



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Document à accès immédiat

Cartographie réglementaire de la Géothermie de Minime Importance en région Corse

Rapport final

BRGM/RP-73089-FR

Septembre 2023

Étude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM

Lambeaux J.L. (BRGM), Mirgon C. (BRGM), Charrier F.(CEREMA), Hervouët F. (CEREMA)

Vérificateur :	Approbateur :
Nom : Pierre Durst	Nom : Baptiste Vignerot
Fonction : Référent thématique	Fonction : Directeur régional
Date : 4/03/2024	Date : 12/03/2024
Signature : 	Signature : 

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

Contact : qualite@brgm.fr



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctg> ou par ce code :



Mots clés : Cartes d'aléa, Doublet sur nappe, Géothermie minime importance, Corse, Sonde géothermique verticale, Zones réglementaires

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

Lambeaux JL. (BRGM), Mirgon C. (BRGM), Charrier F. (CEREMA), Hervouet F. (CEREMA) (2023) – Cartographie réglementaire de la Géothermie de Minime Importance en région Corse. Rapport final. BRGM/RP-73089-FR, 76 p.

© BRGM, 2024, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
IM003-MT008-P2-20/01/2022

Synthèse

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

La filière géothermie doit actuellement répondre à deux grands enjeux :

- se développer fortement et conformément aux attentes sur les énergies renouvelables ;
- se développer en tenant compte des incidences sur l'environnement.

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

La carte nationale tient compte d'un ensemble de 8 phénomènes redoutés pouvant être rencontrés lors de la réalisation des travaux d'un forage géothermique ou lors de l'exploitation d'un gîte géothermique. Elle a été réalisée pour une seule gamme de profondeur (10 - 200 m) et avec un maillage 500×500 m. Elle distingue trois zones selon l'importance des enjeux au regard des intérêts mentionnés aux articles L. 161-1 du code minier :

- les zones dites « **rouges** » dans lesquelles la réalisation d'ouvrages de géothermie est réputée présenter des dangers et inconvénients graves et ne peut pas bénéficier du régime de la minime importance. Pas de procédure simplifiée, un dossier d'autorisation doit être déposé ;
- les zones dites « **orange** » dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance ne sont pas réputées présenter des dangers et inconvénients graves, mais dans lesquelles est exigée la production d'une attestation de compatibilité d'un projet de géothermie de minime importance, rédigée par un expert agréé prévue à l'article 22-2 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié. La déclaration du projet est réalisée via un téléservice avec attestation de compatibilité d'un projet de GMI établie par un expert agréé ;
- les zones dites « **vertes** » dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance sont réputées ne pas présenter de dangers et inconvénients graves. La déclaration du projet est réalisée via un téléservice.

Cette carte nationale est entrée en vigueur le 1er juillet 2015 et est disponible sur le site : <https://www.geothermies.fr/>.

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

Dans l'objectif d'avoir une carte régionale plus précise sur la Corse, la DGPR, l'ADEME et le BRGM ont financé la révision de la carte sur l'île. Celle-ci a été réalisée conjointement par le BRGM et le Cerema pour le compte de la DREAL de Corse.

L'élaboration de la carte de Corse tient compte de 9 phénomènes redoutés pouvant être rencontrés lors de la réalisation des travaux d'un forage géothermique ou lors de l'exploitation du gîte géothermique. Conformément au guide méthodologique de 2015, les phénomènes retenus sont :

- Affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques ;
- Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) ;
- Affaissement/effondrement lié aux cavités minières ;
- Mouvement de terrain de type glissement ;
- Pollution des sols et/ou des nappes souterraines ;
- Artésianisme ;
- Mise en communication d'aquifères ;
- Remontée de nappe / Problèmes liés à la réinjection;
- Biseau salé - salinisation.

Les niveaux d'aléa ou de susceptibilité définis par le guide méthodologique ont été employés pour la Corse.

Au total, six cartes proposant un nouveau zonage réglementaire ont été réalisées avec un maillage 500*500 mètres. Elles correspondent à deux technologies : les doublets sur aquifère (échangeur ouvert) et les sondes géothermiques verticales (échangeur fermé), et à trois gammes de profondeur : 10-50 m, 10-100 m, 10-200 m.

La grande majorité du territoire ne présente pas de phénomène qui engendrerait un risque pour la mise en œuvre d'un dispositif GMI ; le zonage vert est majoritaire (environ 97%). Quelques secteurs sont concernés par des aléas ou conjugaison d'aléas qui requièrent l'avis d'un expert avant la télédéclaration des ouvrages GMI (zone orange pour une centaine de communes).

Après validation des critères par les services de l'Etat, consultation publique et publication d'un arrêté par le Préfet, les cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance de la Corse seront mises à disposition sur le site internet <http://www.geothermies.fr>.

Sommaire

1.	Réglementation applicable à la géothermie de minime importance	11
1.1	Principes de la géothermie de minime importance (GMI)	11
1.2	Réglementation de la géothermie de minime importance.....	12
2.	Méthodologie de réalisation de la carte réglementaire.....	14
2.1	Paramètres de la cartographie régionale	14
2.2	Méthode utilisée	15
2.3	Grille des cartes réglementaires.....	18
3.	Cartographie des phénomènes redoutés.....	20
3.1	Phénomène « Affaissement / Surrection liés aux niveaux d'évaporites et à la présence d'eau » 20	
3.1.1	Description du phénomène.....	20
3.1.2	Qualification du phénomène.....	20
3.1.3	Données utilisées et méthodologie employée.....	21
3.1.4	Cartographie du phénomène	22
3.1.5	Cotation des niveaux d'aléa	24
3.2	Phénomène « Affaissement / effondrement liés aux cavités (hors mines) ».....	25
3.2.1	Description du phénomène.....	25
3.2.2	Qualification du phénomène.....	25
3.2.3	Données utilisées et méthodologie employée.....	25
3.2.4	Cartographie du phénomène redouté	28
3.2.5	Cotation des niveaux d'aléa	30
3.3	Phénomène « Affaissement / effondrement liés aux cavités minières ».....	31
3.3.1	Description du phénomène.....	31
3.3.2	Qualification du phénomène.....	31
3.3.3	Données utilisées et méthodologie employée.....	31
3.3.4	Cartographie du phénomène redouté	32
3.3.5	Cotation des niveaux d'aléa	34
3.4	Phénomène « Mouvements de terrain (ou glissements de terrain) »	35
3.4.5	Cotation des niveaux d'aléa	39
3.5	Phénomène « Pollution des sols et des nappes d'eau souterraine ».....	40
3.5.1	Description du phénomène.....	40
3.5.2	Qualification du phénomène.....	40

3.5.3	Données utilisées et méthodologie employée	40
3.5.4	Cartographie du phénomène redouté	41
3.5.5	Cotation des niveaux d'aléa	43
3.6	Phénomène « Artésianisme »	44
3.6.1	Description du phénomène	44
3.6.2	Qualification du phénomène	44
3.6.3	Données utilisées et méthodologie employée	44
3.6.4	Cartographie du phénomène redouté	45
3.6.5	Cotation des niveaux d'aléa	49
3.7	Phénomène « Mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères ».....	50
3.7.1	Description du phénomène	50
3.7.2	Qualification du phénomène	50
3.7.3	Données utilisées et méthodologie employée	50
3.7.4	Cartographie du phénomène redouté	52
3.7.5	Cotation des niveaux d'aléa	54
3.8	Phénomène « Inondation par remontée de nappe » / Problèmes liés à la réinjection	55
3.8.1	Description du phénomène	55
3.8.2	Qualification du phénomène	55
3.8.3	Données utilisées et méthodologie employée	55
3.8.4	Cartographie du phénomène redouté	56
3.8.5	Cotation des niveaux d'aléa	58
3.9	Phénomène « Biseau salé »	59
3.9.1	Description du phénomène	59
3.9.2	Qualification du phénomène	59
3.9.3	Données utilisées et méthodologie employée	59
3.9.4	Cartographie du phénomène redouté	61
3.9.5	Cotation des niveaux d'aléa	65
4.	Cartes réglementaires	66
5.	Conclusion	73
6.	Bibliographie	74

ANNEXE 1 : Liste des communes en zone orange - Téléservice avec attestation de compatibilité d'un projet de GMI

Liste des figures

Illustration 1 : Principe d'un doublet sur nappe ou échangeur géothermique ouvert (MEDDE, 2015).....	11
Illustration 2 : Principes d'une Sonde Géothermique Verticale (SGV) ou échangeur géothermique fermé (MEDDE, 2015).....	12
Illustration 3 : Différence entre la cartographie nationale et régionale.....	14
<i>Illustration 4 : Etape de projection d'un polygone sur un maillage par intersection.....</i>	<i>15</i>
Illustration 5 : Etapes de la détermination des zones des cartes réglementaires de la GMI	17
Illustration 6 : Carte d'aléa du phénomène "Affaissement / surrection liés aux niveaux évaporitiques" en Corse pour la gamme de profondeur 10 - 50 m, 10 - 100 m et 10-200m	23
Illustration 7 : Principe du comptage par maille des évènements ponctuels avec leur tampon (en rouge le nombre d'évènements par maille).....	27
Illustration 8 : Carte d'aléa du phénomène " Affaissement / effondrement liés aux cavités (hors mines) " en Corse pour la gamme de profondeur 10 - 200 mètres.....	29
Illustration 9 : Carte d'aléa du phénomène " Affaissement / effondrement liés aux cavités minières ".....	33
<i>Illustration 10 : Carte d'aléa du phénomène " Mouvements de terrain (ou glissements de terrain) " pour la gamme de profondeur 10 -200 mètres</i>	<i>38</i>
Illustration 11 : Carte d'aléa du phénomène " Pollution des sols et des nappes d'eau souterraine " en Corse pour la gamme de profondeur 10 - 50 m, 50 - 100 m et 100 - 200 mètres.....	42
Illustration 12 : Carte d'aléa du phénomène "Artésianisme" pour la gamme de profondeur 10 - 50 mètres	46
Illustration 13 : Carte d'aléa du phénomène "Artésianisme" pour la gamme de profondeur 10 - 100 mètres	47
Illustration 14 : Carte d'aléa du phénomène "Artésianisme" pour la gamme de profondeur 10 - 200 mètres	48
Illustration 15 : Carte d'aléa du phénomène "Mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères" pour la gamme de profondeur 10 - 50 m, 10 - 100 m et 10 - 200 mètres..	53
Illustration 16 : Carte d'aléa du phénomène "Inondation par remontée de nappe" pour la gamme de profondeur 10 - 50 mètres	57
Illustration 17 : Coupe schématique au littoral du biseau salé selon Ghyben-Herzberg	60
Illustration 18 : Extension en plan et par gamme de profondeur du biseau salé selon calcul Ghyben-Herzberg – entité hydrogéologique « Alluvions récentes du Travo »	61
Illustration 19 : Carte d'aléa du phénomène "Biseau salé" pour la gamme de profondeur 10 - 50 mètres	62
Illustration 20 : Carte d'aléa du phénomène "Biseau salé" pour la gamme de profondeur 10 - 100 mètres	63
Illustration 21 : Carte d'aléa du phénomène "Biseau salé" pour la gamme de profondeur 10 - 200 mètres	64
Illustration 22 : Carte réglementaire pour les doublets sur nappe de la gamme de profondeur 10 - 50 m.....	67

Illustration 23 : Carte réglementaire pour les doublets sur nappe de la gamme de profondeur 10-100 m	68
Illustration 24 : Carte réglementaire pour les doublets sur nappe de la gamme de profondeur 10-200 m	69
Illustration 25 : Carte réglementaire pour les sondes géothermiques verticales (SGV) de la gamme de profondeur 10 - 50 m	70
Illustration 26 : Carte réglementaire pour les sondes géothermiques verticales (SGV) de la gamme de profondeur 10 - 100 m	71
Illustration 27 : Carte réglementaire pour les sondes géothermiques verticales de la gamme de profondeur 10 - 200 m	72

Liste des tableaux

Tableau 1 : Cotation et facteur aggravant du phénomène "Affaissement / surrection lié aux niveaux évaporitiques et à la présence d'eau"	24
Tableau 2 : Liste des contacts en Corse pour les aléas cavités	26
Tableau 3 : Valeurs des tampons attribués aux évènements ponctuels "Affaissement/effondrement lié aux cavités hors mines"	27
Tableau 4 : Cotation et facteur aggravant du phénomène "Affaissement / effondrement liés aux cavités (hors mines)"	30
Tableau 5 : Cotation et facteur aggravant du phénomène "Affaissement / effondrement liés aux cavités minières"	34
Tableau 6 : Caractérisation du phénomène "Mouvement de terrain"	36
Tableau 7 : Liste des contacts en Corse aléas Mouvement de terrain	36
Tableau 8 : Valeurs des tampons attribués aux évènements ponctuels "Mouvement de terrain"	37
<i>Tableau 9 : Cotation et facteur aggravant du phénomène "Mouvements de terrain (ou glissements de terrain)"</i>	<i>39</i>
Tableau 10 : Cotation et facteur aggravant du phénomène " Pollution des sols et des nappes d'eau souterraine "	43
Tableau 11 : nappes identifiées comme potentiellement artésiennes ou captives avec BDLISA et rapports BRGM	45
Tableau 12 : Cotation et facteur aggravant du phénomène " Artésianisme "	49
Tableau 13 : Entités hydrogéologiques sous couverture (ordre relatif 2 BDLISA)	51
Tableau 14 : Cotation et facteur aggravant du phénomène " Mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères "	54
Tableau 15 : Cotation et facteur aggravant du phénomène " Inondation par remontée de nappe "	58
Tableau 16 : Cotation et facteur aggravant du phénomène " Biseau salé "	65
Tableau 17 : Répartition des zones en fonction de la surface	66
Tableau 18 : Répartition des zones en fonction de la population	66

Introduction

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

La filière géothermie doit actuellement répondre à deux grands enjeux :

- se développer fortement et conformément aux attentes sur les énergies renouvelables ;
- se développer en tenant compte des incidences sur l'environnement.

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

La carte nationale tient compte d'un ensemble de 8 phénomènes redoutés pouvant être rencontrés lors de la réalisation des travaux d'un forage géothermique ou lors de l'exploitation d'un gîte géothermique. Conformément à la classification prévue à l'article 22-6 du décret 2006-649, elle distingue trois zones selon l'importance des enjeux au regard des intérêts mentionnés aux articles L. 161-1 du code minier :

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

Cette carte nationale est entrée en vigueur le 1er juillet 2015 et est disponible sur le site : <https://www.geothermies.fr/>.

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

Dans l'objectif d'avoir une carte régionale plus précise sur la Corse, la DGPR, l'ADEME et le BRGM ont financé la révision de la carte sur la région. Celle-ci a été réalisée conjointement par le BRGM et le Cerema pour le compte de la DREAL de Corse.

En corse, l'élaboration de la carte tient compte de 9 phénomènes redoutés pouvant être rencontrés lors de la réalisation des travaux d'un forage géothermique ou lors de l'exploitation du gîte géothermique. Conformément au guide méthodologique de 2015, les phénomènes retenus sont :

- Affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques ;
- Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) ;
- Affaissement/effondrement lié aux cavités minières ;
- Mouvement de terrain de type glissement ;
- Pollution des sols et/ou des nappes souterraines ;
- Artésianisme ;
- Mise en communication d'aquifères ;
- Remontée de nappe / Problèmes liés à la réinjection;
- Biseau salé - salinisation.

Les conséquences considérées peuvent être d'ordre :

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

1. Réglementation applicable à la géothermie de minime importance

1.1 PRINCIPES DE LA GEOTHERMIE DE MINIME IMPORTANCE (GMI)

L'objectif de la géothermie de minime importance, aussi appelée géothermie de très basse température, est d'échanger, via une pompe à chaleur, de l'énergie avec le sous-sol ou une nappe d'eau souterraine afin de la restituer à un bâtiment.

La géothermie de minime importance est réglementée, au même titre que les autres types de géothermie (haute température, basse température et de surface), par le code minier. Ses critères sont définis dans le paragraphe II de l'article 3 du décret n°78-498 du 28 mars 1978 modifié et ses 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.

Il existe 2 types de technologies qualifiées de Minime Importance :

- Les doublets géothermiques ou doublets sur nappe ou échangeurs géothermiques ouverts

Le principe de cette technologie est de faire circuler à travers une pompe à chaleur de l'eau prélevée au sein d'une nappe d'eau souterraine via un puits de prélèvement puis de la réinjecter dans la nappe via un autre puits, un puits de réinjection (Illustration 1).

Cette technologie induit localement une variation thermique de la nappe.

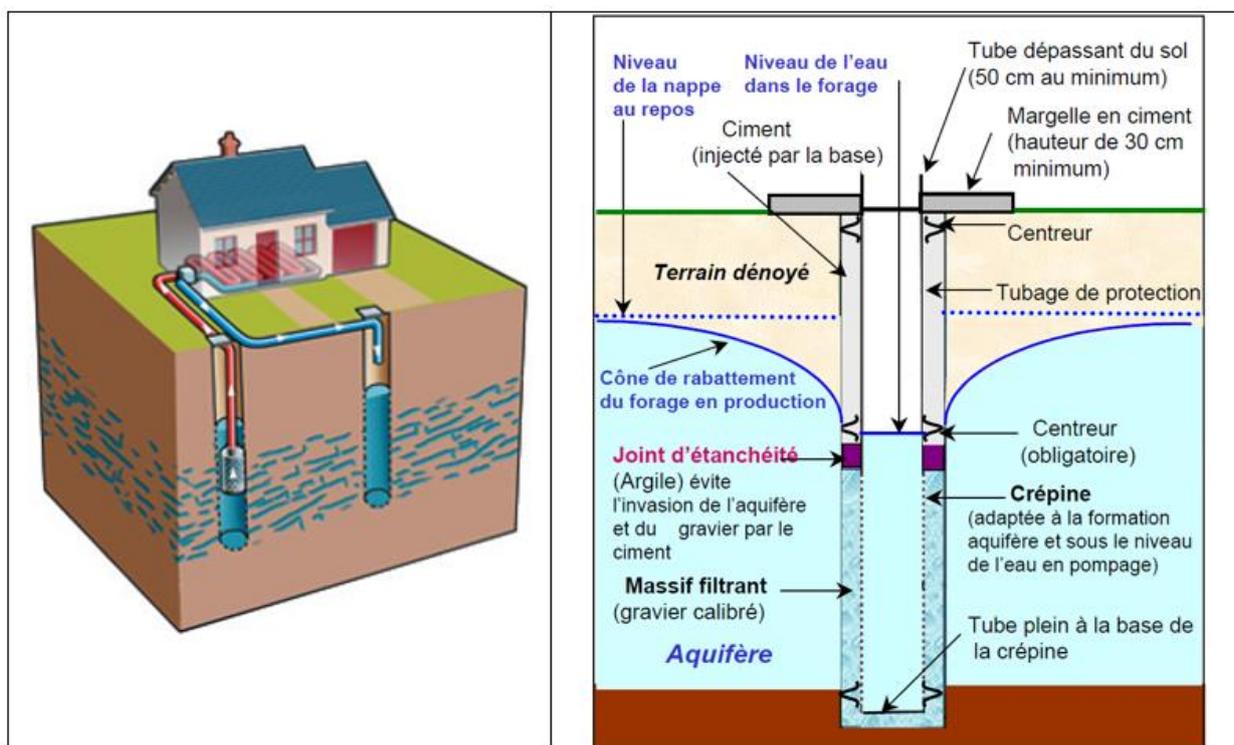


Illustration 1 : Principe d'un doublet sur nappe ou échangeur géothermique ouvert (MEDDE, 2015)

Les critères définis dans le code minier pour cette technologie sont les suivants :

- La profondeur du forage doit être comprise entre 10 et 200 mètres ;
- La puissance thermique maximale prélevée dans le sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation doit être inférieure à 500 kW ;
- La température de l'eau prélevée en sortie des puits de prélèvement doit être inférieure à 25 °C ;
- Les eaux prélevées doivent être réinjectées dans le même aquifère et la différence entre les volumes prélevés et réinjectés doit être nulle.

