

PRÉVENTION DES RISQUES

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE,
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE

*Direction générale
de la prévention des risques*

**Arrêté du 25 juin 2015 relatif à la carte des zones en matière de géothermie
de minime importance (JORF n° 0154 du 5 juillet 2015 et n° 0170 du 25 juillet 2015 [rectificatif])**

NOR : DEVP1505497A

Publics concernés : exploitants d'activité géothermique de minime importance, maîtres d'ouvrage, bureaux d'études en géothermie, entreprises de forage géothermique, entreprises concevant et posant les pompes à chaleurs géothermiques de minime importance, collectivités territoriales.

Objet : méthodologie et modalités de révision de la carte relative à la géologie de minime importance.

Entrée en vigueur : le présent arrêté entre en vigueur le lendemain de sa publication.

Notice : le texte fixe la carte des zones de géothermie de minime importance, précise la méthodologie d'élaboration de la carte et les modalités de sa révision.

Références : l'arrêté est pris en application de l'article 22-6 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié. Le texte peut être consulté, dans sa version consolidée, sur le site Légifrance, <http://www.legifrance.gouv.fr>.

La ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie,

Vu le code de l'environnement, notamment son article L. 120-1 ;

Vu le code minier, notamment ses articles L. 112-1, L. 112-3, L. 161-1 à L. 161-2 ;

Vu le décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains, notamment son article 22-6 ;

Vu l'avis de la mission interministérielle de l'eau en date du 17 avril 2015 ;

Vu l'avis du Conseil national d'évaluation des normes en date du 7 mai 2015 ;

Vu les observations formulées lors de la consultation publique réalisée du 19 mars 2015 au 9 avril 2015, en application de l'article L. 120-1 du code de l'environnement,

Arrête :

CHAPITRE I^{er}

Carte des zones réglementaires

Art. 1^{er}. – En application de l'article 22-6 du décret du 2 juin 2006 susvisé, la carte qui distingue les zones relatives à la géothermie de minime importance est élaborée et révisée dans les conditions du présent arrêté.

Art. 2. – I. – La carte des zones relatives à la géothermie de minime importance est élaborée par le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie dans les modalités fixées par le guide méthodologique dénommé « Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance » établi dans sa version 2015.

II. – La carte est fixée à la date d'entrée en vigueur du présent arrêté. Elle est publiée au *Bulletin officiel* du ministère chargé de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. La carte est mise à la disposition du public par voie électronique sous <http://www.geothermie-perspectives.fr>.

Art. 3. – Le guide mentionné à l'article 2 précise les modalités d'élaboration de la carte réalisée par le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et celles de la carte révisée dans les conditions prévues au chapitre II du présent arrêté.

Ce guide est mis à la disposition du public par voie électronique sous <http://www.geothermie-perspectives.fr>. Il est publié au *Bulletin officiel* du ministère chargé de l'écologie, du développement durable et de l'énergie.

CHAPITRE II

Modalités de révision de la carte

Art. 4. – I. – La carte mentionnée à l'article 2 peut être révisée sur initiative du représentant de l'État dans la région concernée ou sur demande d'une collectivité territoriale ou d'un groupement de collectivités territoriales.

La révision précise la connaissance et la localisation des phénomènes présents dans le sous-sol. Elle est conforme au guide méthodologique mentionné à l'article 2. La carte révisée distingue les trois intervalles de profondeur : 10 m-50 m, 10 m-100 m, 10 m-200 m.

II. – Toute collectivité territoriale ou groupement de collectivités territoriales qui fait la demande de révision de la carte adresse une demande au représentant de l'État dans la région.

Est jointe à la demande une proposition de carte élaborée selon le guide méthodologique mentionné à l'article 2.

L'instruction de cette demande par le représentant de l'État dans la région concernée est de droit lorsque cette demande porte sur 10 % de la surface de la région ou porte sur 10 % de sa population.

Art. 5. – I. – Le représentant de l'État dans la région peut retenir un projet de carte qui diffère de la version soumise par le demandeur. Lorsque la demande ne répond pas aux dispositions de l'article 4, le représentant de l'État rejette la demande de révision.

II. – Le représentant de l'État dans la région sollicite l'avis du conseil régional, lorsque ce dernier n'est pas le demandeur, et l'avis des comités de bassin, constitués conformément à l'article L. 212-1 du code de l'environnement, et compétents sur la zone couverte par la demande ou par délégation les commissions territoriales constituées conformément à l'article L. 213-8 du code de l'environnement. En l'absence de réponse dans un délai d'un mois suivant la réception de la demande l'avis est réputé émis.

III. – Le représentant de l'État dans la région soumet le projet de carte retenu à la consultation du public selon les modalités de l'article L. 120-1 du code de l'environnement.

Art. 6. – Le représentant de l'État dans la région arrête la carte révisée qui est mise à la disposition du public par voie électronique sous www.geothermie-perspectives.fr.

Art. 7. – La directrice générale de la prévention des risques et le directeur général de l'aménagement du logement et de la nature sont chargés de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait le 25 juin 2015.

*La ministre de l'écologie,
du développement durable
et de l'énergie,*
Pour la ministre et par délégation :

*La directrice générale
de la prévention des risques,*
P. BLANC

*Le directeur général
de l'aménagement du logement
et de la nature,*
P. DELDUC

CARTE DES ZONES RÉGLEMENTAIRES RELATIVES À LA GÉOTHERMIE DE MINIME IMPORTANCE

ÉCHANGEUR FERMÉ



<i>la Guadeloupe</i>	<i>La réunion</i>	<i>la Guyane</i>
		
		
<i>la Martinique</i>	<i>Mayotte</i>	



Zones dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance sont réputées ne pas présenter des dangers et inconvénients graves ;



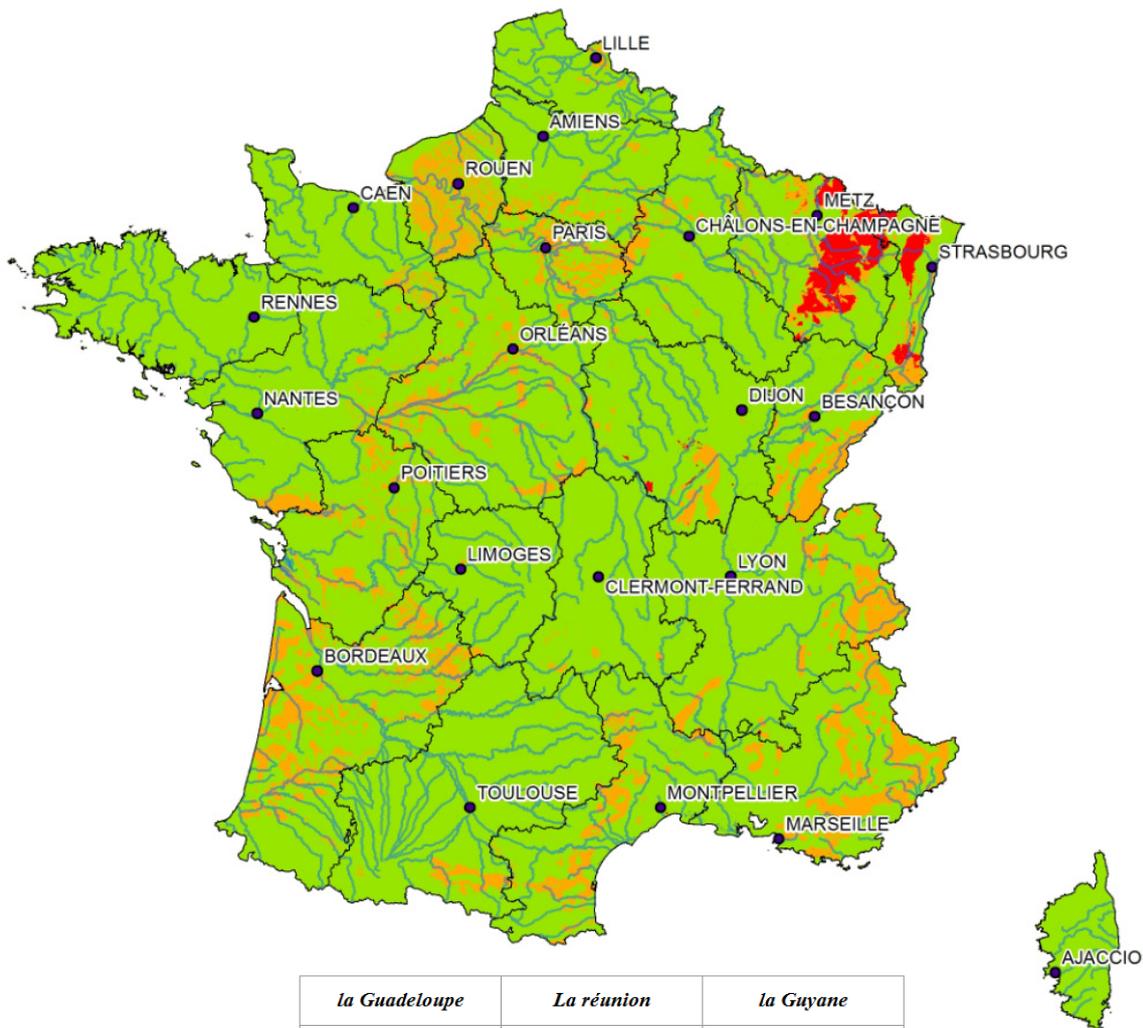
Zones dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance ne sont pas réputées présenter des dangers et inconvénients graves et dans lesquelles est exigée la production de l'attestation prévue à l'article 22-2 du décret n° 2006-649 du 6 juin 2006 ;



Zones 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 ;

CARTE DES ZONES RÉGLEMENTAIRES RELATIVES À LA GÉOTHERMIE DE MINIME IMPORTANCE

ÉCHANGEUR OUVERT



<i>la Guadeloupe</i>	<i>La réunion</i>	<i>la Guyane</i>
<i>la Martinique</i>	<i>Mayotte</i>	

-  Zones dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance sont réputées ne pas présenter des dangers et inconvénients graves ;
-  Zones dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance ne sont pas réputées présenter des dangers et inconvénients graves et dans lesquelles est exigée la production de l'attestation prévue à l'article 22-2 du décret n°2006-649 du 6 juin 2006 ;
-  Zones 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 ;

Direction de la prévention
des risques

Service des risques
technologiques

Bureau du sol et du sous-
sol

1^{er} juillet 2015



Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance

Juillet 2015

Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	1/07/2015	Guide pris en application de l'arrêté relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance. Entrée en application le 1 ^{er} juillet 2015. Guide mis à la consultation du public.

Affaire suivie par

Armelle MARGUERET - Service des risques technologiques, Bureau du sol et du sous-sol
Tél. : 01.40.81.92.01
Courriel : armelle.margueret@developpement-durable.gouv.fr

Rédacteur

Rapport réalisé conjointement entre le BRGM et le CEREMA :

CEREMA : Margaret Herbaux, Charles Kreziak ;

BRGM : Pierre Durst, Dominique Midot, Susanne Schomburgk, Jean-Claude Martin, Romain Cochery, Guy Fourniguet, Anne-Valerie Barras ;

Élaboration à partir des réflexions menées par le groupe de travail « Cartographie » mis en place par le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie rassemblant des professionnels, des établissements publics experts en géothermie et des services de l'État ;

Sur commande de la Direction générale de la prévention des risques, service des risques technologiques, bureau du sol et du sous-sol ;

Relecteur

Armelle MARGUERET - Service des risques technologiques, Bureau du sol et du sous-sol

Référence(s) intranet

<http://www.geothermie-perspectives.fr/>

SOMMAIRE

1 - OBJET

2 - DÉFINITIONS

3 - ACRONYMES

4 - PRINCIPES GÉNÉRAUX

4.1 - Échangeur géothermique fermé

4.2 - Échangeur géothermique ouvert

5 - RÉGLEMENTATION APPLICABLE À LA GÉOTHERMIE DE MINIME IMPORTANCE

5.1 - Le code minier

5.2 - Les réglementations territorialisées à prendre en considération

5.2.1 - Protection des captages d'alimentation en eau potable

5.2.2 - Protection des eaux minérales

5.2.3 - Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE)

5.2.4 - Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)

5.2.5 - Périmètres de protection des stockages souterrains de gaz naturel, d'hydrocarbures liquides, liquéfiés ou gazeux

5.2.6 - Servitudes d'utilité publique prévue par l'article L.515-12 du code de l'environnement

6 - INVENTAIRE DES PHÉNOMÈNES POUVANT ÊTRE RENCONTRÉS LORS DE LA RÉALISATION D'OUVRAGES DE GÉOTHERMIE

7 - MÉTHODOLOGIE DE CONSTRUCTION DE LA CARTE DES ZONES RÉGLEMENTAIRES RELATIVES À LA GÉOTHERMIE DE MINIME IMPORTANCE

7.1 - Champ d'application

7.2 - Méthodologie générale

7.3 - Définitions des grilles de base pour la construction de la carte initiale

8 - MÉTHODOLOGIE DE CONSTRUCTION DE LA CARTE RÉVISÉE DES ZONES RÉGLEMENTAIRES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE OU LOCALE

8.1 - Cadre réglementaire

8.2 - Mode opératoire

8.2.1 - Obtention des grilles de base

8.2.2 - Mises à jour du modèle numérique de terrain

8.2.3 - Création des cartes par phénomène dangereux ou redouté

8.2.4 - Calcul de cotation et élaboration des zones

8.2.5 - Rapport

8.2.6 - Fiche de synthèse

9 - FICHES DES PHÉNOMÈNES REDOUTÉS

9.1 - Phénomène « Affaissement/Surrection lié aux niveaux d'évaporites et à la présence d'eau »

9.1.1 - Description du phénomène et occurrences

9.1.2 - Carte initiale identifiant le phénomène à l'échelle nationale

9.1.3 - Carte révisée : exemple sur les régions Alsace et Lorraine

9.2 - Phénomène « Affaissement/Effondrement » lié aux cavités (Hors mines)

9.2.1 - Description du phénomène et occurrences

9.2.2 - Carte initiale identifiant le phénomène à l'échelle nationale

9.2.3 - Carte révisée : exemple sur les régions Alsace et Lorraine

9.3 - Phénomène « Affaissement/effondrement » lié aux cavités minières

9.3.1 - Description du phénomène et occurrences

9.3.2 - Carte initiale

9.3.3 - Carte révisée – Exemple sur les régions Alsace et Lorraine

9.4 - Phénomène « Mouvements de terrains de type glissement »

9.4.1 - Description du phénomène et occurrences

9.4.2 - Carte initiale

9.4.3 - Carte révisée – Exemple sur les régions Alsace et Lorraine

9.5 - Phénomène de « Pollution des sols et des nappes d'eau souterraines »

9.5.1 - Description du phénomène et occurrences

9.5.2 - Carte initiale

9.5.3 - Carte révisée

9.6 - Phénomène artésianisme

9.6.1 - Phénomène redouté

9.6.2 - Carte initiale

9.6.3 - Carte révisée – Exemple de l'Alsace et de la Lorraine

9.7 - Phénomène de mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères

9.7.1 - Phénomène redouté

9.7.2 - Carte initiale

9.7.3 - Carte révisée – Exemple de l'Alsace et de la Lorraine

9.8 - Phénomène d'inondation par remontée de nappe

9.8.1 - Phénomène redouté

9.8.2 - Carte initiale

9.8.3 - Carte révisée – Exemple de l'Alsace et de la Lorraine

9.9 - Phénomène de biseau salé

9.9.1 - Phénomène redouté

9.9.2 - Carte initiale

9.9.3 - Carte révisée

10 - ANNEXE 1 : COTATION DES PHÉNOMÈNES

11 - ANNEXE 2 : FICHE DE SYNTHÈSE

12 - ANNEXE 3 : DONNÉES UTILISÉES POUR LES CARTES EN ALSACE ET EN LORRAINE

1 - Objet

Dans le contexte du développement des énergies renouvelables et de la transition énergétique, le cadre réglementaire relatif à la géothermie de minime importance a fait l'objet d'une révision. Le décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015 a modifié les deux décrets qui encadrent l'activité géothermique : le décret n° 78-498 du 28 mars 1978 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie modifié et le décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains modifié.

La géothermie est une activité renouvelable que le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie promeut notamment dans le cadre des actions de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) avec l'appui du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).

Le présent document expose la méthodologie d'élaboration de la carte des zones réglementaires de la géothermie de minime importance. Ce guide constitue la méthodologie fixée dans l'arrêté relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance, pris en application de l'article 22-6 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié. Il a été élaboré à partir des réflexions menées par le groupe de travail « Cartographie » mis en place par le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie rassemblant des professionnels, des services de l'État et des établissements publics experts en géothermie.

La carte distingue les zones selon l'importance des enjeux au regard des intérêts mentionnés aux articles L. 161-1 du code minier :

- les zones 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 ;
- les zones dites orange dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance ne sont pas réputées présenter des dangers et inconvénients graves et dans lesquelles est exigée la production de l'attestation prévue à l'article 22-2 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié ;
- les zones dites vertes dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance sont réputées ne pas présenter des dangers et inconvénients graves.

La méthodologie d'élaboration de la carte tient compte d'un ensemble de phénomènes pouvant être rencontré lors de la réalisation des travaux d'un forage géothermique ou lors de l'exploitation du gîte géothermique. Les conséquences considérées peuvent être d'ordre :

- géologique causant notamment en surface, des désordres sur la solidité des bâtiments situés au voisinage du forage, ou la dégradation des échangeurs géothermiques ouvrages mis en place ;
- environnemental notamment par la dégradation ou la pollution des eaux souterraines.

Les phénomènes retenus par la méthodologie sont un à un cotés selon des niveaux établis puis hiérarchisés selon des facteurs dits aggravants afin d'aboutir à la carte répertoriant les trois zones mentionnées ci-dessus.

La carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance est disponible sous : www.geothermie-perspectives.fr. La première carte, appelée carte initiale dans le présent document, est entrée en vigueur le 1^{er} juillet 2015. Par la suite, cette carte peut être révisée selon les conditions fixées par l'arrêté relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance. La carte révisée doit apporter plus de précision en matière de connaissance et de localisation des phénomènes. Les niveaux d'aléas ou de susceptibilité attribués à chaque phénomène sont différents selon l'élaboration de la carte initiale et de la carte révisée.

Les personnes amenées à réaliser une carte des zones réglementaires de la géothermie de minime importance et à coter les phénomènes doivent prendre en considération que les travaux de forage sont effectués par des entreprises de forage qualifiées selon les règles de l'art respectant l'arrêté relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance.

La méthodologie présentée ci-après est le résultat d'une collaboration technique entre le BRGM (Division Géothermie et Directions régionales Alsace et Lorraine) et le CEREMA (DTER EST et DTER Île-de-France) pour répondre à une demande du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie.

La carte initiale ainsi que les cartes de l'Alsace et de la Lorraine ont été réalisées à partir de cette méthodologie.

Définitions

Aquifère : milieu souterrain, constitué de roches perméables et/ou fissurées ou fracturées. Ce milieu est suffisamment conducteur d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables.

Affaissement (progressif) : phénomène correspondant à une déformation souple, lente et progressive des terrains pour former, en surface, une dépression topographique, sans rupture cassante importante, présentant une allure de cuvette.

Aléa : l'aléa correspond à la probabilité qu'un phénomène donné se produise au cours d'une période de référence en atteignant une intensité qualifiable ou quantifiable. La caractérisation d'un aléa repose sur le croisement entre une intensité prévisible du phénomène avec sa probabilité d'occurrence.

Doublet géothermique : système d'exploitation géothermique sur nappe associant un puits de pompage et un puits de ré-injection. L'eau sortant de la pompe à chaleur est ré-injectée à une température inférieure (cas d'un système de chauffage) ou supérieure (refroidissement – climatisation) à celle de l'aquifère.

Échangeur géothermique ouvert : échangeur géothermique dont le fluide caloporteur circule en circuit ouvert avec les aquifères du sous-sol.

Échangeur géothermique fermé : échangeur géothermique horizontal, vertical ou hybride fonctionnant en circuit fermé. Un fluide caloporteur circule à l'intérieur des tubes, pour prélever ou restituer l'énergie du sous-sol par conduction.

Effondrement localisé (ou fontis) : phénomène qui se traduit en surface par l'apparition soudaine d'un cratère d'effondrement dont l'extension horizontale varie généralement de quelques mètres à quelques dizaines de mètres.

Effondrement généralisé (ou effondrement en masse) : phénomène qui se manifeste par la rupture souvent dynamique (brutale) de la surface sur une superficie pouvant atteindre plusieurs hectares. La surface effondrée est souvent bordée de failles verticales.

Évaporites : appelées aussi roches évaporitiques. Ce sont des roches sédimentaires constituées de minéraux ayant précipité à la suite d'une augmentation de leurs concentrations dans une saumure ; par exemple : gypse, anhydrite, sel gemme, potasse, etc.

Fluide caloporteur : un fluide caloporteur est un fluide chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température. Il est généralement composé d'un mélange eau-antigel.

Géothermie de minime importance : exploitation de l'énergie géothermique destinée au chauffage par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur. Cette géothermie peut aussi être dénommée « Géothermie de très basse énergie ».

Géothermie basse température : exploitation de l'énergie géothermique destinée au réseau de chauffage urbain par transfert de chaleur direct.

Géothermie haute température : exploitation de l'énergie géothermique destinée à la production d'électricité par alimentation d'une turbine par de la vapeur.

Nappe : volume d'eau contenu dans une formation rocheuse.

PAC (pompe à chaleur) : dispositif thermodynamique qui prélève la chaleur présente dans un milieu (air, eau ou terre) pour la transférer vers un autre (ex : un logement à chauffer).

