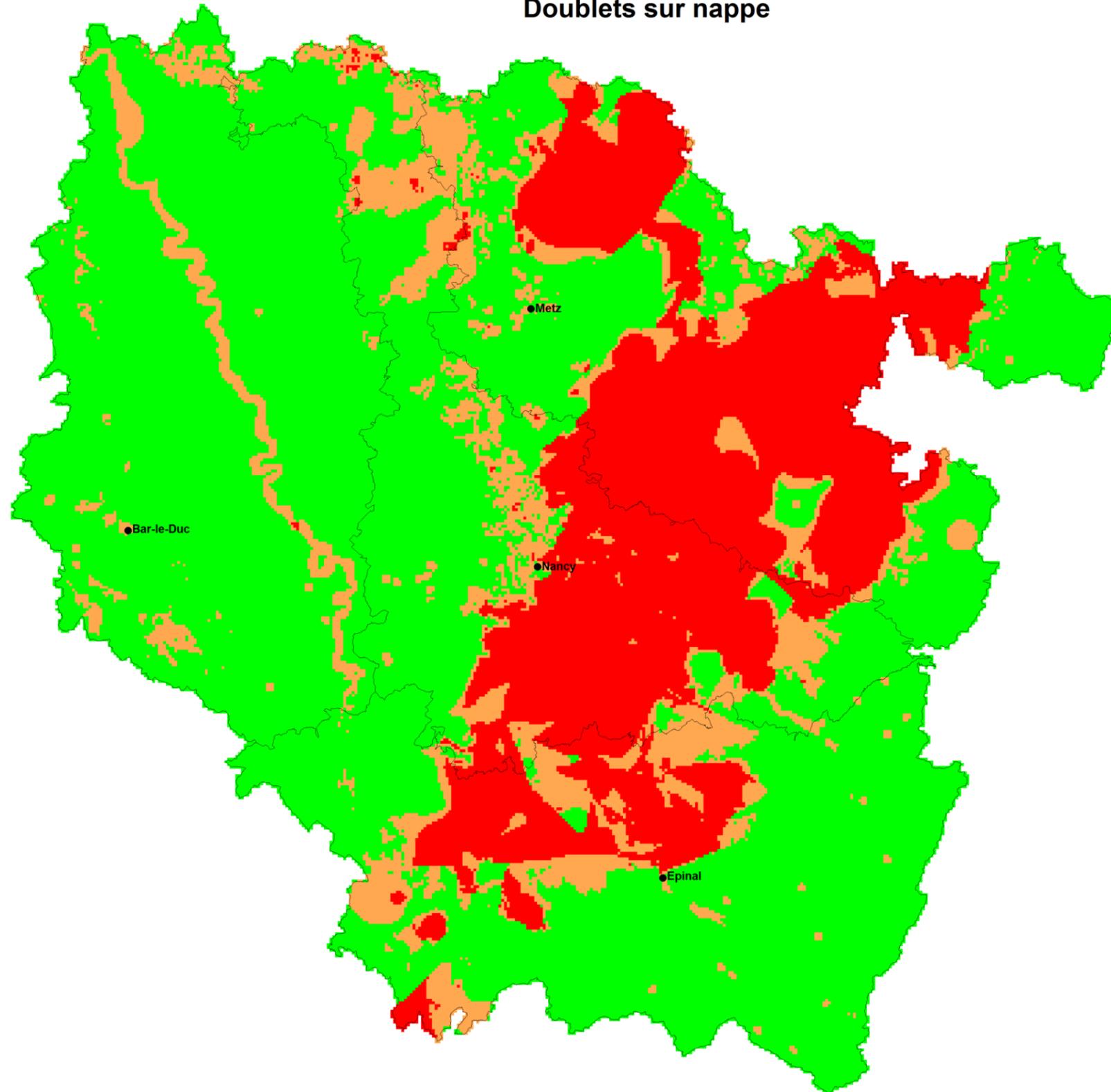
- 0 - 13 : vert
- 14 - 41 : orange
- 42 et plus : rouge

Echelle 1 / 750 000



ADEME / BRGM / CEREMA / MEDDE
Janvier 2014

Lorraine - Carte des zonages relatifs à la géothermie dite de minime importance Doublets sur nappe