○ Les Sondes Géothermiques Verticales (SGV) ou échangeurs géothermiques fermés

Le principe de cette technologie est d'échanger la chaleur du sol par conduction thermique le long d'un forage. Cet échange s'effectue au niveau du système géothermique qui est constitué d'un fluide caloporteur de composition variable, de tuyauteries disposées dans le forage et permettant la circulation du fluide et d'un coulis spécifique situé dans l'espace annulaire pour le combler (Illustration 2).

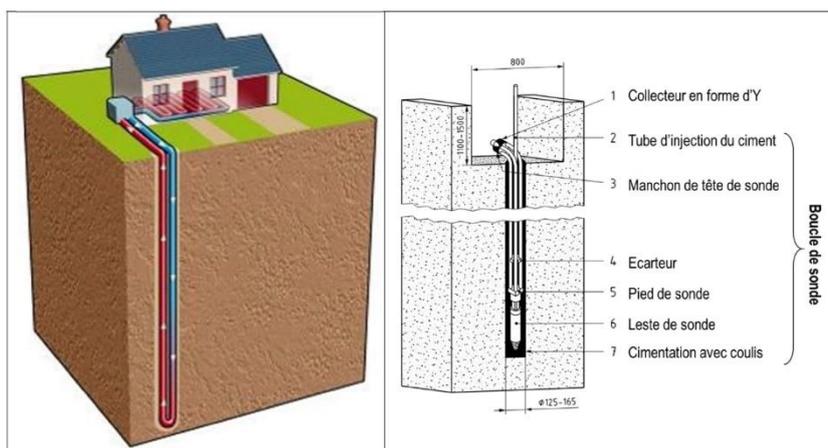


Illustration 2 : Principes d'une Sonde Géothermique Verticale (SGV) ou échangeur géothermique fermé (MEDDE, 2015)

Les critères définis dans le code minier pour cette technologie sont les suivants :

- La profondeur du forage doit être comprise entre 10 et 200 mètres ;
- La puissance thermique maximale prélevée dans le sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation doit être inférieure à 500 kW.

1.2 REGLEMENTATION DE LA GEOTHERMIE DE MINIME IMPORTANCE

Comme vu précédemment, la géothermie de minime importance est règlementée par le code minier. La cartographie des zones réglementaires relatives à la GMI a pour objectif de préciser

les secteurs où les activités de géothermie de minime importance sont réputées présenter ou non des dangers ou des inconvénients graves et ainsi préciser la procédure de mise en place d'un projet de GMI.

Les 3 zones relatives à la carte règlementaire GMI défini par le décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015 modifiant le Décret n°2006-649 du 2 juin 2006 – article 22-6 sont :

- Zones « **vertes** » : les activités de GMI sont réputées ne pas présenter de dangers et inconvénients graves. Téléservice ;
- Zones « **orange** » : les activités de GMI ne sont pas réputées présenter de dangers et inconvénients graves. Téléservice avec attestation de compatibilité d'un projet de GMI établie par un expert agréé ;
- Zones « **rouges** » : les activités de GMI sont réputées présenter des dangers et ne peuvent pas bénéficier du régime GMI. Pas de procédure simplifiée, un dossier d'autorisation doit être déposé.

D'autres prescriptions et réglementations peuvent être localement présentes. Elles sont indépendantes de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance et doivent être prises en compte lors de la réalisation d'un forage de géothermie.

Ces prescriptions peuvent concerner :

- la protection des captages d'alimentation en eau potable ;
- la protection des eaux minérales ;
- un schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) ;
- un schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) ;
- des périmètres de protection des stockages souterrains de gaz naturel, d'hydrocarbures liquides, liquéfiés ou gazeux ;
- des servitudes d'utilité publique notamment celles prévues par l'article L.515-12 du code de l'environnement.

Cette liste n'est pas exhaustive et il appartient donc à l'exploitant et à tout sous-traitant de s'informer et de mettre en œuvre l'ensemble des réglementations spécifiques et applicables à la zone d'un projet de géothermie de minime importance.

Il est rappelé que les travaux de forages géothermiques mis en œuvre pour l'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance (GMI) doivent être réalisés par des entreprises qualifiées selon les conditions techniques prévues par l'arrêté relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance.

2. Méthodologie de réalisation de la carte réglementaire

2.1 PARAMETRES DE LA CARTOGRAPHIE REGIONALE

La méthode utilisée pour élaborer les cartes réglementaires de la GMI au sein de la région Corse est une adaptation régionale de la méthodologie initiale réalisée à l'échelle nationale. Cette méthode est décrite dans le « Guide d'élaboration de la carte des réglementaires relatives à la géothermie de minime importance » publié en juillet 2015 par le Ministère en charge de l'Ecologie (MEDDE, 2015) et de son Addendum de 2023.

Cette méthode est basée sur une analyse multicritère qui regroupe 9 phénomènes redoutés pour 3 gammes de profondeur : 10 - 50 mètres, 10 - 100 mètres et 10 - 200 mètres, et pour deux technologies : doublets sur nappe et sondes verticales géothermiques.

Les 9 phénomènes redoutés sont les suivants :

- Affaissement / surrection liés aux évaporites ;
- Affaissement / effondrement liés aux cavités (hors mines) ;
- Affaissement / effondrement liés aux cavités minières ;
- Mouvements de terrain (ou glissements de terrain) ;
- Pollution des sols et/ou des nappes souterraines ;
- Artésianisme ;
- Mise en communication d'aquifères ;
- Remontée de nappe / Problèmes liés à la réinjection ;
- Biseau salé.

Au final, 6 cartes réglementaires sont réalisées.

Les principales différences entre la cartographie nationale et régionale sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Carte nationale	Carte régionale
8 phénomènes pris en compte	9 phénomènes pris en compte Ajout du phénomène « Biseau salé »
1 seule gamme de profondeur : <ul style="list-style-type: none"> • 10 - 200 m 	3 gammes de profondeur : <ul style="list-style-type: none"> • 10 - 50 m • 10 - 100 m • 10 - 200 m
Maille au 500 x 500 m	Maille au 500 x 500, 250 x 250 m si possible

Illustration 3 : Différence entre la cartographie nationale et régionale

2.2 METHODE UTILISEE

La méthode appliquée pour déterminer les zones de la cartographie réglementaire de la GMI se déroule en 3 grandes étapes (Illustration 5) :

- **Etape 1 : Détermination des niveaux d'aléa de chaque phénomène pour une gamme de profondeur donnée**

Cette étape consiste à caractériser chaque phénomène redouté par des niveaux d'aléa (nul, faible, moyen, fort, très fort) pour chaque gamme de profondeur. Une valeur est attribuée à chaque niveau d'aléa conformément au guide méthodologique (MEDDE, 2015).

Chaque phénomène étudié est représenté sur une carte (couche cartographique pour les différentes profondeurs) où sont figurés les différents niveaux d'aléas. Chaque carte est découpée (quadrillée) en mailles. Compte tenu de la précision des informations sur les aléas, les mailles ont une taille de 500 par 500 mètres. La valeur attribuée à chaque maille correspond au niveau d'aléa qu'elle touche par intersection (méthode la plus conservatrice recommandée par le Guide méthodologique 2015 et son addendum). Une maille affectée par plusieurs polygones héritera du niveau d'aléa le plus élevé de ces polygones.

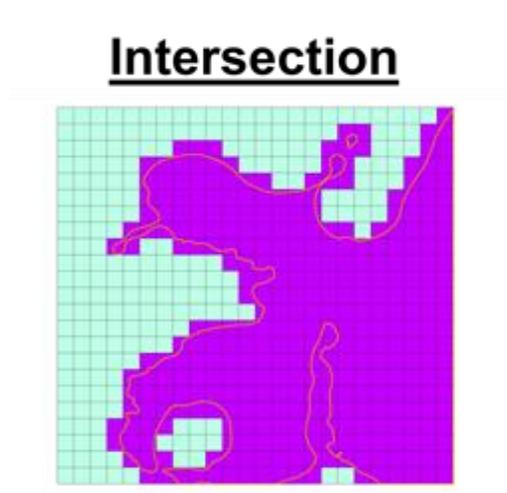


Illustration 4 : Etape de projection d'un polygone sur un maillage par intersection

Le présent rapport précise pour chaque phénomène :

- Les caractéristiques du phénomène étudié ;
- Les données utilisées ainsi que leur origine et leur date d'extraction s'il s'agit de données issues de bases de données ;
- Les différents niveaux d'aléa utilisés ;
- La méthodologie et les traitements réalisés pour obtenir les différents niveaux d'aléa.

○ **Etape 2 : Analyse multicritère**

Cette étape consiste à additionner les valeurs des mailles des grilles de chaque phénomène pour une gamme de profondeur donnée, après leur avoir appliqué un facteur aggravant défini en fonction de la technique d'exploitation géothermique employée (doublets sur nappe ou sondes géothermiques verticales). Les facteurs aggravant sont définis dans la méthodologie nationale.

Les formules utilisées pour chaque maille sont les suivantes :

- Valeur résultante pour les doublets sur nappe = (6 x « évaporites ») + (2 x « cavités non minières ») + (2 x « cavités minières ») + (2 x « Mvt terrain ») + (3 x « Basol ») + (2 x « artésianisme ») + (4 x « communication aquifère ») + (2 x « remontée de nappe ») + (4 x « biseau salé »)
- Valeur résultante pour les sondes géothermiques verticales = (10 x « évaporites ») + (2 x « cavités non minières ») + (2 x « cavités minières ») + (2 x « Mvt terrain ») + (3 x « Basol ») + (4 x « artésianisme ») + (4 x « communication aquifère ») + (0 x « remontée de nappe ») + (0 x « biseau salé »).

○ **Etape 3 : Définition des zones réglementaires pour chaque gamme de profondeur**

Cette dernière étape permet d'attribuer une zone réglementaire (verte, orange ou rouge) à chaque maille des cartes réglementaires : une par gamme de profondeur et technique d'exploitation géothermique, soit possiblement 6 cartes réglementaires.

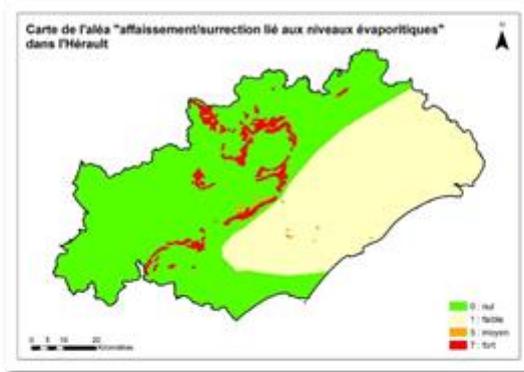
Les zones sont attribuées en fonction de la valeur résultante de chaque maille :

- Verte : entre 0 et 13 ;
- Orange : entre 14 et 41 ;
- Rouge : supérieure à 41.

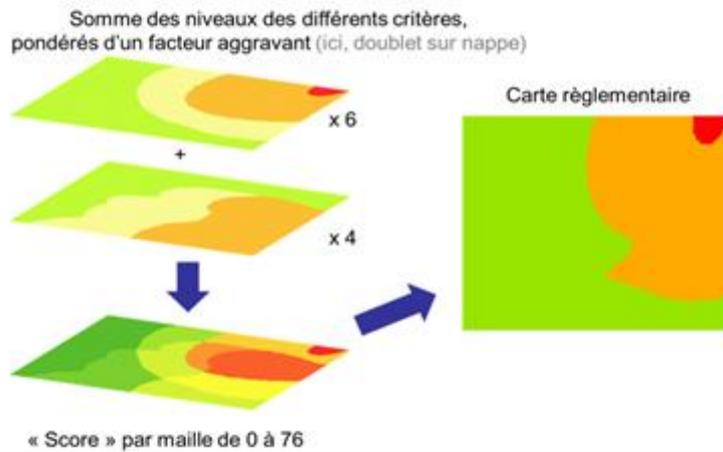
Il est à noter que le classement en zone est effectué si cela est possible pour les trois niveaux de profondeur 10-50m, 10-100 m et 10-200 m avec une règle d'héritage de la zone sus-jacente lorsque l'aléa est plus élevé que celui des autres profondeurs.

Ainsi, si une maille présente un aléa élevé pour la gamme de profondeur de 10 - 50 m et donc un risque pour la réalisation d'un ouvrage de GMI dans cette tranche d'épaisseur, alors tout ouvrage qui traverse cette tranche (c'est-à-dire les 2 autres gammes de profondeur 10 - 100 m et 10 - 200 m) est soumis à cet aléa. De ce fait, la valeur résultante de la maille pour la gamme de profondeur 10 - 100 m ne pourra pas être inférieure à celle calculée pour la gamme de profondeur 10 - 50 m. De même, la valeur résultante de cette maille pour la gamme de profondeur 10 - 200 m ne pourra pas être inférieure à celles des gammes de profondeur 10 - 50 m et 10 - 100 m.

Etape 1 : Détermination des niveaux d'aléa de chaque phénomène pour une gamme de profondeur donnée



Etape 2 : Analyse multicritère



Etape 3 : Définition des zones réglementaires pour chaque gamme de profondeur

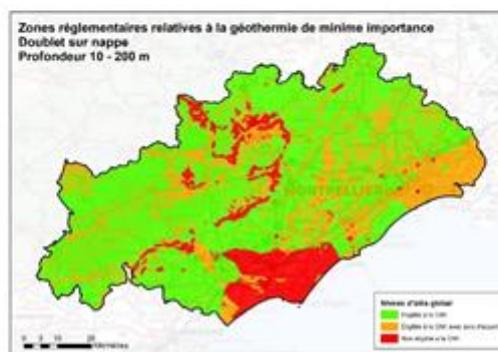


Illustration 5 : Etapes de la détermination des zones des cartes réglementaires de la GMI

2.3 GRILLE DES CARTES REGLEMENTAIRES

Les grilles des cartes réglementaires ont été créées dans le système géodésique officiel en France, le réseau géodésique français 1993 (RGF93-Lambert93) qui répond à la directive INSPIRE. Le maillage correspond à des pixels de 500 x 500 mètres.

La table attributaire de ces grilles (au format « shapefile ») se compose des champs suivants (outre les champs obligatoires FID et Shape) :

- **Attribut « Maille »** : de type entier long, correspondant à un identifiant unique attribué à chaque maille. Pour une maille de 500 x 500, l'identifiant se termine par 00 ;
- **Attribut « Profondeur »** : de type entier court. L'intervalle de profondeur est précisé (50, 100, 200) pour la carte régionale ;
- **Attributs « coordonnées X_RGF93 » et « Y_RGF93 »** de type entier long. Ces coordonnées sont exprimées en mètre. Elles correspondent au centre de chaque maille dans le système RGF93-Lambert93 ;
- **Attribut « Altitude Z_NGF »** de type entier court. Il correspond à l'altitude moyenne du sol au sein de la maille ; cette altitude est définie par rapport au NGF. Elle est exprimée en mètre avec une précision au mètre ;
- **Champs de type entier court correspondent aux neuf phénomènes redoutés.** Ces neuf 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 des mouvements de terrain (glissement de terrain) ;
 - **BASOL** : phénomène de pollution des sols et/ou des nappes ;
 - **Artésien** : phénomène d'artésianisme ;
 - **com_aquif** : phénomène de mise en communication d'aquifères ;
 - **remontee** : phénomène de remontée de nappe ;
 - **biseau** : phénomène de biseau salé ;
- **Attribut « Admin »** de type binaire (soit 0, soit 1). Cet attribut permet de classer d'office la maille considérée en zone rouge. La cotation 1 permet de placer une maille en zone rouge au regard du retour d'expérience ou de la connaissance locale, dont dispose l'administration vis-à-vis des conséquences d'un forage géothermique de minime importance ou tout autre forage du sol et du sous-sol sur la zone. La réalisation d'un ouvrage de géothermie sur la zone est alors réputée présenter des dangers et inconvénients graves et ne peut pas bénéficier du régime de la minime importance prévu par l'article L.112-3 du code minier.

- **Attribut « Doublet »** de type entier court. Ce champ correspond à la somme des niveaux d'aléa pondérés des facteurs aggravants pour la carte qui décrit les zones pour les échangeurs ouverts (de type « doublet sur aquifère ») ;
- **Attribut « SGV »** de type entier court. Ce champ correspond à la somme des niveaux d'aléa pondérés des facteurs aggravants pour la carte qui décrit les zones pour les échangeurs fermés (de type « sonde géothermique verticale ») ;
- **Attribut « cl_doublet »** de type entier court. Ce champ présente la classification des zones réglementaires retenue pour la carte qui décrit les zones pour les échangeurs ouverts (de type « doublet sur aquifère » (1=vert, 2=orange, 3=rouge)) ;
- **Attribut « cl_sgv »** de type entier court. Ce champ présente la classification des zones réglementaires retenue pour la carte qui décrit les zones pour les échangeurs fermés (de type « sonde géothermique verticale » (1=vert, 2=orange, 3=rouge)).

3. Cartographie des phénomènes redoutés

Cette partie présente la première étape de la méthodologie, c'est-à-dire la cartographie des niveaux d'aléa / susceptibilité par phénomène.

Pour chaque phénomène, la méthodologie employée pour le cartographier ainsi que les données utilisées sont détaillées avant la présentation des cartes d'aléas. Un descriptif du phénomène ainsi que ses différents niveaux de qualification sont également présentés.

3.1 PHENOMENE « AFFAISSEMENT / SURRECTION LIES AUX NIVEAUX D'EVAPORITES ET A LA PRESENCE D'EAU »

Ce phénomène a été traité par le BRGM.

3.1.1 Description du phénomène

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'évaporites, 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 (MEDDE, 2015).

Dans le cas des couches profondes d'évaporites, cet aléa nécessite la présence d'aquifères pour exister. Dans le cas des couches superficielles affleurantes d'évaporites, cet aléa nécessite soit la présence d'une source d'eau superficielle (forte pluviométrie, inondation ...) ou la remontée d'eau depuis les aquifères profonds provoqués par les travaux de forage.

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

3.1.2 Qualification du phénomène

Le phénomène « Affaissement / surrection lié aux niveaux d'évaporites et à la présence d'eau » a été qualifié comme suit, conformément aux préconisations du guide :

- **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.

3.1.3 Données utilisées et méthodologie employée

La méthodologie appliquée pour ce phénomène est conforme au guide de 2015.

La Corse ne présentant pas de formations géologiques connues pour leurs horizons évaporitiques avérés, la cartographie de cet aléa s'est essentiellement basée sur la recherche de mots-clefs au sein de différentes sources de données afin d'identifier des formations susceptibles de contenir des évaporites.

Les mots-clefs utilisés ont été les suivants : évaporite, anhydrite, gypse, sel gemme, halite carnallite et sylvinite. Les sources de données dans lesquelles ils ont été recherchés sont listées ci-dessous :

- Les colonnes lithostratigraphiques disponibles dans la base de données du sous-sol (BSS) gérée par le BRGM ;
- Les dénominations des couches géologiques des cartes géologiques au 1/50 000 ;
- Les dénominations des couches BDLISA de niveau 3.

