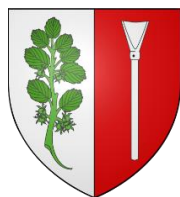
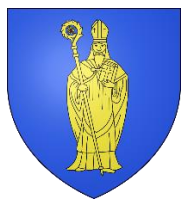
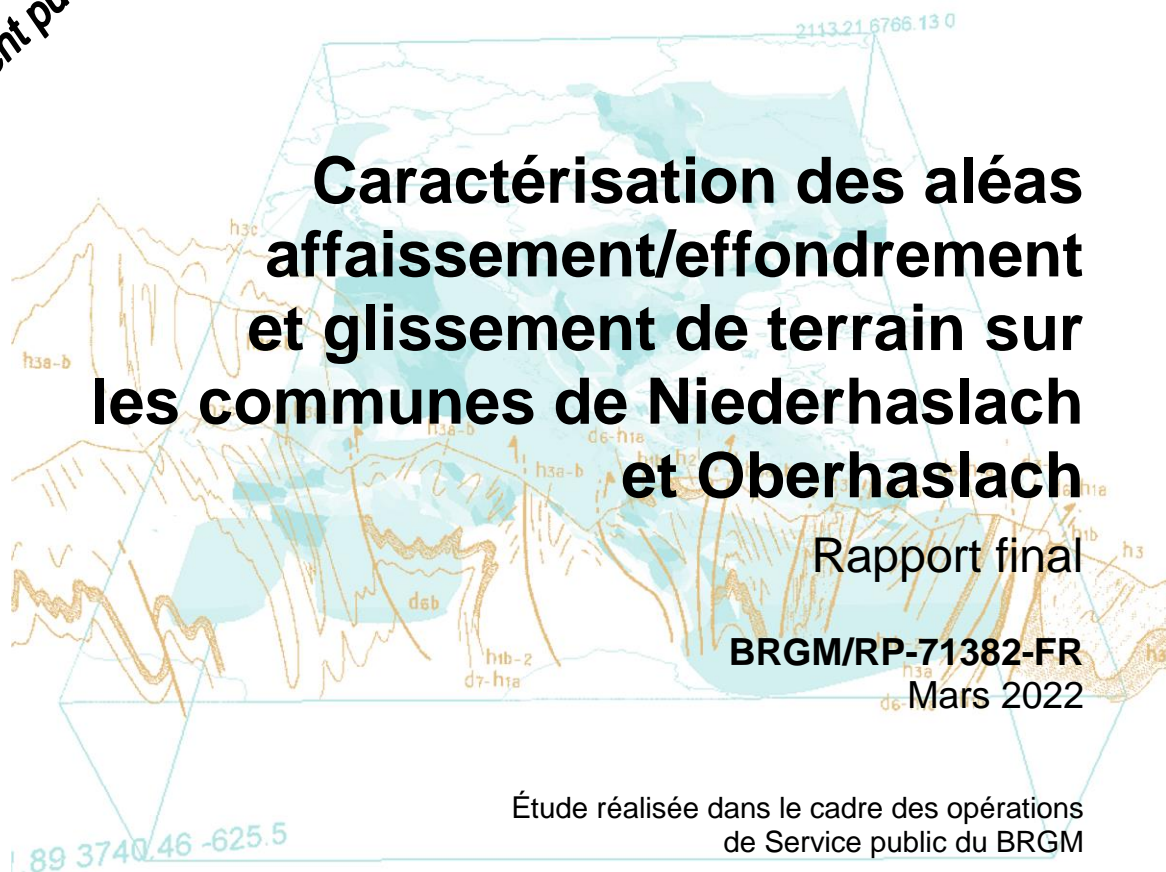


Document public

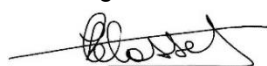


L. Grabenstaetter
Avec la collaboration de
K. Bensaadi, C. Cartannaz, T. Dewez, A. Léval

Vérificateur :

Nom : L. Closset
Fonction : Ingénieur géotechnicien
Date : 11/03/2022

Signature :



Approbateur :

Nom : D. Salquèbre
Fonction : Directeur Régional
Délégué
Date : 14/03/2022

Signature :



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

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/yMgFcU6Ctq> ou par ce code :



Mots-clés : Mouvement de terrain, Glissement de terrain, Affaissement, Effondrement, Karst, Soutirage, Risque naturel, Carte d'aléa, Analyse multicritère, Levé LIDAR, Grand Est, Alsace, Bas-Rhin, Niederhaslach, Oberhaslach

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

Grabenstaetter L. et al (2022) – Caractérisation des aléas affaissement/effondrement et glissement de terrain sur les communes de Niederhaslach et Oberhaslach. Rapport final. BRGM/RP-71382-FR, 98 p., 26 ill., 18 tabl., 5 ann., 1 carte hors texte.

Synthèse

La commune d'Oberhaslach a été affectée par plusieurs effondrements au 20^{ème} siècle dont certains ont affecté des enjeux importants (cours d'école et zone urbanisée).