**Classement, profondeur 0-200 m
Niveau final**

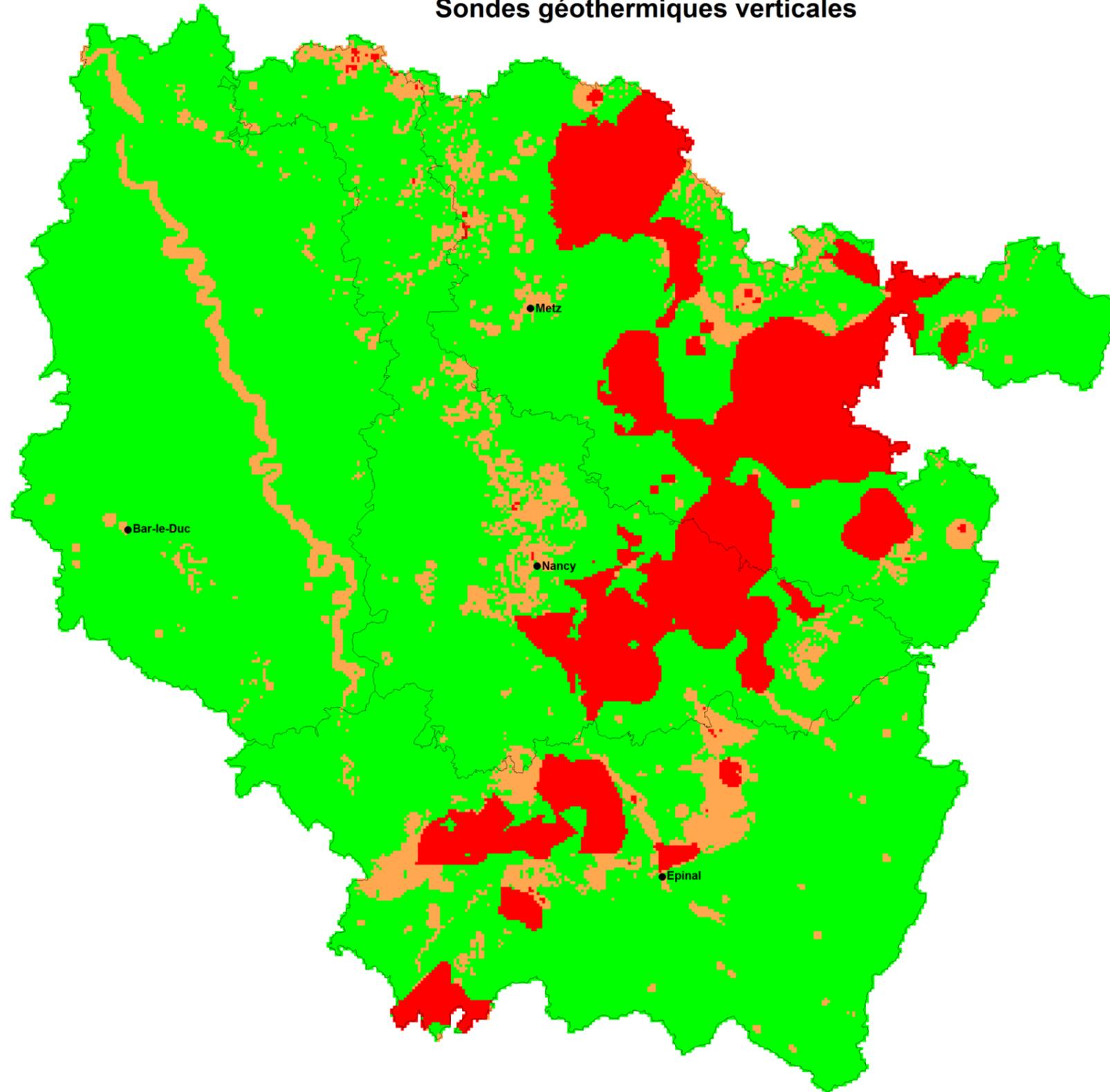
- 0 - 13 : vert
- 14 - 41 : orange
- 42 et plus : rouge

Echelle 1 / 750 000



ADEME / BRGM / CEREMA / MEDDE
Janvier 2014

Lorraine - Carte des zonages relatifs à la géothermie dite de minime importance Sondes géothermiques verticales