Cette recherche a permis d'identifier uniquement les formations géologiques susceptibles de contenir des évaporites dans les cartes géologiques BRGM. Il s'agit :

- du Trias détritique et trias carbonaté avec « anciens lits évaporitiques, transformés en cargneules jaunâtres » (carte 1106 Santo-Pietro-di-Tenda),
- du Trias moyen avec le Norien avec « des lits cargneulitiques témoignent de l'intercalation d'anciens lits évaporitiques, » et le Carnien « roches vacuolaires dérive de roches gypsifères... , gypse originel observé uniquement dans une écaille quelque mètre en surface .. » (carte 1110 Corte).

Ces couches ont été cartographiées avec une zone tampon de 200 mètres pour tenir compte des incertitudes. Ces formations ont été notées *susceptibilité faible* dû fait de leur nature incertaine, transformées par des processus géologiques, ou de leur présence très ponctuelle. Le reste du territoire corse a été cartographié avec la susceptibilité nulle. Aucun secteur insulaire n'a été qualifié avec les susceptibilités moyenne ou forte car il n'existe pas en Corse d'horizons évaporitiques bien caractérisés connus.

Une fois les secteurs cartographiés avec la susceptibilité faible, les valeurs d'aléas pour les différentes gammes de profondeur ont été attribuées avec pour :

- la profondeur 10 - 50 mètres ; il s'agit des formations affleurantes issues de la carte géologique, correspondant donc à la classe permettant de qualifier l'aléa faible pour ce phénomène en Corse. La puissance et donc la profondeur de ces formations est estimée à une trentaine de mètres.
- les profondeurs 50 - 100 et 100 - 200 mètres ; il n'est pas fait mention de présence de niveaux évaporitiques pour les formations sous-jacentes.

Ainsi, respectant la règle du guide qui affecte la valeur maximale de surface pour les couches plus profondes, les cartes des 3 gammes de profondeur : 10 - 50 mètres, 10 - 100 mètres et 10 - 200 mètres, sont identiques.

3.1.4 Cartographie du phénomène

La cartographie de cet aléa pour les 3 gammes de profondeur est présentée ci-après avec une même carte.

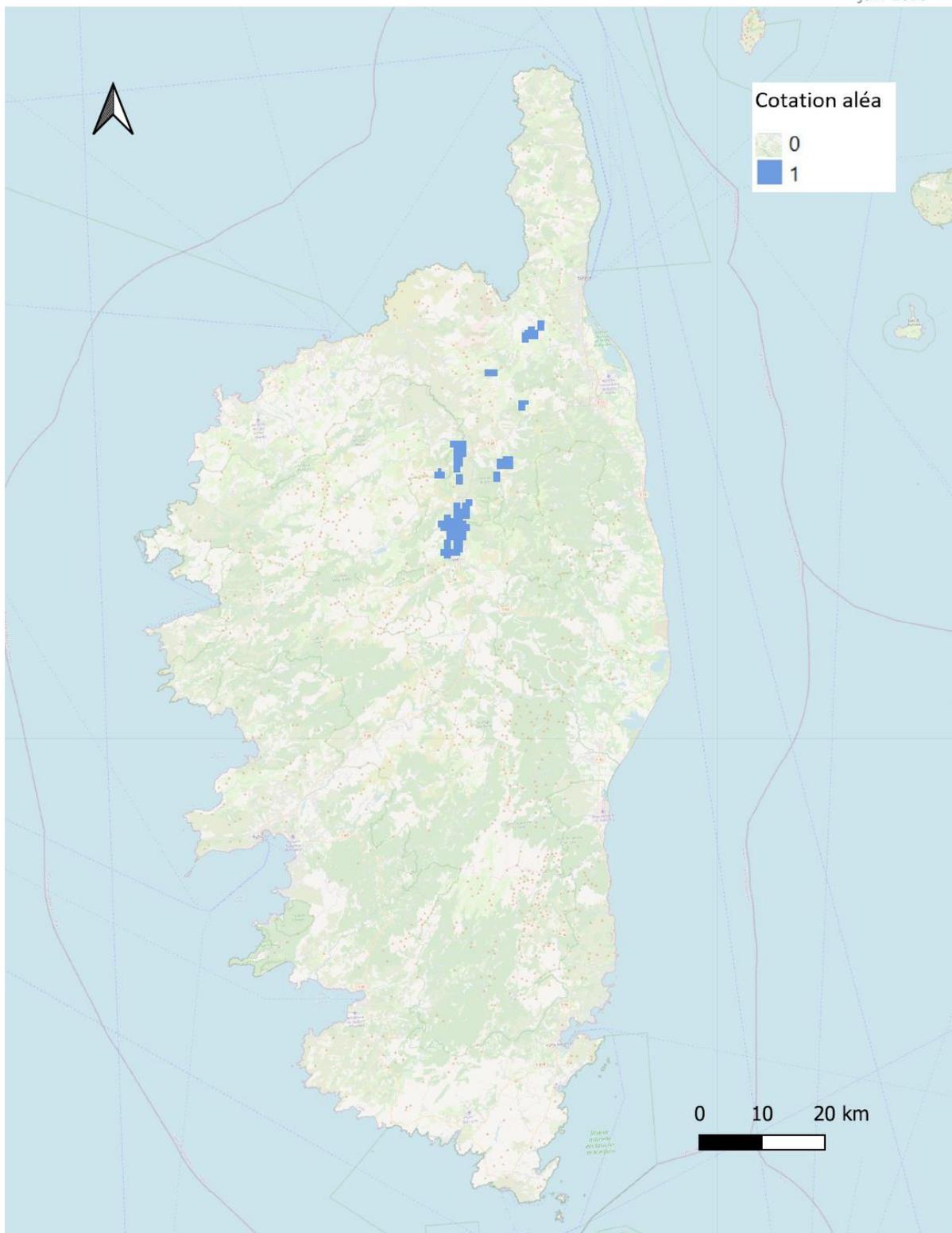


Illustration 6 : Carte d'aléa du phénomène "Affaissement / surrection liés aux niveaux évaporitiques" en Corse pour la gamme de profondeur 10 - 50 m, 10 - 100 m et 10-200m

3.1.5 Cotation des niveaux d'aléa

Les valeurs attribuées aux niveaux d'aléas de ce phénomène sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Susceptibilité	Niveau d'aléa	Facteur aggravant		Résultat maximal	
		Doublets	SGV	Doublets	SGV
Faible	1	6	10	6	10
Nulle	0			0	0

Tableau 1 : Cotation et facteur aggravant du phénomène "Affaissement / surrection lié aux niveaux évaporitiques et à la présence d'eau"

3.2 PHENOMENE « AFFAISSEMENT / EFFONDREMENT LIES AUX CAVITES (HORS MINES) »

Ce phénomène a été traité par le Cerema.

3.2.1 Description du phénomène

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

Les cavités sont, de plus, une difficulté pour la réalisation d'un forage, en particulier pour la cimentation.

La Corse est impactée par 1 grand type de cavités non minières :

- Karsts : système de cavités et conduits formés naturellement par la dissolution hydrochimique des formations carbonatées ou sulfatées.

3.2.2 Qualification du phénomène

Comme indiqué dans la méthodologie nationale de l'**Addendum « Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance »**, l'ensemble des données ont été agrégées aux mailles 500x500 m afin de procéder aux calculs d'aléa. Aucune commune ne disposant d'un PPRN cavité, la méthodologie suivie est décrite ci-après.

Sur toutes les communes qui ne bénéficient pas d'une cartographie détaillée de l'aléa « effondrement » et/ou d'une cartographie précise des cavités, la méthodologie arrêtée repose sur le critère de densité des cavités connues, comme prévu dans la méthodologie nationale.

Sur cette base, les critères retenus pour la qualification de l'aléa à la maille (500x500 m) sont les suivants :

- Susceptibilité forte : > 8 cavités recensées par maille – cotation du niveau aléa : 3;
- Susceptibilité moyenne : 5 à 8 cavités recensées par maille - cotation du niveau aléa : 2 ;
- Susceptibilité faible : 2 à 4 cavités recensées par maille - cotation du niveau aléa : 1 ;
- Susceptibilité nulle : 0 à 1 cavité recensée par maille – cotation du niveau aléa : 0.

3.2.3 Données utilisées et méthodologie employée

Il n'existe pas de carte de ce phénomène à l'échelle régionale actuellement en Corse. Plusieurs types de données sont disponibles à des échelles, des précisions, et des qualités très différentes. Néanmoins, ceci peut entraîner **des limites** à cette méthode, basée sur les seuls inventaires disponibles (sans nouvelles digitalisations), en respectant cependant le guide national et son addendum.

En l'absence de données d'aléas sous format SIG, le niveau d'aléa est coté à partir de la densité de cavités par taille de maille, données issues des bases de données « BD Cavités », BD MVT qui recensent des cavités souterraines abandonnées "hors mines" en France métropolitaine.

L'Addendum propose d'examiner le nombre de cavités par maille tel que présenté dans le paragraphe ci-dessus pour déterminer le niveau aléa.

De plus le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance propose, au chapitre 9.2.3 préconise l'utilisation d'un tampon de 50 m autour de chaque point, assortie d'une distance correspondant à la précision de la localisation. Il est possible, si le niveau de connaissance est suffisant, d'ajuster ce tampon en fonction de l'étendue connue ou estimée des cavités.

a) Données aléa des PPR/PAC

Les données provenant des cartes d'aléa sont issues des DDT, selon les départements.

Les deux DDT ont été consultées mois d'avril 2023.

Service	Nom	Mail	Commentaires
DDT 2A	Grumeaux Portalier	alois.grumeaux@corse-du-sud.gouv.fr pierre.portalier@corse-du-sud.gouv.fr	PPR Chutes de bloc éboulement essentiellement
DDT 2B	Sergent	yann.sergent@haute-corse.gouv.fr	Données envoyées le 14/04 sur grand Bastia PAC

Tableau 2 : Liste des contacts en Corse pour les aléas cavités

Une fois les données collectées et analysées, elles sont projetées sur la grille 500 m x 500m. Chaque maille de la grille intersectée par un aléa obtient la note de l'aléa correspondant, tout en conservant la note la plus défavorable.

Aucun PPR ne concernant ce phénomène n'a été signalé. En conséquence, en l'absence de cartes d'aléas, la qualification du phénomène s'est appuyée sur les données ponctuelles issues des BD Cavité et BD MVT.

- **Données ponctuelles**

En l'absence de données PPR sous format SIG existante de ce phénomène à l'échelle du département, le niveau d'aléa est coté à partir de la densité de cavités par taille de maille, données issues de la base de données « BD Cavités », qui recense de façon homogène l'ensemble des cavités souterraines abandonnées "hors mines" en France métropolitaine. De plus la BD MVT sur ce même phénomène complète les données ponctuelles.

De plus, c'est la précision géographique de la donnée qui est prise en considération. Ce critère va définir le tampon appliqué à chaque événement, il sera égal à un rayon de 50 m augmenté de la précision de la donnée :

Précision	Mètre	Décamètre	Hectomètre	1 km	Centre commune	5 km	999
(Tampon (m))	51	60	150	1050	Supprimé	Supprimé	60

Tableau 3 : Valeurs des tampons attribués aux évènements ponctuels "Affaissement/effondrement lié aux cavités hors mines"

Après analyse des données, les évènements localisés au niveau du centroïde de la commune et dont la précision est 5 km ont été supprimés. Avec une précision de « 999 » le tampon est estimé à 60 m par défaut.

Les tampons associés aux cavités ponctuelles sont découpés par la grille de 500 m x 500m. Les différentes portions de tampons des évènements sont décomptées par maille et donnent ainsi la susceptibilité du phénomène notée 0-1-2-3

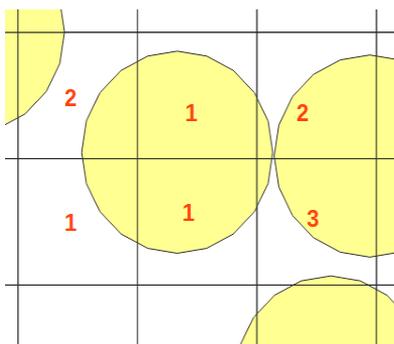


Illustration 7 : Principe du comptage par maille des évènements ponctuels avec leur tampon (en rouge le nombre d'évènements par maille)

o **BD cavités**

En Corse les données de la BD cavité sont hétérogènes d'un territoire à l'autre, voire d'une commune à l'autre, pourtant soumise au même niveau d'aléa affaissement/effondrement lié aux cavités hors mines. Cette disparité s'explique par le fait que certaines communes ont déclaré des phénomènes de manière exhaustive et d'autres non. Cette donnée étant peu fiable, il a été choisi de ne retenir de la BD Cavité que les termes : carrières, effondrement, orifices naturels.

Pour les indices localisés précisément dans la base de données, une zone tampon de 60 m a été retenue autour des points, correspondant à la probabilité qu'une cavité soit présente au droit de cette zone

3.2.4 Cartographie du phénomène redouté

La profondeur des cavités n'apparaît pas dans les cartes d'aléa ni dans les données ponctuelles.

Les trois grilles correspondant aux profondeurs 10-50m, 10-100m et 10-200m sont donc les mêmes.

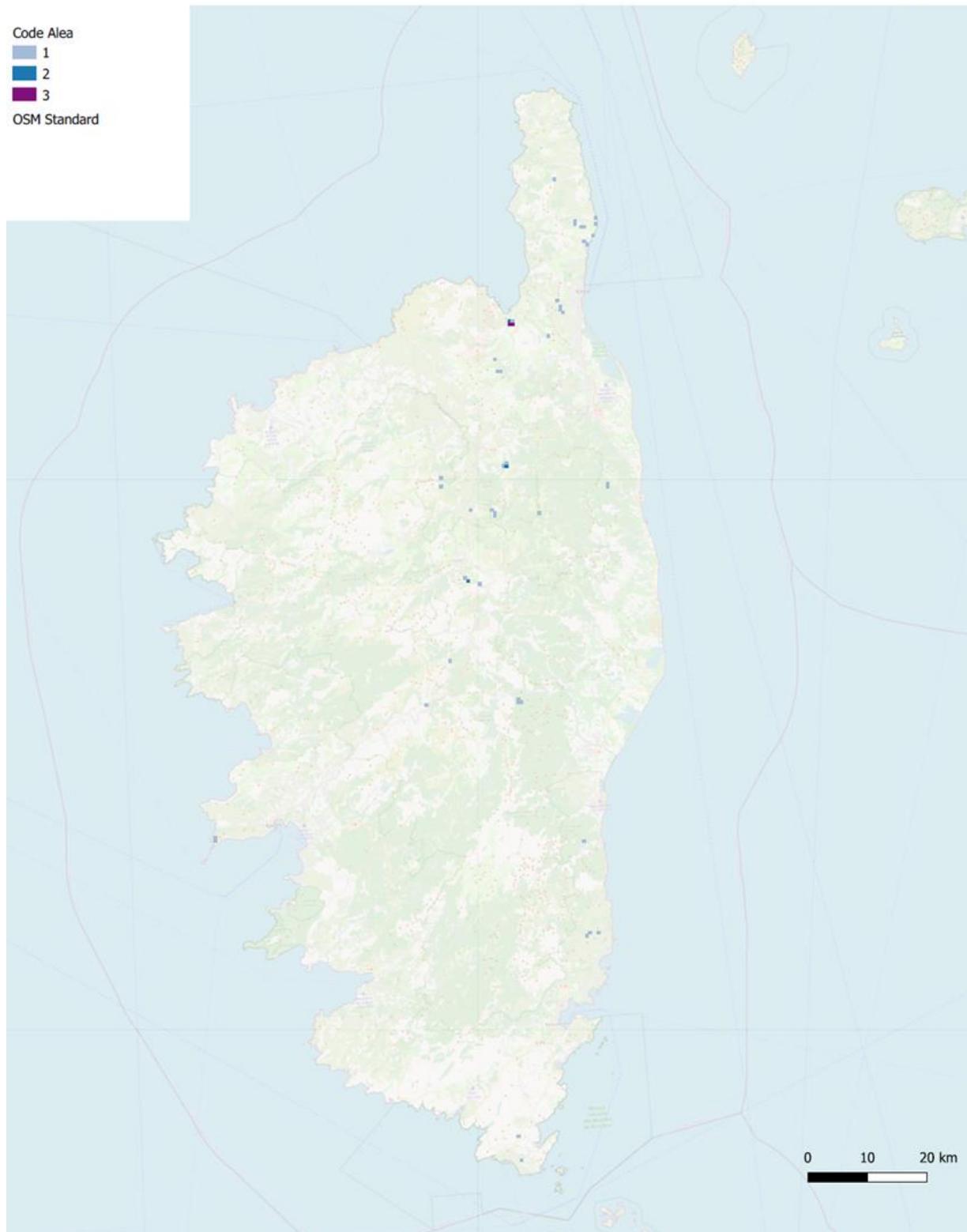


Illustration 8 : Carte d'aléa du phénomène " Affaissement / effondrement liés aux cavités (hors mines) " en Corse pour la gamme de profondeur 10 - 200 mètres

3.2.5 Cotation des niveaux d'aléa

Les valeurs attribuées aux niveaux d'aléas de ce phénomène sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Susceptibilité	Niveau d'aléa	Facteur aggravant		Résultat maximal	
		Doublets	SGV	Doublets	SGV
Forte	3	2	2	6	6
Moyenne	2			4	4
Faible	1			2	2
Nulle	0			0	0

Tableau 4 : Cotation et facteur aggravant du phénomène "Affaissement / effondrement liés aux cavités (hors mines)"

3.3 PHENOMENE « AFFAISSEMENT / EFFONDREMENT LIES AUX CAVITES MINIERES »

Ce phénomène a été traité par le Cerema.

3.3.1 Description du phénomène

Il s'agit ici des effondrements localisés (de type « fontis »), ainsi que des affaissements. De par leur brutalité, les effondrements localisés, potentiellement généralisés à de larges surfaces, 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 qu'un risque économique menaçant principalement 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 sont réalisées par le Groupement d'Intérêt Public (GIP) GEODERIS. Les études sont ensuite utilisées par la DREAL.

3.3.2 Qualification du phénomène

Pour les activités minières disposant d'une cartographie détaillée de l'aléa, les niveaux d'aléas correspondent à ceux présents dans l'étude GEODERIS. Trois qualifications d'aléa sont présentes :

- Fort (cotation à 7) ;
- Moyen (cotation à 5) ;
- Faible (cotation à 1).

Pour les activités minières ne disposant pas d'une cartographie détaillée de l'aléa, les niveaux d'aléas sont considérés comme faible (cotation à 3). Les zones sans exploitation minière connue sont en aléa Nul (cotation à 0).

3.3.3 Données utilisées et méthodologie employée

○ Activités minières disposant d'études sur les aléas

Dans le cadre de la présente étude, les données sur les aléas associés aux activités minières ont été fournies par la DREAL Corse avec une cartographie précise issue de l'étude GEODERIS.

Compte tenu de la précision de ces cartes, aucune zone tampon n'a été appliquée autour de ces sites.

- **Activités minières ne disposant pas d'études sur les aléas**

En l'absence d'une carte d'aléas dédiée ou de données dans l'inventaire GEODERIS, les données utilisées ont été celles de l'inventaire des Ressources minières du territoire métropolitain (1992) du SIG Mines. Ce SIG recense 25 sites d'extraction en Corse.