Une première étude, menée par le BRGM en 2013 (Cruz-Mermy, Pierrevelcin, Mathon, & Baierer, 2013), a permis de réaliser une cartographie de l'aléa sur un secteur précis de la commune d'Oberhaslach. L'apparition de nouveaux phénomènes au cours de l'année 2018 est à l'origine de la demande de la DDT du Bas-Rhin pour la réalisation d'une nouvelle cartographie de l'aléa effondrement qui pourra faire l'objet d'une déclinaison en PPR MVT¹.

Les formations géologiques susceptibles de présenter des cavités souterraines étant identifiées et présentes sur d'autres secteurs de la commune ainsi que sur la commune voisine de Niederhaslach, l'emprise de la zone d'étude a été réexaminée et agrandie par rapport à l'étude de 2013.

Un second volet concernant l'aléa glissement de terrain a également été intégré à l'étude. En effet, la nature des formations géologiques et la topographie montagneuse de certains secteurs de ces 2 communes sont susceptibles de générer des glissements de terrain.

Un inventaire des phénomènes répertoriés a été réalisé sur la base de recherches bibliographiques, de l'analyse du levé LIDAR réalisé dans le cadre de cette étude et de campagnes de terrain ayant permis de reconnaître la quasi-totalité du territoire de la zone d'étude. Il permet de décrire les phénomènes attendus, de hiérarchiser les critères retenus lors de l'analyse multicritère et de valider les résultats à l'aide d'un examen de la densité de phénomènes recensés par zones d'aléa.

Les aléas ont été cartographiés via une analyse multicritère basée sur la théorie de l'évidence qui a permis de hiérarchiser et pondérer, de manière qualitative dans un premier temps, puis quantitative à dire d'expert l'ensemble des paramètres identifiés comme moteur, selon les données disponibles, dans l'occurrence des mouvements de terrain sur la zone d'étude.

Concernant la thématique des affaissements / effondrements, seuls les phénomènes naturels sont pris en compte dans cette étude. La qualification de l'aléa a été réalisée selon la méthodologie « aléa karstique » proposée par le BRGM dans le cadre du Plan National Cavité (Perrin, Noury, & Cartannaz, 2014) et sa mise à jour (à paraître) réalisée en collaboration entre le BRGM et le CÉREMA (Clément, Husson, Noury, & Védie, 2021).

Lors de la qualification de l'aléa affaissement/effondrement, les familles de paramètres utilisées sont : la pente, la lithologie et les informations relatives aux failles tectoniques connues sur le secteur. L'absence de données liées directement au fonctionnement hydrodynamique de la zone d'étude (carte piézométrique...), au moment de la réalisation de cette étude, invite à poser des limites sur la cartographie de l'aléa.

L'inventaire a permis de mettre en évidence 2 zones homogènes présentant des intensités attendues différentes (modérée pour les zones de calcaires affleurant, très limitée à limitée pour les autres formations).

¹ PPR MVT : Plan de Prévention des Risques Mouvement de Terrain

En terme d'aléa affaissement / effondrement, 24 % de la zone d'étude est concernée par un aléa très faible, 65 % par un aléa faible et 11 % par un aléa moyen. En complément, 3 zones d'incertitudes (hors zones urbanisées), présentant une densité anormale d'indices d'affaissement ont été matérialisées sur la carte d'aléa au sein des zones d'aléa faible. A la demande de la DDT 67, ces zones d'incertitudes sont considérées en aléa moyen dans la cartographie finale de l'aléa.

La méthode valorisée pour la caractérisation de l'aléa glissement de terrains est issue des résultats à paraître d'un groupe de travail sur l'évaluation de « l'aléa glissement de terrain » dans le cadre d'un PPRn.

Les critères retenus pour la qualification de l'aléa glissement de terrain sont la pente, la lithologie et l'exposition. Les critères de distance aux cours d'eau et de morphologie des terrains ont été étudiés mais n'ont pas été intégrés car aucun lien n'a pu être mis en évidence entre l'occurrence des glissements de terrains et ces paramètres.

L'inventaire réalisé sur la base de données bibliographiques et d'observations de terrain a permis d'identifier 35 phénomènes (glissements plans, reptation et moutonnement) n'affectant qu'une tranche superficielle des sols ; l'intensité attendue est faible.

En termes d'aléa glissement de terrain, 28 % de la zone d'étude est concernée par un aléa très faible, 70 % par un aléa faible et 2 % par un aléa moyen.

Des exemples de prescriptions réglementaires relatives à chaque niveau d'aléa ont été proposés. Parmi les grands principes énoncés, les éléments essentiels sont :

- l'absence de restrictions / recommandations dans les zones d'aléa très faible si ce n'est la non aggravation des risques existants ;
- en zone d'aléa faible, il est recommandé d'intégrer la possibilité d'occurrence d'un mouvement de terrain dès la conception d'un nouveau projet afin de limiter les impacts éventuels ;
- en zone d'aléa moyen, le BRGM recommande l'instauration d'une obligation de réalisation d'une étude géotechnique par un bureau d'étude compétent afin de réaliser des analyses préalables et d'adapter le projet en tenant compte de la possible occurrence d'un mouvement de terrain.