**Classement, profondeur 0-50 m
Niveau final**

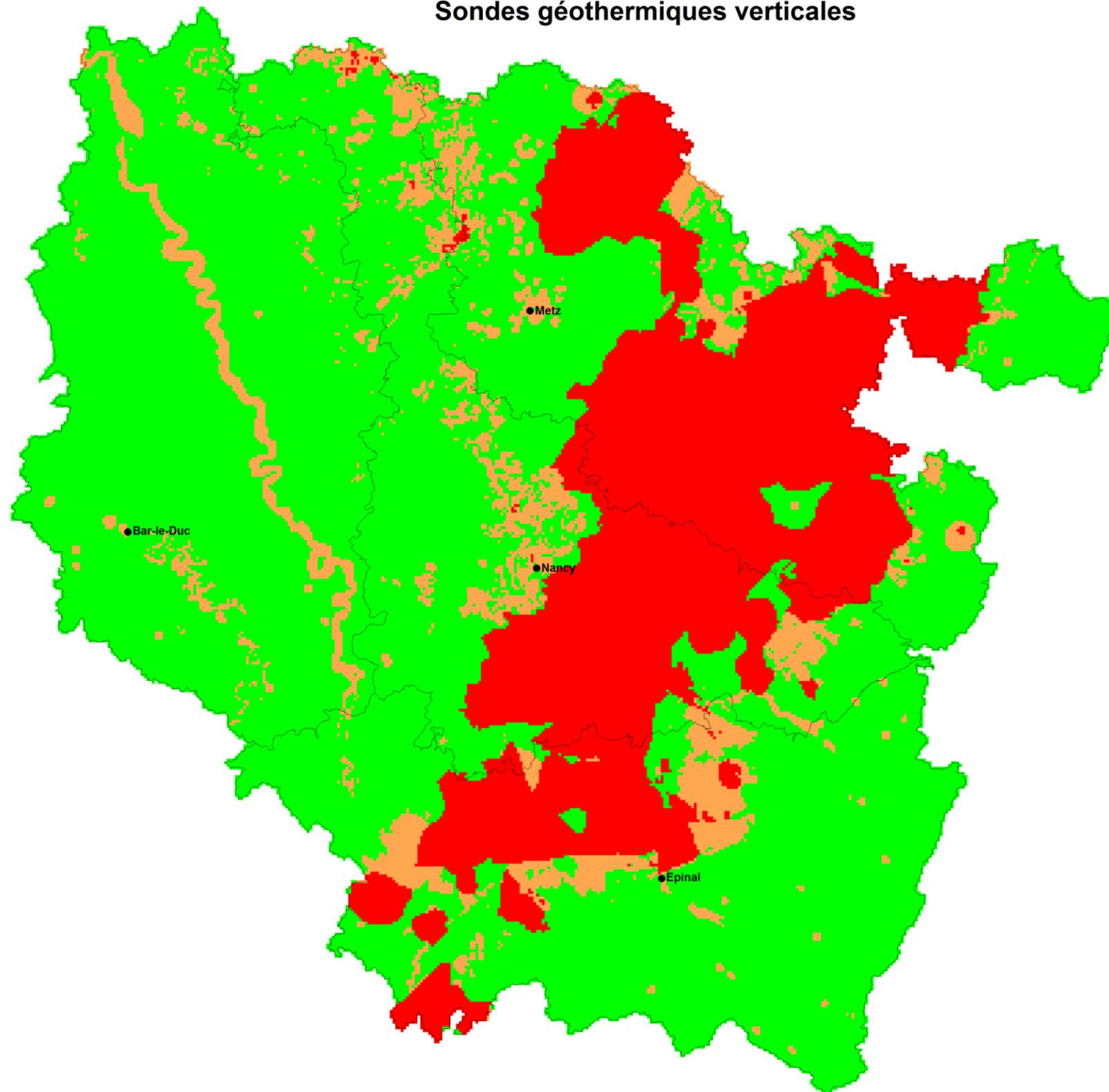
- 0 - 13 : vert
- 14 - 41 : orange
- 42 et plus : rouge

Echelle 1 / 750 000



ADEME / BRGM / CEREMA / MEDDE
Janvier 2014

Lorraine - Carte des zonages relatifs à la géothermie dite de minime importance Sondes géothermiques verticales