Ces données d'inventaires ne disposent que d'une localisation ponctuelle et les coordonnées XY correspondent uniquement à une localisation approximative du site. Il peut s'agir des coordonnées du principal site d'extraction, du barycentre, de l'implantation des infrastructures... Conformément à la méthodologie nationale, une zone tampon de 5 km de rayon a été appliquée sur les 25 sites non précisés par les études d'aléas réalisées par GEODERIS ; ceci est probablement **maximisant** pour la Corse dont les mines peuvent être de plus petite extension.

3.3.4 Cartographie du phénomène redouté

La cartographie de cet aléa est identique pour les 3 gammes de profondeur et est présentée ci-après.



AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIE AUX CAVITES MINIERES

Carte d'aléa (10-200 m)

Septembre 2023

LEGENDE

Cotation Aléa

3

5

7

OSM Standard

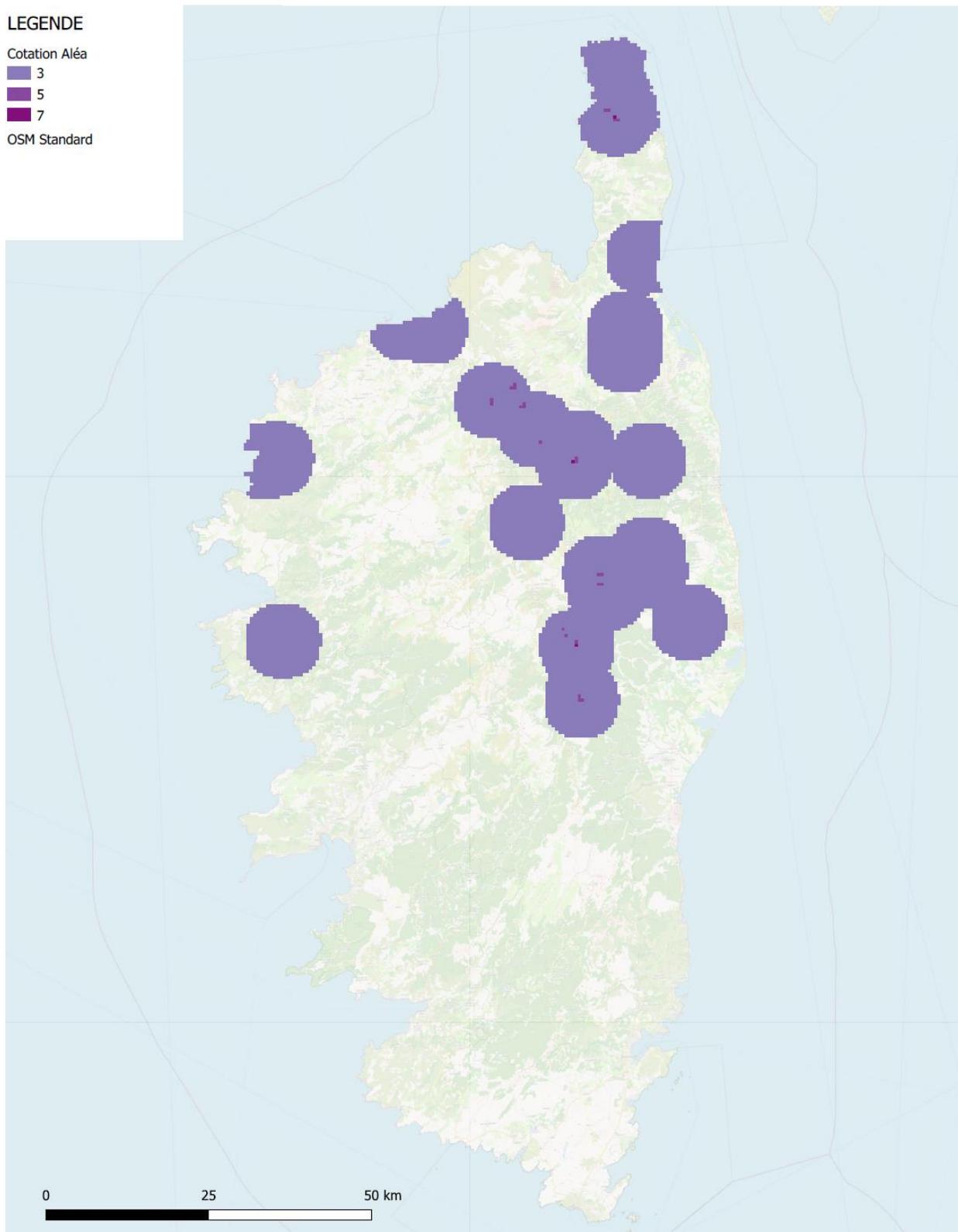


Illustration 9 : Carte d'aléa du phénomène " Affaissement / effondrement liés aux cavités minières "

3.3.5 Cotation des niveaux d'aléa

Les valeurs attribuées aux niveaux d'aléas de ce phénomène sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Susceptibilité	Niveau d'aléa	Facteur aggravant		Résultat maximal	
		Doublets	SGV	Doublets	SGV
Forte	7	2	2	14	14
Moyenne	5			10	10
Faible	3			6	6
Faible	1			2	2
Nulle	0			0	0

Tableau 5 : Cotation et facteur aggravant du phénomène "Affaissement / effondrement liés aux cavités minières"

3.4 PHENOMENE « MOUVEMENTS DE TERRAIN (OU GLISSEMENTS DE TERRAIN) »

Ce phénomène a été traité par le Cerema.

3.4.1 Description du phénomène

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 en 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 défavorables 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.

3.4.2 Qualification du phénomène

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

Dans les communes disposant d'une carte d'aléa mouvements de terrain, la qualification du phénomène est basée sur le niveau de l'aléa glissement de terrain :

- Niveau fort : dans les zones cartographiées en **aléa « fort »**, noté 7
- Niveau moyen : dans les zones cartographiées en **aléa « moyen »**, noté 5
- Niveau faible : dans les zones cartographiées en **aléa « faible »**, noté 1
- Niveau nul : dans les zones cartographiées en **aléa « nul »**, noté 0

Les pondérations attribuées au phénomène « Mouvement de terrain » sont définies selon l'origine de la donnée :

	Niveau d'aléa / susceptibilité du phénomène			
	Nul(le)	Faible	Moyen(ne)	Fort(e)
Commune avec carte d'aléa – données surfaciques	0	1	5	7
BDMVT – données ponctuelles	0	1	2	3

Tableau 6 : Caractérisation du phénomène "Mouvement de terrain"

3.4.3 Données utilisées et méthodologie employée

a) Données d'aléa PPR

Selon la méthodologie du guide de 2015, les données surfaciques sont issues des Plans de Prévention des Risques (PPR) naturels mouvement de terrains pour le phénomène glissement de terrain et de cartes d'aléas diverses. Les deux DDT de Corse ont été consultées en avril 2023.

Une des **limites** de la méthode est que l'atlas de mouvement de terrain du Cerema et d'autres données non digitalisées non pas été prises en compte. Par ailleurs un atlas multirisques qui recensera probablement d'autres glissements existants doit être prochainement mis à jour.

Une fois collectée, les données surfaciques sont projetées sur la grille 500x500 m. Chaque maille de la grille intersectée par un aléa, obtient la note de l'aléa correspondant. La note la plus défavorable est conservée.

Service	Nom	Mail	Commentaires
DDT 2A	Grumeaux Portalier	alois.grumeaux@corse-du-sud.gouv.fr pierre.portalier@corse-du-sud.gouv.fr	Chutes de bloc éboulement essentiellement
DDT 2B	Sergent	yann.sergent@haute-corse.gouv.fr	Données envoyées le 14/04 sur grand Bastia

Tableau 7 : Liste des contacts en Corse aléas Mouvement de terrain

Aucun PPR concernant le phénomène de glissement de terrain n'a été identifié. En conséquence, en l'absence de cartes d'aléas, la qualification du phénomène s'est appuyée sur les données ponctuelles issues des BD MVT glissement.

b) BD MVT

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.

Chaque événement recensé fait l'objet d'une précision sur sa géolocalisation. C'est ce critère qui va définir la zone tampon attribuée. La valeur de cette zone tampon est égale à 100 m augmentée de la précision :

Précision	Métrique	Décamétrique	Hectométrique	Kilométrique	Centre commune
Tampon (m)	101	110	200	1100	Supprimé

Tableau 8 : Valeurs des tampons attribués aux événements ponctuels "Mouvement de terrain"

3.4.4 Cartographie du phénomène redouté

Les grilles correspondant aux trois profondeurs initiales 10-50 m, 10-100 m, 10-200 m sont identiques. Il ne sera retenu qu'une seule grille : 10-200 m.

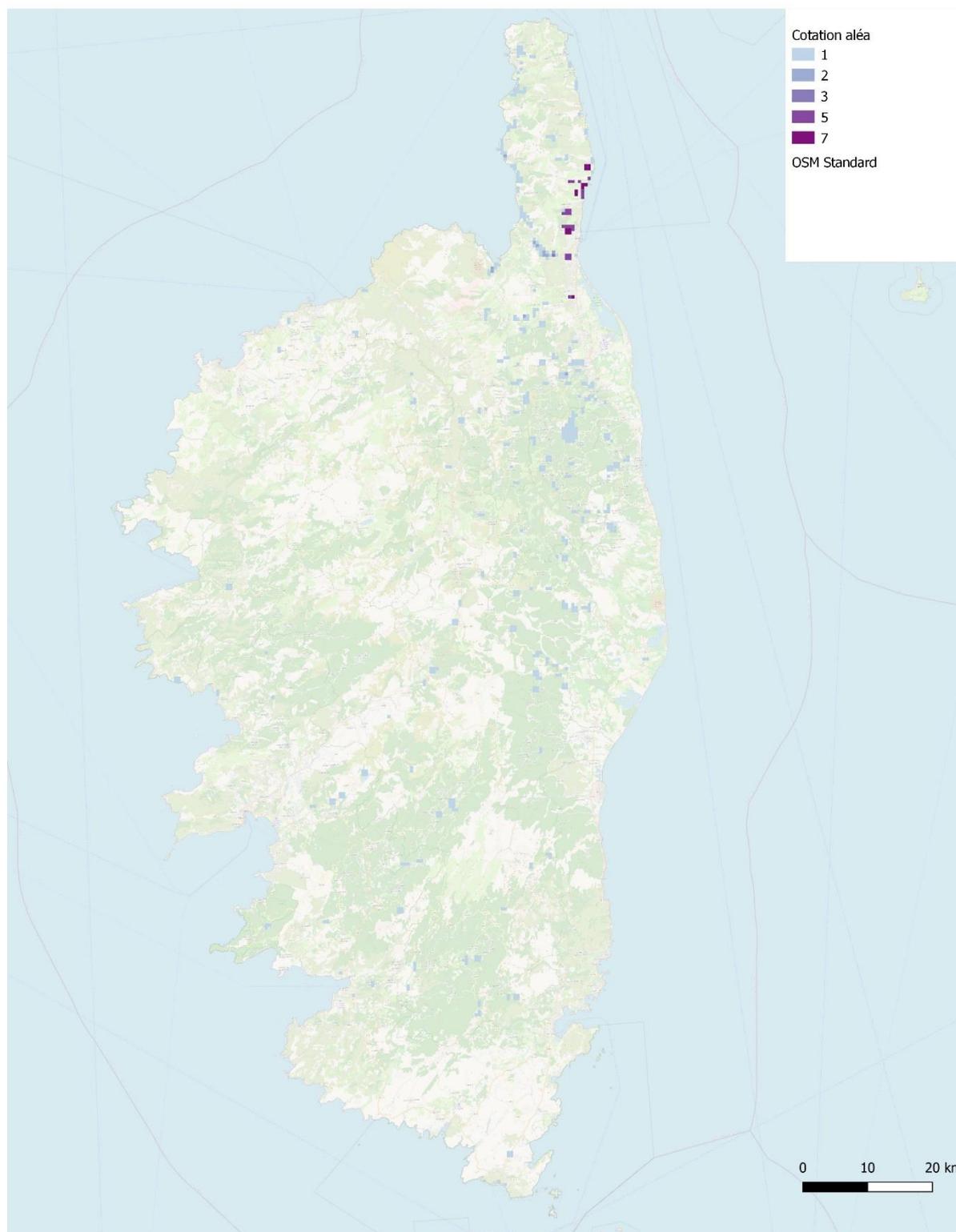


Illustration 10 : Carte d'aléa du phénomène " Mouvements de terrain (ou glissements de terrain) " pour la gamme de profondeur 10 -200 mètres

3.4.5 Cotation des niveaux d'aléa

Les valeurs attribuées aux niveaux d'aléas de ce phénomène sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Susceptibilité / Niveau	Niveau d'aléa	Facteur aggravant		Résultat maximal	
		Doublets	SGV	Doublets	SGV
En présence d'une carte d'aléa					
Niveau fort	7	2	2	14	14
Niveau moyen	5			10	10
Niveau faible	1			2	2
Niveau nul	0			0	0
En l'absence de carte d'aléa					
Susceptibilité forte	3	2	2	6	6
Susceptibilité moyenne	2			4	4
Susceptibilité faible	1			2	2
Susceptibilité nulle	0			0	0

Tableau 9 : Cotation et facteur aggravant du phénomène "Mouvements de terrain (ou glissements de terrain)"

3.5 PHENOMENE « POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE »

Ce phénomène a été traité par le BRGM.

3.5.1 Description du phénomène

Ce phénomène correspond à la possibilité d'infiltration des polluants depuis la surface vers une nappe ou de mettre en communication une nappe superficielle polluée avec des aquifères plus profonds (non contaminés), soit au cours de la foration des ouvrages, soit tout au long de la durée de vie d'un ouvrage en cas de défaut d'étanchéité. Il s'agit de pollutions d'origine industrielle (régime ICPE) accidentelle ; les pollutions agricoles diffuses ne sont pas concernées par cette cartographie réglementaire.

3.5.2 Qualification du phénomène

Les préconisations du guide et son Addendum qualifient le phénomène « Pollution des sols et des nappes d'eau souterraine » comme suit :

- **Susceptibilité très forte** : présence d'un panache de pollution (pollution avérée de la nappe et cartographiée) ;
- **Susceptibilité forte** : présence d'un site identifié dans INFOSOL (ex BASOL) avec pollution avérée de la nappe dans la tranche de profondeur considérée ;
- **Susceptibilité moyenne** : présence d'un site identifié dans INFOSOL et présence d'aquifère dans la tranche de profondeur considérée ;
- **Susceptibilité faible** : présence d'un site identifié dans INFOSOL et absence d'aquifère dans la tranche de profondeur considérée ;
- **Susceptibilité nulle** : pas de site répertorié dans les bases INFOSOL.

3.5.3 Données utilisées et méthodologie employée

La cartographie de ce phénomène s'appuie sur les données présentes dans le site INFOSOL accessible sur Géorisques (<https://www.georisques.gouv.fr/risques/sites-et-sols-pollues/donnees#/type=instructions>) qui regroupe les données de la base BASOL et des SIS (Secteur d'Information sur les Sols) avec croisement des couches de la BDLISA de niveau 3. Ce croisement permet de déterminer si un site se situe au droit d'une nappe (Unité aquifère [5] Unité semi-perméable [6]) et à quelle profondeur celle-ci se situe afin de pouvoir coder les sites avec les niveaux de susceptibilités. La plupart des sites sur INFOSOL est assortie de contours cadastraux (polygones) exceptés pour 4 sites ponctuels.

Les sites « libres de toutes restrictions, travaux réalisés, aucune restriction, pas de surveillance nécessaire » ont été exclus et codés avec un niveau de susceptibilité nulle.

Une zone tampon de 500 mètres est appliquée pour les sites recensés dans INFOSOL (BASOL et SIS) avec pollution avérée de la nappe, et 100 mètres pour les autres sites.

S'agissant de pollutions d'activités industrielles émises depuis la surface, ou dans les premiers mètres, la gamme de profondeur 10 - 50 mètres est susceptible d'être la plus impactée.

Ainsi les cartes pour les trois gammes de profondeur sont identiques et prennent la valeur d'aléas majorante de la tranche 10 - 50 mètres qui est la plus impactée.

A noter que pour le point recensé dans les SIS sous la référence SSP000577701 à GHIUNCHETTO – ERBUCETA, aucune adresse n'est indiquée pour cette ancienne décharge. Nous n'avons donc pas pu cartographier ce point.

3.5.4 Cartographie du phénomène redouté

La cartographie de cet aléa pour les 3 gammes de profondeur est présentée ci-dessous.

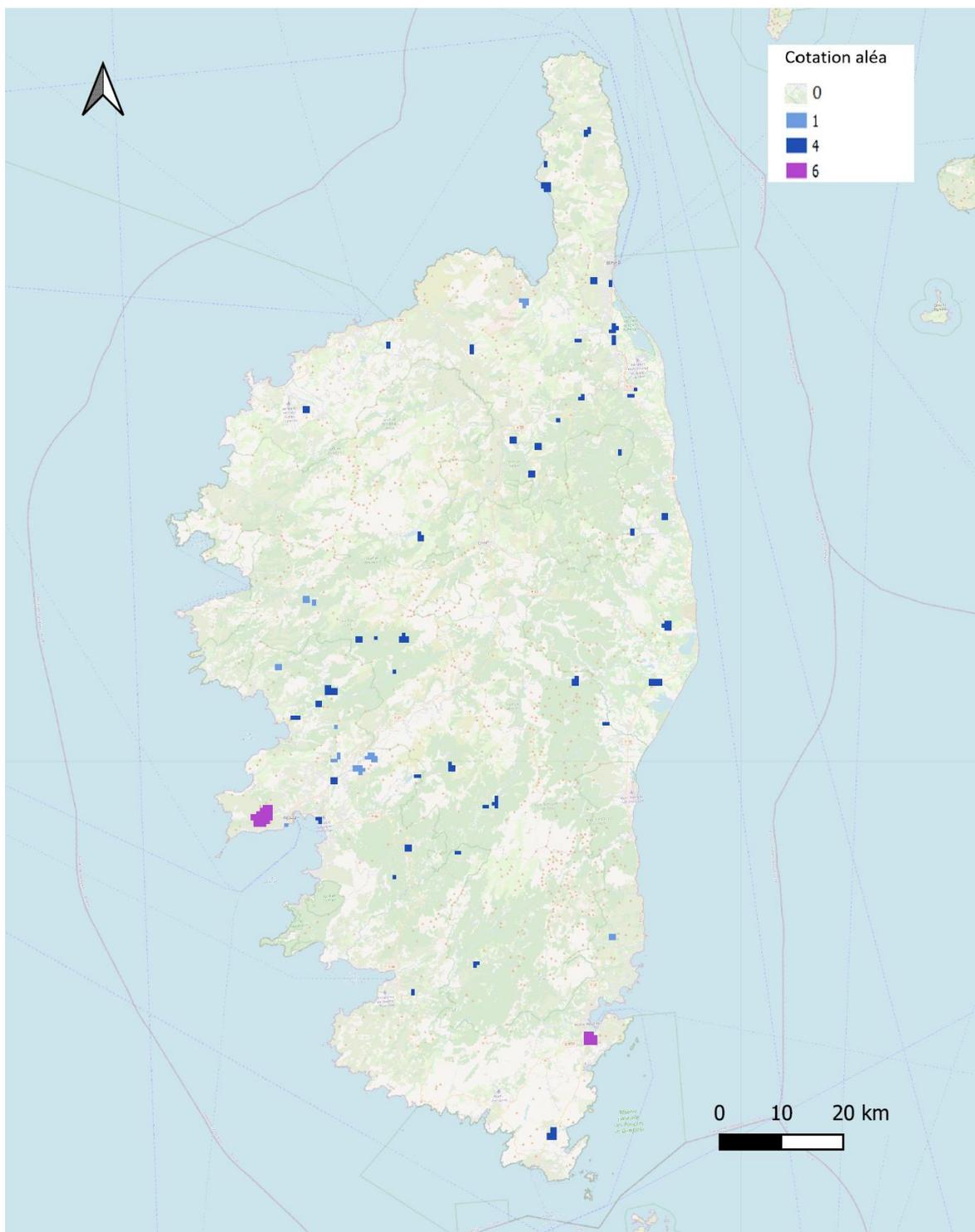


Illustration 11 : Carte d'aléa du phénomène " Pollution des sols et des nappes d'eau souterraine " en Corse pour la gamme de profondeur 10 - 50 m, 50 - 100 m et 100 - 200 mètres

3.5.5 Cotation des niveaux d'aléa

Les valeurs attribuées aux niveaux d'aléas de ce phénomène sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Susceptibilité	Niveau d'aléa	Facteur aggravant		Résultat maximal	
		Doublets	SGV	Doublets	SGV
Très forte	10	3	3	30	30
Forte	6			18	18
Moyenne	4			12	12
Faible	1			3	3
Nulle	0			0	0

Tableau 10 : Cotation et facteur aggravant du phénomène " Pollution des sols et des nappes d'eau souterraine "

3.6 PHENOMENE « ARTESIANISME »

Ce phénomène a été traité par le BRGM.