La qualification des aléas glissements de terrain et affaissement/effondrement dans le cadre de la présente étude s'est heurtée au manque de disponibilité de certaines données qui auraient permis une qualification plus précise. Parmi les données lacunaires, le contexte hydrogéologique et une cartographie précise de l'épaisseur des formations superficielles, notamment les niveaux d'altération auraient permis une meilleure appréhension des spécificités locales et une cartographie plus fine des niveaux d'aléa.

La présente étude a été menée en 2021. Elle est fondée sur l'analyse des sources documentaires disponibles à cette date et sur l'exploitation des événements connus. Elle est donc le reflet des connaissances du moment. La prise en compte ultérieure de données non connues ou non disponibles en 2021 (investigations, phénomènes, archives, témoignages, etc.) peut conduire à une révision des critères d'analyses de la susceptibilité/prédisposition, de l'aléa et des cartes associées.

Les cartes d'aléa ont été élaborées à l'échelle du 1/10 000. Il conviendra de les exploiter en tenant compte d'une certaine marge d'imprécision. Les zones d'aléa moyen ont cependant fait l'objet d'une cartographie plus précise lorsqu'elles débordent sur les zones urbanisées. Aussi, les contours des aléas moyens peuvent être lus avec une précision cadastrale au 1/5 000.

Sommaire

1. Introduction	9
1.1. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	9
1.2. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE	9
1.2.1. Contexte géographique.....	9
1.2.2. Contexte géologique	11
1.2.3. Contexte hydrogéologique	17
1.2.4. Contexte climatique	17
1.3. GÉNÉRALITÉ SUR LA QUALIFICATION DES ALÉAS.....	18
2. Traitement des données Lidar	19
2.1. CONDITIONS DE RÉALISATION DU LEVÉ LIDAR.....	19
2.2. OBTENTION DU MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN	19
2.3. CARTE DES PENTES	20
3. Caractérisation de l'aléa affaissement / effondrement	21
3.1. TYPOLOGIES DES PHÉNOMÈNES ET PROCESSUS IDENTIFIÉS SUR LA ZONE D'ÉTUDE	21
3.1.1. Inventaires des phénomènes	21
3.1.2. Synthèse de la typologie des phénomènes rencontrés sur la zone d'étude	25
3.1.3. Sinistralité sur la zone d'étude	26
3.2. CARTOGRAPHIE DE LA PRÉDISPOSITION	27
3.2.1. Principes généraux	27
3.2.2. Identification et pondération des critères pris en compte sur la zone d'étude	28
3.2.3. Définition des seuils de classes de prédisposition.....	33
3.3. DÉFINITION DE L'INTENSITÉ DES MOUVEMENTS DE TERRAIN ATTENDUS.....	36
3.4. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA AFFAISSEMENT / EFFONDREMENT	37
3.4.1. Élaboration de la cartographie de l'aléa	37
3.4.2. Zones d'incertitudes.....	38
4. Caractérisation de l'aléa glissement de terrain	41
4.1. TYPOLOGIE DES PHÉNOMÈNES OBSERVÉS	41
4.2. CARTOGRAPHIE DE LA SUSCEPTIBILITÉ.....	44
4.2.1. Principes généraux	44
4.2.2. Identification et pondération des critères pris en compte sur la zone d'étude	44
4.2.3. Cartographie de la susceptibilité	49

4.3. DÉFINITION DE L'INTENSITÉ	51
4.4. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA GLISSEMENT DE TERRAIN.....	52
5. Propositions de prescriptions constructives	57
5.1. DÉFINITION DE NIVEAUX DE CONTRAINTES	57
5.2. MESURES GÉNÉRALES APPLICABLES À TOUT LE TERRITOIRE	58
5.3. MESURES EN SECTEUR D'ALÉA MOYEN	59
5.3.1. Cas de constructions nouvelles.....	59
5.3.2. Cas de constructions existantes.....	60
5.4. MESURES EN SECTEUR D'ALÉA FAIBLE	60
5.4.1. Cas de constructions nouvelles.....	60
5.4.2. Cas de constructions existantes.....	61
5.5. MESURES EN SECTEUR D'ALÉA TRÈS FAIBLE	61
6. Conclusion et limites de l'étude	63
6.1. CONCLUSION	63
6.2. LIMITES DE L'ÉTUDE	64
6.2.1. Disponibilité des données d'entrées.....	64
6.2.2. Validité dans le temps.....	64
6.2.3. Recommandations d'utilisation et domaine de validité des cartes	65
7. Bibliographie	67