Piézométrie : surface de la nappe pour une nappe libre et pression hydraulique pour une nappe captive (s'exprime en mètres comme une cote).

Sonde géothermique verticale (SGV) : échangeur géothermique vertical très basse énergie qui prélève, par conduction, de la chaleur emmagasinée dans le sous-sol et la restitue aux locaux au moyen d'une PAC.

Susceptibilité (ou probabilité d'occurrence) : désigne la possibilité, éventuellement quantifiée sous la forme d'une probabilité, d'occurrence d'un phénomène donné.

Acronymes

AEP : Alimentation en Eau Potable

BASOL : Base de données sur les Sites et sols pollués ou potentiellement pollués, appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif.

BASIAS : Base des Anciens Sites Industriels et Activités de Service

BDCavités : Base de données nationale sur les cavités souterraines

BD Lisa : Base de Données sur les Limites des Systèmes Aquifères

BDmvt : Base de données nationale sur les mouvements de terrain

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

BSS : Banque de données du Sous-Sol

DDT : Direction Départementale des Territoires

CEREMA : Centre d'Études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

MEDDE : Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

NAEP : Nappes à Réserver pour l'Alimentation en Eau Potable

PAC : Pompe A Chaleur (voir également lexique)

- PPR** : Plan de Prévention des Risques
SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SGV : Sonde Géothermique Verticale (voir également lexique)
SIG : Système d'Information Géographique
SUP : Servitude d'Utilité Publique

4 - Principes généraux

La géothermie de minime importance, encore appelée géothermie de très basse température, permet d'échanger de l'énergie avec le sous-sol, présente au sein de la terre ou d'une nappe d'eau souterraine afin de la restituer dans un bâtiment à l'aide d'une pompe à chaleur.

La géothermie est encadrée réglementairement par le code minier qui considère les gîtes renfermés dans le sein de la terre comme des mines.

4.1 - Échangeur géothermique fermé

Les capteurs géothermiques, pouvant être des corbeilles ou des sondes géothermiques verticales (SGV), sont des échangeurs thermiques verticaux qui échangent de la chaleur du sol par conduction thermique le long d'un forage.

L'échange énergétique avec le sol s'effectue au niveau du système géothermique. Celui-ci est constitué des éléments de l'espace annulaire, du matériau permettant la circulation du fluide caloporteur et du fluide en lui-même.

Un fluide caloporteur, de composition variable, circule au sein de tuyauteries disposées dans un forage dont l'espace annulaire est comblé par un coulis spécifique.

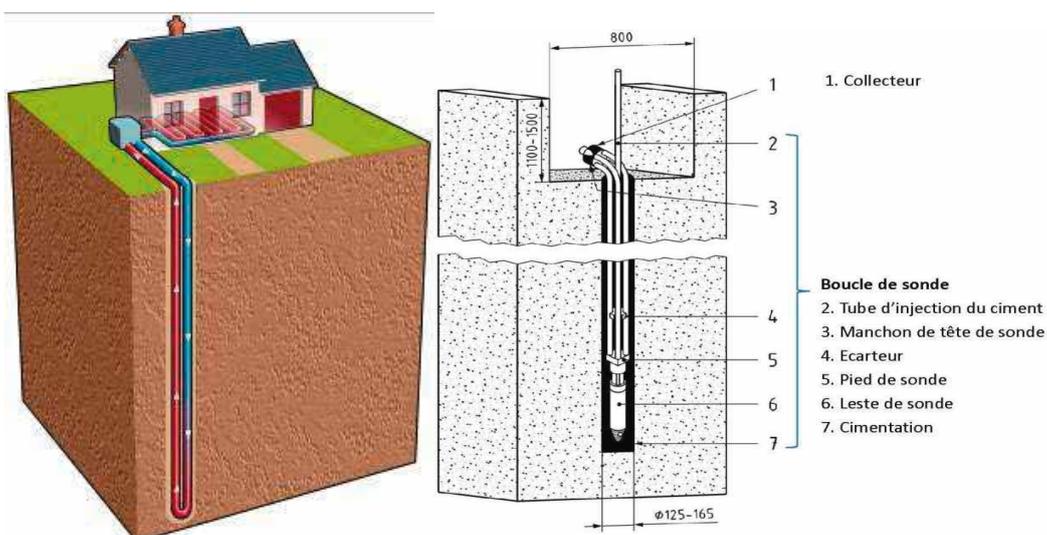


Figure 1 : échangeur géothermique fermé (sondes géothermiques verticales)

4.2 - Échangeur géothermique ouvert

Cette géothermie est aussi appelée géothermie sur aquifère ou doublet géothermique. Elle consiste à prélever de l'eau d'une nappe souterraine à partir du puits de prélèvement, la faire circuler à travers la pompe à chaleur puis la réinjecter dans un second puits, le puits de réinjection. L'activité géothermique à l'aide d'un échangeur ouvert induit une variation thermique locale sur la nappe.

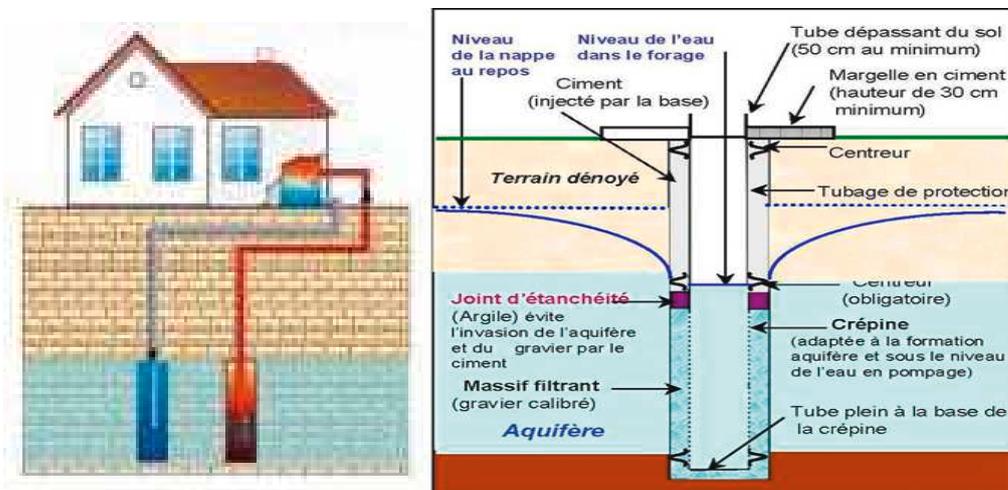


Figure 2 : échangeur géothermique ouvert (géothermie sur nappe)

5 - Réglementation applicable à la géothermie de minime importance

5.1 - Le code minier

La géothermie est classée par le code minier sous quatre catégories dites :

- géothermie de haute température. Il s'agit de l'exploitation des gîtes dont la température de leurs eaux, mesurée en surface est supérieure à 150 °C;
- géothermie de basse température. Il s'agit de l'exploitation des gîtes dont la température de leurs eaux, mesurée en surface est inférieure ou égale à 150 °C;
- géothermie de minime importance. Cette dernière appartient à la géothermie basse température mais se distingue par des technologies et des moyens plus légers mis en œuvre pour exploiter la ressource thermique. Les critères de la géothermie de minime importance sont définis dans le paragraphe II de l'article 3 du décret n°78-498 du 28 mars 1978 modifié. Les conditions de mise en œuvre sont précisées dans

le décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains.

- géothermie de surface, située à moins de 10 mètres de profondeur. Les installations répondent aux conditions de l'article 2 du décret n° 78-498 du 28 mars 1978 modifié.

Les critères de la géothermie de minime importance sont :

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

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

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

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

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

5.2 - Les réglementations territorialisées à prendre en considération

Les forations envisagées dans le cadre de la géothermie de très basse température puis l'exploitation de l'ouvrage induisent la prise en compte de certaines précautions au regard des enjeux et des risques présents dans le sous-sol. Les réglementations notamment sur certaines zones du territoire sont à prendre en compte. Il s'agit en particulier de respecter les prescriptions sur les zones à proximité de captages d'eau potable, d'eau minérale, les zones mentionnées dans les SDAGE et les SAGE ainsi que les périmètres qui disposent de servitudes d'utilité publique encadrant l'utilisation du sol et du sous-sol.

Les réglementations, non exhaustives, décrites ci-après sont indépendantes de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Elles devront être prises en compte lors de la réalisation d'un forage de géothermie.

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

5.2.1 - Protection des captages d'alimentation en eau potable

a) Afin de préserver la ressource en eau potable, des périmètres de protection sont définis autour des captages d'alimentation en eau potable. Des prescriptions particulières sont requises pour encadrer les activités susceptibles d'altérer la ressource. L'objectif est de réduire les risques de pollutions ponctuelles et accidentelles. Les différents périmètres de protection de captage sont définis par l'article L. 1321-2 du code de la santé publique et ont été rendus obligatoires pour tous les ouvrages de prélèvement d'eau d'alimentation depuis la loi sur l'eau du 3 janvier 1992.

Sur la base d'une étude du contexte hydrogéologique (et/ou hydrologique) fournie par la collectivité, les périmètres de protection sont délimités après avis d'un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique. La délimitation de ces périmètres et les prescriptions adoptées, afférentes aux différents périmètres, sont fixées après enquête publique par un arrêté préfectoral de déclaration d'utilité publique. L'instruction administrative de cette procédure est assurée par les Agences régionales de santé (ARS). Ils sont définis à trois échelles correspondant à trois niveaux de protection :

- le périmètre de protection immédiate : site clôturé proche du captage appartenant à une collectivité publique, dans la majorité des cas. Tous les travaux, installations, activités, dépôts, ouvrages, aménagement ou occupation des sols y sont interdits hormis ceux relatifs à l'exploitation et à l'entretien de l'ouvrage de prélèvement de l'eau et au périmètre lui-même et précisés explicitement dans la déclaration d'utilité publique.

- le périmètre de protection rapprochée : secteur plus vaste pour lequel toute activité susceptible de provoquer une pollution y est interdite ou réglementée (soumise à prescription particulière : construction, dépôts, rejets...). Son objectif est de prévenir la migration des polluants vers l'ouvrage de captage ;
- le périmètre de protection éloignée : facultatif, ce périmètre est créé si certaines activités sont susceptibles d'être à l'origine de pollutions importantes. Ce secteur correspond généralement à la zone d'alimentation du point de captage, voire à l'ensemble du bassin versant.

En janvier 2014, 68,8 % des captages bénéficiaient d'une protection formalisée par une DUP soit 80,2 % du volume d'eau prélevé à l'échelle nationale.

L'arrêté préfectoral d'autorisation de prélèvement et d'institution des périmètres de protection fixe les servitudes de protection opposables au tiers par déclaration d'utilité publique (DUP). Il conviendra donc de se reporter aux arrêtés de mise en place des périmètres de protection de captage pour identifier d'éventuelles contraintes à la réalisation de dispositifs géothermiques. La réalisation de forages est toujours interdite dans le périmètre de protection immédiat. Il est fréquent que les forages géothermiques soient interdits dans le périmètre de protection rapprochée.

b) Depuis la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006, la prise en compte des problématiques de pollutions diffuses s'est traduite par un dispositif complémentaire à celui précité. L'Aire d'Alimentation du Captage (AAC), correspondant aux surfaces contribuant à l'alimentation du captage par infiltration ou par ruissellement est définie et délimitée. Elle inclut a minima les différents périmètres précités. Les dispositifs de protection de la ressource complémentaires s'articulent avec ceux déjà existants, de manière cohérente. Ce dispositif est posé et encadré par les articles L. 211-1 et suivants du code de l'environnement.

	Périmètre de protection immédiate et rapprochée	Aire d'alimentation
Base juridique	Article L. 1321-2 et R. 1321-13 du code de la santé publique	Article L.211-3-5 de la loi sur l'eau et les Milieux Aquatiques / Article R. 114-1 et R. 144-5 du code rural
Etendue	Généralement quelques hectares	Généralement plus vaste que celle du PPC
But	Protection contre les pollutions ponctuelles et accidentelles	Lutte contre les pollutions diffuses
Moyens d'action	Prescriptions et indemnisations	Programme d'actions (financé au besoin les premières années)
Application	Systématique et obligatoire pour tous les captages	A l'initiative du préfet qui à la possibilité de rendre les mesures de protection obligatoires dans le cadre d'un dispositif ZSCE

Distinctions réglementaires et pratiques entre Périmètres de Protection et Aire d'Alimentation

La réalisation de forages géothermiques devra tenir compte également de ces zones et des arrêtés associés.

5.2.2 - Protection des eaux minérales

Le périmètre de protection est institué en vertu des articles L. 1322-3 à L. 1322-13 du Code de la Santé publique autour d'une source d'eau minérale déclarée d'intérêt public, en vue d'éviter toute altération ou diminution de cette source. Il s'agit d'un périmètre à l'intérieur duquel :

- aucun sondage, aucun travail souterrain ne peuvent être pratiqués dans le périmètre de protection d'une source d'eau minérale naturelle déclarée d'intérêt public, sans autorisation préalable délivrée par le représentant de l'État dans le département ;
- à l'égard des fouilles, tranchées pour extraction de matériaux ou tout autre objet, fondations de maisons, caves ou autres travaux à ciel ouvert, le décret mentionné à l'article L. 1322-13 qui fixe le périmètre de protection peut exceptionnellement imposer aux propriétaires l'obligation de faire, au moins un mois à l'avance, une déclaration au représentant de l'État dans le département qui en délivre récépissé ;
- les autres activités, dépôts ou installations de nature à nuire directement ou indirectement à la qualité des eaux peuvent également être soumis à autorisation ou à déclaration par le décret mentionné à l'article L. 1322-13 instituant le périmètre de protection ;
- les travaux, activités, dépôts ou installations précités et entrepris, soit en vertu d'une autorisation régulière, soit après une déclaration préalable, peuvent, sur la demande du propriétaire de la source, être interdits par le représentant de l'État dans le département.

5.2.3 - Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE)

Le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux est un document de planification décentralisé définissant, pour une période de six ans, les grandes orientations pour une gestion équilibrée de la ressource en eau ainsi que les objectifs de qualité et quantité des eaux à atteindre à l'échelle des grands bassins hydrographiques. Le SDAGE actuel s'étend de 2010 à 2015. Ce document a une portée juridique qui s'impose aux décisions administratives en matière de police des eaux, notamment l'instruction des déclarations et autorisations administratives (rejets, urbanisme...). De plus, plusieurs autres documents de planification (schémas de cohérence territoriale, plans locaux d'urbanisme, schémas départementaux des carrières...) doivent leur être compatibles ou rendus compatibles dans les 3 ans.

L'atteinte du « bon état » en 2015 fixé par la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) est un des objectifs généraux, sauf exemptions (reports de délai, objectifs moins stricts) ou procédures particulières (masses d'eau artificielles ou fortement modifiées, projets répondant à des motifs d'intérêt général) dûment motivées dans le SDAGE.

Il détermine aussi les aménagements et les dispositions nécessaires pour prévenir la détérioration et assurer la protection et l'amélioration de l'état des eaux et des milieux aquatiques, afin de réaliser les objectifs environnementaux, ainsi que les sous-bassins hydrographiques pour lesquels un SAGE (cf paragraphe 2.2.4) devra être réalisé.

Un certain nombre de documents d'accompagnement complètent, à titre informatif, le SDAGE et permettent notamment de replacer celui-ci dans le cycle de gestion :

- une présentation synthétique relative à la gestion de l'eau à l'échelle du bassin ;
- une présentation des dispositions prises en matière de tarification de l'eau et de récupération des coûts afin de contribuer à la réalisation des objectifs du SDAGE ;
- le résumé du programme de mesures ;
- le résumé du programme de surveillance ;
- le dispositif de suivi destiné à évaluer la mise en œuvre du SDAGE ;
- un résumé des dispositions prises pour l'information et la consultation du public ainsi que la déclaration environnementale prévue à l'article L.122-10 du code de l'environnement ;
- une note d'évaluation du potentiel hydroélectrique à l'échelle du bassin hydrographique ;
- un document relatif aux eaux souterraines.

Les SDAGEs sont plus ou moins précis selon les cas, mais tous demandent de porter une attention particulière d'une part à l'équilibre entre les prélèvements et les capacités de renouvellement des masses d'eau souterraines, et/ou d'autre part à l'absence d'introduction de polluants et de préserver l'isolation des nappes traversées entre elles et vis-à-vis notamment des inondations et des ruissellements de surface. Ainsi, que ce soit dans le cadre de préoccupations quantitatives ou qualitatives, les SDAGEs donnent des recommandations qui avec leur traduction dans les SAGEs impacteront les possibilités ou pas d'implantation de forages géothermiques.

5.2.4 - Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)

Le schéma d'aménagement et de gestion des eaux est un document de planification de la gestion de l'eau à l'échelle d'une unité hydrographique cohérente (bassin versant, aquifère,...). Il fixe des objectifs généraux d'utilisation, de mise en valeur, de protection quantitative et qualitative de la ressource en eau et il doit être compatible avec le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux.

Le SAGE est un document élaboré par les acteurs locaux (élus, usagers, associations, représentants de l'État, ...) réunis au sein de la commission locale de l'eau (CLE). Ces acteurs locaux établissent un projet pour une gestion concertée et collective de l'eau.

Dans le prolongement du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), il décline au niveau d'un bassin versant (eaux superficielles) ou d'une nappe d'eau souterraine, les actions et moyens à mettre en œuvre pour gérer et garantir au mieux les usages de l'eau.

Du point de vue de sa nature juridique, le SAGE, tout comme le SDAGE, est un acte réglementaire qui présente quatre caractéristiques :

- il est opposable à l'administration (État, collectivités locales, établissements publics...);
- il est également opposable aux tiers, depuis la nouvelle Loi sur l'eau adoptée le

30 décembre 2006. Cela signifie que les modes de gestion, les projets ou les installations d'un tiers doivent être conformes au règlement du SAGE. En cas de non-respect, les contrevenants pourront être verbalisés ;

- il ne crée pas de droit, mais fixe des objectifs généraux en termes de qualité des eaux, de gestion de la ressource (aspect quantitatifs), de préservation des milieux naturels et de gestion du risque d'inondation, ainsi que des priorités pour les atteindre ;
- ses objectifs généraux s'imposent à l'administration de manière plus ou moins forte selon que celle-ci intervient dans le domaine de l'eau et de l'aménagement du territoire ou non.

Lorsqu'il est situé à l'intérieur du périmètre d'un SAGE, un prélèvement d'eau à usage géothermique doit être compatible avec les objectifs généraux et le règlement de celui-ci (art. L. 212-5-2 du Code de l'Environnement). Le règlement d'un SAGE peut limiter localement (voire interdire) l'usage géothermique des eaux souterraines.

Les documents en lien avec les SAGE sont consultables sur le site internet gesteau.eaufrance.fr.

5.2.5 - Périmètres de protection des stockages souterrains de gaz naturel, d'hydro-carbures liquides, liquéfiés ou gazeux

Certains secteurs font l'objet de contraintes réglementaires en raison de structures souterraines particulières comme les stockages souterrains de gaz ou des installations souterraines et devront donc être pris en compte. Des servitudes d'utilité publique relatives à l'usage du sol et du sous-sol sont instaurées à proximité de ces stockages souterrains.

5.2.6 - Servitudes d'utilité publique prévues par l'article L. 515-12 du code de l'environnement

Des servitudes peuvent être instituées au titre du L. 515-12 du code de l'environnement concernant l'utilisation du sol et du sous-sol. Ces servitudes peuvent être instituées sur des terrains pollués par l'exploitation d'une installation, sur l'emprise des sites de stockage de déchets ou dans une bande de 200 mètres autour de la zone d'exploitation, ou sur l'emprise des sites d'anciennes carrières ou autour de ces sites sur des surfaces dont l'intégrité conditionne le respect de la sécurité et de la salubrité publique ou dans le voisinage d'un site de stockage géologique de dioxyde de carbone.

Ces servitudes peuvent comporter la limitation ou l'interdiction des modifications de l'état du sol ou du sous-sol, la limitation des usages faits du sol et du sous-sol. Des prescriptions particulières pouvant aller jusqu'à l'interdiction de réaliser un forage sur un terrain donné peuvent être posées.

6 - Inventaire des phénomènes pouvant être rencontrés lors de la réalisation d'ouvrages de géothermie

Des phénomènes d'ordre géologique, hydrogéologique et environnemental peuvent apparaître suite la réalisation d'un forage géothermique de très basse température.

Le BRGM et le Cerema ont fait l'inventaire des phénomènes devant être pris en compte sur

la base de désordres connus ou redoutés causés par des forages réalisés pour l'exploitation de la ressource géothermique de minime importance.

L'inventaire réalisé est synthétisé dans le tableau ci-après.

Les phénomènes pouvant être rencontrés lors de la réalisation d'ouvrages de géothermie ont été recensés afin d'établir la méthodologie d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance.