3.6.1 Description du phénomène

Le phénomène redouté correspond à une remontée d'eau spontanée par les ouvrages (puits, forages) dans le cas d'un aquifère captif. Cette remontée d'eau en surface peut entraîner des écoulements d'eau sur le sol et/ou une déstabilisation d'une formation superficielle.

3.6.2 Qualification du phénomène

Le phénomène « Artésianisme » est qualifié comme suit conformément aux préconisations du guide :

- **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.

3.6.3 Données utilisées et méthodologie employée

La première étape de cartographie de ce phénomène consiste à sélectionner les couches BDLISA de niveau 3 dont l'état renseigné est « Entité hydrogéologique à nappe captive [1] » ou « Entité hydrogéologique à parties libres et captives [3] ». Seuls deux aquifères sont référencés comme tel en Corse (voir tableau 6).

La recherche du phénomène a été complétée à partir des données BSSEAU et bibliographiques (rapports BRGM) mentionnant le caractère artésien ou captif de certains ouvrages ou de nappes de l'île.

Les nappes identifiées présentant un phénomène artésien ou ayant un caractère captif ainsi que les couches BDLISA associées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

NAPPES	COUCHES BDLISA (niveau 3)	DONNEES UTILISEES	INFORMATIONS
Formations du Miocène et du Pliocène de la Plaine-Orientale	600AE01	BDLISA niveau 3 et BRGM RP-30150-FR Synthèse hydrogéologique de la Corse	<ul style="list-style-type: none"> Entité Hydrogéologique à nappe libre et captive « les quelques rares forages privés de la région ont une production artésienne, suivant l'implantation... »
Grès et biocalcarénites miocènes du bassin de Bonifacio	600AE07	BDLISA niveau 3	<ul style="list-style-type: none"> Entité Hydrogéologique à nappe captive
Alluvions récentes du Bevinco et du Golo	720AB01	BRGM RP52191-FR Atlas cartographique des aquifères littoraux de Corse	<ul style="list-style-type: none"> « Nappe de l'Olmi correspondant à l'extrême sud de l'ensemble alluvial du Golo,..., artésianisme marqué »

Tableau 11 : nappes identifiées comme potentiellement artésiennes ou captives avec BDLISA et rapports BRGM

3.6.4 Cartographie du phénomène redouté

La cartographie de cet aléa pour les 3 gammes de profondeur est présentée ci-dessous.

Compte tenu du caractère ponctuel des quelques données BSSEAU, considérer que l'artésianisme de ces forages concerne l'ensemble des vastes entités hydrogéologiques BDLISA recoupées par croisement aurait été trop pénalisant. De même, comme retenir l'ensemble d'une entité hydrogéologique en niveau fort alors que la bibliographie indique que l'aquifère peut être artésien que très localement. C'est pourquoi nous avons redéfini les niveaux du phénomène et leur extension géographique comme suivant en fonction des données disponibles :

- **Niveau fort** : points en BSSEAU avec mode de gisement artésien constaté, avec application d'un tampon de 2 000 m pour atténuer le caractère ponctuel en restant dans des dimensions en rapport avec un domaine hydrogéologique.
- **Niveau moyen** : entité hydrogéologique mentionnée dans la bibliographie (rapports et BDLISA) avec un phénomène artésien possible (découpage de l'entité quand cela est possible – ici réalisé uniquement pour l'entité *Alluvions récentes du Bevinco et du Golo entre le golo et le Fium'alto* pour la nappe de l'Olmi). Point (forage) en BSSEAU avec mode de gisement captif, avec tampon 2 000 m pour atténuer le caractère ponctuel.
- **Niveau nul** : pas d'aquifère artésien connu dans la tranche de terrain considérée.

Une fois les différents niveaux attribués pour chaque nappe et point, ceux-ci sont divisés selon les 3 gammes de profondeur : 10 - 50, 10 - 100 et 10 - 200 mètres. Les données utilisées pour définir les niveaux d'aléas associés aux gammes de profondeurs sont principalement les profondeurs données par la BSSEAU et ont permis de faire trois cartes différentes.

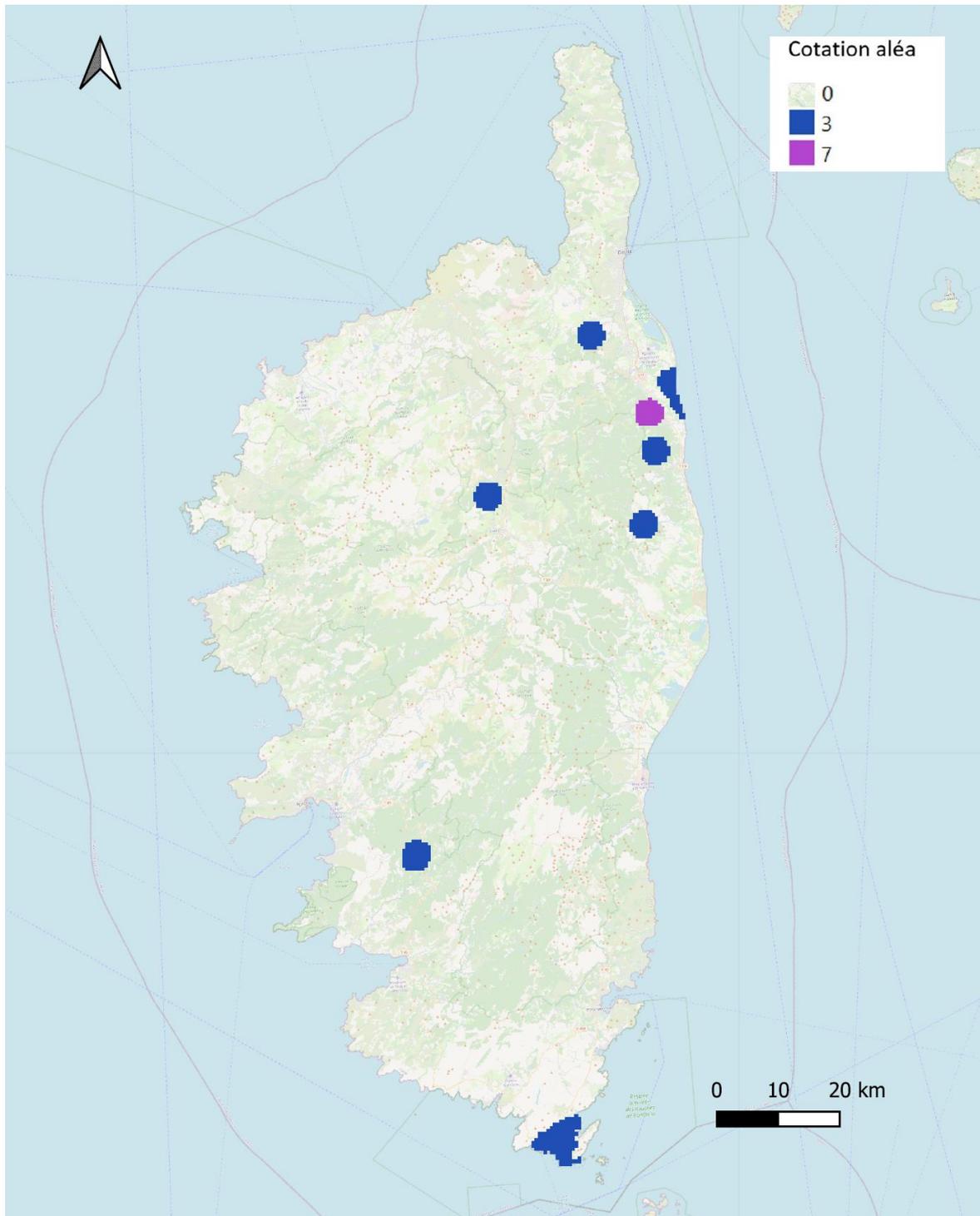


Illustration 12 : Carte d'aléa du phénomène "Artésianisme" pour la gamme de profondeur 10 - 50 mètres

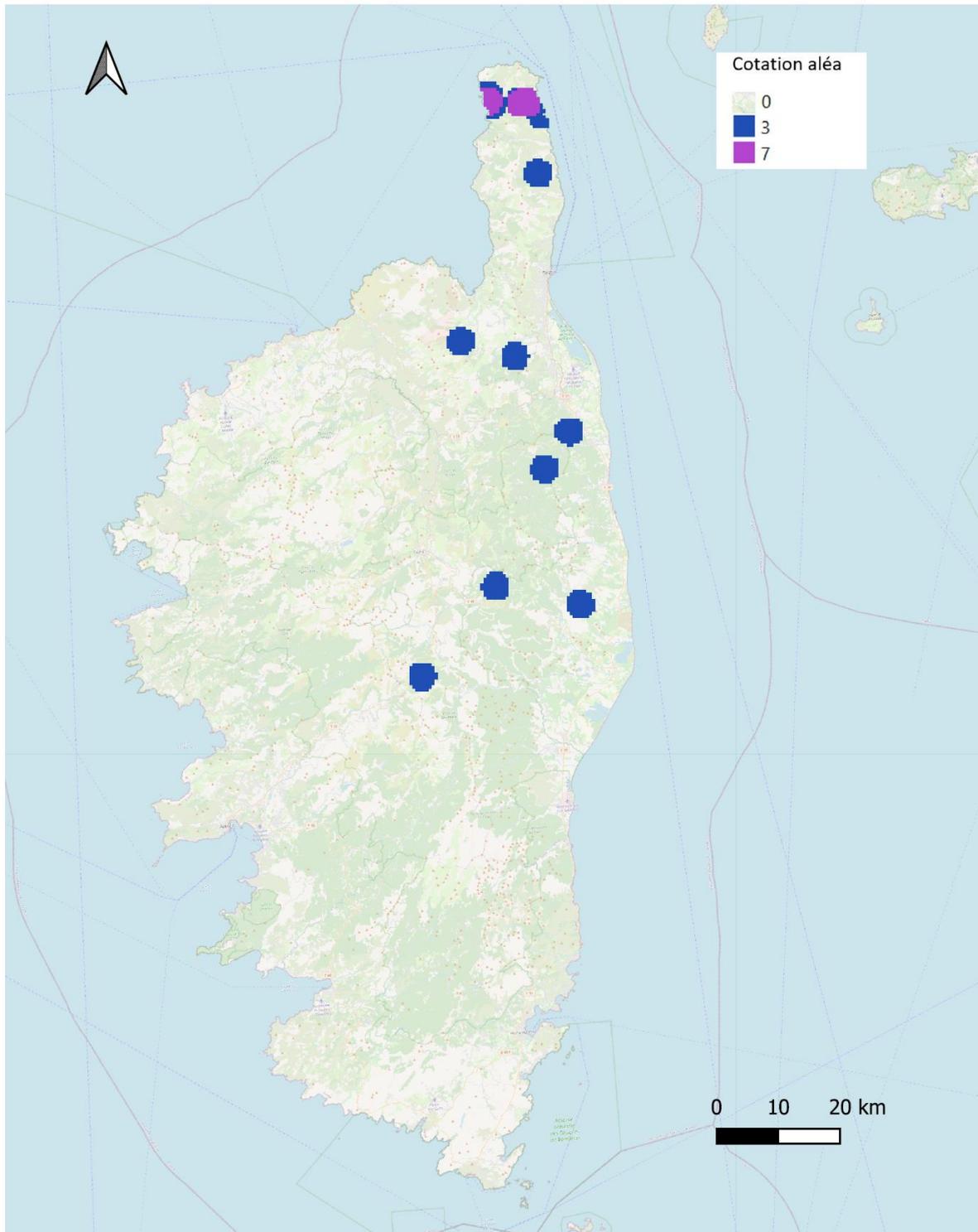


Illustration 13 : Carte d'aléa du phénomène "Artésianisme" pour la gamme de profondeur 10 - 100 mètres

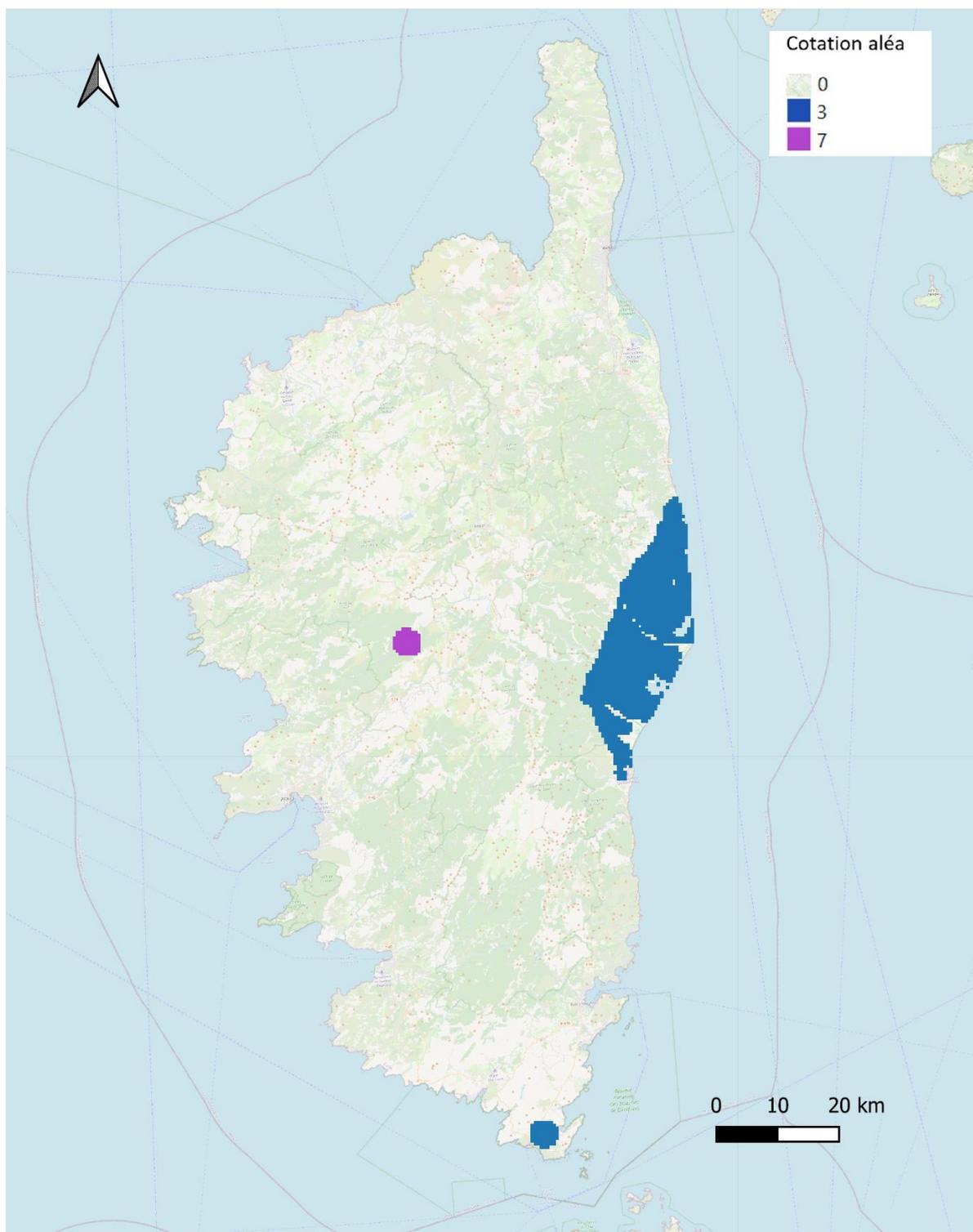


Illustration 14 : Carte d'aléa du phénomène "Artésianisme" pour la gamme de profondeur 10 - 200 mètres

3.6.5 Cotation des niveaux d'aléa

Les valeurs attribuées aux niveaux d'aléas de ce phénomène sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Susceptibilité	Niveau d'aléa	Facteur aggravant		Résultat maximal	
		Doublets	SGV	Doublets	SGV
Forte	7	2	4	14	28
Moyenne	3			6	12
Nulle	0			0	0

Tableau 12 : Cotation et facteur aggravant du phénomène " Artésianisme "

3.7 PHENOMENE « MISE EN COMMUNICATION DES EAUX SOUTERRAINES ENTRE DIFFERENTS AQUIFERES »

Ce phénomène a été traité par le BRGM.

3.7.1 Description du phénomène

Le phénomène redouté est celui de la mise en communication des eaux de deux aquifères distincts. Cette mise en communication peut entraîner :

- Une dégradation de la qualité de l'eau dans l'un des aquifères si l'un d'eux est pollué ;
- Une modification des caractéristiques chimiques des aquifères s'ils ne présentent pas le même faciès géochimique ;
- Une baisse du niveau piézométrique d'un aquifère pouvant entraîner des assèchements de captages voisins, voire des désordres géotechniques ;
- Une augmentation du niveau piézométrique d'un aquifère superficiel pouvant entraîner une remontée d'eau à la surface et une inondation potentielle.

3.7.2 Qualification du phénomène

Le phénomène « Mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères » a été qualifié comme suit, conformément aux préconisations du guide :

- **Susceptibilité moyenne** : présence de plusieurs aquifères dont une ressource stratégique NAEP¹ 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.

3.7.3 Données utilisées et méthodologie employée

La méthodologie appliquée pour ce phénomène est conforme au guide de 2015.

Dans un premier temps, les contours des nappes Corse ont été définis à partir de la BDLISA de niveau 3 (les couches BDLISA sélectionnées sont présentées dans le tableau ci-dessous). Puis dans un second temps, les superpositions éventuelles des nappes ont été déterminées avec le log hydrogéologique donné par BDLISA (ordres relatifs ; seul 1 et 2 pour la Corse), avec la sélection des seules entités perméables et semi-perméables concernées (code 5 et 6). Enfin les gammes de profondeur au sein desquelles chaque nappe se situe ont été définies dans la mesure du possible à l'aide de la bibliographie.