Liste des illustrations

Illustration 1 : Localisation de la zone d'étude- ovale rouge (© geoportail.fr)	10
Illustration 2 : Emprise détaillée de la zone d'étude (en rouge)	11
Illustration 3 : Photographie d'un affleurement de calcaires du Muschelkalk – marteau dans une cavité.....	12
Illustration 4 : Carte géologique de la zone d'étude (© BRGM)	13
Illustration 5 : Carte lithologique issue du traitement de la carte géologique au 1/50 000, de la bibliographie, du MNT et des observations de terrain	16
Illustration 6 : Diagramme des températures et des précipitations moyenne de la commune d'Oberhaslach sur une période de 30 ans (www.meteoblue.fr)	18
Illustration 7 : Ombrage issu de traitement du modèle numérique de terrain (résolution 5 m x 5 m)	19
Illustration 8 : Carte des pentes issue du traitement du MNT de résolution 5 m	20
Illustration 9 : Carte des effondrements recensés lors de l'étude BRGM en 2013	22
Illustration 10 : Résultat « brut » du traitement LIDAR – anomalies susceptibles d'être des zones d'affaissement / effondrement	23
Illustration 11 : Carte de localisation des phénomènes recensés.....	24

Illustration 12 : Photographie d'une doline (gauche – cercle rouge) et d'un effondrement (droite)	25
Illustration 13 : Exemple de faux positifs sur la détection LIDAR éliminés lors des campagnes de terrain (gauche : piste VTT, droite : arbre déraciné).....	25
Illustration 14 : Principe du phénomène de suffosion / soutirage (Clément, Husson, Noury, & Védie, 2021)	26
Illustration 15 : Méthodologie de caractérisation de l'aléa (Clément, Husson, Noury, & Védie, 2021).....	27
Illustration 16 : Listes des paramètres pouvant être pris en compte dans la caractérisation de la prédisposition (Clément, Husson, Noury, & Védie, 2021)	28
Illustration 17 : Cartographie de la prédisposition aux phénomènes de soutirage	35
Illustration 18 : Cartographie de l'aléa affaissement / effondrement sur les communes d'Oberhaslach et de Niederhaslach avec les zones d'incertitudes	39
Illustration 19 : Schéma de principe (Cartannaz & al, 2009) et photographie d'un glissement plan sur la commune de Niederhaslach	41
Illustration 20 : Schémas de principes (Phillipponnat & al., 2008) et photographie des phénomènes de repatation (haut) et moutonnement (bas) sur la commune d'Oberhaslach	42
Illustration 21 : Carte de localisation de l'ensemble des glissements de terrain recensés	43
Illustration 22 : Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain	50
Illustration 23 : Photographie d'un glissement sur la commune de Niederhaslach utilisé pour déterminer l'intensité maximale attendue sur la zone d'étude	51
Illustration 24 : Comparaison entre la cartographie de l'aléa brut (à gauche) et la cartographie de l'aléa avec une zone tampon de 5 m autour du zonage « Moyen » (à droite)	53
Illustration 25 : Cartographie de l'aléa glissement de terrain à l'échelle de la zone d'étude	55
Illustration 26 : Relation entre le niveau d'aléa et les niveaux de contraintes constructives préconisées.....	57

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classes de facteur lithologie obtenues par regroupement de faciès.....	14
Tableau 2 : Inventaire des effondrements recensés sur la commune d'Oberhaslach durant l'étude BRGM de 2013 (Cruz-Mermy, Pierrevelcin, Mathon, & BaiÉrer, 2013)	22
Tableau 3 : Densité d'indices de phénomènes de soutirage selon les formations géologiques concernées.....	30
Tableau 4 : Densité d'indices de phénomènes de soutirage selon la présence et la typologie de failles à proximité.....	31
Tableau 5 : Densité d'indices de phénomènes de soutirage en fonction des seuils de pente	32
Tableau 6 : Pondérations appliquées pour la caractérisation de la prédisposition au soutirage.....	33
Tableau 7 : Définition et validation des seuils de classe de prédisposition	34
Tableau 8 : Hiérarchisation des classes d'intensité pour un effondrement (Ministère de l'Écologie du Développement Durable et de l'Énergie, 2012)	36
Tableau 9 : Matrice de définition de l'aléa affaissement selon la prédisposition et intensité modifiée d'après le guide à paraître BRGM / CÉREMA (Clément, Husson, Noury, & Védie, 2021)	37
Tableau 10 : Validation de la carte d'aléa via la densité de phénomènes recensés	38
Tableau 11 : Densité de glissements de terrain par classe lithologique.....	44

Tableau 12 : Répartition des glissements observés selon la classe de pente	45
Tableau 13 : Densité de glissements de terrain selon l'exposition des versants	46
Tableau 14 : Répartition des glissements observés selon la classe de morphologie	47
Tableau 15 : Hiérarchisation des facteurs et des classes, et valeurs de pondération associées afin de caractériser la susceptibilité aux glissements de terrain.....	49
Tableau 16 : Définition des intervalles de susceptibilité aux glissements de terrain à dire d'expert et sur la base des valeurs établies par analyse multicritères	49
Tableau 17 : Matrice de caractérisation de l'aléa	52
Tableau 18 : Validation de la carte d'aléa selon l'inventaire des mouvements de terrain	54