Phénomène redouté	Définition du phénomène	Exemples d'incidents
Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques.	Affaissement voire effondrement ou surrection des terrains de surface lié soit à la dissolution d'un niveau d'évaporite, soit au gonflement de ce niveau en cas de présence d'anhydrite. Ces phénomènes sont provoqués par la mise en communication d'aquifères superficiels ou profonds avec les horizons évaporitiques à la faveur d'ouvrages souterrains mal réalisés ou difficilement réalisables dans ce contexte.	<p>Staufen (Allemagne) : 200 bâtiments présentent des désordres. La catastrophe a été déclenchée suite à la réalisation de 7 forages géothermiques à 140 m de profondeur en 2007. Une couche d'anhydrite a été mise en contact avec un aquifère profond ce qui a eu pour conséquence le gonflement des terrains de 1cm/mois (total de 26cm).</p> <p>Hilsprich (Moselle) : affaissement et désordres sur une quinzaine de maisons et sur les chaussées suite à la réalisation de deux sondes géothermiques verticales d'une centaine de mètres. Les désordres observés auraient pour origine la dissolution d'une couche de sel gemme de plus de 20 m d'épaisseur et située à moins de 100 m de profondeur.</p>
Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines).	Ces phénomènes pourraient être provoqués soit par la foration au cours de la mise en place du dispositif, soit sur toute la durée de vie du dispositif souterrain, par la mise en communication d'eau de surface ou d'aquifères avec les cavités à la faveur d'ouvrages souterrains mal réalisés ou difficilement réalisables dans ce contexte.	Bromley (Grande-Bretagne): affaissement et dégâts importants qui pourraient être dus à l'écoulement d'une formation sableuse dans une cavité karstique sous-jacente.
Affaissement/effondrement lié aux cavités minières : effondrements localisés (fontis) et généralisés et affaissements	De par leur brutalité, les effondrements localisés et généralisés sont susceptibles de mettre en péril la sécurité des personnes. Ils généreront donc un	

	<p>phénomène plus fort que les affaissements qui sont des phénomènes plus lents et qui n'induisent généralement qu'un risque économique en affectant les constructions. Dans le cadre d'un projet de géothermie basse température, la foration peut avoir des conséquences sur la tenue des terrains et ainsi provoquer des phénomènes d'affaissement/effondrement dans les zones concernées par des cavités minières. Ce phénomène pourrait donc être provoqué soit par la foration au cours de la mise en place du dispositif soit, sur toute la durée de vie de l'ouvrage, par la mise en communication d'eau de surface ou d'aquifères superficiels ou profonds avec les cavités à la faveur d'ouvrages souterrains mal réalisés ou difficilement réalisables dans ce contexte.</p>	
Mouvements de terrain (ou glissements de terrain).	<p>Les zones présentant les conditions géométriques et lithologiques favorables au glissement de terrain peuvent rester stables, en l'absence de déclencheur. En revanche, la foration au cours de la mise en place du dispositif de géothermie peut être un déclencheur de ce type de phénomène. Il en est de même pour la mise en communication avec des eaux superficielles ou souterraines ou le fluide caloporteur. Un tel phénomène est donc susceptible d'être initié par la foration ou l'exploitation géothermique.</p>	
Pollution des sols et des nappes	<p>Pollution des sols et des nappes par infiltration de polluants depuis la surface ou mise en contact d'aquifères plus profonds avec des aquifères plus superficiels potentiellement pollués. Ce phénomène pourrait être provoqué soit par la foration au cours de la mise en place du dispositif, soit en cas de défaut d'étanchéité du trou de forage, sur toute la durée de vie de l'ouvrage, par l'infiltration de polluants depuis la surface ou la</p>	<p>La Saussaye (Haute Normandie) : le transfert d'une pollution vers un aquifère inférieur.</p>

	mise en communication de nappes polluées avec des nappes plus profondes.	
Phénomène d'artésianisme	Remontée non maîtrisée de l'eau en surface pouvant entraîner des inondations.	Hauterive (Suisse) : Remontée d'eau en surface et entonnoir de dissolution.
Mise en communication d'aquifères	Écoulement de l'eau d'un aquifère dans un autre pouvant entraîner : - une dégradation de la qualité de l'eau dans un des aquifères si l'autre est pollué ou se caractérisant par une eau avec un faciès chimique différent ; - la baisse du niveau piézométrique d'une nappe pouvant entraîner des assèchements au sein des captages voisins, voire des désordres géotechniques ; - l'augmentation du niveau piézométrique d'une nappe superficielle pouvant entraîner une remontée d'eau à la surface.	Renningen (Allemagne) : assèchement de puits dû à l'écoulement d'un aquifère superficiel vers un aquifère inférieur. La Saussaye (Haute Normandie) : le transfert d'une pollution vers un aquifère inférieur.
Remontée de nappe	Lorsque le niveau piézométrique d'une nappe superficielle est proche de la surface, la réinjection d'eau est susceptible de provoquer localement une surcote pouvant entraîner une inondation des terrains en surface, voire une déstabilisation géotechnique.	

7 - Méthodologie de construction de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance

7.1 - Champ d'application

Ce guide est applicable dans le cadre de l'élaboration ou de la révision de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance à l'échelle nationale, régionale ou locale.

7.2 - Méthodologie générale

La méthodologie d'élaboration de la carte des zones réglementaires pour la géothermie de minime importance prend en considération les caractéristiques du sous-sol et des phénomènes pouvant être rencontrés lors de travaux de forage des échangeurs géothermiques de minime importance. Rappelons que les zones disposant de prescriptions spéciales au titre d'autres réglementations ne sont pas intégrées à cette méthodologie

mais s'imposent au maître d'ouvrage, à l'exploitant. Les phénomènes géologiques, hydro-géologiques et environnementaux (de type affaissement, mouvement de terrain, pollutions...) ont été identifiés. Pour chaque phénomène :

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

Les phénomènes pris en compte et la méthode de cotation de chacun peuvent différer selon le niveau de précision apporté à la carte. La carte initiale arrêtée par le ministre en charge de l'environnement considère l'intervalle de profondeur de 10-200 mètres.

Cette carte se compose de deux cartes : l'une pour un échangeur fermé, l'autre pour un échangeur ouvert.

Lors de chacune des révisions de ces deux cartes initiales, la connaissance et la localisation des phénomènes présents dans le sous-sol seront améliorées.

Les cartes révisées distinguent pour chaque type d'échangeur trois intervalles de profondeur : 10-50 mètres, 10-100 mètres, 10-200 mètres.

Dans cette perspective, la méthodologie de révision des deux cartes initiales a été appliquée pour deux régions pilotes : l'Alsace et la Lorraine. Les cartes ainsi révisées se composent en fait de six cartes différentes : trois cartes pour les intervalles de profondeur 10-50 mètres, 10-100 mètres, 10-200 mètres, chacune considérant les deux techniques d'exploitation.

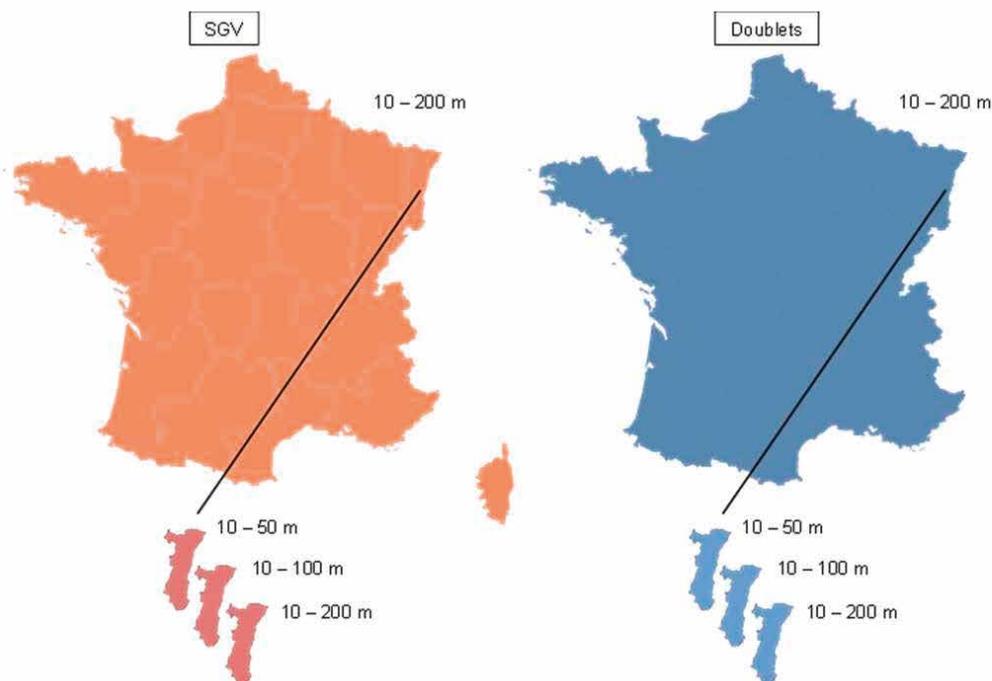


Figure 3 : cartes produites à l'échelle nationale et régionale (2 cartes initiales et 6 cartes révisées)

La méthodologie d'élaboration de la carte des zones 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 Système d'Information Géographique (SIG). Chacun des phénomènes identifiés est représenté par une couche spécifique au sein de l'outil SIG.

Les phénomènes retenus sont :

a) Pour chaque carte initiale, à l'échelle nationale :

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

b) Pour les cartes révisées, à une échelle plus locale :

- les phénomènes mentionnés ci-dessus
- les phénomènes précédents auxquels s'ajoute le phénomène de biseau salé pour les régions en bordure de mer ou océan

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

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

Les tableaux de synthèse avec les cotations proposées à chaque phénomène décrit dans l'analyse multicritère sont présentés ci-après. Ils sont repris en annexe 1.

Pour chaque carte initiale à l'échelle nationale (par type d'échangeur)

Phénomènes redoutés	Niveau aléa/ susceptibilité du phénomène	Facteur aggravant (doublet sur aquifère)	Facteur aggravant (SGV)	Niveau final (doublet sur aquifère)	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 (ou glissement de terrain)	0/1/2/3	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Pollution des sols et/ou 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	Somme	Somme
Classement en zone verte, orange ou rouge	Vert : [0 – 14]		Orange : [15 – 42]		Rouge : >42

Tableau 1 : récapitulatif des niveaux des phénomènes et des facteurs aggravants proposés pour la carte réglementaire nationale

Pour chaque carte révisée à une échelle plus locale, pour chaque type d'échangeur :

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 (ou glissement de terrain)	0/1/2/3/5/7	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Pollution des sols et/ou des nappes souterraines	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	0/1/4	4	4	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Remontée de nappe	0/1	2	0	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Biseau salé	0/1/4	4	0	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
			Niveau final	Somme	Somme
Classement en zone verte, orange ou rouge	Vert : [0 – 13]		Orange : [14 – 41]		Rouge : >41

Tableau 2 : récapitulatif des niveaux des phénomènes et des facteurs aggravants proposés pour la carte réglementaire régionale voire plus locale

La grille de précision des cartes est la maille (pixel) de 500 x 500 mètres pour la carte initiale à l'échelle nationale. Les cartes révisées pour des échelles régionales voire plus locales pourront utiliser un pixel de 500 x 500 mètres, 250 x 250 mètres ou 100 x 100 mètres.

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

- les zones « vertes » dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance sont réputées ne pas présenter de dangers et inconvénients graves ;

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

Il est rappelé qu'au-delà de la prise en compte de ces zones (vertes, orange, rouges), les périmètres, prescriptions fixés à l'échelle locale par d'autres réglementations relatives à l'usage du sol et du sous-sol s'imposent.

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

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

7.3 - Définitions des grilles de base pour la construction de la carte initiale

Une grille de base devant servir à l'ensemble des cartes a été définie au pas de 500 mètres pour l'ensemble de la France métropolitaine. Elle a été créée dans le système géodésique officiel en France, le réseau géodésique français 1993 (RGF93-Lambert93) qui répond à la directive INSPIRE. Les cartes révisées sont à construire à partir d'extraits de cette grille nationale (Figure 4). Le maillage de la carte révisée peut être subdivisé en pixels de 250 x 250 mètres ou 100 x 100 mètres.



Figure 4 : grille de base à l'échelle de la France métropolitaine 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 x 500 m.

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

a) Attribut « Maille » : de type entier long, correspondant à un identifiant unique attribué à chaque maille

- Pour une maille de de 500x500, l'identifiant se termine par 00
- Pour une maille de 250x250, l'identifiant commence comme celui de la maille de 500x500 correspondante et se finit par 40, 50, 60 ou 70
- Pour une maille de de 100x100, l'identifiant commence comme celui de la maille de 500x500 correspondante et se finit par 01, 02, ..., 25 ;

b) Attribut « Profondeur » : de type entier court. L'intervalle de profondeur est précisé (50, 100, 200) pour les cartes régionales ou locales. Pour la carte nationale il vaut -1 ;

c) Attribut « coordonnées X_RGF93 et Y_RGF93 » de type entier long. Ces coordonnées sont exprimées en mètre. Elles correspondent au centre de chaque maille dans le système RGF93-Lambert93 ;

d) Attribut « Altitude Z_NGF » de type entier court. Il correspond à l'altitude moyenne du sol au sein de la maille ; cette altitude est définie par rapport au NGF. Elle est exprimée en mètre avec une précision au mètre ;

e) 10 champs de type entier court correspondent aux dix phénomènes définissant un risque potentiel. Ces dix champs contiennent la valeur attribuée au niveau d'aléa associé :

- «evaporites » : phénomène d'affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques
- «cavite_nm» : phénomène d'affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines)
- «cav_min» : phénomène d'affaissement/effondrement lié aux cavités d'origine minière
- «MVT» : phénomène mouvements de terrain (glissement de terrain)
- «BASOL» : phénomène pollution des sols et/ou des nappes
- «artésien» : phénomène « artésianisme »
- «com_aquif» : phénomène de « mise en communication d'aquifères »
- «remontee» : phénomène de « remontée de nappe »
- «biseau_sal» : phénomène de « biseau salé en bordure de mer »
- « admin » : ce caractère binaire (soit 0, soit 1) pose le pixel considéré en zone rouge ou pas. La cotation 1 qui place le pixel en zone rouge est posée au regard du retour d'expérience ou de la connaissance locale, que dispose d'administration vis-à-vis des conséquences d'un forage géothermique de minime importance ou tout autre forage du sol et du sous-sol sur la zone. La réalisation d'un ouvrage de géothermie sur la zone est alors réputée présenter des dangers et inconvénients graves et ne peut pas bénéficier du régime de la minime importance prévu par l'article L. 112-3 du code minier ;

f) Attribut « Doublet » de type entier court. Ce champ correspond à la somme des niveaux d'aléa pondérés des facteurs aggravants pour la carte qui décrit les zones pour les échangeurs de type « doublet sur aquifère » ;

g) Attribut « SGV » de type entier court. Ce champ correspond à la somme des niveaux d'aléa pondérés des facteurs aggravants pour la carte qui décrit les zones pour les échangeurs de type « sonde géothermique verticale » ;

h) Attribut « cl_doublet » de type entier court. Ce champ présente la classification des zones réglementaires retenue pour la carte qui décrit les zones pour les échangeurs de type « doublet sur aquifère » (1=vert, 2=orange, 3=rouge) ;

i) Attribut « cl_sgv » de type entier court. Ce champ présente la classification des zones réglementaires retenue pour la carte qui décrit les zones pour les échangeurs de type « sonde géothermique verticale » (1=vert, 2=orange, 3=rouge).

8 - Méthodologie de construction de la carte révisée des zones réglementaires à l'échelle régionale ou locale

8.1 - Cadre réglementaire

L'arrêté relatif à la carte des zones réglementaires précise les modalités de révision de la carte.

8.2 - Mode opératoire

8.2.1 - Obtention des grilles de base

La grille de base décrite au paragraphe 4.3 sera obtenue après demande effectuée via le site <http://www.geothermie-perspectives.fr> (trois fichiers, pour les trois intervalles de profondeur, au format shapefile). Cette demande devra préciser l'emprise géographique de la zone à cartographier ainsi que la taille du pixel qui sera utilisée. Son format ne devra pas être altéré.

8.2.2 - Mises à jour du modèle numérique de terrain

Dans le cas d'une taille de pixel de 250 × 250 m ou 100 × 100 m, le modèle numérique de terrain (champ Z_NGF) devra être mis à jour.

8.2.3 - Création des cartes par phénomène dangereux ou redouté

- La méthodologie qui correspond à l'élaboration de la couche d'information pour chaque phénomène est décrite dans les fiches des phénomènes redoutés (chapitre 6).
- Tous les champs doivent être renseignés pour les trois intervalles de profondeur. Certains phénomènes (cavités, mouvements de terrain...) auront des valeurs identiques pour les trois intervalles de profondeur.
- Si les données qui correspondent à un phénomène ne permettent pas de gagner en précision par rapport à une carte déjà existante (à l'échelle nationale, régionale ou locale) en vigueur sur l'emprise géographique concernée, la cotation précédemment faite pour l'échelle concernée pour ce phénomène sera intégrée à la carte révisée.
- Les personnes qui réaliseront les futures cartes régionales et locales devront prendre en considération que les travaux de forage sont effectués par des entreprises de forage qualifiées selon les prescriptions techniques mentionnées par l'arrêté relatif aux prescriptions générales applicables à la géothermie de minime importance.

8.2.4 - Calcul de cotation et élaboration des zones

- Les notes finales par pixel doivent être calculées en fonction des facteurs aggravants du Tableau 2, à savoir :

« Doublet » = $evaporites*6+cavite_nm*2+cav_min*2+MVT*2+BASOL*3+artisien*2+com_aquif*4+remontee*2+biseau_sal*4$

« SGV » = $evaporites*10+cavite_nm*2+cav_min*2+MVT*2+BASOL*3+artisien*4+com_aquif*4$

- Les champs « cl_doublet » et « cl_sgv » doivent être ensuite calculés de la manière suivante :
 - 1 pour les zones vertes (score entre 0 et 13) ;
 - 2 pour les zones orange (score entre 14 et 41) ;
 - 3 pour les zones rouges (score supérieur ou égal à 42 et plus. Préciser la limite supérieure).
- La valeur de ces deux champs pour l'intervalle 10-100 m ne pourra être inférieure à celle calculée pour l'intervalle de profondeur 10-50 m. Leur valeur pour l'intervalle 10-200 m ne pourra être inférieure à celle de l'intervalle 10-50 m ni à celle de l'intervalle 10-100m.

8.2.5 - Rapport

Un rapport devra être fourni contenant :

- la description du travail effectué ;
- la documentation des sources de données utilisées ;
- la justification des éventuels écarts par rapport à la méthodologie ;
- les cartes pour chaque phénomène et chaque intervalle de profondeur considéré ;
- les cartes réglementaires finales (pour «doublet sur aquifère» et «sonde géothermique verticale» avec chacun des trois intervalles de profondeur considéré, soit six cartes).

8.2.6 - Fiche de synthèse

Chaque carte révisée mise en œuvre devra être accompagnée d'une fiche de synthèse permettant de justifier que la méthodologie proposée a bien été suivie. Le modèle de fiche à compléter est disponible en annexe 2.

La carte et la fiche de synthèse qui l'accompagne devront ensuite être validées selon les modalités prescrites par l'arrêté relatif à la carte des zones réglementaires avant de pouvoir être intégrées au site geothermie-perspectives.fr.

9 - Fiches des phénomènes redoutés

9.1 - Phénomène « Affaissement/Surrection lié aux niveaux d'évaporites et à la présence d'eau »

9.1.1 - Description du phénomène et occurrences

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

Il n'existe pas de cartographie des aléas liés à ce phénomène actuellement en France.

On connaît au moins deux exemples de désordres liés à des mouvements de terrain provoqués par la mise en communication d'aquifères avec des horizons évaporitiques.

Le premier est situé en Allemagne à Staufen (région de Fribourg en Brisgau) : 200 bâtiments du centre historique ont été fissurés. Ces désordres sont survenus suite à la réalisation de 7 sondes géothermiques en 2007. Ces travaux ont mis en contact une couche d'anhydrite et un aquifère profond captif. L'hydratation de l'anhydrite a provoqué le gonflement de l'ensemble du site à raison de quelques centimètres par mois et impactant tous les édifices et bâtiments qui se trouvaient à l'aplomb. Le coût des dommages est estimé à plus de 50 millions d'euros.

Le second est situé en Moselle à Hilsprich. Des désordres sont apparus sur une quinzaine de maisons environ un an après la réalisation de sondes géothermiques. Les études entreprises par le BRGM ont montré que le phénomène à l'origine des désordres est la reprise de la dissolution d'une couche de sel de plus de 20 m d'épaisseur et située à moins de 100 m de profondeur.

La dissolution a provoqué en surface une cuvette d'affaissement de plus de 1 km de long. La zone centrale s'est affaissée d'au moins 90 cm à une vitesse de l'ordre de 10 à 15 cm/an. Cet affaissement a provoqué le basculement de certaines maisons qui ne sont plus habitables, ainsi qu'une intense fissuration à la fois de maisons et des routes.

9.1.2 - Carte initiale identifiant le phénomène à l'échelle nationale

La carte initiale a été réalisée à partir des cartes géologiques au 1/50 000^e vectorisée. L'ensemble des polygones qui correspondent à des affleurements de formations géologiques susceptibles de contenir des évaporites a été utilisé, en tenant compte d'une zone tampon de sécurité de 2 000 m de manière à prendre en compte la possibilité de retrouver ces niveaux jusqu'à une profondeur de 200 m.

Niveaux d'aléa / de susceptibilité du phénomène:

- 0 : Pas de formation géologique susceptible de contenir des évaporites identifiée dans la tranche 10-200 m ;
- 3 : Présence d'une formation géologique susceptible de contenir des évaporites dans la tranche 10-200 m.