Le tableau ci-après présente les entités hydrogéologiques qui sont recouvertes par une autre formation. Il s'agit pour la Corse essentiellement d'entités du domaine du socle (ordre relatif 2) recouvertes par les nappes alluvionnaires littorales (ordre relatif 1).

¹ Nappes à réserver pour l'alimentation en eau potable

Code EH	libelle EH
600AE07	Grès et biocalcarénites miocènes du bassin de Bonifacio
604AB03	Formations métamorphiques des bassins versants des fleuves côtiers de l'Aliso inclus à l'Ostriconi
604AB02	Formations métamorphiques des bassins versants des fleuves côtiers du ruisseau de Poggiolo inclus au Fium Albino
604AB01	Formations métamorphiques des bassins versants des fleuves côtiers du Golo au ruisseau de Poggiolo et du Fium Albino inclus à l'Aliso
600AE01	Formations du Miocène et du Pliocène de la Plaine-Orientale
604AA02	Formations métamorphiques des bassins versants des fleuves côtiers de l'Ostriconi au ruisseau de Teghiella
602AA04	Socle granitique des bassins versants des fleuves côtiers du ruisseau de Teghiella inclus au ruisseau de Cardiccia
602AA03	Socle granitique des bassins versants des fleuves côtiers de l'Ostriconi au ruisseau de Teghiella
602AB02	Socle granitique du bassin versant du Liamone
600AC01	Alluvions anciennes de la plaine alluviale de la Marana-Casinca
604AC05	Formations métamorphiques des bassins versants des fleuves côtiers de la rivière d'Alesani incluse au Tavignano
604AC06	Formations métamorphiques des bassins versants des fleuves côtiers de la rivière d'Alesani au Fium alto inclus
604AC01	Formations métamorphiques du bassin versant du Golo de sa source à l'Asco
604AC02	Formations métamorphiques des bassins versants des fleuves côtiers du Golo inclus au Fium Alto
600AA01	Flysch péliito-gréseux éocènes de Solenzara
602AD05	Socle granitique du bassin versant du Rizzanese
602AD03	Socle granitique du bassin versant du Taravo
602AD01	Socle granitique du bassin versant du Prunelli
600AE04	Calcaires bioclastiques et molasses miocènes du bassin de Saint-Florent

Tableau 13 : Entités hydrogéologiques sous couverture (ordre relatif 2 BDLISA)

Ces secteurs sont codés avec une susceptibilité faible. Les autres secteurs sont codés avec une susceptibilité nulle.

Les secteurs de susceptibilité moyenne sont définis par rapport à la présence d'une ressource stratégique NAEP dans la gamme de profondeur considérée. Cependant **l'Etat des lieux du Bassin Corse** du SDAGE 2022-2027 adopté par le comité de bassin de Corse du 19 novembre 2019 indique dans sa *disposition 2B-02* « les ressources à préserver sont à identifier et à délimiter au niveau des masses d'eau souterraine, dont elles peuvent concerner tout ou partie. En dehors des masses d'eau déjà désignées pour l'alimentation en eau potable, aucune masse d'eau pas ou faiblement sollicitée à l'heure actuelle et avec de fortes potentialités n'a été identifiée comme à préserver pour la satisfaction des besoins futurs ».

D'après les données bibliographiques (BRGM RP52191-FR Atlas cartographique des aquifères littoraux de Corse), les épaisseurs des formations alluvionnaires (ordre 1) qui recouvrent les entités hydrogéologiques sous couverture (ordre 2, tableau 8) varient de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres. Les données étant assez imprécises et incomplètes, il est retenu pour la cartographie de l'aléa « mise en communication des aquifères », qu'un forage effectué dans la gamme 10-50 m pourrait potentiellement traverser les formations alluvionnaires et atteindre les entités sous-jacentes (ordre 2).

Ainsi les gammes de profondeur ont toutes le même niveau de susceptibilité pour ces secteurs.

3.7.4 Cartographie du phénomène redouté

La cartographie de cet aléa est identique pour les 3 gammes de profondeur.



Illustration 15 : Carte d'aléa du phénomène "Mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères" pour la gamme de profondeur 10 - 50 m, 10 - 100 m et 10 - 200 mètres

3.7.5 Cotation des niveaux d'aléa

Les valeurs attribuées aux niveaux d'aléas de ce phénomène sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Susceptibilité	Niveau d'aléa	Facteur aggravant		Résultat maximal	
		Doublets	SGV	Doublets	SGV
Moyenne	4	4	4	16	16
Faible	1			4	4
Nulle	0			0	0

Tableau 14 : Cotation et facteur aggravant du phénomène " Mise en communication des eaux souterraines entre différents aquifères "

3.8 PHENOMENE « INONDATION PAR REMONTEE DE NAPPE » / PROBLEMES LIES A LA REINJECTION

Ce phénomène a été traité par le BRGM.

3.8.1 Description du phénomène

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

Cet aléa ne concerne que les échangeurs ouverts (doublets géothermiques) et n'est pas considéré pour les échangeurs fermés.

3.8.2 Qualification du phénomène

Le phénomène « Inondation par remontée de nappe » a été qualifié comme suit, conformément aux préconisations du guide :

- **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 5 mètres sous la surface du sol en hautes eaux.

Ce phénomène n'a été cartographié que pour la gamme de profondeur 10-50 m car il s'agit exclusivement d'un phénomène de surface.

3.8.3 Données utilisées et méthodologie employée

La méthodologie appliquée pour ce phénomène est conforme au guide de 2015.

La cartographie de cet aléa repose essentiellement sur la cartographie nationale de sensibilité aux remontées de nappe (Brugeron et al., 2017). Cette cartographie distingue 2 types de zones : les « zones potentiellement sujettes aux débordements de nappe » et les « zones potentiellement sujettes aux inondations de caves ».

Les « zones potentiellement sujettes aux débordements de nappe » ainsi que les « zones potentiellement sujettes aux inondations de caves » ont été codées avec un niveau « faible ».

Cependant, certains secteurs doivent être exclus des zones potentiellement sujettes aux débordements de nappe et donc codés avec un niveau « Nul ». Ces secteurs sont pour la Corse:

- les terrains affleurants imperméables car ils empêchent le débordement en surface de nappes potentiellement captives sous-jacentes. Ces terrains sont déterminés à partir des couches BDLISA de niveau 3 ;
- les terrains urbanisés (tissu urbain continu et discontinu) car ils contiennent des aménagements souterrains (canalisations, réseaux enterrés, etc.) susceptibles de perturber de façon non négligeable la dynamique d'écoulement des eaux souterraines.

Ces terrains sont définis à partir des données d'occupation des sols issues de Corine Land Cover de 2018.

Une fois les secteurs exclus, une première carte d'aléa est établie.

3.8.4 Cartographie du phénomène redouté

La cartographie de cet aléa pour la gamme de profondeur 10-50 m est présentée ci-dessous (les profondeurs plus importantes n'étant pas affectées par ce phénomène).



Illustration 16 : Carte d'aléa du phénomène "Inondation par remontée de nappe" pour la gamme de profondeur 10 - 50 mètres

3.8.5 Cotation des niveaux d'aléa

Les valeurs attribuées aux niveaux d'aléas de ce phénomène sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Susceptibilité	Niveau d'aléa	Facteur aggravant		Résultat maximal	
		Doublets	SGV	Doublets	SGV
Faible	1	2	0	2	0
Nulle	0			0	0

Tableau 15 : Cotation et facteur aggravant du phénomène " Inondation par remontée de nappe "

3.9 PHENOMENE « BISEAU SALE »

Ce phénomène a été traité par le BRGM.

3.9.1 Description du phénomène

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 plus dense qui imprègnent les terrains au voisinage des côtes ou qui 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. 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.

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.

3.9.2 Qualification du phénomène

Le phénomène « Biseau salé » a été qualifié comme suit, conformément aux préconisations du guide :

- **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.

3.9.3 Données utilisées et méthodologie employée

La méthodologie appliquée pour ce phénomène a été adaptée par rapport au guide de 2015.

La cartographie de cet aléa a été réalisée en 2 étapes :

Définition de la sensibilité des aquifères

La cartographie de l'aléa du biseau salé au sein de la région Corse s'appuie sur l'étude de la sensibilité des masses d'eau souterraine aux intrusions salines en Corse (BRGM RP56165-FR, 2009). Un niveau sensibilité a ainsi été affecté aux aquifères littoraux.

Les aquifères concernés sont ceux issus de BDLISA, entités aquifères complémentaires formations alluvionnaires.

Définition de l'extension du biseau salé en fonction des gammes de profondeurs

Une fois l'ensemble des aquifères côtiers de la Corse cartographié en 3 niveaux pour l'aléa du biseau salé, il s'agit de déterminer la limite d'extension dans les terres du front salé au sein de ces aquifères en plan et en profondeur.

En l'absence de cartographie précise des biseaux, l'étendue est estimée à partir du principe de Ghyben-Herzberg. Ce principe repose sur le fait qu'en un point quelconque de l'aquifère, l'interface entre l'eau douce et l'eau salée se situe sous le niveau de la mer à une profondeur égale à 40 fois l'élévation du niveau piézométrique au-dessus du niveau de la mer.

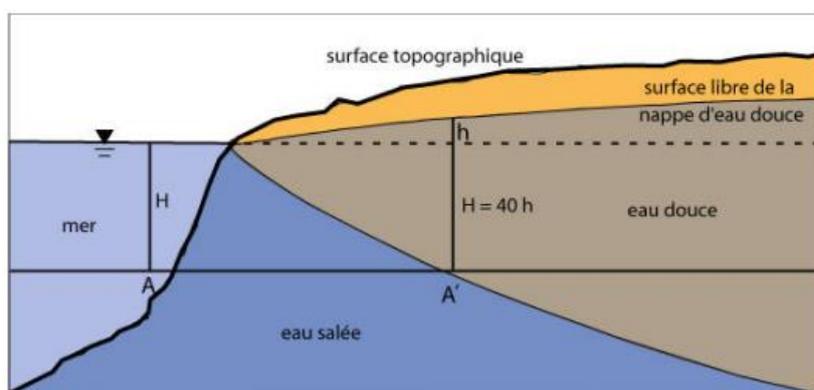


Illustration 17 : Coupe schématique au littoral du biseau salé selon Ghyben-Herzberg

Les données utilisées dans cette relation pour définir l'extension géographique et les profondeurs de l'interface eau douce/eau salée sont pour la Corse :

- Pour déterminer **h** (hauteur de charge eau douce au-dessus du niveau de la mer), avec $h = MNT - P$:
 - **P**, la profondeur de la nappe : profondeur moyenne par aquifère donnée dans le rapport BRGM RP52191-FR Atlas des aquifères littoraux de Corse, 2003.
 - **MNT**, la topographie et l'altitude du littoral au droit de la masse d'eau : Modèle Numérique Terrain (IGN) 1 mètre

- Pour déterminer la profondeur **H** (interface eau douce/eau salé): $H = 40 * h$, et ce en tous points disponible du MNT (exemple cartographique des résultats figure ci-dessous). Par simplification, il a été considéré que pour des valeurs d'altitudes du terrain inférieures aux valeurs de profondeur de la nappe (donnant un calcul de $h < 0$; ex : MNT =1m et P =2 m => $h = -1$ m), l'interface **H** se trouve à la cote topographique 0, ce qui est majorant en termes d'évaluation du risque.

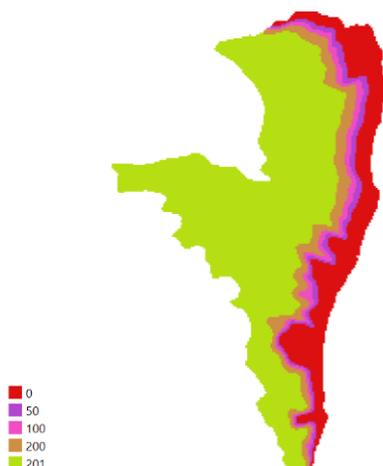


Illustration 18 : Extension en plan et par gamme de profondeur du biseau salé selon calcul Ghyben-Herzberg – entité hydrogéologique « Alluvions récentes du Travo »

3.9.4 Cartographie du phénomène redouté

La cartographie de cet aléa pour les 3 gammes de profondeur est présentée ci-dessous.

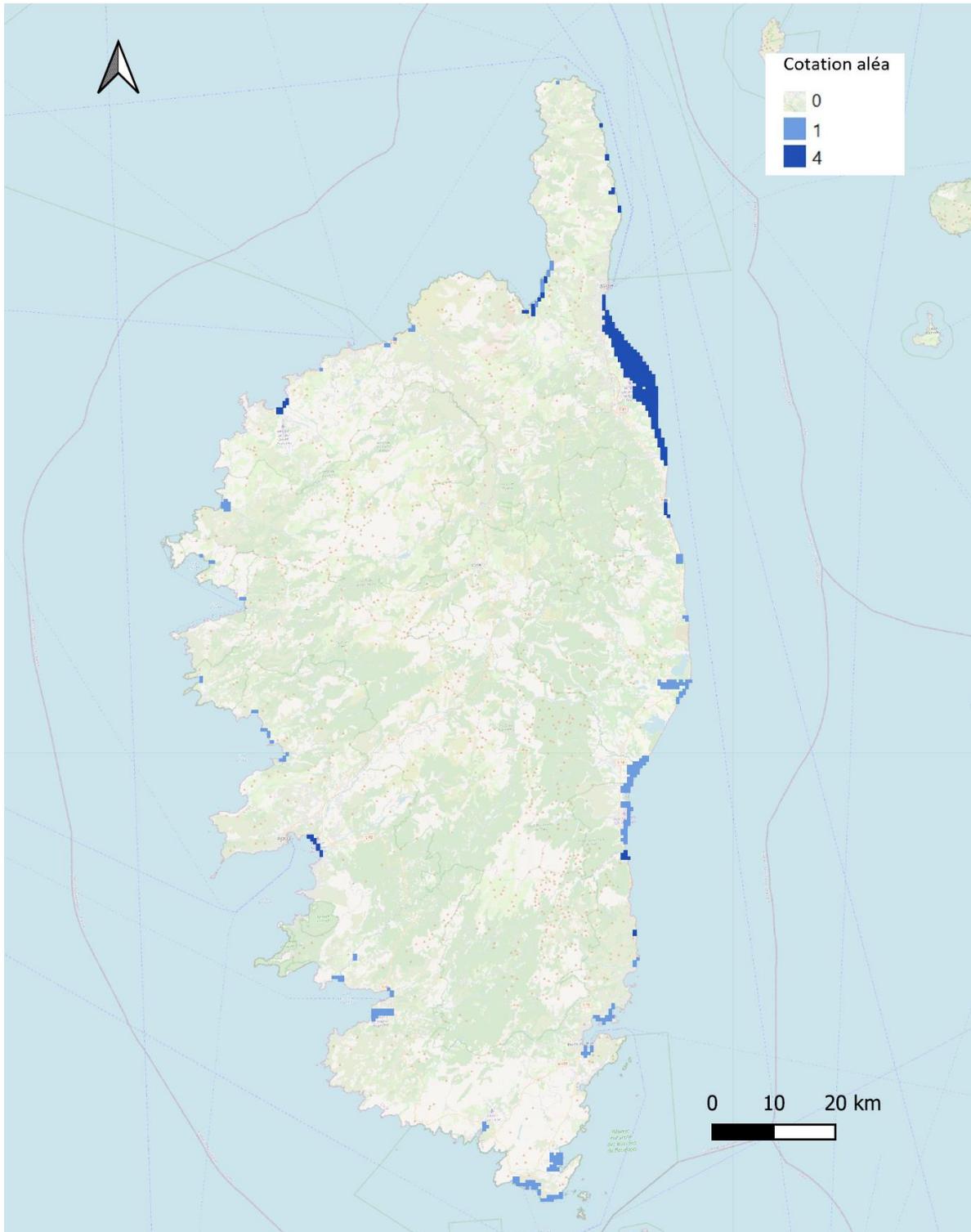


Illustration 19 : Carte d'aléa du phénomène "Biseau salé" pour la gamme de profondeur 10 - 50 mètres

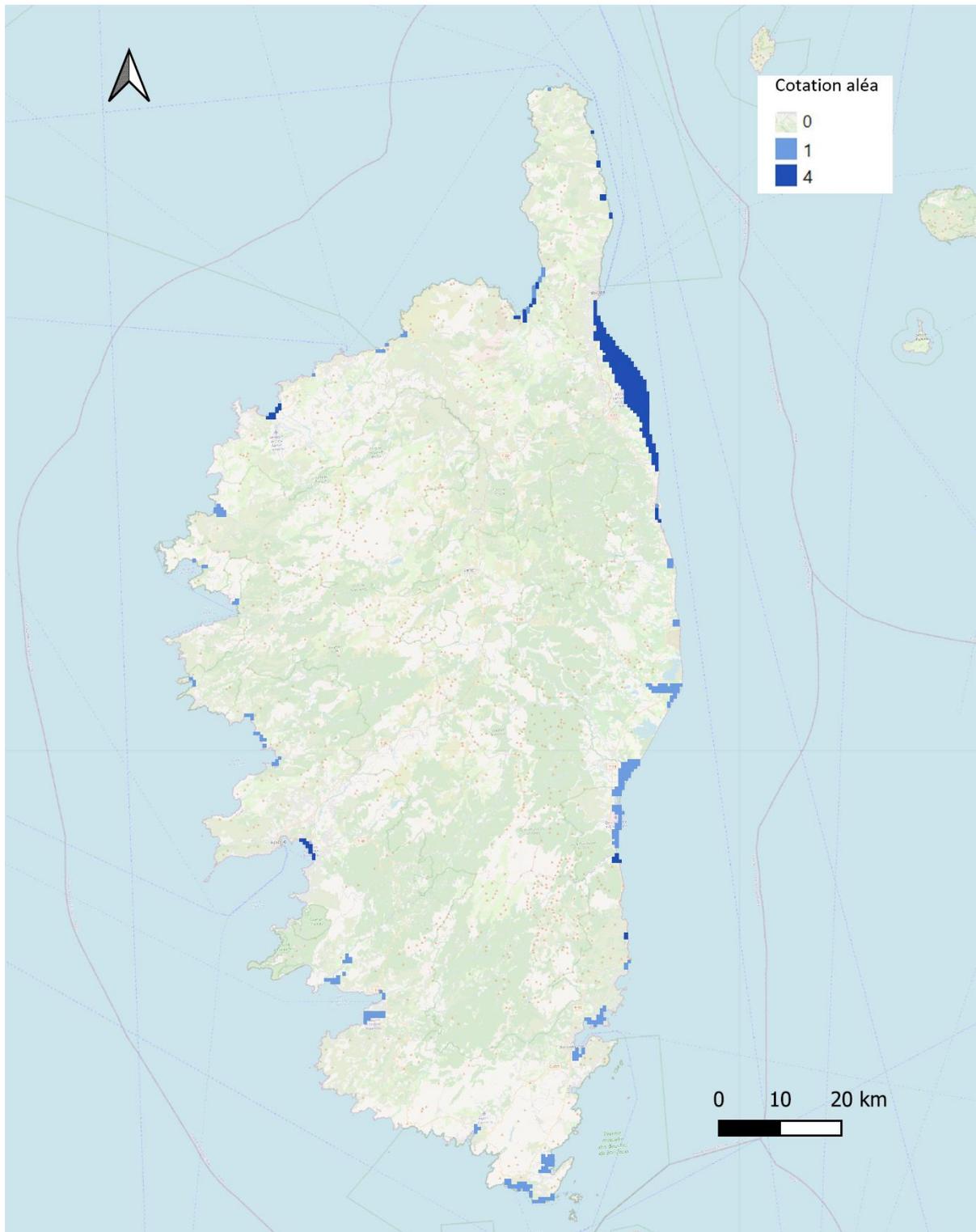


Illustration 20 : Carte d'aléa du phénomène "Biseau salé" pour la gamme de profondeur 10 - 100 mètres