Liste des annexes

Annexe 1 : Inventaire des mouvements de terrains recensés durant l'étude	69
Annexe 2 : Documents cartographiques intermédiaires	77
Annexe 3 : Cartographie synthétique des aléas mouvements de terrain au 1/10 000	87
Annexe 4 : Norme géotechnique NF P 94-500 de novembre 2013.....	91
Annexe 5 : Précisions concernant les études géotechniques.....	95

1. Introduction

1.1. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

La commune d'Oberhaslach a été affectée par plusieurs effondrements au xx^{ème} siècle dont certains ont affecté des enjeux importants (cours d'école et zone urbanisée).

Une première étude, menée par le BRGM en 2013 (Cruz-Mermy, Pierrevelcin, Mathon, & Baierer, 2013) a permis de réaliser une cartographie de l'aléa sur un secteur précis de la commune d'Oberhaslach. L'apparition de nouveaux phénomènes au cours de l'année 2018 est à l'origine de la demande de la DDT du Bas-Rhin pour la réalisation d'une nouvelle cartographie de l'aléa effondrement qui pourra faire l'objet d'une déclinaison en PPR MVT.

Les formations géologiques susceptibles de présenter des cavités souterraines étant identifiées et présentes sur d'autres secteurs de la commune ainsi que sur la commune voisine de Niederhaslach, l'emprise de la zone d'étude a été réexaminée et agrandie par rapport à l'étude de 2013.

Un second volet concernant l'aléa glissement de terrain a également été intégré à l'étude. En effet, la nature des formations géologiques et la topographie montagneuse de certains secteurs de ces 2 communes sont susceptibles de générer des glissements de terrain. Dans un contexte de changement climatique et d'expansion géographique des communes situées sur les piémonts vosgiens, la connaissance des aléas mouvements de terrain pourra permettre la mise en place de stratégies de prévention de risques via l'intégration de prescriptions dans les documents d'urbanisme (via un porté à connaissance ou un plan de prévention risque naturels).

Concernant la thématique des affaissements / effondrements, seuls les phénomènes naturels sont pris en compte dans cette étude. La qualification de l'aléa a été réalisée selon la méthodologie « aléa karstique » proposée par le BRGM dans le cadre du Plan National Cavité (Perrin, Noury, & Cartannaz, 2014) et sa mise à jour (à paraître) réalisée en collaboration entre le BRGM et le CÉREMA (Clément, Husson, Noury, & Védie, 2021).

Les nouvelles méthodologies de détection des zones d'affaissement permettent, de traiter de manière semi-automatique, par traitement d'un MNT issu d'un levé LiDAR des zones de plus grande extension. Cet inventaire fait ensuite l'objet d'une validation de terrain avec une description des phénomènes observés.

La qualification des aléas affaissement / effondrement et glissement de terrain a été réalisée à l'aide d'analyses multicritères à partir du croisement cartographique de la carte de susceptibilité (ou prédisposition) et d'intensités définies grâce aux inventaires de phénomènes. Ces inventaires sont réalisés grâce à des recherches bibliographiques, des traitements des données LIDAR et des investigations de terrain. L'inventaire des phénomènes répertoriés sur la zone d'étude permet de décrire les phénomènes attendus et de valider statistiquement les résultats.

1.2. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

1.2.1. Contexte géographique

La zone d'étude se situe en bordure du Massif des Vosges, sur le versant alsacien. Les 2 communes concernées par la zone d'étude sont limitrophes et situées à environ 40 KM à l'ouest de Strasbourg, dans la vallée de Schirmeck (Illustration 1).