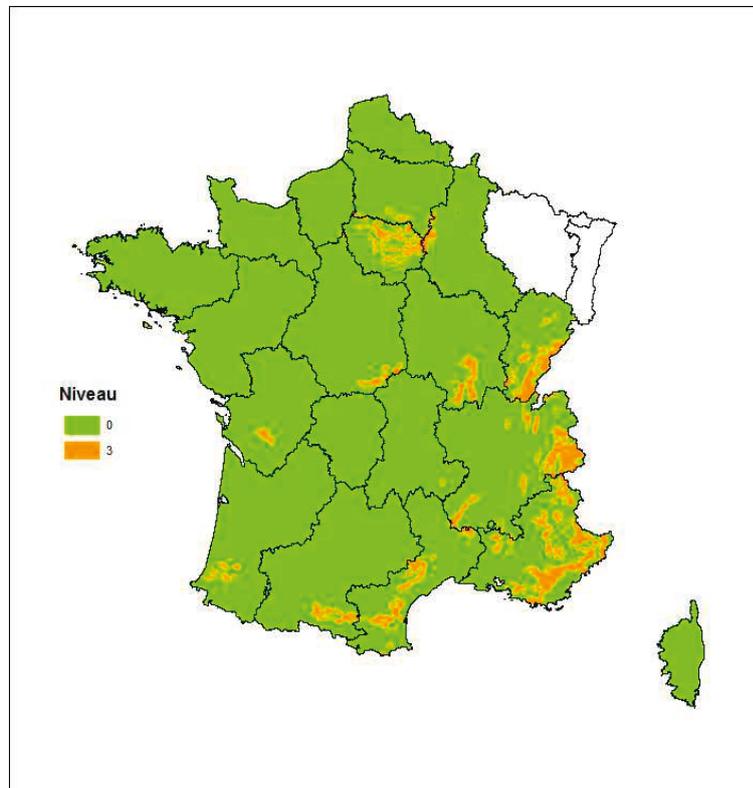


Figure 5 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques » à l'échelle nationale (à partir d'une carte réalisée au 1/50 000^e)

9.1.3 - Carte révisée : exemple sur les régions Alsace et Lorraine

Il n'existe pas de carte des aléas liés à ce phénomène actuellement dans les régions Alsace et Lorraine. En l'absence de carte, 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'informations 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 d'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 et/ou hydratés sont épais, plus les dégâts potentiels en surface seront importants.

Dans le cas de l'Alsace où la densité d'informations est moindre (voir ci-après), la différence entre les 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 par exemple du champ de fractures de Saverne où la complexité géologique, jointe à une densité d'informations 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 cartes régionales en Alsace et en Lorraine sont :

- la carte géologique harmonisée à l'échelle de 1/50 000^e (données vectorisées) ;
- la base de données issue des logs vérifiés de la BSS (LOGISO) pour connaître la profondeur des niveaux évaporitiques identifiés dans les couches numérisées de la BSS.

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 de niveaux géologiques 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 de niveaux géologiques contenant, au sein des termes du descriptif du niveau, 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 intervalle de profondeur (10-50m, 10-100m et 10-200m), l'épaisseur cumulée correspond à la somme des passes élémentaires dont la profondeur est incluse dans l'intervalle considéré. Si une couche d'évaporites massives se termine en dessous de la limite inférieure d'un intervalle, elle est considérée dans son épaisseur totale pour le cumul des épaisseurs.

Un jeu de données sur les puissances cumulées d'évaporites par intervalle 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.

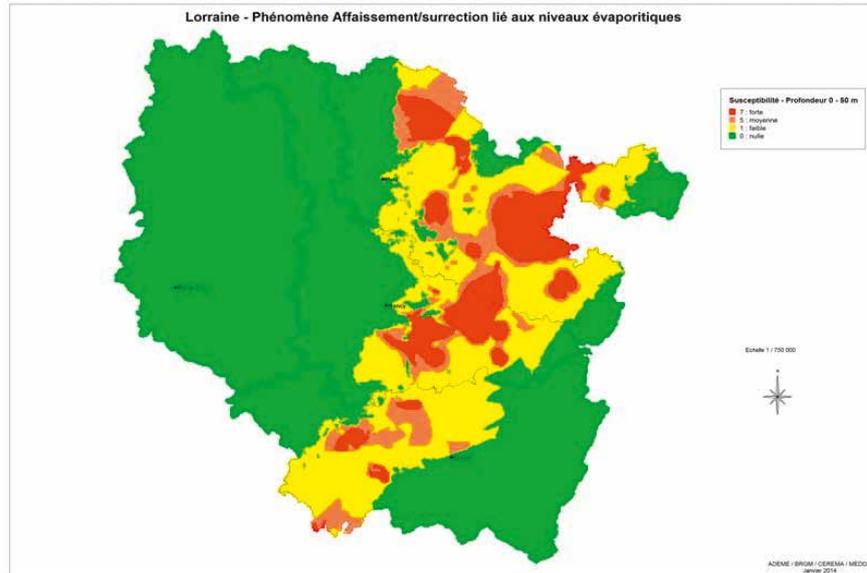


Figure 6 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques » en Lorraine pour une profondeur de 10 à 50 m

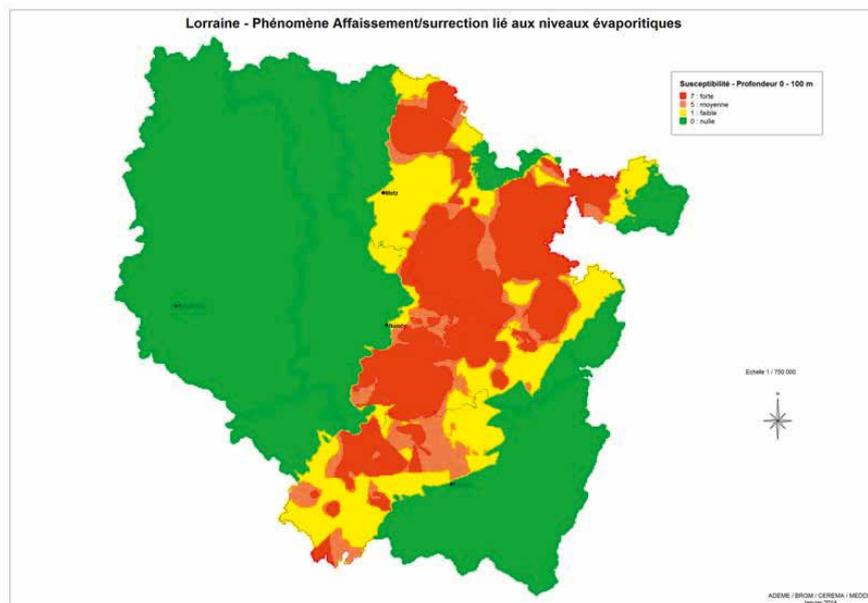


Figure 7 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques » en Lorraine pour une profondeur de 10 à 100 m

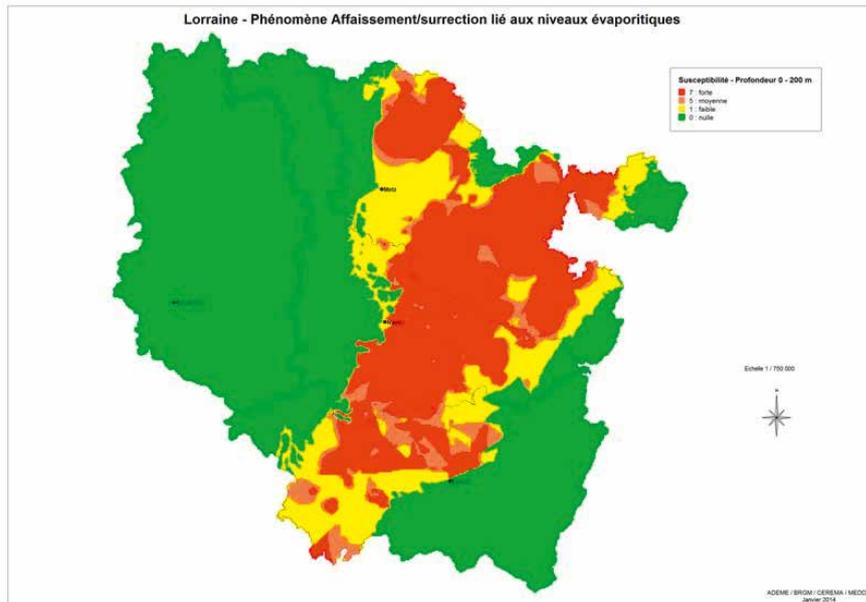


Figure 8 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/surrounding lié aux niveaux évaporitiques » en Lorraine pour une profondeur de 10 à 200 m

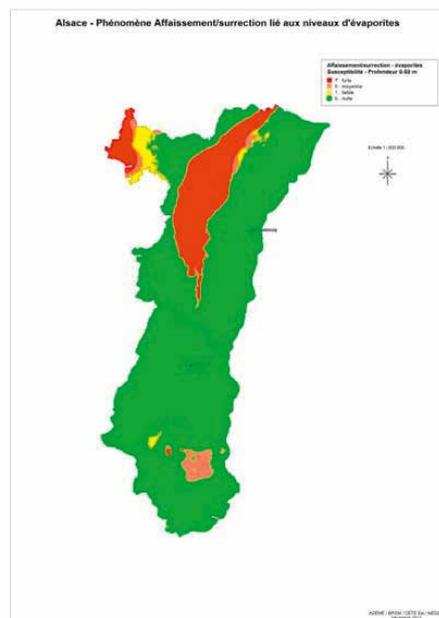


Figure 9 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/surrounding lié aux niveaux évaporitiques » en Alsace pour une profondeur de 10 à 50 m

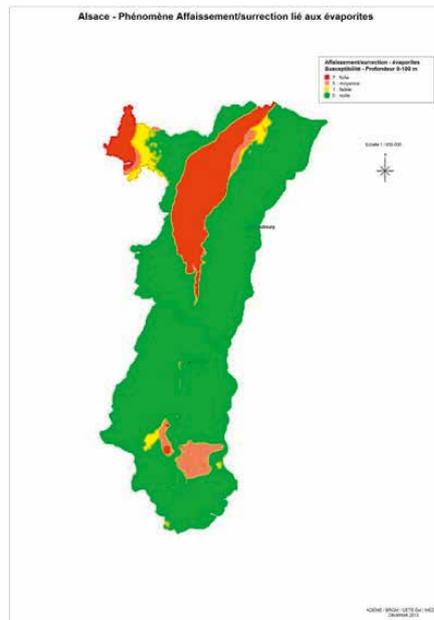


Figure 10 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques » en Alsace pour une profondeur de 10 à 100 m

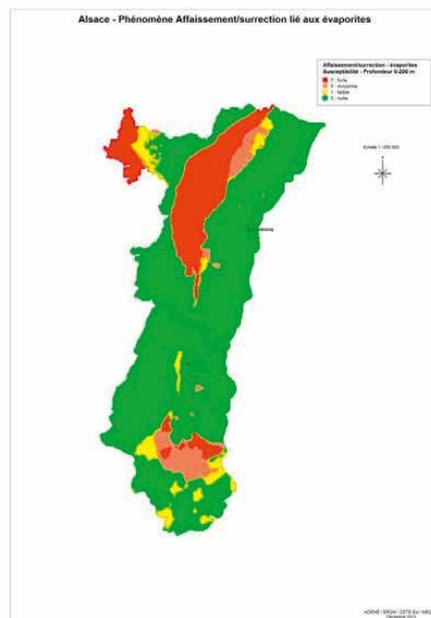


Figure 11: carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques » en Alsace pour une profondeur de 10 à 200 m

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

Susceptibilité	Nul	Faible	Moyen	Fort
Valeur du niveau d'aléa	0	1	5	7

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

9.2 - Phénomène « Affaissement/Effondrement » lié aux cavités (Hors mines)

9.2.1 - Description du phénomène et occurrences

Ces phénomènes d'affaissement ou d'effondrement pourraient être provoqués, soit par la foration au cours de la mise en place du dispositif, soit, sur toute la durée de vie de l'ouvrage, par la mise en communication d'eau de surface ou d'aquifères superficiels ou profonds avec les cavités à la faveur d'ouvrages souterrains mal réalisés ou difficilement réalisables dans ce contexte. Les cavités de dissolution des réseaux anciens (paléokarsts), potentiellement remplies de matériaux sans cohérence, sont aussi concernées (phénomène d'infiltration et de soutirage).

Il n'existe pas de carte de ce phénomène à l'échelle nationale actuellement en France. Localement, sans prise en compte de la spécificité de la géothermie et de ses interactions avec les cavités, des études ont pu être menées sur l'aléa « mouvements de terrain » lié aux cavités non minières au niveau départemental (toutes cavités dans le Loiret – Rapport BRGM/RP52491FR, 2003 –, cavités naturelles dans le Jura – pour l'instant sur une zone pilote représentant un tiers du département : Rapport BRGM/RP-59386-FR, 2011 –, atlas départementaux des risques de mouvements de terrain) ou au niveau communal (PPRN).

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

9.2.2 - Carte initiale identifiant le phénomène à l'échelle nationale

La base de données « BD Cavités » recense de façon homogène l'ensemble des cavités souterraines abandonnées hors mines en France métropolitaine. Elle a été utilisée pour réaliser cette carte, ainsi que les cartes géologiques au 1/50 000^e pour les formations géologiques susceptibles de contenir des cavités (karsts).

Niveaux d'aléa / de susceptibilité du phénomène:

- 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*500 mètres) ou présence d'une formation géologique susceptible d'en contenir
- 2 : Nombre de cavités recensées : entre 5 et 8 (pixel de 500*500 mètres)
- 3 : Nombre de cavités recensées > 8 (pixel de 500*500 mètres)

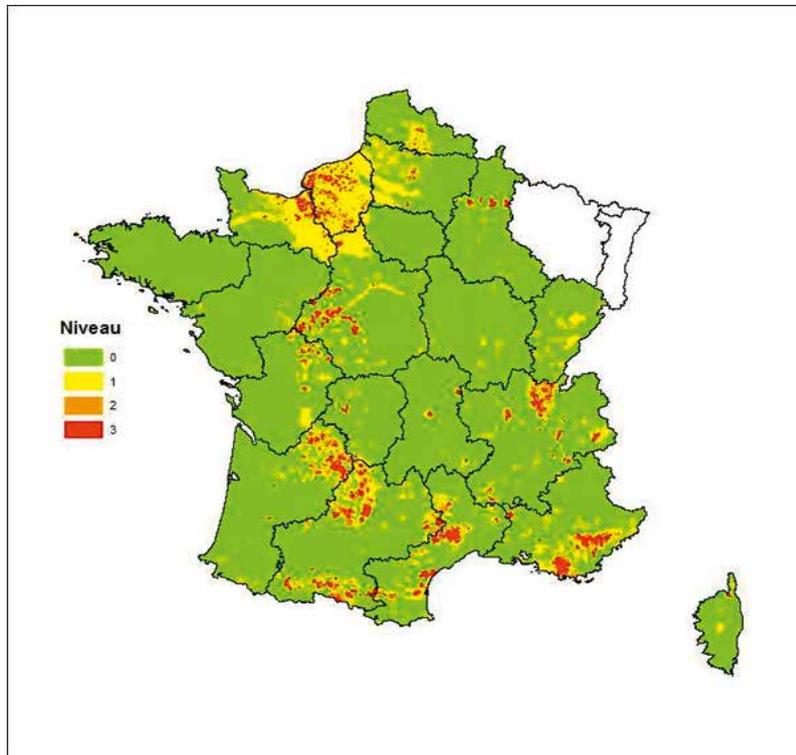


Figure 12 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) » à l'échelle nationale

9.2.3 - Carte révisée : exemple sur les régions Alsace et Lorraine

En présence d'une carte de l'aléa dans le territoire concerné par une révision, la qualification est la suivante :

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

En l'absence de carte, 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.

Les données qui ont été utilisées pour la carte des régions Alsace et Lorraine sont :

- la carte géologique harmonisée à échelle de 1/50 000^e (données vectorisées) ;
- la « BD Cavités » (Les enregistrements sont disponibles depuis le site <http://www.bdcavités.net/>. Les données peuvent être exportées au format csv).
- L'aléa « affaissement/effondrement » lié aux cavités est traduit sous la forme d'un cercle centré sur la position présumée de la cavité et de rayon égal à une zone d'influence prise de façon arbitraire à 50 m, augmentée de la précision de positionnement géographique associée.

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 : 10-200 m.

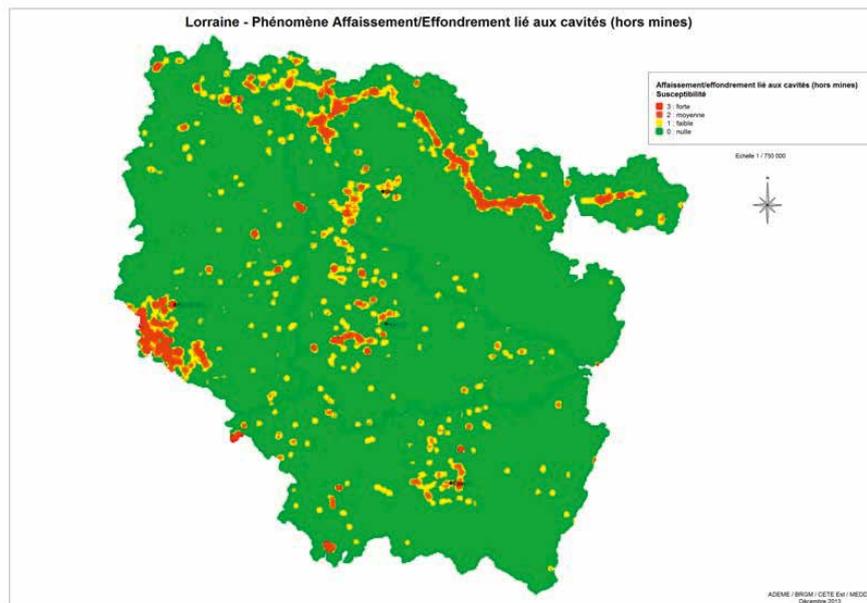


Figure 13 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) » en Lorraine

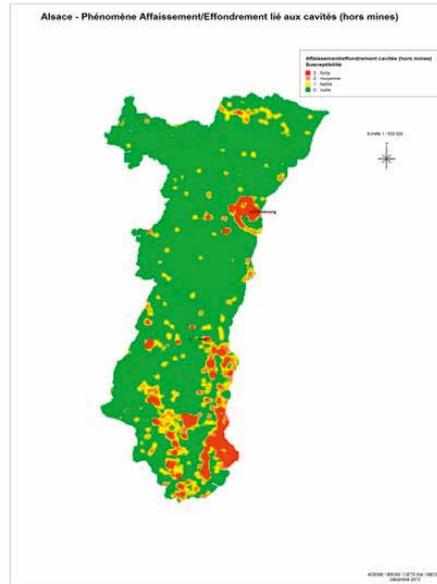


Figure 14 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) » en Alsace

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

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

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

9.3 - Phénomène « Affaissement/effondrement » lié aux cavités minières

9.3.1 - Description du phénomène et occurrences

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

Il n'existe pas de carte de ce phénomène à l'échelle nationale actuellement en France. Localement, sans prise en compte de la spécificité de la géothermie et de ses interactions avec les cavités minières, des études ont pu être menées sur l'aléa mouvements de terrain liés aux cavités minières au niveau des bassins et concessions miniers ou au niveau communal (PPRM). L'ensemble de ces études est effectué par le GIP Geoderis.

9.3.2 - Carte initiale

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. La carte présente les différents sites avec présence d'une exploitation minière avec les coordonnées X, Y du centroïde de l'exploitation avec un rayon d'influence de 5 km qui a été ajouté.

Niveaux d'aléa / de susceptibilité du phénomène :

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

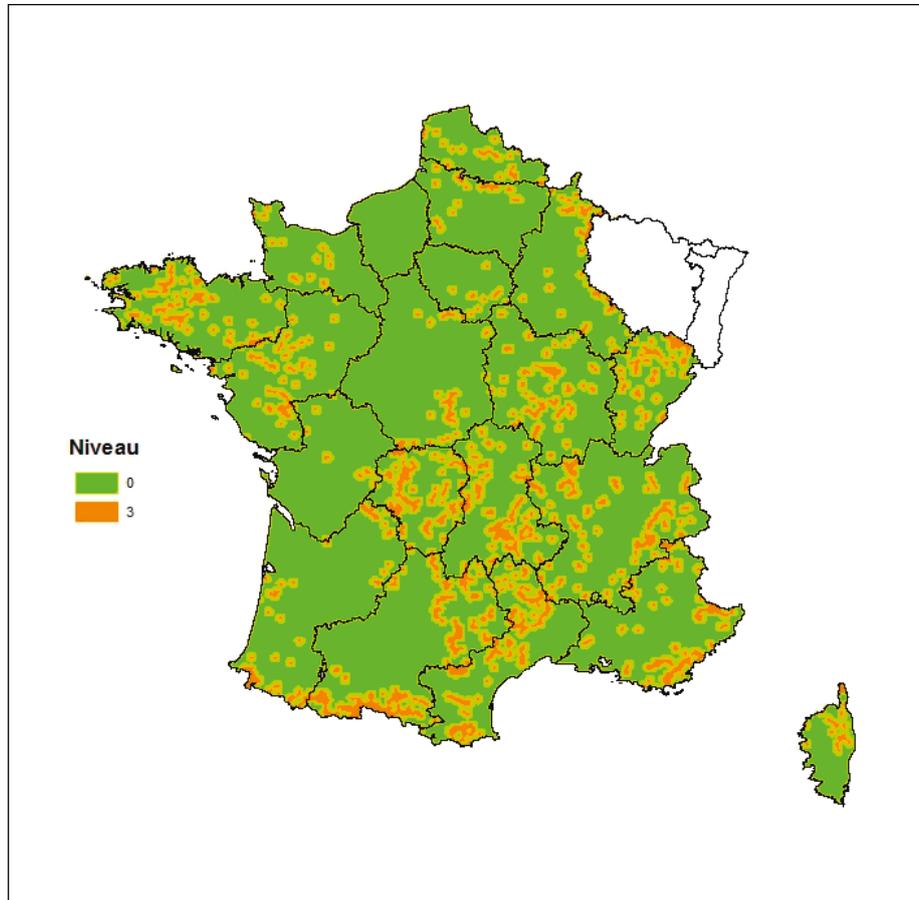


Figure 15 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/effondrement » lié aux cavités minières à l'échelle nationale

9.3.3 - Carte révisée – Exemple sur les régions Alsace et Lorraine

En région Lorraine et dans une moindre mesure en région Alsace, les grands bassins miniers tels que les bassins ferrifères et charbonniers en Lorraine et les bassins pétrolifères et salifères en Alsace ont fait l'objet de cartes de l'aléa mouvements de terrain. Pour les exploitations minières plus petites, il n'existe pas de carte 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 carte de l'aléa, la qualification du niveau d'aléa / de susceptibilité du phénomène est la suivante :

- **Niveau fort** : zone potentiellement concernée par des phénomènes d'effondrements localisés et généralisés en lien avec une exploitation minière passée ou actuelle.
- **Niveau moyen** : zone potentiellement concernée par des phénomènes d'affaissement progressif (phénomènes lents).
- **Niveau faible** : zones exploitées qui ne peuvent engendrer en surface que des mouvements résiduels de faible ampleur.
- **Niveau nul** : zones sans exploitations minières connues.