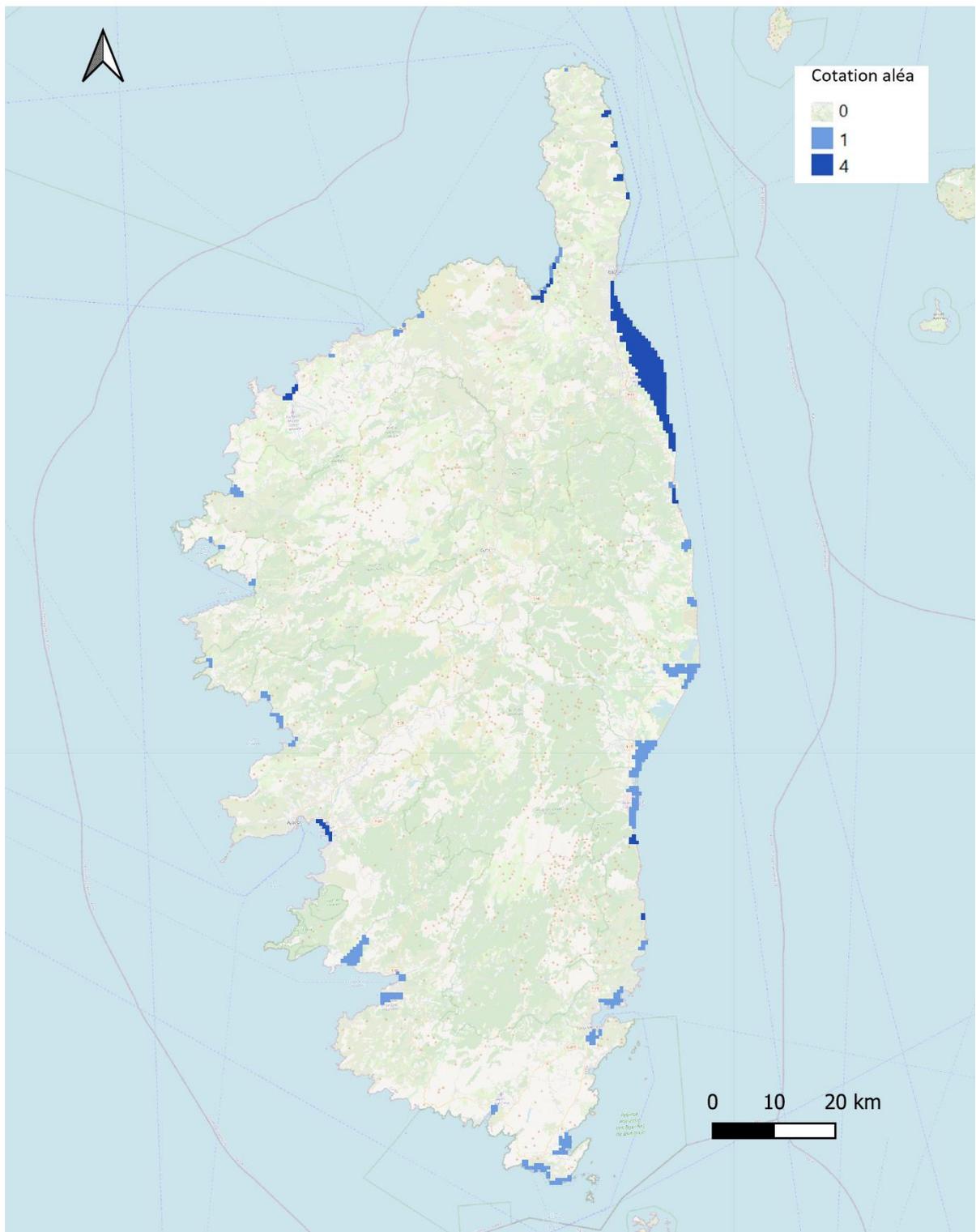


Illustration 21 : Carte d'aléa du phénomène "Biseau salé" pour la gamme de profondeur 10 - 200 mètres

3.9.5 Cotation des niveaux d'aléa

Les valeurs attribuées aux niveaux d'aléas de ce phénomène sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Susceptibilité	Niveau d'aléa	Facteur aggravant		Résultat maximal	
		Doublets	SGV	Doublets	SGV
Fort	4	4	0	16	0
Faible	1			4	0
Nulle	0			0	0

Tableau 16 : Cotation et facteur aggravant du phénomène " Biseau salé "

4. Cartes réglementaires

Suite à l'élaboration des cartes d'aléas et à leur croisement conformément à l'analyse multicritères définie dans la méthodologie nationale (MEDDE, 2015), les cartes réglementaires suivantes ont été obtenues.

Le zonage réglementaire de simple déclaration par "téléservice" est très majoritairement représenté sur l'île (environ 97% du territoire). La répartition par zone réglementaire en fonction de la surface et de la population est visible Tableau 17 et Tableau 18

Quelques secteurs sont en zone orange nécessitant un avis d'un expert (téléservice avec avis de compatibilité) avec les phénomènes suivants qui contribuent essentiellement à cette classification selon la méthodologie :

- les mouvements de terrain dans l'arrière-pays ou les hauteurs,
- le biseau salé sur le littoral,
- la conjugaison d'affaissements évaporitiques, d'artésianisme et de cavités minières, localement au centre de l'île,
- la conjugaison sur le littoral de pollution, du biseau et de mise en communication des aquifères.

		Carte initiale		50 m		100 m		200 m	
		Doublets	SGV	Doublets	SGV	Doublets	SGV	Doublets	SGV
Corse	Vert	100,0%	100,0%	98,4%	98,8%	98,2%	98,2%	97,7%	97,0%
	Orange	0,0%	0,0%	1,6%	1,2%	1,8%	1,8%	2,3%	3,0%
	Rouge	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tableau 17 : Répartition des zones en fonction de la surface

		Carte initiale		50 m		100 m		200 m	
		Doublets	SGV	Doublets	SGV	Doublets	SGV	Doublets	SGV
Corse	Vert	100,0%	100,0%	92,5%	97,1%	92,3%	96,8%	91,7%	95,9%
	Orange	0,0%	0,0%	7,5%	2,9%	7,7%	3,2%	8,3%	4,1%
	Rouge	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tableau 18 : Répartition des zones en fonction de la population

Zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance pour les systèmes ouverts (doublets sur nappe)

**Gamme de profondeur
[10-50 m]**

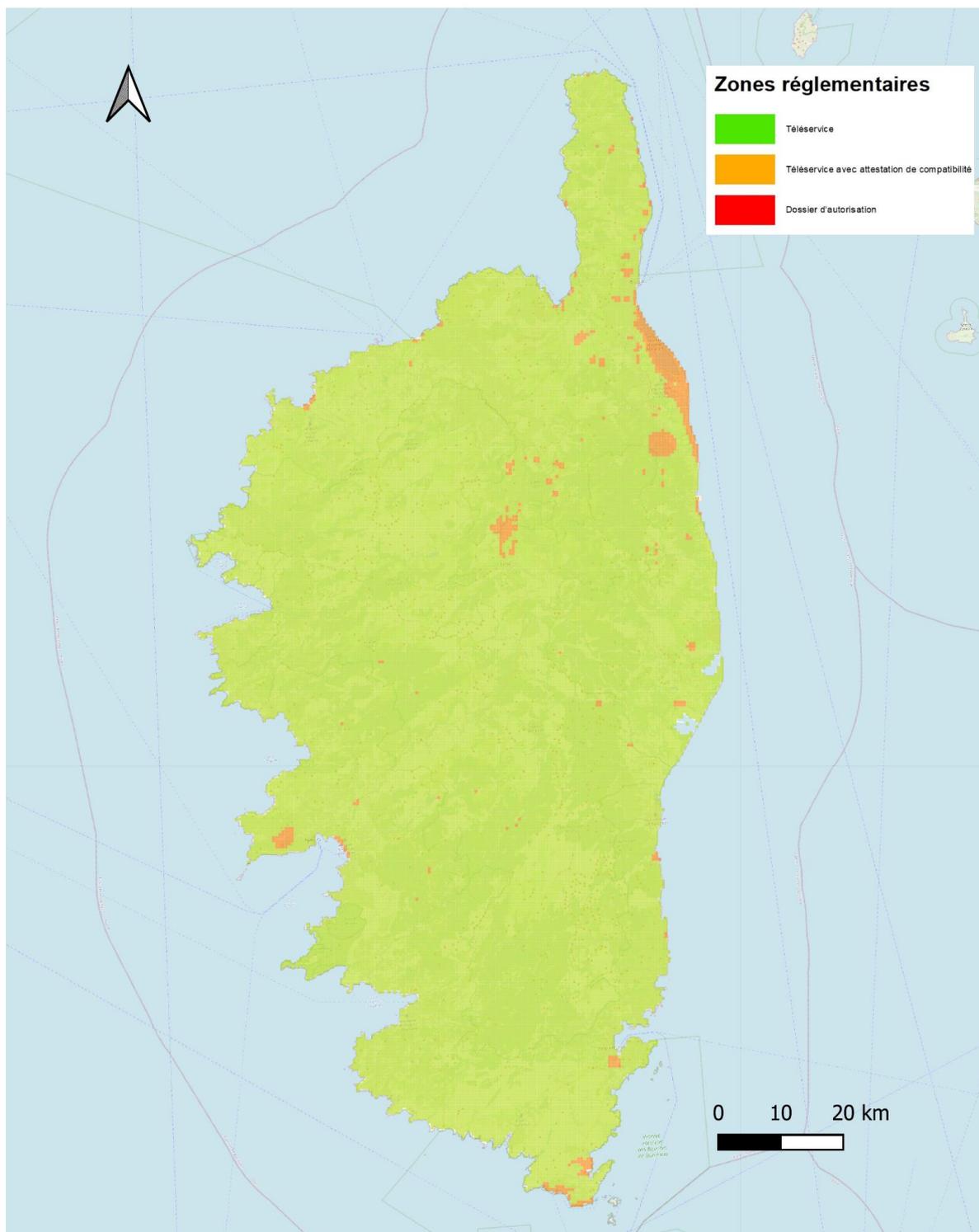


Illustration 22 : Carte réglementaire pour les doublets sur nappe de la gamme de profondeur 10-50 m

Zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance pour les systèmes ouverts (doublets sur nappe)

**Gamme de profondeur
[10-100 m]**

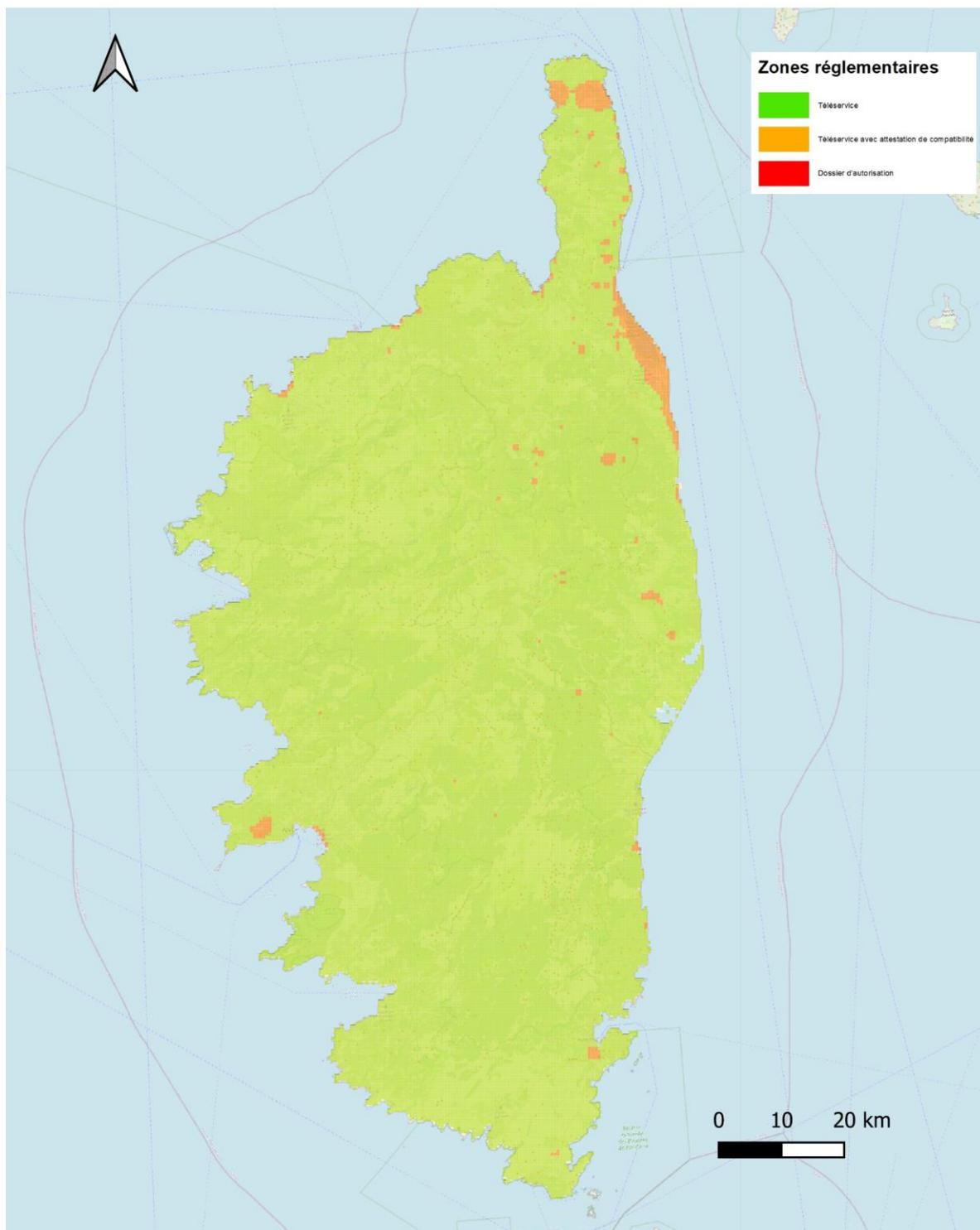


Illustration 23 : Carte réglementaire pour les doublets sur nappe de la gamme de profondeur 10-100 m

Zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance pour les systèmes ouverts (doublets sur nappe)

**Gamme de profondeur
[10-200 m]**

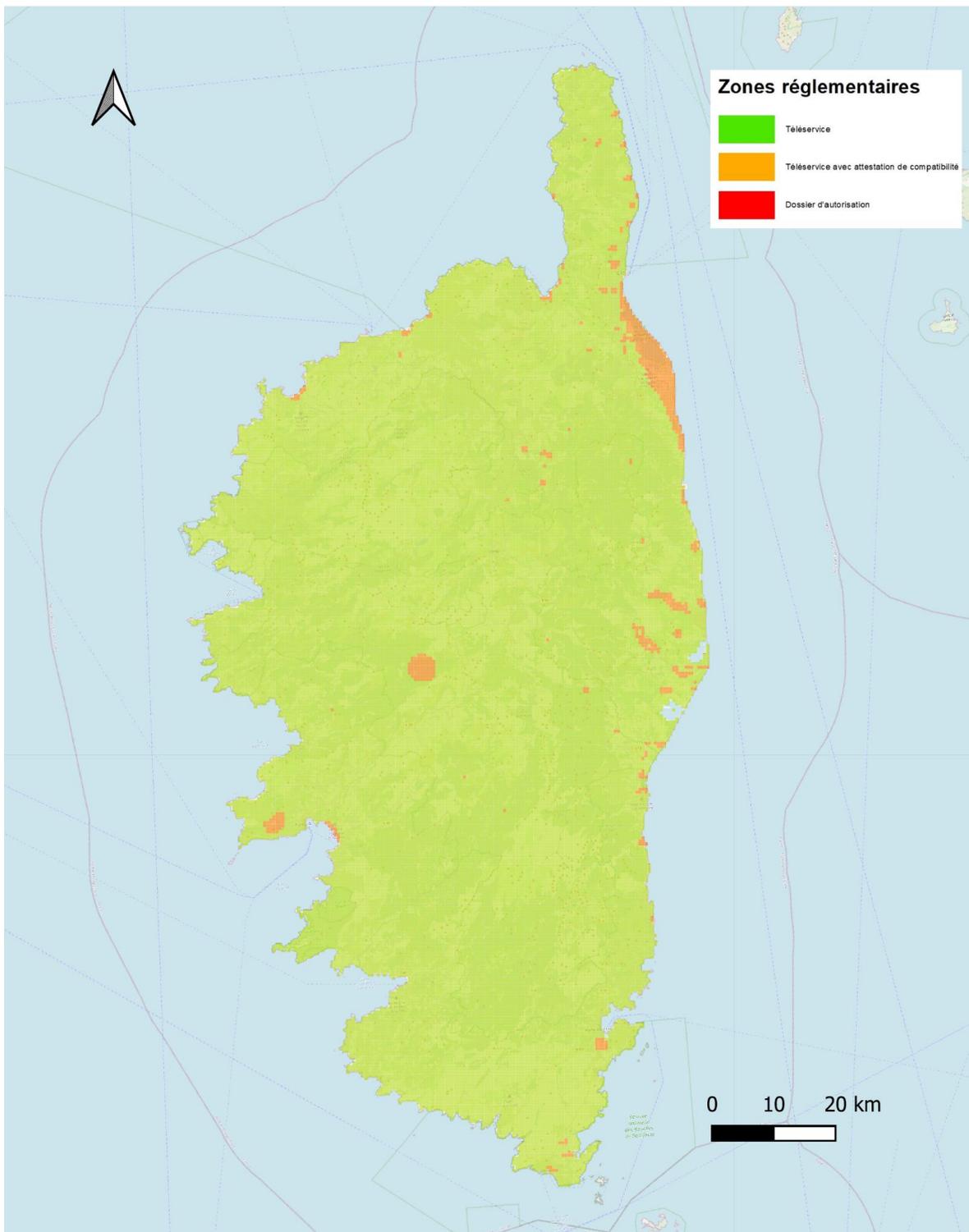


Illustration 24 : Carte réglementaire pour les doublets sur nappe de la gamme de profondeur 10-200 m

Zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance pour les systèmes fermés (sondes géothermiques verticales)