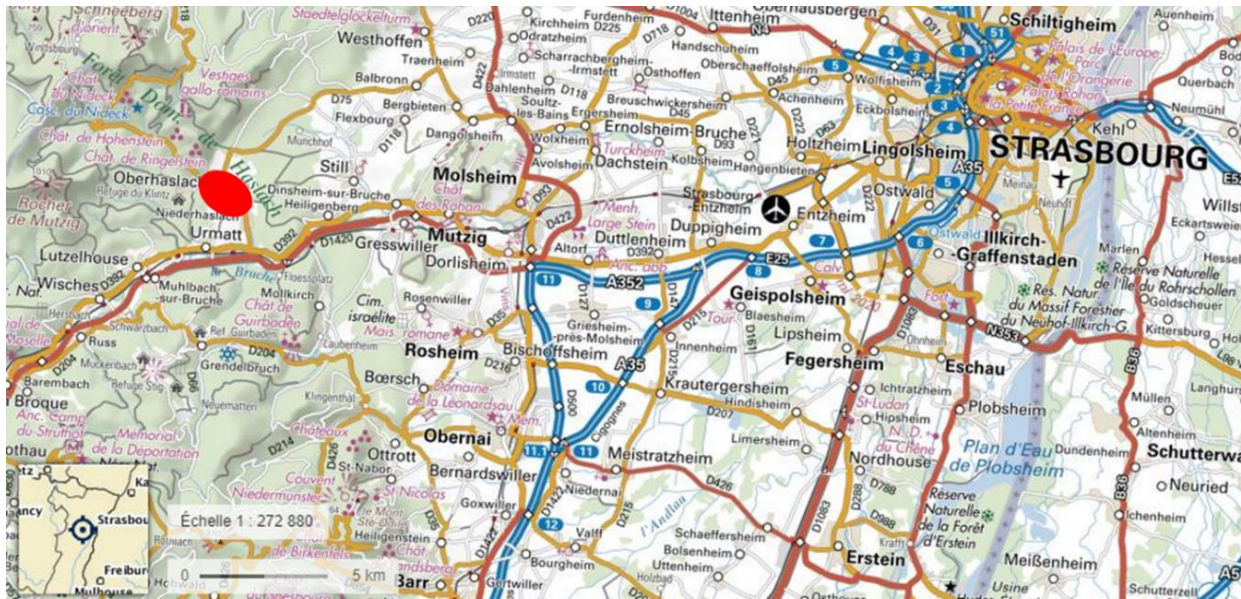


Illustration 1 : Localisation de la zone d'étude- ovale rouge (© geoportail.fr).

Les 2 communes sont traversées par le cours d'eau « la Hasel ».

D'un point de vue topographique, les zones urbaines des 2 communes, partie intégrante de la zone d'étude, sont situées en fond de vallée et sur les coteaux alentour (Illustration 2).

La commune d'Oberhaslach dispose d'environ 80 % de son emprise en milieu forestier et montagneux (altitude maximum : 960 m NGF). Ces secteurs ne sont pas l'objet de cette étude pour des raisons de formations géologiques peu susceptibles aux mouvements de terrain et d'absence d'enjeux.

La zone d'étude couvre l'intégralité de la commune de Niederhaslach et la partie sud-est de la commune d'Oberhaslach. La partie nord-ouest de la commune étant uniquement forestière et ne présentant que très peu d'enjeux de bâti, la DDT 67 n'a pas retenu ce secteur dans le cadre de l'étude.