A noter que les phénomènes de type « fontis » (niveau fort) ne seront pris en compte que sur la tranche de profondeur 10-50 m.

Les autres phénomènes seront pris en compte sur la tranche de profondeur 10 à 200 m.

En l'absence de carte existante 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 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 probabilité 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 le GIP GEODERIS et consultables sur le site internet de la DREAL ;
- les données de la base Sigmines des « Mines et exploitations » gérée par le BRGM (<http://sigminesfrance.brgm.fr/>).

Concernant les données de la base « 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. La probabilité d'occurrence du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières » a été cartographiée pour 3 gammes de profondeur : 10-50m, 10-100m, 10-200m.

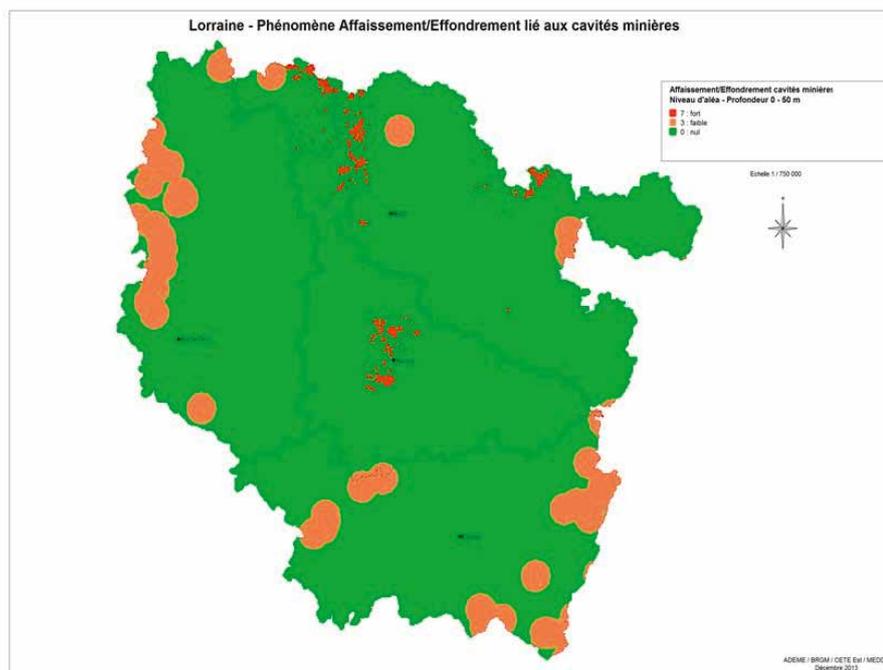


Figure 16 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités minières » en Lorraine pour une profondeur de 10 à 50 m

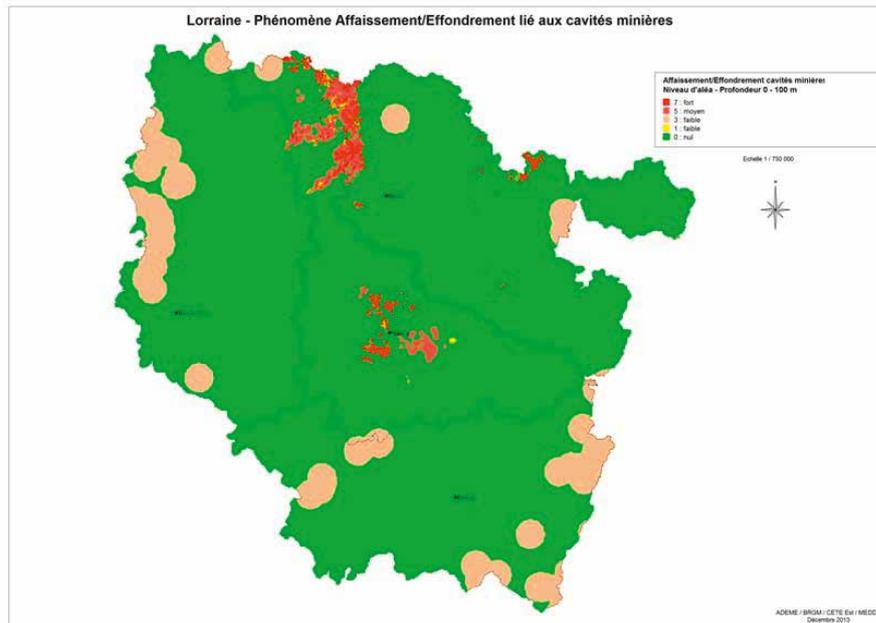


Figure 17 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités minières » en Lorraine pour une profondeur de 10 à 100 m

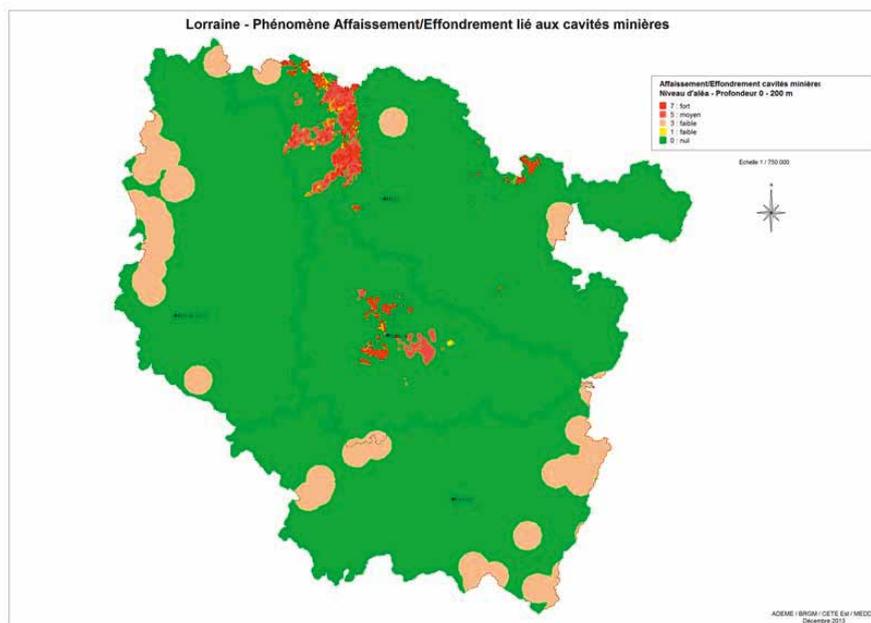


Figure 18 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités minières » en Lorraine pour une profondeur de 10 à 200 m

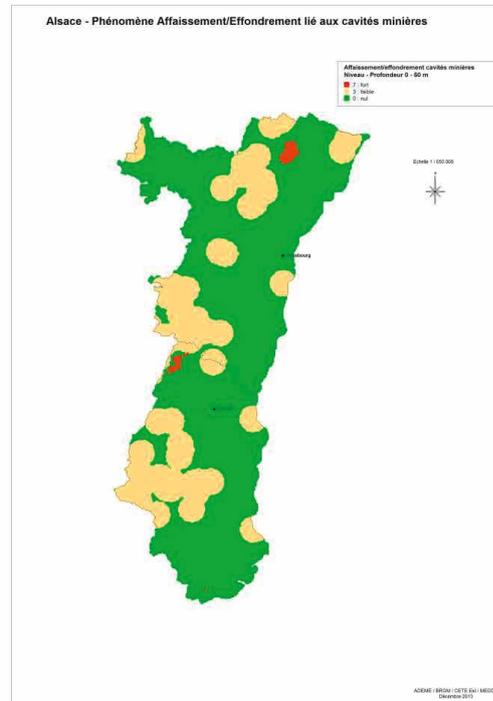


Figure 19 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Alsace » pour une profondeur de 10 à 50 m

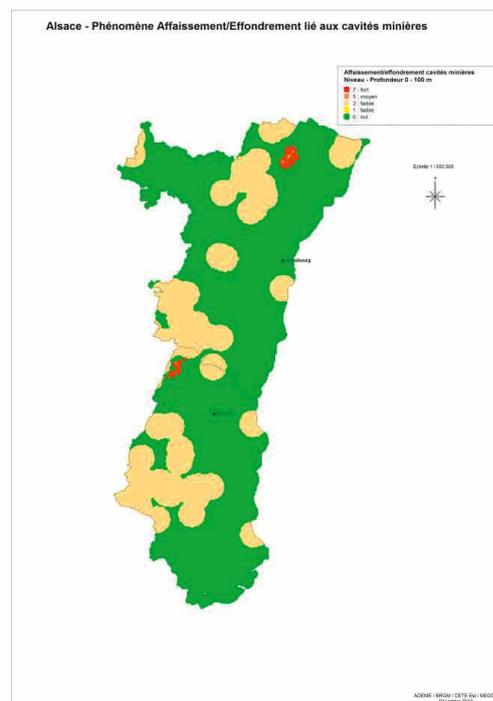


Figure 20 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Alsace » pour une profondeur de 10 à 100 m.

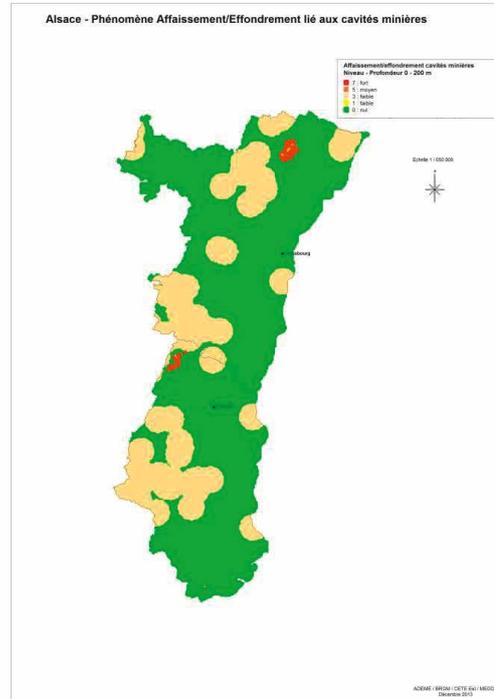


Figure 21 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités minières en Alsace » pour une profondeur de 10 à 200 m.

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

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

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

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

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

9.4 - Phénomène « Mouvements de terrains de type glissement »

9.4.1 - Description du phénomène et occurrences

Le phénomène décrit ici correspond au glissement de terrain. Les zones présentant les conditions géométriques et lithologiques nécessaires au déclenchement d'un phénomène de type glissement de terrain peuvent rester stables, en l'absence d'un déclencheur du processus. En revanche, la foration au cours de la mise en place du dispositif de géothermie peut être un déclencheur de ce type de phénomène. Il en est de même pour la mise en communication avec des eaux superficielles ou souterraines ou, le fluide caloporteur. Un tel phénomène est donc susceptible de se produire durant la foration ou durant l'exploitation géothermique.

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

9.4.2 - Carte initiale

La qualification du phénomène est basée sur les données de la Base de données des mouvements de terrain, BDMVT, sur le nouveau portail Géorisques (www.georisques.gouv.fr/dossiers/mouvements-de-terrain). La base de données BDMVT gérée par le BRGM 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 d'aléa / de susceptibilité du phénomène:

- **0** : pas de mouvement de terrain recensé dans la base de données (pixel 500*500m);
- **1** : 1 à 4 glissements de terrain recensés (pixel 500*500m) ;
- **2** : 5 à 8 glissements de terrain recensés (pixel 500*500m) ;
- **3** : plus de 8 glissements de terrain recensés (pixel 500*500m) ;

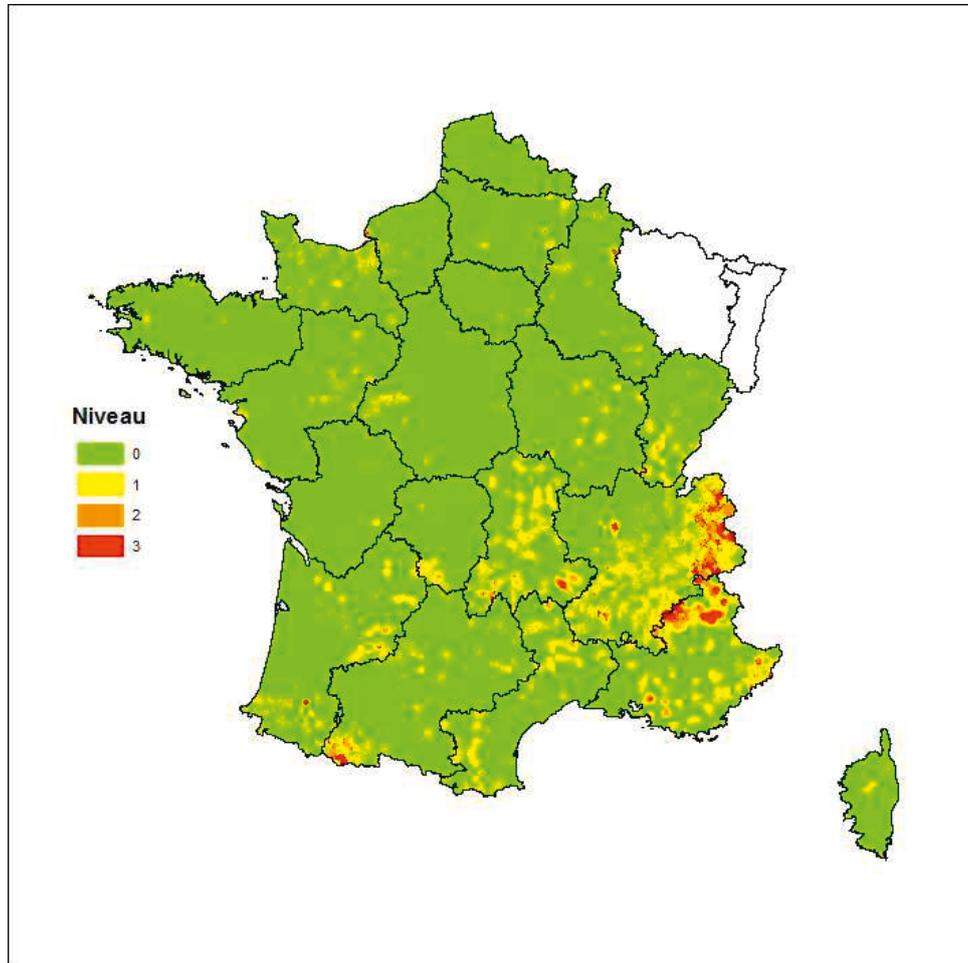


Figure 22 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « mouvement de terrain (glissement) » à l'échelle nationale.

9.4.3 - Carte révisée – Exemple sur les régions Alsace et Lorraine

En région Lorraine comme en région Alsace, certaines communes ou groupes de communes ont fait l'objet d'une carte 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 carte 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 carte de l'aléa, le phénomène est qualifié en fonction de la probabilité d'occurrence. Elle est basée sur la densité de mouvements de terrain recensés dans un pixel de 500 m par 500 m

- Probabilité d'occurrence forte : plus de 8 glissements recensés (pixel 500*500m)
- Probabilité d'occurrence moyenne : 5 à 8 glissements recensés (pixel 500*500m)
- Probabilité d'occurrence faible : 1 à 4 glissements recensés (pixel 500*500m)
- Probabilité d'occurrence nulle : pas de mouvement de terrain recensé (pixel 500*500m).

Données utilisées à l'échelle régionale

Dans les deux régions Alsace et Lorraine, ont été utilisées les cartes d'aléa des glissements de terrain ainsi que les données de la base relative aux mouvements de terrain : la BDMVT. Les données peuvent maintenant se trouver sur le portail Géorisques (<http://www.georisques.gouv.fr/>).

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 de 100 mètres, augmentée de la précision de positionnement géographique initial du phénomène décrit.

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

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

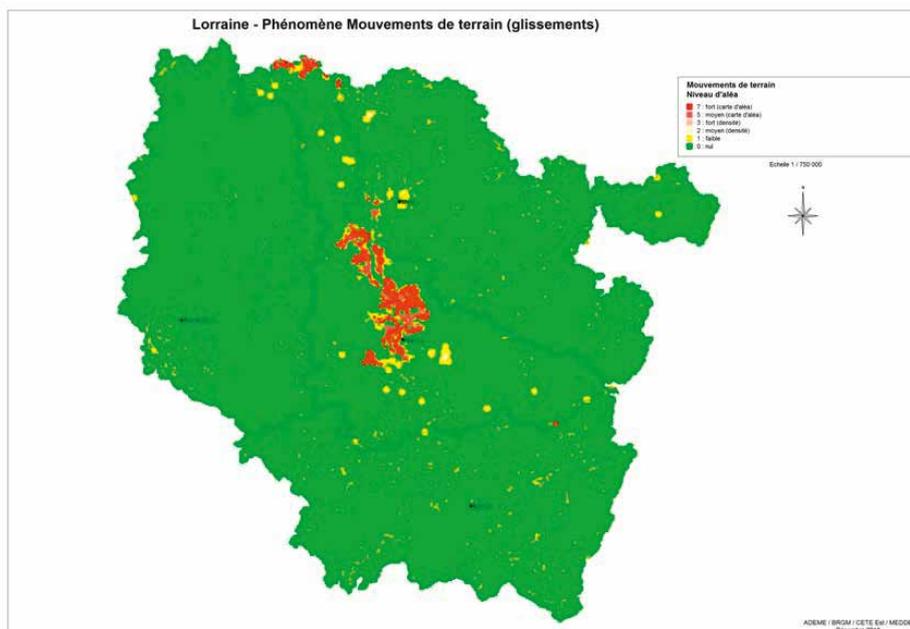


Figure 23 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « mouvement de terrain de type glissement » en Lorraine



Figure 24 : carte des niveaux d'aléa du phénomène « mouvement de terrain de type glissement » en Alsace

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

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

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

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

A noter : les problèmes de retrait-gonflement des formations argileuses de surface et de gonflement des formations profondes ne sont pas pris en compte et il ne paraît pas pertinent de le faire.

9.5 - Phénomène de « Pollution des sols et des nappes d'eau souterraines »

9.5.1 - Description du phénomène et occurrences

Le phénomène « Pollution des sols et des nappes par infiltration de polluants depuis la surface ou mise en contact d'aquifères avec des nappes polluées » est décrit dans ce paragraphe.

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

9.5.2 - Carte initiale

Au niveau national, seuls les sites et sols pollués issus de BASOL ont été utilisés pour la carte. Les pondérations propres à caractériser les niveaux d'aléa sont définies selon différentes informations obtenues par la base BASOL transmise par le ministère en charge de l'environnement.

Une distinction est faite sur le type de polluants en considérant de façon plus importante les sites avec des polluants non métalliques à l'exception du mercure. Les pollutions sont listées dans quatorze colonnes respectives « polluants sols et nappe » et « polluants nappes » :

- Hg (mercure) ;
- Sulfates, Chlorures, Ammonium ;
- BTEX, Hydrocarbures, TCE, HAP, PCB, PCT ;
- Solvants halogénés et Solvants non halogénés ;
- Produits phytosanitaires ;

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

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

Les sites classés comme :

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

n'ont pas été retenues (511 points).

Niveaux d'aléa / de susceptibilité du phénomène :

- 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 pollution très importantes non encore cartographiées ou non validées, par exemple dans la vallée du Rhône et dans les régions PACA, Alsace ...

Sur environ 5 000 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. 3 000 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.