**Classement, profondeur 0-100 m
Niveau final**

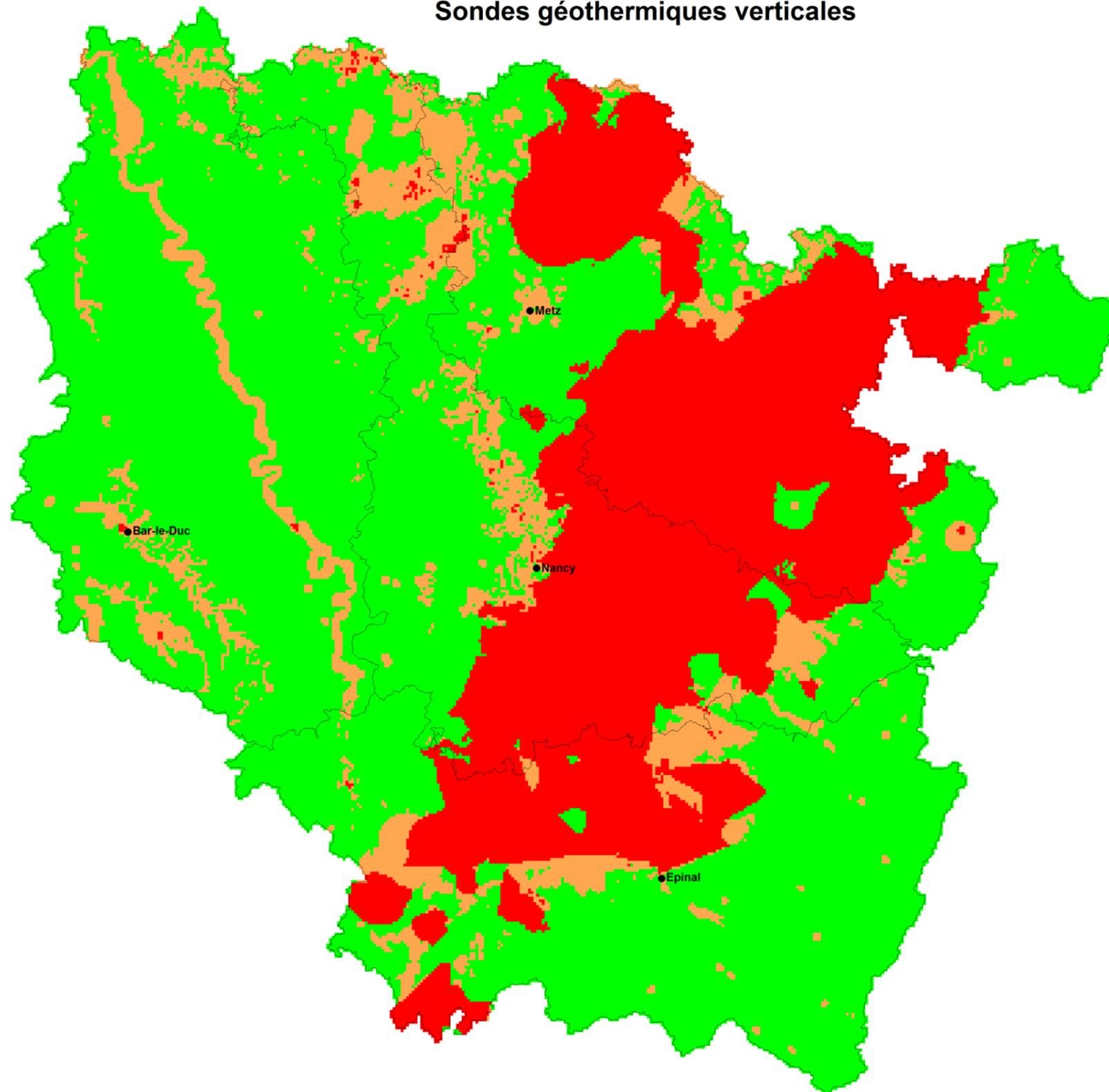
- 0 - 13 : vert
- 14 - 41 : orange
- 42 et plus : rouge

Echelle 1 / 750 000



ADEME / BRGM / CEREMA / MEDDE
Janvier 2014

Lorraine - Carte des zonages relatifs à la géothermie dite de minime importance Sondes géothermiques verticales



**Classement, profondeur 0-200 m
Niveau final**

- 0 - 13 vert
- 14 - 41 : orange
- 42 et plus : rouge

Echelle 1 / 750 000



ADEME / BRGM / CEREMA / MEDDE
Janvier 2014



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