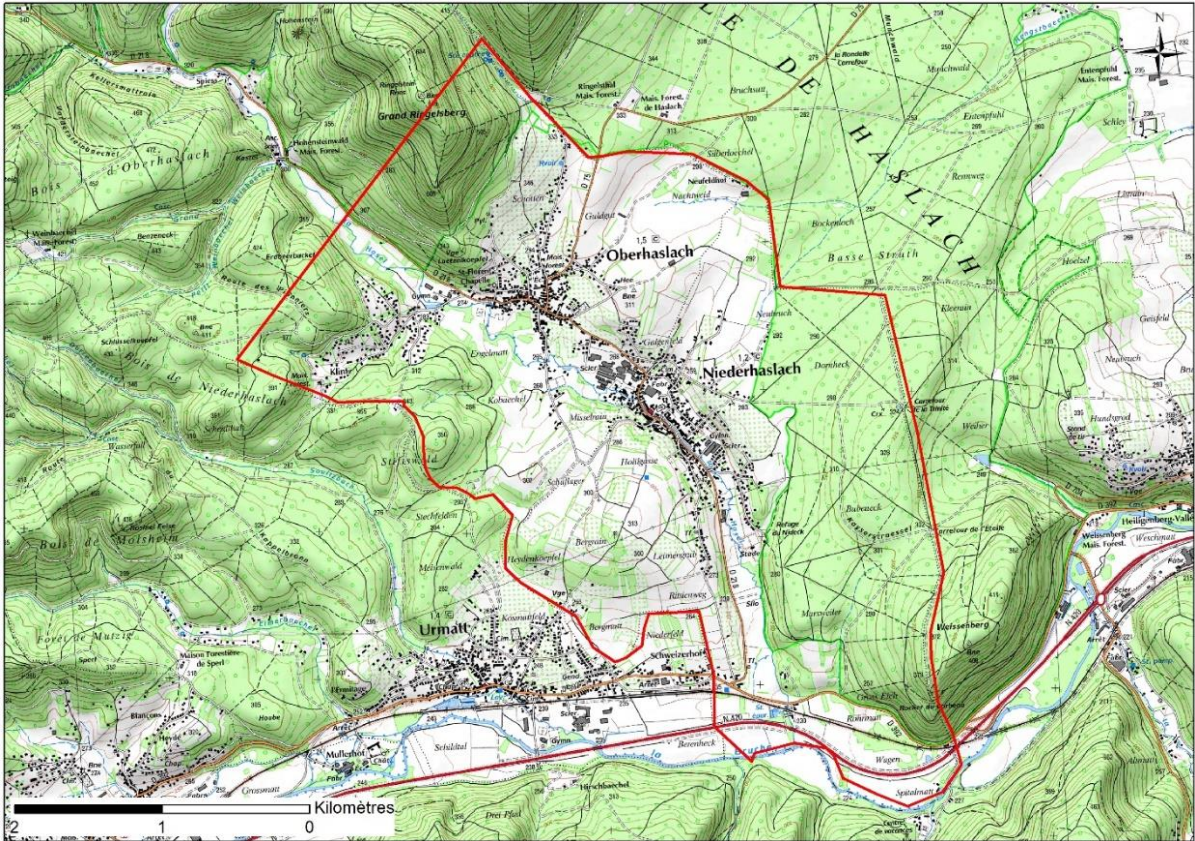


Illustration 2 : Emprise détaillée de la zone d'étude (en rouge).

1.2.2. Contexte géologique

La carte géologique harmonisée du BRGM à l'échelle 1/50 000 est présentée en Illustration 4.

L'ensemble des formations géologiques rencontrées sur la zone d'étude peut être divisée en 3 familles :

- les formations anciennes volcano-sédimentaires ;
- les formations anciennes sédimentaires ;
- les formations récentes d'altération.

Les formations anciennes volcano-sédimentaires

Ces formations sont issues du cycle volcanique du Massif de Schirmeck daté de l'Ère primaire (Viséen – Thuringien) c'est-à-dire entre – 345 Ma et – 250 Ma. Au droit de la zone d'étude, ces formations sont minoritaires, observées principalement à l'extrémité ouest du périmètre. Leur mise en place est liée principalement aux différentes phases éruptives.

Les formations anciennes sédimentaires

Les formations anciennes sédimentaires observées sur la zone d'étude sont datées de la fin de l'Ère primaire (Permien) et du début de l'Ère secondaire (Trias inférieur). La base de ces formations est composée de grès plus ou moins indurés à granulométrie hétérogène et connus sous l'appellation Buntsandstein (Trias germanique). Certains grès sont très fins et peu lités (Grès vosgien) ; d'autres présentent une granulométrie beaucoup plus grossière et des figures de sédimentation de type « chenal » (Conglomérat principal ou Poudingue de Saint-Odile).

La mise en place d'une transgression marine durant le Trias inférieur va entraîner une évolution des dépôts vers des formations carbonatées formées de marnes et calcaires (Muschelkalk selon l'appellation germanique - Illustration 3).



Illustration 3 : Photographie d'un affleurement de calcaires du Muschelkalk – marteau dans une cavité.

À la fin du Trias inférieur, une phase de régression marine entraîne à nouveau l'apparition de faciès marneux (Lettenkohle et Keuper).

L'ensemble des formations marno-calcaires sont susceptibles d'être affectées par des phénomènes de dissolution pouvant entraîner l'apparition de vides souterrains.

D'après la carte géologique, les formations sédimentaires sont affleurantes au droit des zones urbanisées. Les formations superficielles sont représentées par des dépôts de solifluxion² dont l'emprise spatiale et l'épaisseur ne sont pas clairement définies.

Les formations récentes

Les formations récentes peuvent être divisées en 3 familles :

- les formations de versants (colluvions) formées majoritairement d'un complexe limono-argileux provenant de l'érosion des matériaux du substratum ;
- les plaquages lœssiques, observés sur les plateaux, formés de matériaux argileux d'origine éolienne, déposés durant les périodes glaciaires ;
- les formations alluviales de fond de vallée correspondant à des dépôts récents provenant d'une érosion récente des formations géologiques du secteur.