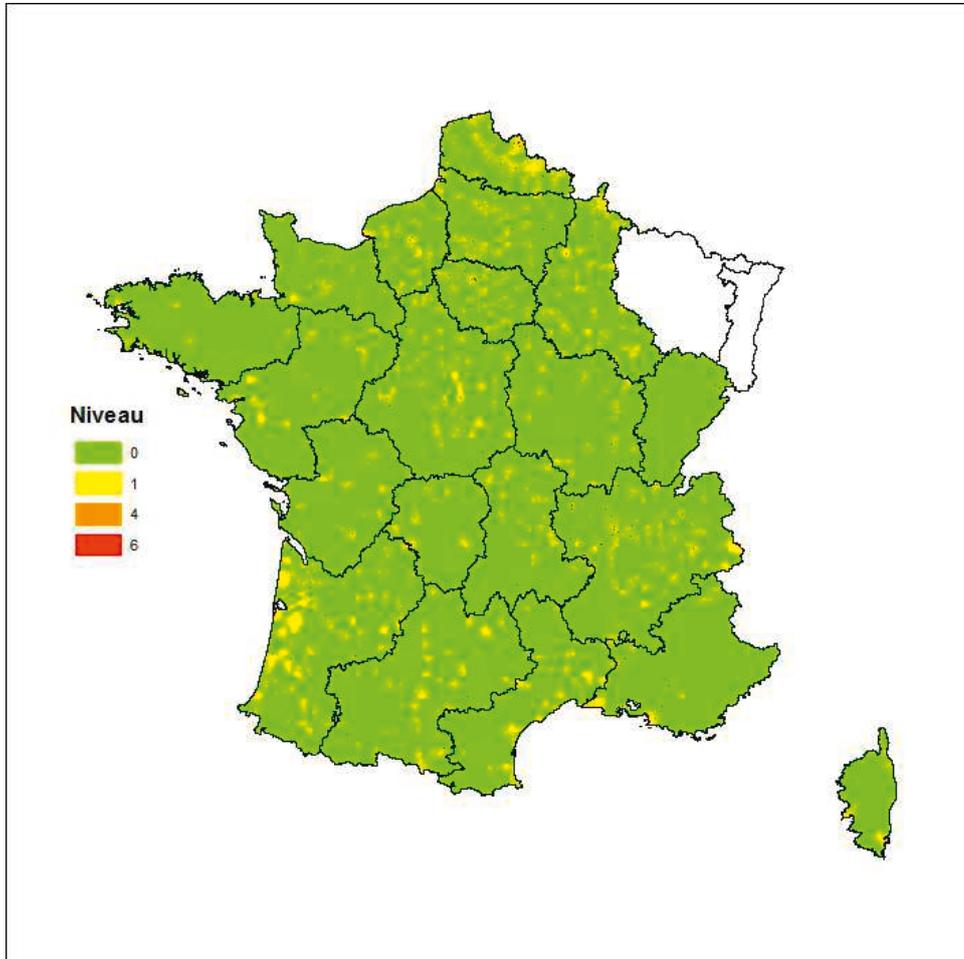


Figure 25 : carte des niveaux d'aléa du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines à l'échelle nationale

9.5.3 - Carte révisée

9.5.3.1 – Données issues de la base de données BASOL - Exemple de l'Alsace et de la Lorraine

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.

Dans la région Alsace, des données complémentaires, comme par exemple les panaches de pollution de la nappe d'Alsace associés aux COHV, pollution au droit de la Communauté Urbaine de Strasbourg (étude de l'ONAP), ont été intégrées. Une zone tampon de 500 m a été tracée autour de la localisation ponctuelle fournie pour chaque site BASOL, pour inclure d'éventuels panaches de pollution.

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

- **Susceptibilité forte** : présence d'un site identifié dans BASOL et présence d'aquifère dans la tranche de profondeur considérée ;

- **Susceptibilité moyenne** : présence d'un site identifié dans BASOL et absence d'aquifère dans la tranche de profondeur considérée ;
- **Susceptibilité nulle** : pas de site BASOL répertorié dans la base.

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

- **Susceptibilité très forte** : présence d'un panache de pollution (pollution avérée de la nappe et cartographiée)

Données utilisées à l'échelle régionale :

Pour la pollution avérée ou suspectée a été utilisée, dans les régions Alsace et 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 pollution des eaux souterraines n'ont été cartographiés qu'en région Alsace. Les données proviennent soit de publications sur les panaches aux COHV ou autres polluants, soit d'études réalisées par le BRGM (dans le cadre par exemple du suivi des langues salées du Bassin potassique) soit d'études du GIP GEODERIS (exemple du panache de pollution du site de Pechelbronn).

Pour identifier la présence d'aquifères, le référentiel hydrogéologique BD-LISA (Base de données des Limites des Systèmes Aquifères) qui fournit les contours des entités hydrogéologiques françaises a été utilisé ainsi que les logs vérifiés de la BSS et les modèles géologiques et hydrogéologiques locaux.

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

Dans la région Lorraine, la probabilité d'occurrences du phénomène « pollution des sols et des nappes souterraines » a été cartographiée pour 3 intervalles de profondeur : 10-50m, 10-100m, 10-200m. Dans la région Alsace, en raison de l'absence de données sur la profondeur des aquifères, elle n'a été cartographiée que pour l'intervalle de profondeur 10-200 m.

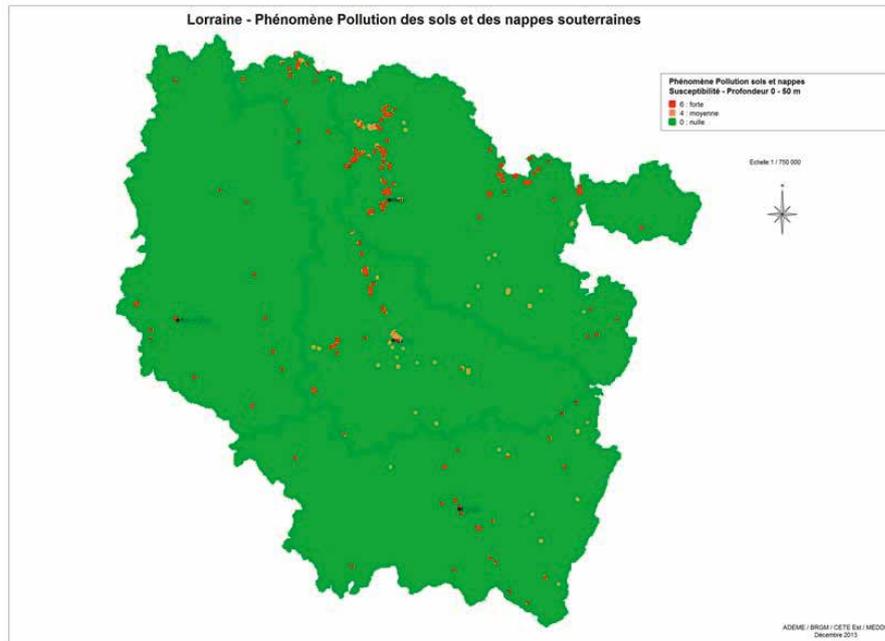


Figure 26 : carte des niveaux d'aléa du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 50 m

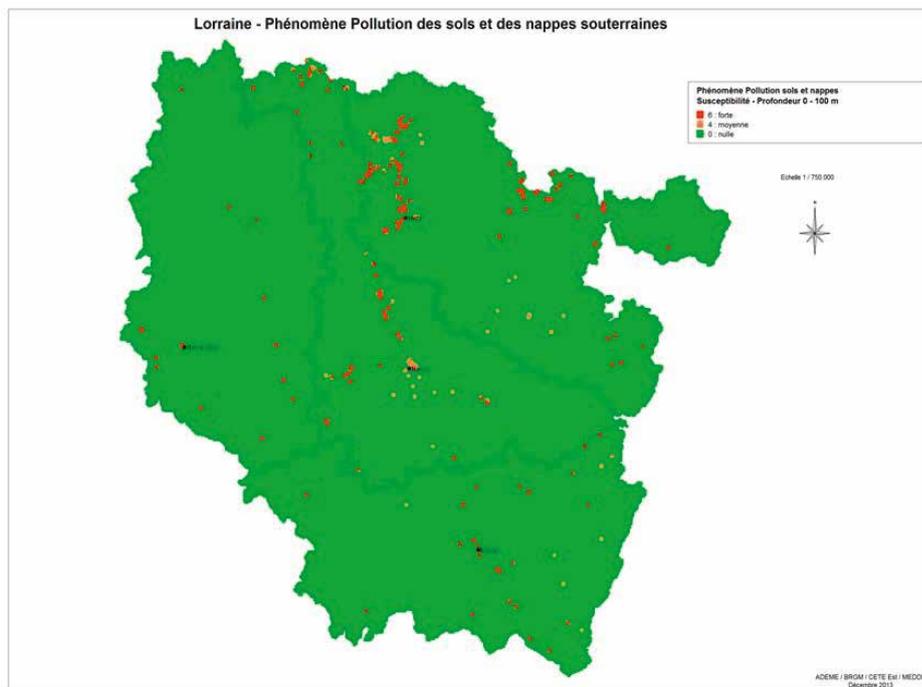


Figure 27: carte des niveaux d'aléa du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 100 m

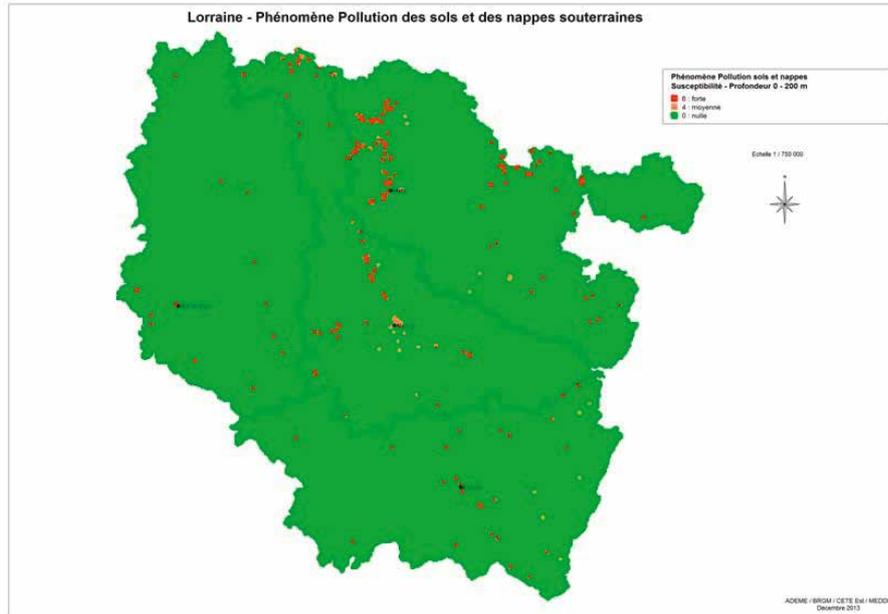


Figure 28 : carte des niveaux d'aléa du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines en Lorraine pour une profondeur jusqu'à 200 m



Figure 29 : carte des niveaux d'aléa du phénomène pollution des sols et des nappes souterraines en Alsace

Pour établir la carte réglementaire, chaque niveau de susceptibilité a été affecté d'une valeur reflétant la probabilité d'occurrence du phénomène. Cette valeur 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.

Niveaux aléa/ susceptibilité du phénomène	Nul	moyen	Fort	Très fort
Valeur du niveau d'aléa à partir de BASOL	0	4	6	-
Valeur du niveau d'aléa à partir de panaches de pollutions cartographiées				10

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.

9.5.3.2 – Données issues des secteurs d'information sur les sols (SIS) prévus par l'article L. 125-6 du code de l'environnement

Lorsque des secteurs d'information sur les sols ont été élaborés, cette donnée renseignant sur la connaissance de la pollution des sols est privilégiée au regard de celle donnée par la base de données BASOL.

Pour attribuer le niveau de susceptibilité du phénomène « Pollution des sols et des nappes d'eau souterraines », il est pris en compte les paramètres suivants :

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

Pour établir la carte réglementaire, chaque niveau de susceptibilité a été affecté d'une valeur reflétant la probabilité d'occurrence du phénomène :

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

Pour les niveaux aléa/ susceptibilité du phénomène :

(1) Faible (4) Moyen (6) Fort (10) Très fort

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.

9.6 - Phénomène artésianisme

9.6.1 - Phénomène redouté

Définition de l'artésianisme : aptitude d'un aquifère captif à permettre la remontée d'eau spontanée par des ouvrages (puits, forages). Cette remontée d'eau en surface peut ainsi entraîner des écoulements d'eau sur le sol, et/ou une déstabilisation d'une formation superficielle. L'aquifère concerné a ainsi une surface piézométrique située au-dessus de la surface du sol. Il n'existe pas de carte à l'échelle nationale de ce phénomène actuellement en France.

9.6.2 - Carte initiale

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

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

Niveaux d'aléa / de susceptibilité du phénomène:

- **0** : pas d'aquifère artésien connu à moins de 200 m de profondeur ;
- **3** : présence d'un aquifère ayant un niveau piézométrique connu pour être supérieur à la surface du sol à moins de 200 m de profondeur.

Certains atlas des potentiels géothermiques comportent des données piézométriques permettant d'identifier des secteurs à risque d'artésianisme. Il s'agit à la date de la rédaction de ce rapport des régions suivantes :

- Aquitaine (données issues des modèles hydrogéologiques Nord Aquitain (MONA V3.3) et Sud Adour Garonne (MSAG V1) ;
- Centre (les données disponibles ne concernent que les aquifères d'une profondeur inférieure à 100 m) ;
- Midi-Pyrénées (plus spécifiquement pour l'aquifère des Sables Inframolassiques) ;
- Picardie ;
- Nord-Pas-de-Calais (les données disponibles ne concernent que les aquifères d'une profondeur inférieure à 100 m) ;

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

- Centre avec les données de la nappe de Beauce sous la Sologne ;

- Poitou-Charentes avec les données issues du Modèle Crétacé (du Campanien jusqu'au Jurassique supérieur).

Lorsque cela n'est pas le cas, une requête à partir de la Banque du Sous-Sol a été utilisée pour faire apparaître les indices ponctuels d'artésianisme observés :

- Le champ « Nature » de l'ouvrage en BSS, intègre un de ces deux items : 'FORAGE-ARTESIEN', 'PUITS-ARTESIEN', ou alors dont le champ « Adresse-Lieudit » contient le mot 'ARTESIEN'. Cela représente 570 points. Tous ces points ont été retenus, bien que dans certaines régions (par exemple en Bretagne) de nombreux points dits « artésiens » ne le sont pas, une partie des agriculteurs et des foreurs de la région ayant l'habitude d'appeler tout forage d'eau « puits artésien ».
- Dans la BSS Eau ou dans ADES, lorsque des chroniques piézométriques présentent des données de niveau d'eau avec des profondeurs relatives proches de la surface (valeurs négatives = au-dessus de la surface), elles ont été identifiées et extraites. Une requête a été réalisée avec comme critère au moins une mesure négative de profondeur sur un point d'eau.

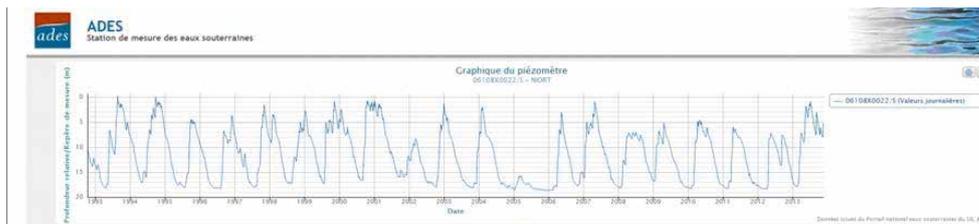


Figure 30: exemple d'une chronique piézométrique avec une profondeur de la nappe proche de la surface (Source : ADES)

- Dans la banque de données BSSEAU, les données ponctuelles sur les points d'eau AEP, qui précisent :
 - o « Artésien » dans le champ « Mode de gisement » (140 points d'eau concernés) ;
 - o « Captif » dans le champ « Mode de gisement » pour des points d'eau définis dans le champ « Nature » comme « Source » (55 points d'eau concernés).

Pour la carte, 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 seul point identifié.

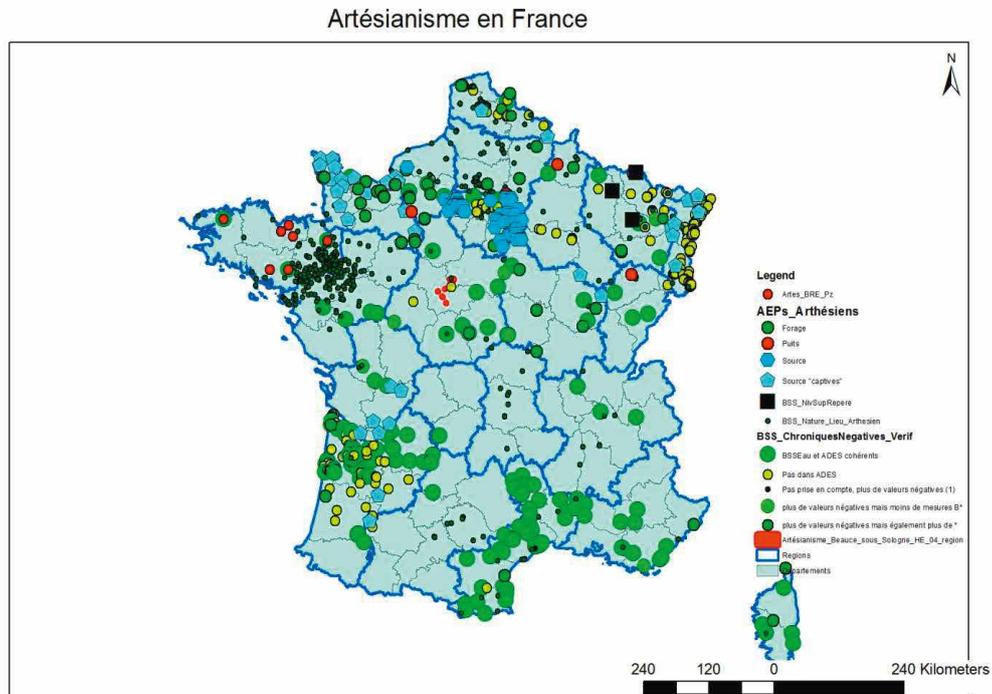


Figure 31 : indications ponctuelles d'artésianisme

De nombreuses zones ne sont pas couvertes par des données de surface (issues de modèles) ou des données ponctuelles (points d'eau). L'aléa n'est ainsi que partiellement renseigné.

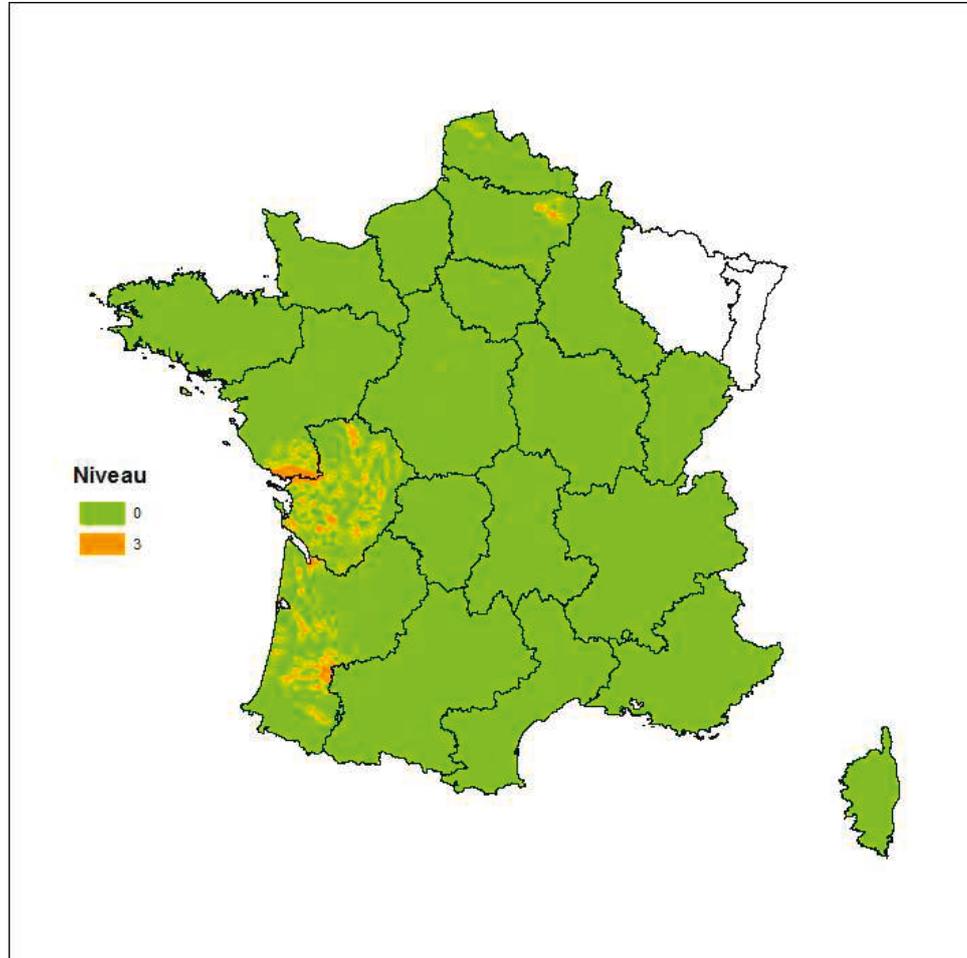


Figure 32 : carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme à l'échelle nationale

9.6.3 - Carte révisée – Exemple de l'Alsace et de la Lorraine

Il n'existe pas de carte 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 nappes et la cote altimétrique du sol. 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 ouvrages artésiens recensés dans la BSS ;
- la carte géologique harmonisée à échelle du 1/50 000 (données vectorisées) ;
- le MNT au pas de 50 m (IGN) ;
- les modèles hydrogéologiques et les cartes piézométriques à l'échelle locale.

En Lorraine, a été utilisé également l'atlas des potentiels géothermiques des aquifères.

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 ouvrages), géologiques (extension des terrains alluvionnaires) ou sur une base forfaitaire, le cas échéant.

En région Alsace comme en région Lorraine, la susceptibilité du phénomène « artésianisme » a été cartographiée pour 3 intervalles de profondeur : 10-50 m, 10-100 m, 10-200 m.