**Gamme de profondeur
[10-50 m]**

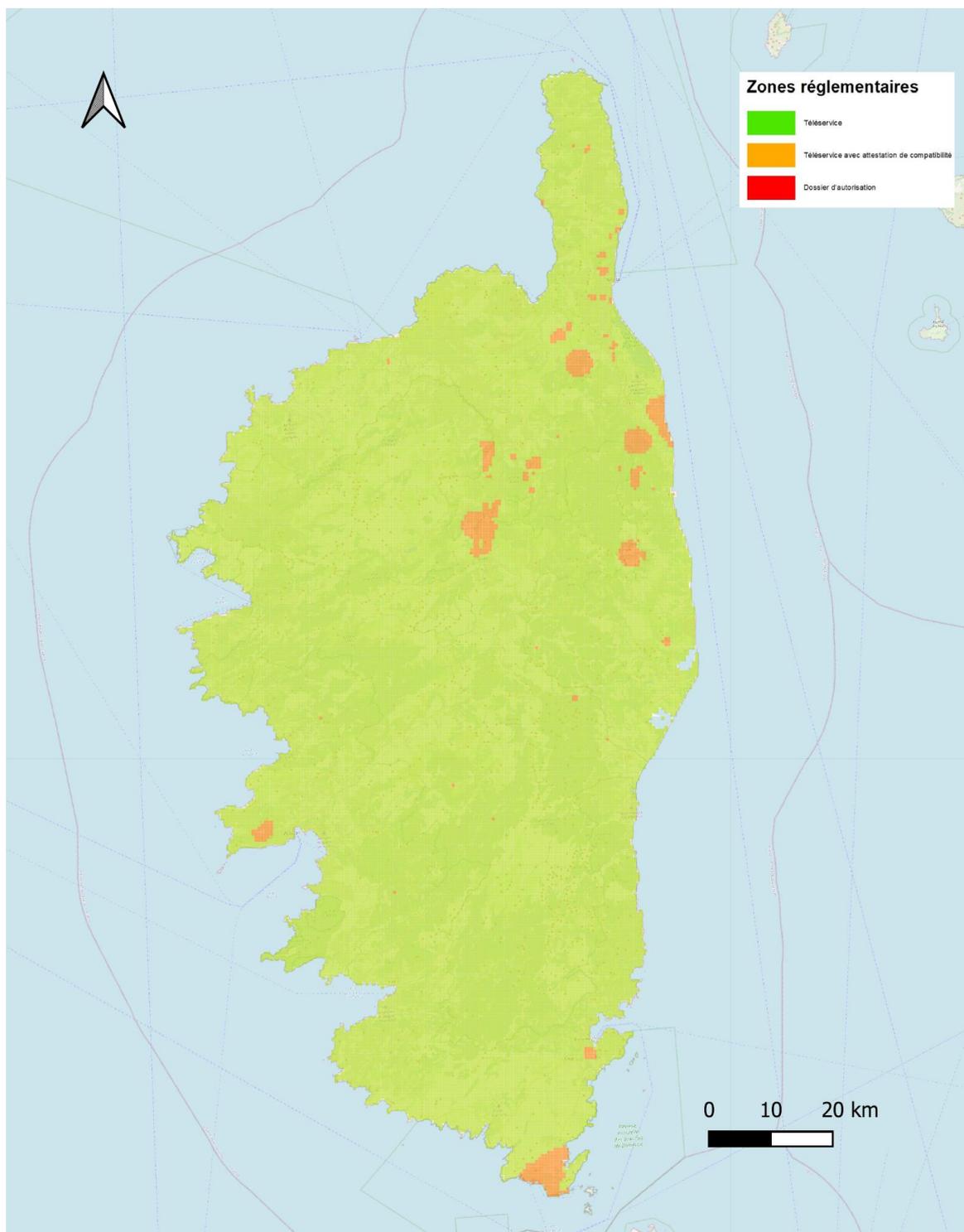


Illustration 25 : Carte réglementaire pour les sondes géothermiques verticales (SGV) de la gamme de profondeur 10 - 50 m

Zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance pour les systèmes fermés (sondes géothermiques verticales)

Gamme de profondeur [10-100 m]

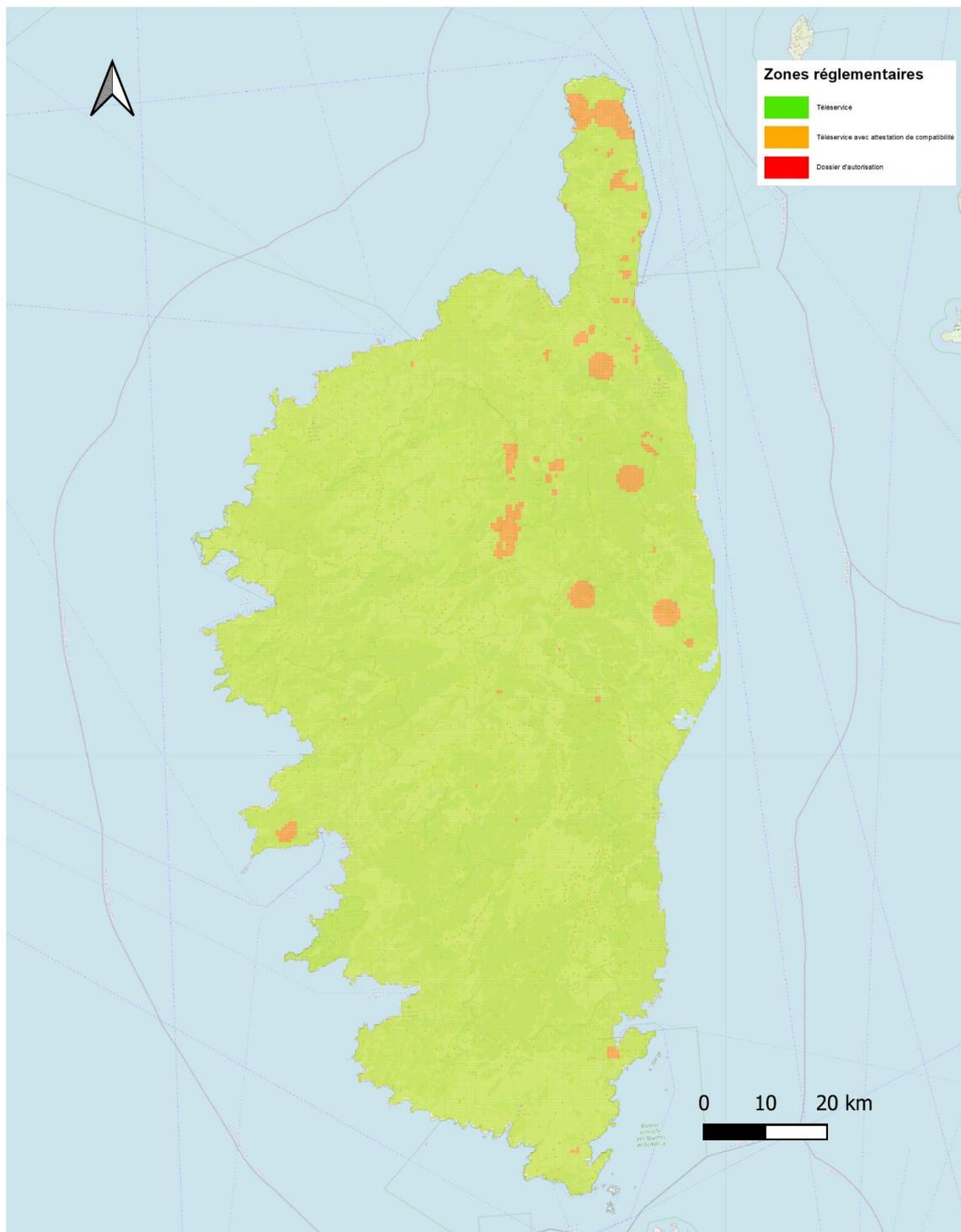


Illustration 26 : Carte réglementaire pour les sondes géothermiques verticales (SGV) de la gamme de profondeur 10 – 100 m

Zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance pour les systèmes fermés (sondes géothermiques verticales)

**Gamme de profondeur
[10-200 m]**

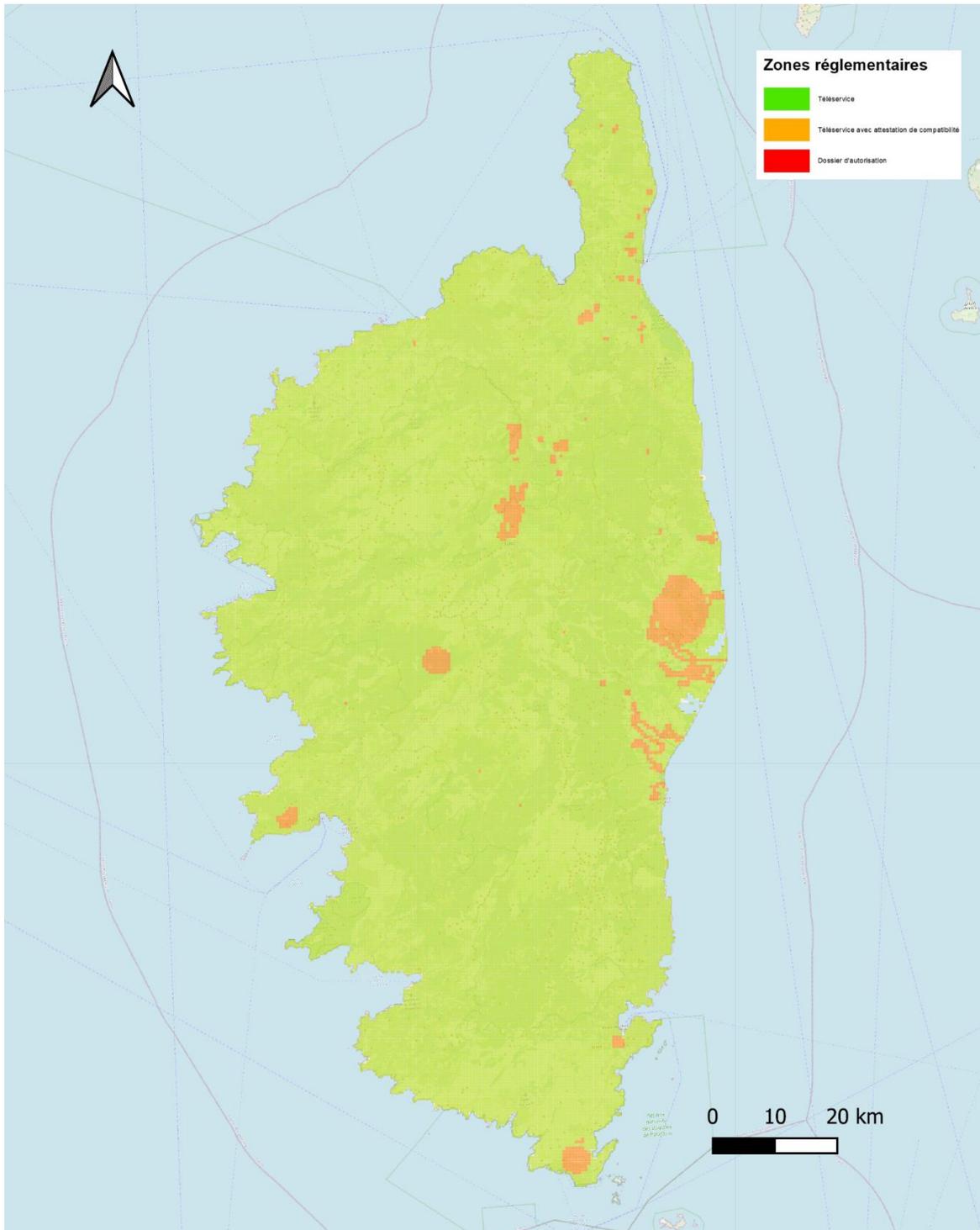


Illustration 26 : Carte réglementaire pour les sondes géothermiques verticales de la gamme de profondeur 10 - 200 m

5. Conclusion

Dans le contexte de la transition énergétique et du développement des énergies renouvelables, le cadre réglementaire relatif à la géothermie de minime importance a fait l'objet d'une révision via l'arrêté du 25 juin 2015. Cet arrêté relatif à la géothermie de minime importance permet de réviser la carte nationale régionalement afin d'apporter plus de précision en matière de connaissance et de localisation des phénomènes redoutés.

Cette révision a permis de redéfinir les zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance pour la région Corse conformément à la méthode décrite dans le « Guide d'élaboration de la carte des réglementaires relatives à la géothermie de minime importance » publié en juillet 2015 par le Ministère en charge de l'Ecologie (MEDDE, 2015).

Conformément au guide méthodologique, les 9 phénomènes pris en compte pour cette nouvelle cartographie sont les suivants :

- Affaissement / surrection liés aux évaporites ;
- Affaissement / effondrement liés aux cavités (hors mines) ;
- Affaissement / effondrement liés aux cavités minières ;
- Mouvements de terrain (ou glissements de terrain) ;
- Pollution des sols et/ou des nappes souterraines ;
- Artésianisme ;
- Mise en communication d'aquifères ;
- Remontée de nappe ;
- Biseau salé.

Pour chacun de ces phénomènes, des niveaux d'aléa ou de susceptibilité ont été attribués conformément aux recommandations du guide méthodologique.

Au total, six cartes proposant un nouveau zonage réglementaire ont été réalisées avec un maillage 500*500 mètres. Elles correspondent à deux technologies : les doublets sur aquifère (échangeur ouvert) et les sondes géothermiques verticales (échangeur fermé), et à trois gammes de profondeur : 10-50 m, 10-100 m, 10-200 m.

La grande majorité du territoire ne présente pas de phénomène qui engendrerait un risque pour la mise en œuvre d'un dispositif GMI ; le zonage vert est majoritaire (environ 97 %). Quelques secteurs sont concernés par des aléas ou conjugaison d'aléas qui requièrent l'avis d'un expert avant la télédéclaration des ouvrages GMI (zone orange).

Après validation des critères par les services de l'Etat, consultation du public et publication d'un arrêté par le Préfet, les cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance de la région Corse seront mises à disposition sur le site internet <http://www.geothermies.fr>.

6. Bibliographie

BRGM (1989). Synthèse hydrogéologique de la Corse - RP-30150-FR

BRGM (2003). Atlas des aquifères littoraux de Corse - RP52191-FR

BRGM (2009). Etude de la sensibilité des masses d'eau souterraine aux intrusions salines en Corse - RP56165-FR

BRGM, CEREMA (2015). Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance et son Addendum

CEREMA DTerCentre-Est (2015). Cartographie des risques liés à la géothermie de minime importance - Note explicative de la méthodologie appliquée pour les phénomènes liés aux mouvements de terrain et aux panaches de pollution

COMITE DE BASSIN DE CORSE (2021). Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux 2022-2027. Bassin de Corse.

GEODERIS PACA et CORSE et SIGMINES (1992). Inventaire des Ressources minières du territoire métropolitain

Bases de données :

- <https://bdlisa.eaufrance.fr/>
- <https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees/procedures-administratives-relatives-aux-risques>
- <http://catalogue.geo-ide.developpement-durable.gouv.fr/catalogue/srv/fre/catalog.search;jsessionid=DA8D9619178003A5502C741271275C01#/home>
- <https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees/inventaire-des-cavites-souterraines>
- <https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees/base-de-donnees-mouvements-de-terrain>
- https://carmen.carmencarto.fr/105/ONF_BDRTM.map
- https://www.georisques.gouv.fr/risques/sites-et-sols_pollues/donnees#/type=instructions

ANNEXE 1 : Liste des communes avec présence de zones oranges - Téléservice avec attestation de compatibilité GMI
SGV et doublet

Communes orange SGV	Communes orange SGV
AGHIONE	MURATO
AITI	NOVALE
AJACCIO	OCCHIATANA
ALERIA	OLETTA
ALTIANI	OLMETA-DI-TUDA
ANTISANTI	OMESSA
ARRO	ORTALE
BASTELICA	PANCHERACCIA
BASTIA	PASTRICCIOLA
BIGUGLIA	PENTA-DI-CASINCA
BIGUGLIA	PERO-CASEVECCHIE
BISINCHI	PIANO
BOCOGNANO	PIAZZOLE
BONIFACIO	PIEDICORTE-DI-GAGGIO
BORGO	PIEDICROCE
BRANDO	SAN-DAMIANO
CAGNANO	SAN-GAVINO-D'AMPUGNANI
CAMPI	SAN-GAVINO-DI-TENDA
CANALE-DI-VERDE	SAN-GIULIANO
CANARI	SAN-LORENZO
CASALTA	SAN-MARTINO-DI-LOTA
CASTELLARE-DI-CASINCA	SANT'ANDREA-DI-BOZIO
CASTINETA	SANT'ANDREA-DI-COTONE
CASTIRLA	SANTO-PIETRO-DI-TENDA
CENTURI	SCATA
CHIATRA	SERRA-DI-FIUMORBO
CORTE	SILVARECCIO
CROCE	SISCO
ERBAJOLO	SORBO-OCAGNANO
ERSA	SOVERIA
FICAJA	TAGLIO-ISOLACCIO
FOCICCHIA	TALASANI
GAVIGNANO	TALLONE
GHISONACCIA	TOMINO
GIUNCAGGIO	TOX
GUAGNO	TRALONCA
GUARGUALE	VALLECALLE
LA PORTA	VALLE-D'ALESANI
LINGUIZZETTA	VALLE-DI-ROSTINO
LORETO-DI-CASINCA	VELONE-ORNETO
LUCCIANA	VENTISERI
LUGO-DI-NAZZA	VENZOLASCA
LURI	VESCOVATO
MERIA	VEZZANI
MOITA	VILLE-DI-PIETRABUGNO
MOLTIFAO	VIVARIO
MOROSAGLIA	ZICAVO
MORSIGLIA	

Communes orange Doublet	Communes orange Doublet
AGHIONE	ORTALE
AITI	PALASCA
AJACCIO	PANCHERACCIA
AJACCIO	PASTRICCIOLA
ALBITRECCIA	PATRIMONIO
ALERIA	PENTA-DI-CASINCA
ANTISANTI	PERO-CASEVECCHIE
ARRO	PIANO
BASTELICA	PIEDIGRIGGIO
BASTELICACCIA	PIETRACORBARA
BASTIA	PIETRA-DI-VERDE
BELGODERE	POGGIOLO
BIGUGLIA	PORRI
BISINCHI	PORTO-VECCHIO
BONIFACIO	PRATO-DI-GIOVELLINA
BORGO	PRUNELLI-DI-FIUMORBO
BRANDO	PRUNO
CALVI	REZZA
CAMPILE	ROGLIANO
CANARI	RUTALI
CASALTA	SAINT-FLORENT
CASTELLARE-DI-CASINCA	SALICETO
CASTINETA	SAN-DAMIANO
CASTIRLA	SAN-GAVINO-D'AMPUGNANI
CENTURI	SAN-GIULIANO
CERVIONE	SAN-LORENZO
CIAMANNACCE	SAN-MARTINO-DI-LOTA
CONCA	SAN-NICOLAO
CORTE	SANTA-MARIA-POGGIO
COZZANO	SANT'ANDREA-DI-BOZIO
ERBAJOLO	SARI-SOLENZARA
ERSA	SARROLA-CARCOPINO
FARINOLE	SCATA
FICAJA	SERRA-DI-FIUMORBO
FOCICCHIA	SISCO
FURIANI	SOCCIA
GAVIGNANO	SOLARO
GHISONACCIA	SORBO-OCAGNANO
GIUNCAGGIO	SOVERIA
GROSSETO-PRUGNA	TAGLIO-ISOLACCIO
GUAGNO	TALASANI
GUARGUALE	TALLONE
LA PORTA	TOLLA
LINGUIZZETTA	TOMINO
LUCCIANA	TOX
LUGO-DI-NAZZA	TRALONCA
LUMIO	VALLECALLE
LURI	VALLE-D'ALESANI
MERIA	VALLE-DI-ROSTINO
MOROSAGLIA	VELONE-ORNETO
MORSIGLIA	VENTISERI
NOVALE	VENZOLASCA
OCCHIATANA	VESCOVATO
OLETTA	VEZZANI
OLMETA-DI-TUDA	VILLE-DI-PIETRABUGNO
OMESSA	VOLPAJOLA
	ZICAVO



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale Corse

Immeuble Agostini Zone Industrielle de Furiani
20600 Bastia – France



Géosciences pour une Terre durable

brgm

www.brgm.fr