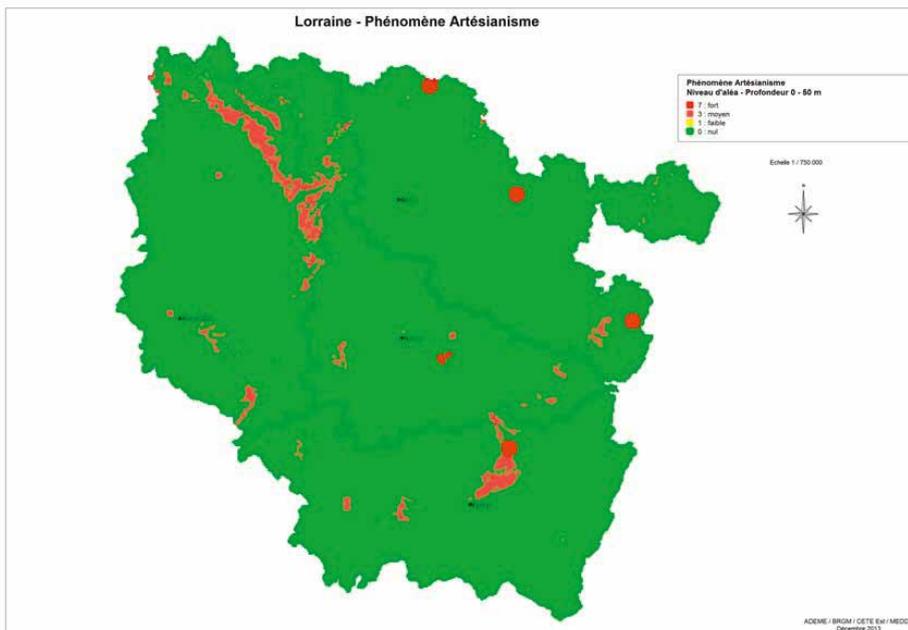


Figure 33 : carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 50 m

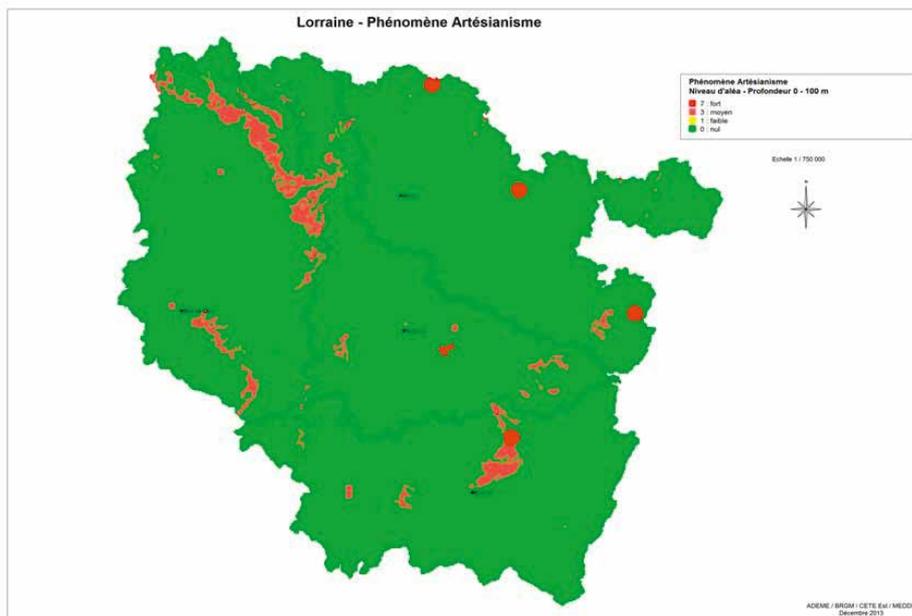


Figure 34 : carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 100 m

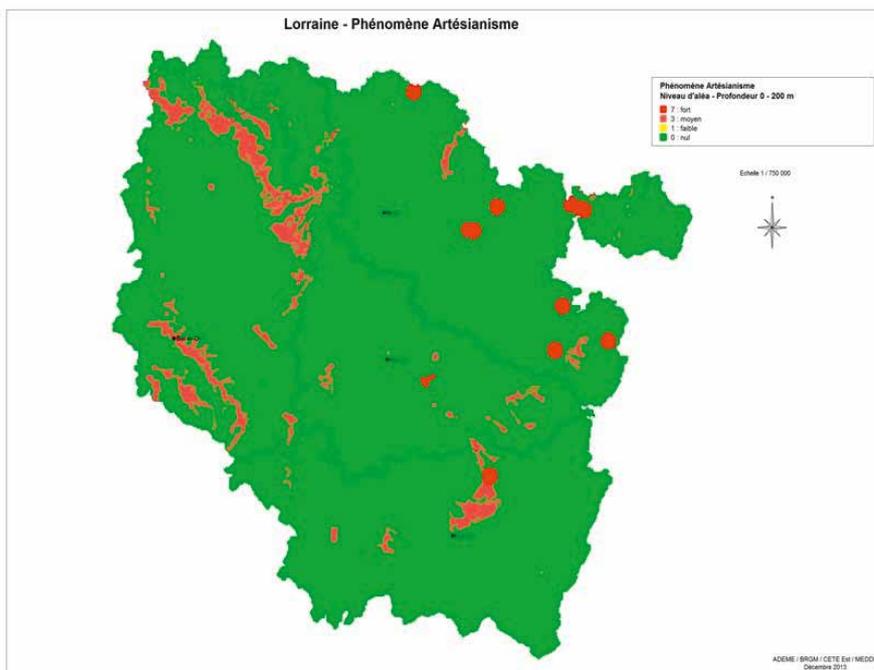


Figure 35 : carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 200 m



Figure 36 : carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en Alsace pour des profondeurs jusqu'à 50 m



Figure 37 : carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en Alsace pour des profondeurs jusqu'à 100 m



Figure 38 : carte des niveaux d'aléa du phénomène artésianisme en Alsace pour des profondeurs jusqu'à 200 m

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

Niveaux aléa/ susceptibilité du phénomène	Nul	moyen	Fort
Valeur du niveau d'aléa	0	3	7

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.

9.7 - Phénomène de mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères

9.7.1 - Phénomène redouté

Mise en communication verticale entre deux aquifères suivie d'un écoulement de l'eau d'un aquifère dans un autre pouvant entraîner :

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

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

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

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

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

9.7.2 - Carte initiale

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

Niveaux d'aléa / de susceptibilité du phénomène:

- **0** : pas plus d'un aquifère dans les premiers 200 m ;
- **1** : plus d'un aquifère dans les premiers 200 m ;
- **3** : plus d'un aquifère dans les premiers 200 m dont un considéré comme ressource stratégique.

Afin de préciser ces niveaux d'aléa, la base de données du référentiel BDLISA a été utilisée pour définir ces niveaux de risque. Le référentiel BDLISA niveau régional (NV2) définit les différents aquifères superposés, qu'ils soient aquifères (couleur bleue) ou imperméables (couleur orange).

Les aquifères définis comme NAEP (Nappes à réserver en priorité à l'alimentation en eau potable, article 7 DCE), c'est-à-dire des ressources aquifères stratégiques sont indiqués avec une couleur verte. Le référentiel précise l'ordonnement successif des aquifères mais à ce jour sans indication des profondeurs associées.

Sur la verticale, les entités sont ordonnées selon un ordre croissant (ordre 1 pour les entités affleurantes, ordre 2 pour les entités situées juste au-dessous...). Le nombre d'ordres à prendre en compte dans l'intervalle de 0 à 200 m a été défini à dire d'expert en s'appuyant sur la connaissance des logs géologiques des formations aquifères et la géométrie de ces formations.

Si au moins deux aquifères apparaissent dans l'intervalle considéré, une communication entre nappes est possible. Ainsi, le niveau d'aléa est de 1 s'il existe au moins deux aquifères présents et de 3 lorsqu'il existe au moins deux aquifères dont un défini comme nappes à réserver pour l'alimentation en eau potable (NAEP, définies dans le cadre des SDAGEs).

Ordre 1	1	1		1	1				1				1	1	1	1					
Ordre 2				1	1					1	1		1	1	1					1	1
Ordre 3									1						1	1	1	1	1		1
Ordre 4									1				1	1	1	1					1
Ordre 5										1	1	1	1	1	1				1	1	1
Sup Nappes	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	3	3	0	3	1	1	
Ord1-5																					

Figure 39 : concept de superposition des couches aquifères (couleur bleue), des niveaux intercalaires imperméables (couleur orange) et des ressources protégées NAEP (couleur verte)

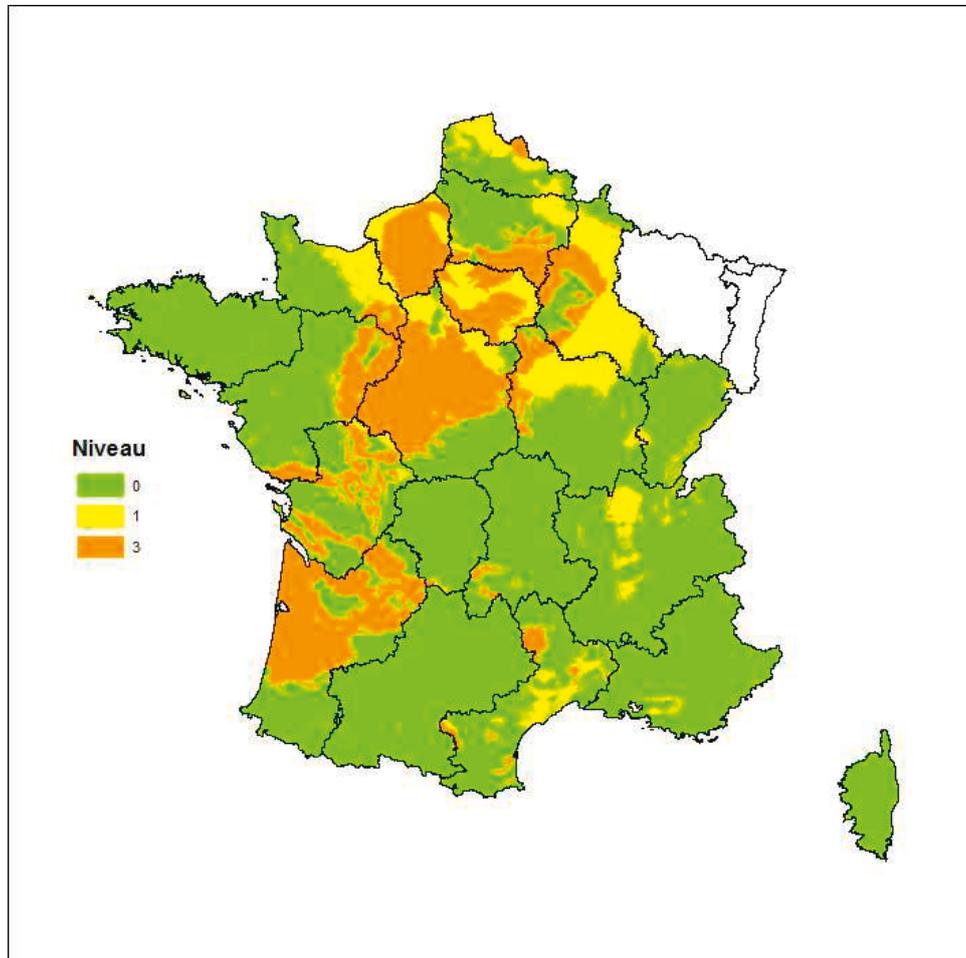


Figure 40 : carte des niveaux d'aléa du phénomène mise en communication d'aquifères à l'échelle nationale

9.7.3 - Carte révisée – Exemple de l'Alsace et de la Lorraine

Il n'existe pas de carte régionale tant en Alsace qu'en Lorraine du phénomène de mise en communication entre aquifères. La qualification du phénomène est donc basée sur la probabilité d'avoir un ou plusieurs aquifères dans l'intervalle de profondeur considéré et sur l'usage et/ou l'importance des aquifères qui pourraient être mis en connexion : alimentation en eau potable, ressource stratégique (NAEP), etc.

La susceptibilité a été établie ainsi :

- **Susceptibilité moyenne** : présence de plusieurs aquifères dont une ressource stratégique NAEP dans l'intervalle considéré
- **Susceptibilité faible** : présence de nappes superposées dans l'intervalle considéré
- **Susceptibilité nulle** : absence d'aquifère ou présence d'un seul aquifère dans l'intervalle de profondeur considéré

Données utilisées à l'échelle régionale

Pour définir la présence d'aquifères, le référentiel hydrogéologique BDLISA (Base de données des Limites des Systèmes Aquifères) qui fournit les contours des entités hydrogéologiques françaises ainsi que les logs géologiques vérifiés de la BSS et les modèles géologiques et hydrogéologiques locaux ont été utilisés 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 intervalle de profondeur a été qualifiée uniquement en région Lorraine. En Alsace, lorsque deux aquifères étaient identifiés dans un secteur donné, ils ont été considérés comme potentiellement superposés, quelle que soit la profondeur considérée.

Concernant les ressources stratégiques et NAEP, à la date de l'étude, ces données n'étaient pas disponibles pour le bassin Rhin-Meuse. Par contre, il a été défini lors du SDAGE des « zones à préserver pour l'alimentation en eau potable dans le futur ». Ces zones n'ont pas de valeur juridique à proprement parler, mais comme elles sont un des éléments du SDAGE, il s'y applique les mêmes obligations, à savoir que toutes les décisions administratives dans le domaine de l'eau doivent être compatibles avec le SDAGE et donc avec la protection de ces zones.

Ces zones ont été prises en compte pour établir la susceptibilité.

En région Lorraine, la susceptibilité du phénomène « mise en communication entre aquifères » a été cartographiée pour les 3 intervalles de profondeur : 10-50 m, 10-100 m, 10-200 m. En région Alsace, en raison de l'absence de données sur la profondeur des aquifères, elle n'a été cartographiée que pour l'intervalle de profondeur : 10-200 m.

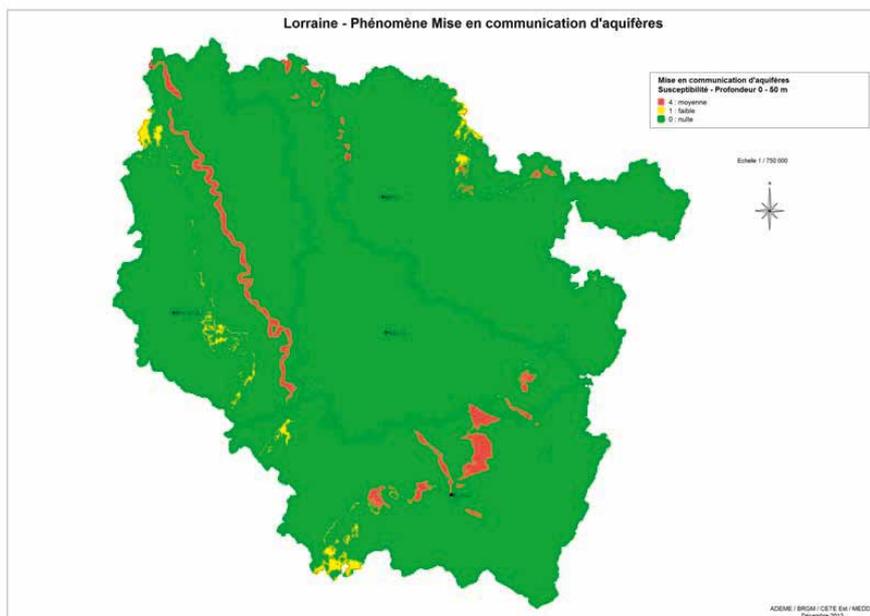


Figure 41 : carte des niveaux d'aléa du phénomène mise en communication d'aquifères en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 50 m

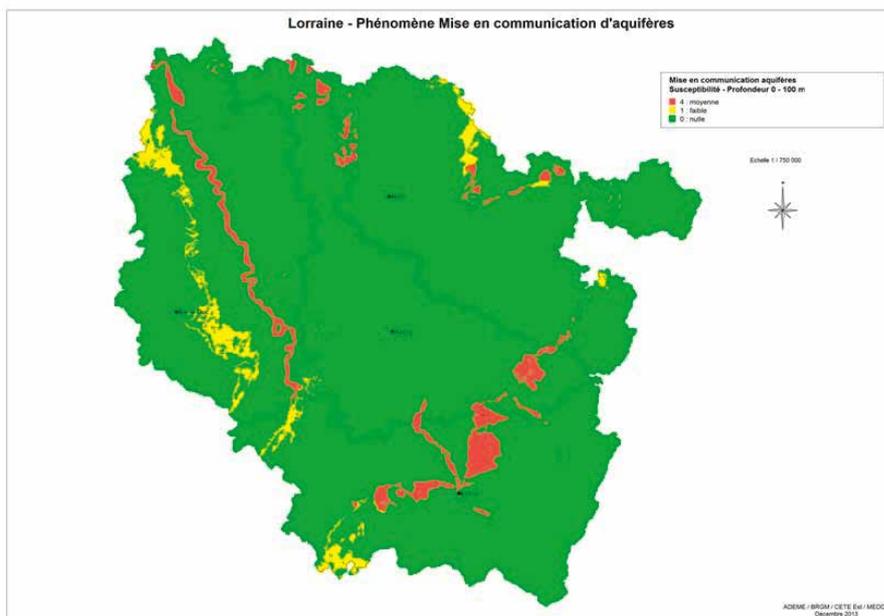


Figure 42 : carte du phénomène mise en communication d'aquifères en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 100 m

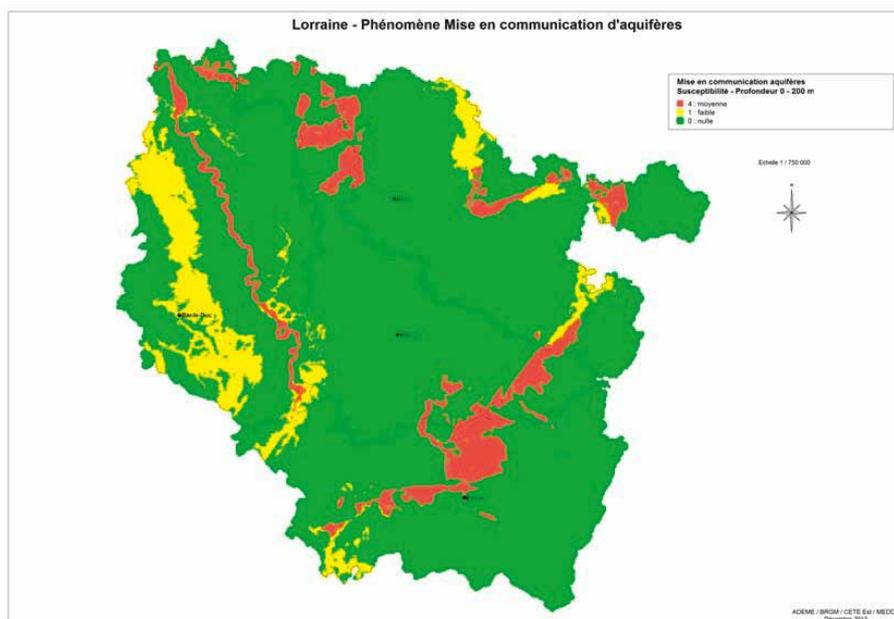


Figure 43 : carte des niveaux d'aléa du phénomène mise en communication d'aquifères en Lorraine pour des profondeurs jusqu'à 200 m

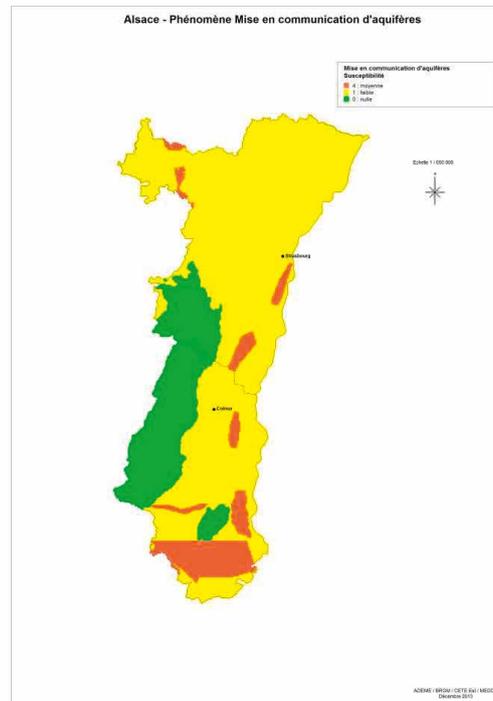


Figure 44 : carte des niveaux d'aléa du phénomène mise en communication d'aquifères en Alsace

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

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

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.

9.8 - Phénomène d'inondation par remontée de nappe

9.8.1 - Phénomène redouté

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

9.8.2 - Carte initiale

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

Dans le cadre de ces travaux cartographiques de l'aléa risque d'inondation par remontée de nappe, la création de deux classes a été réalisée à partir de l'épaisseur de la zone non saturée (ZNS) calculée pour des mailles de 100*100 mètres. Cette carte est 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 étaient mieux prises en compte avec un calcul de maxima. Une agrégation des mailles par médiane montre de nombreuses zones ne prenant pas en compte les vallées, problème lié à leurs surfaces trop faibles. Pourtant, ces zones peuvent générer un risque de remontée de nappe (Figure 45).

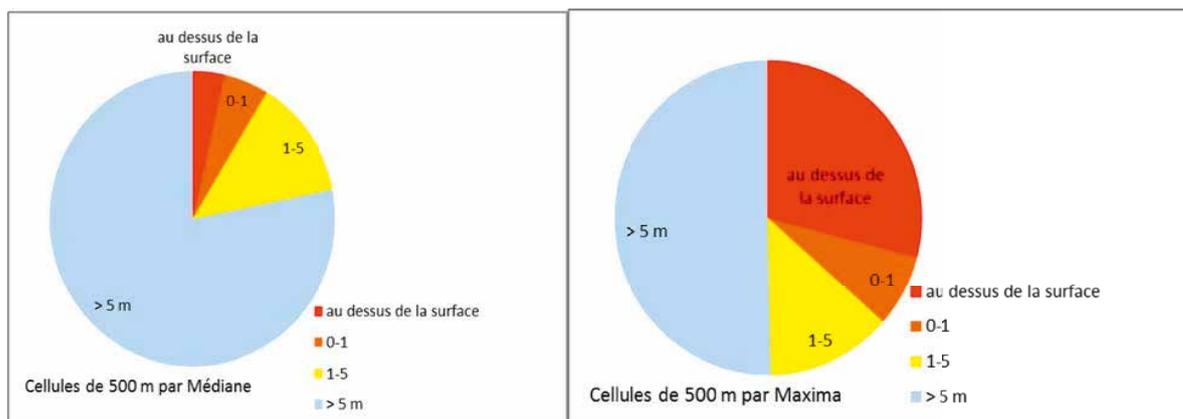


Figure 45 : répartition des différentes classes de niveaux observées selon le type d'agrégation (médiane ou maxima)

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 méthode de la médiane).

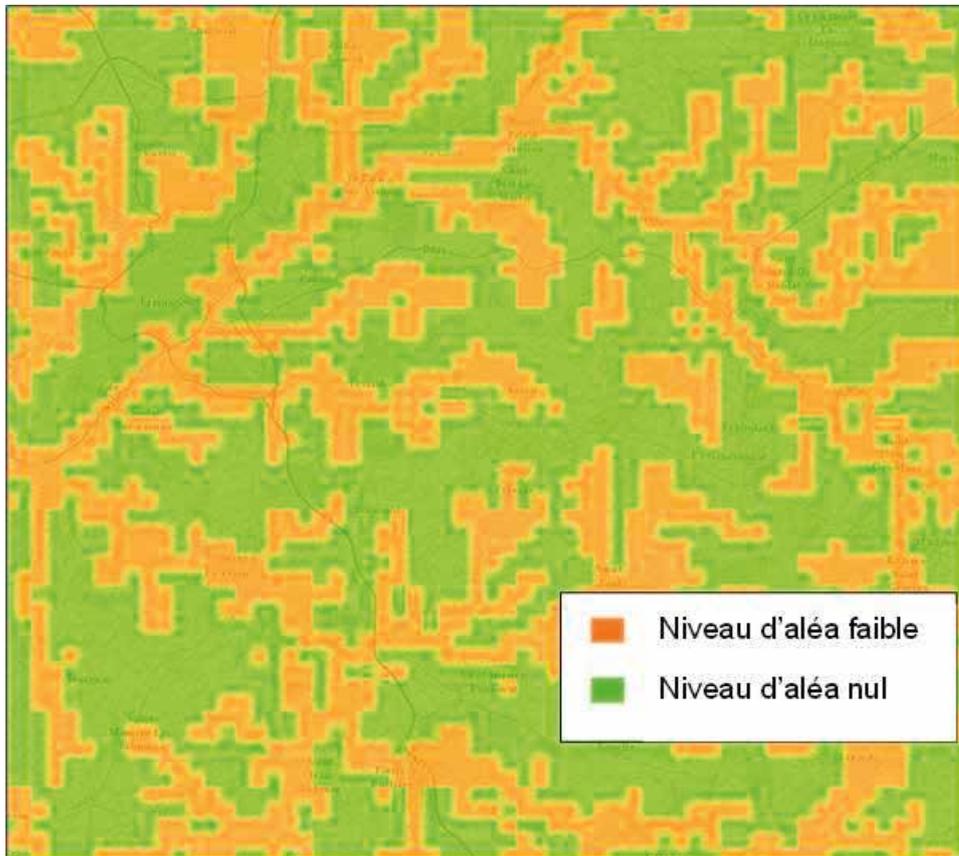


Figure 46 : exemple de répartition du niveau d'aléa du phénomène remontée de nappe aux alentours de Limoges

Niveaux d'aléa / de susceptibilité du phénomène:

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

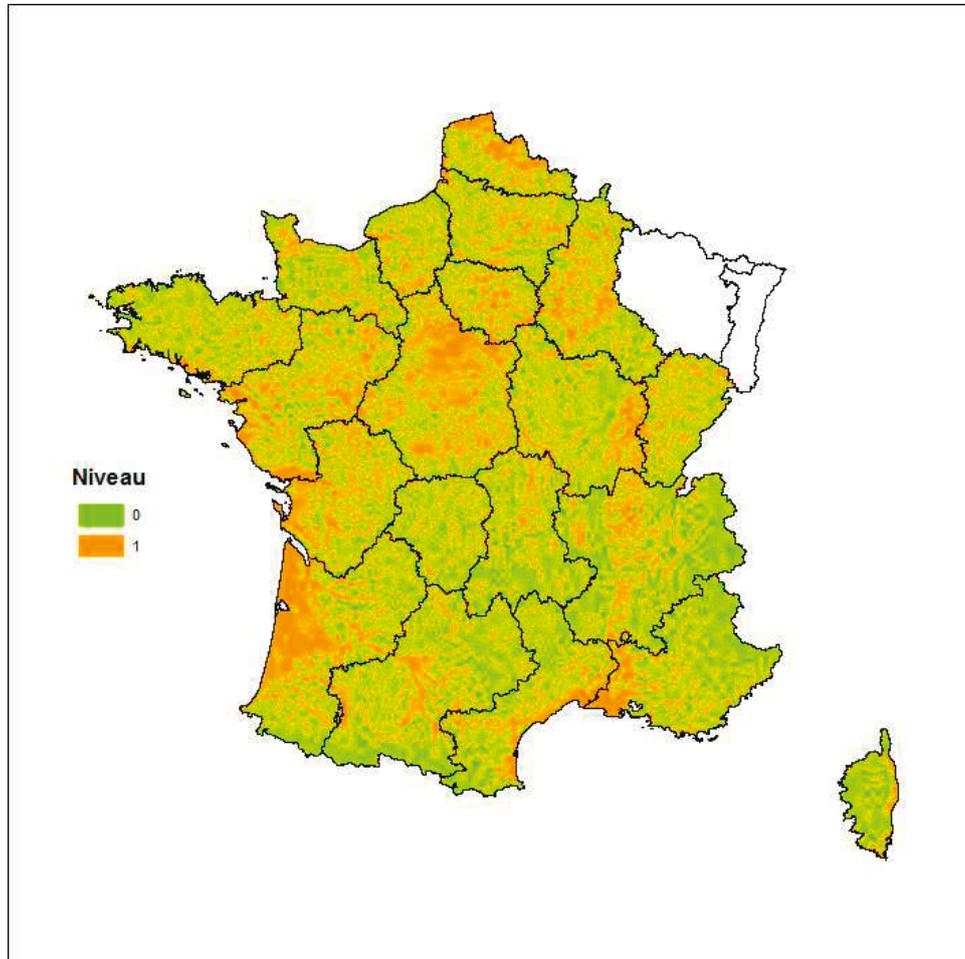


Figure 47 : carte des niveaux d'aléa du phénomène remontée de nappe à l'échelle nationale

9.8.3 - Carte révisée – Exemple de l'Alsace et de la Lorraine

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

Données utilisées à l'échelle régionale :

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

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

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

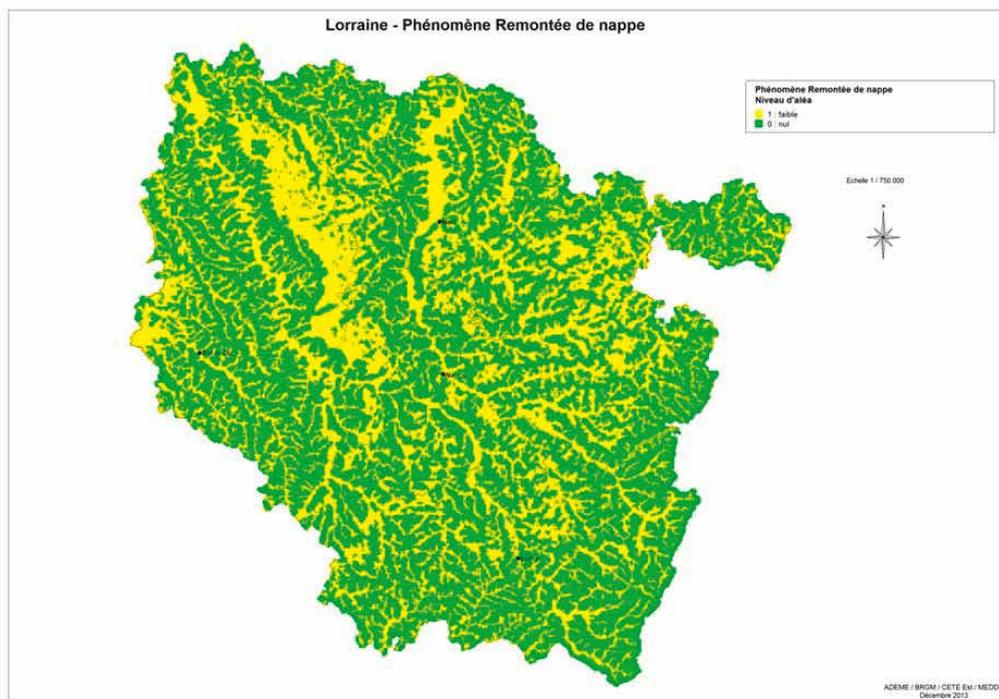


Figure 48 : carte des niveaux d'aléa du phénomène de remontée de nappe en Lorraine

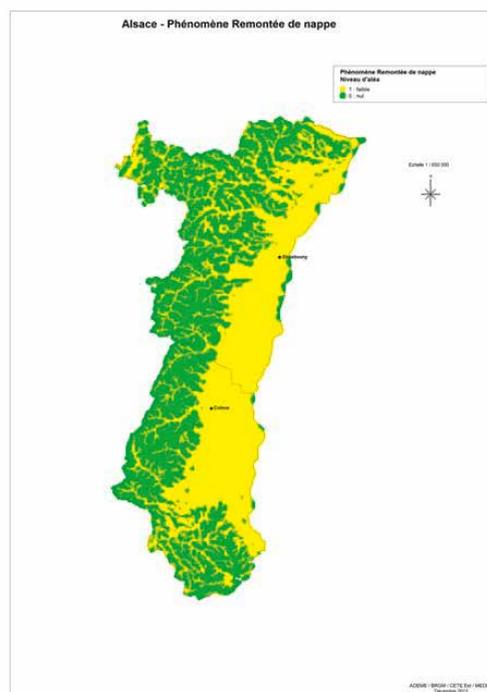


Figure 49 : carte des niveaux d'aléa du phénomène de remontée de nappe en Alsace

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

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

9.9 - Phénomène de biseau salé

9.9.1 - Phénomène redouté

En zone côtière, la nappe d'eau douce est en contact direct avec la nappe d'eau salée plus dense. Le simple fait de trop pomper, ou le défaut d'alimentation d'une nappe à la suite d'une période moins pluvieuse, suffit à permettre à l'eau salée de "polluer" une nappe d'eau douce utilisée pour l'irrigation, l'industrie ou l'eau potable, ou surtout conduit au déplacement de l'interface eau salée/eau douce.

La remontée du biseau salé vers l'intérieur des terres constitue un phénomène difficilement réversible, l'eau salée se comportant comme une "limite étanche". Une fois que le biseau s'est déplacé, le gradient hydraulique requis pour le faire reculer est bien plus important que la situation d'équilibre initiale.

Ainsi les aquifères littoraux sont le lieu de rencontre de deux types d'eaux souterraines :

- des eaux douces provenant de l'infiltration des précipitations et des eaux de ruissellement au niveau de la surface continentale ;
- des eaux salées qui imprègnent les terrains au voisinage des côtes ou pénètrent les cours d'eau au niveau des estuaires, pouvant ainsi donner lieu à la salinisation des eaux souterraines.

Les aquifères littoraux sont donc en contact avec l'eau salée d'origine marine, qui envahit plus ou moins les formations géologiques côtières : l'eau douce, d'une densité moindre que l'eau salée « flottant » sur l'eau salée. L'intrusion d'eau salée prend la forme d'un biseau plongeant vers l'intérieur des terres, appelé communément « biseau salé ».

L'interface entre ces deux types d'eau va évoluer au cours du temps en fonction de facteurs naturels (précipitations, niveau marin) mais peut aussi être perturbée par l'exploitation des aquifères (Figure 50).

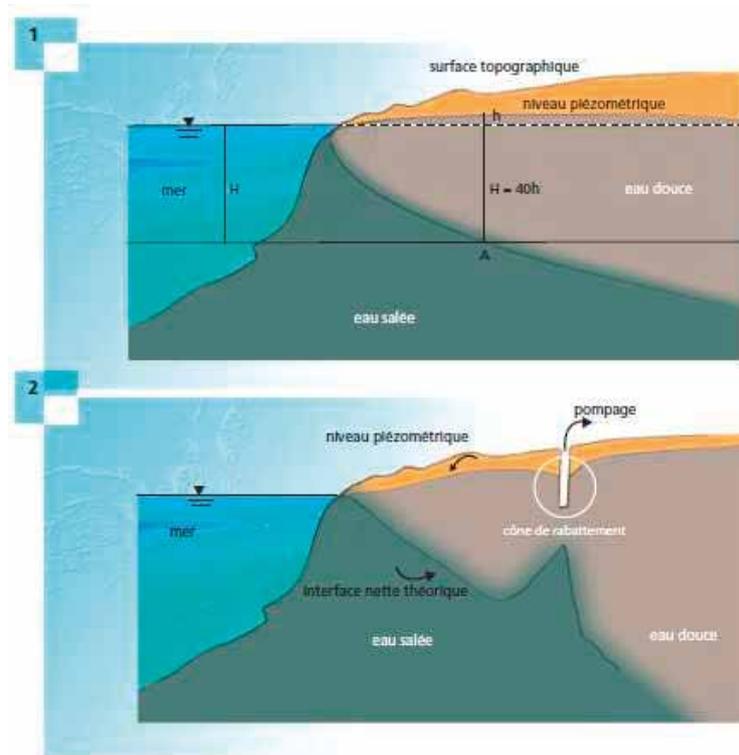


Figure 50 : 1. coupe schématique perpendiculaire au littoral montrant l'intrusion saline.
2. l'influence d'un pompage sur l'intrusion saline (source : Frissant et al. 2005)

L'envahissement, même provisoire, d'une partie d'un aquifère par de l'eau salée peut durablement altérer la qualité de l'eau de celui-ci.

9.9.2 - Carte initiale

Ce phénomène n'est pas pris en compte au niveau national

9.9.3 - Carte révisée

Les risques liés à la perturbation du biseau salé ainsi que l'étendue de la zone affectée sont très dépendants de la géologie et de l'hydrogéologie locale. La méthodologie proposée est donc destinée à servir de cadre et pourra être adaptée aux enjeux locaux.

- Niveau fort : présence d'un aquifère présentant des intrusions salines avérées.
- Niveau faible : présence d'un aquifère pouvant potentiellement présenter des intrusions salines.
- Niveau nul : le biseau salé n'est pas présent dans l'intervalle de profondeur considéré.

Niveaux aléa/ susceptibilité du phénomène	Nul	Faible	Fort
Valeur du niveau d'aléa	0	1	4

10 - Annexe 1 : Cotation des phénomènes

Une valeur de pondération, fonction de l'intensité des phénomènes redoutés (affaissement, effondrement, pollution....) a été attribuée à chacune des couches caractérisant les différents phénomènes. Un tableau reprenant la pondération proposée est disponible ci-dessous.

Carte initiale :

Phénomènes redoutés	Niveau aléa/ susceptibilité du phénomène	Facteur aggravant (doublet sur aquifère)	Facteur aggravant (SGV)	Niveau final (doublet sur aquifère)	Niveau final (SGV)
Affaissement/surrection liés 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 (ou glissement de terrain)	0/1/2/3	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Pollution des sols et/ou 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	Somme	Somme
Classement en zone verte, orange ou rouge	Vert : [0 – 14]		Orange : [15 – 42]		Rouge : >42

Tableau 1 : récapitulatif des niveaux des phénomènes et de facteurs aggravants proposés pour la carte réglementaire initiale

Carte révisée :

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 (ou glissement de terrain)	0/1/2/3/5/7	2	2	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Pollution des sols et/ou des nappes souterraines	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	0/1/4	4	4	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Remontée de nappe	0/1	2	0	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
Biseau salé	0/1/4	4	0	niveau*facteur aggravant	niveau*facteur aggravant
			Niveau final	Somme	Somme
Classement en zone verte, orange ou rouge	Vert : [0 – 13]		Orange : [14 – 41]		Rouge : >41

Tableau 1 : récapitulatif des niveaux des phénomènes et de facteurs aggravants proposés pour la carte révisée des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance

11 - Annexe 2 : Fiche de synthèse

Objet

Maître d'ouvrage :

Type de carte : Régionale Locale

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

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

Date de réalisation : ___/___/___

Type de carte actuellement en vigueur sur cette emprise géographique.

Nationale Régionale

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

Rapport

Fourniture d'un rapport contenant :

Description du travail effectué.

Oui Non

Documentation des sources de données utilisées.

Oui Non

Justification des éventuels écarts par rapport à la méthodologie.

Oui Non Sans objet

Cartes pour chaque phénomène et chaque tranche de profondeur.

Oui Non

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

Oui Non

Système d'information géographique

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

Oui Non

Taille de pixel utilisée.

500 × 500 250 × 250 100 × 100

Méthodologie

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

Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques.

Oui Non Écart justifié Inchangé

Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines).

Oui Non Écart justifié Inchangé

Affaissement/effondrement lié aux cavités minières.

Oui Non Écart justifié Inchangé

Mouvements de terrain (glissement).

Oui Non Écart justifié Inchangé

Pollution des sols et des nappes souterraines.

Oui Non Écart justifié Inchangé

Artésianisme.

Oui

Non

Écart justifié Inchangé

Mise en communication d'aquifères.

Oui

Non

Écart justifié Inchangé

Remontée de nappe.

Oui

Non

Écart justifié Inchangé

Biseau salé.

Oui

Non

Écart justifié Inchangé

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

Oui

Non

Remarques :

Nom, prénom :

Date :

Signature :

12 - Annexe 3 : Données utilisées pour les cartes en Alsace et en Lorraine

Phénomènes redoutés	Données utilisées	Sites ou services consultés
Affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques.	Carte géologique harmonisée au 1/50 000 ^e (données vectorisées). Base de données du LOGISO et les logs vérifiés de la BSS pour connaître les niveaux évaporitiques. Données géologiques du Référentiel Géologique Français (RGF) Alsace Retour d'expérience	BRGM
Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines).	Cartes d'aléas (pas de cartes en Alsace et Lorraine). Base de données BD cavités. Carte géologique harmonisée au 1/50 000 ^e (données vectorisées).	BRGM CEREMA DDT, DREAL BD cavité (www.bdcavite.net)
Affaissement/effondrement lié aux cavités minières.	Cartographies d'aléas. Base de données « Mines et exploitations ».	BRGM CEREMA DDT, DREAL GEODERIS SIG MINES FRANCE (www.sigminesfrance.brgm.fr)
Mouvements de terrain (glissement de terrain).	Cartes d'aléas mouvement de terrain. Base de données BD MVT.	BRGM CEREMA DDT, DREAL Géorisque (www.georisques.gouv.fr/dossiers/mouvements-de-terrain)

		BDMVT (www.bdmvt.net)
Pollution des sols et des nappes	<p>Recensement des sites ou nappes pollués : base de données BASOL</p> <p>Référentiel hydrogéologique (BD-LISA),</p> <p>Atlas des potentiels géothermiques superficiels, uniquement en Lorraine</p> <p>Modèles géologiques et hydrogéologiques locaux.</p> <p>Les logs vérifiés de la BSS.</p> <p>Panaches de pollution cartographiées : pollution de la nappe aux COHV, Langues salées et friches industrielles de Pechelbronn, uniquement en Alsace.</p>	<p>BASOL (www.basol.developpement-durable.gouv.fr)</p> <p>GEODERIS</p> <p><i>ONAP (Observatoire de la nappe d'Alsace) en Alsace</i></p> <p><i>DREAL ; DDT</i></p> <p>BRGM</p> <p>CEREMA</p> <p>Atlas des potentiels géothermiques (www.geothermie-perspectives.fr).</p> <p>BD-LISA : Sandre (www.sandre.eaufrance.fr), Ades (www.ades.eaufrance.fr) ou eaufrance (www.eaufrance.fr).</p>
Phénomène artésianisme	<p>Atlas des potentiels géothermiques superficiels</p> <p>Modèles géologiques et hydrogéologiques locaux.</p> <p>Les niveaux piézométriques et les niveaux du sol recensés dans la BSS.</p> <p>Carte géologique harmonisée au 1/50 000^e (données vectorisées).</p> <p>Les cartes piézométriques locales.</p> <p>Retour d'expérience.</p>	<p><i>DREAL ; DDT</i></p> <p>BRGM</p> <p>CEREMA</p> <p>Atlas des potentiels géothermiques (www.geothermie-perspectives.fr).</p> <p>BD-LISA : Sandre (www.sandre.eaufrance.fr), Ades (www.ades.eaufrance.fr) ou eaufrance (www.eaufrance.fr).</p>

Mise en communication d'aquifère	<p>Référentiel hydrogéologique (BD-LISA)</p> <p>Atlas des potentiels géothermiques superficiels</p> <p>Modèles géologiques et hydrogéologiques locaux.</p> <p>Les logs vérifiés de la BSS.</p> <p>Zonage des NAEP et ressources stratégiques</p>	<p>BRGM</p> <p>CEREMA</p> <p>Atlas des potentiels géothermiques (www.geothermie-perspectives.fr).</p> <p>BD-LISA : Sandre (www.sandre.eaufrance.fr), Ades (www.ades.eaufrance.fr) ou eaufrance (www.eaufrance.fr).</p> <p>Agences de l'eau</p>
Remontée de nappe	<p>Cartographies remontées de nappe</p>	<p>Remontées de nappes : http://www.inondationsnappes.fr</p>



Ministère de l'Écologie
du développement durable et de l'Énergie

Secrétariat général
Tour Pascal A
92055 La Défense cedex
Tél. : 01 40 81 21 22