² Écoulement lent le long d'une pente d'un sol gorgé d'eau

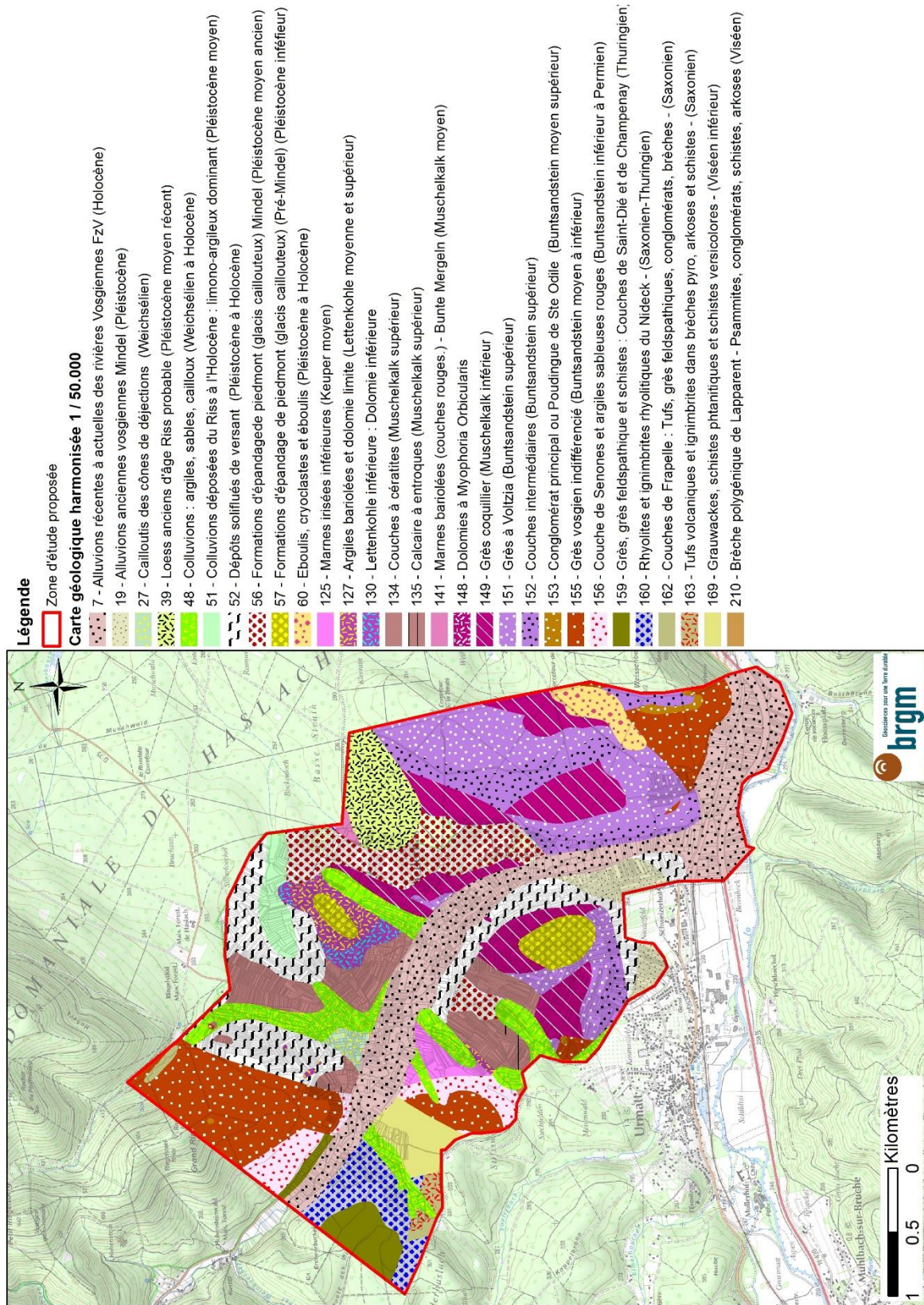


Illustration 4 : Carte géologique de la zone d'étude (© BRGM).

Carte lithologique

L'occurrence de mouvements de terrain est directement liée à la lithologie. De fait, la carte géologique au 1/50 000 a été retravaillée afin de regrouper les formations présentant des caractéristiques géotechniques similaires et de préciser les contours à l'aide des observations de terrain, des données bibliographiques et du MNT issue des données LIDAR.

La carte géologique à l'échelle 1/50 000 de la zone d'étude (secteur de Molsheim – carte n° 271) est complexe et différencie les roches selon la composition minéralogique et faunistique ainsi que l'âge des formations. Les observations relevées lors des campagnes de terrain et les données bibliographiques (notice géologique de la carte géologique – secteur de Molsheim) ont permis de regrouper les différents faciès lithologiques présents au sein de la zone d'étude en 7 classes lithologiques.

Le Tableau 1 présente les regroupements lithologiques effectués.

Lithologies	Faciès regroupés*
Alluvions	<ul style="list-style-type: none"> - Alluvions caillouteuses du Mindel (FwV) - Alluvions holocènes généralement fines recouvrant des alluvions würmiennes généralement plus grossières (Fz2V)
Dépôts de versant	<ul style="list-style-type: none"> - Formations de piedmont du Pléistocène (Pv ; Pw) - Cônes de déjection fluviales du Pléistocène (myl/) - Dépôts de solifluxion et formations de pente variées du Pléistocène (Cp ; E) - Colluvions et matériaux limono-argileux du Pléistocène – Holocène (Cy-z ; Cx-z)
Marnes	<ul style="list-style-type: none"> - Marnes bariolées du Muschelkalk moyen (t3R) - Calcaire et dolomie argileuse du Lettenkhole inférieur (t4-5D) - Marnes et argiles bariolées du Lettenkhole moyen et supérieur (t4-5ML) - Marnes irisées du Keuper (t5a)
Calcaire	<ul style="list-style-type: none"> - Calcaire à entroques du Muschelkalk supérieur (t3-4E) - Calcaire à Cératites du Muschelkalk supérieur (t4C)
Grès	<ul style="list-style-type: none"> - Grès feldspathiques et conglomérats du Permien (r2bF ; r3) - Grès tigrés et grès arkosiques (couches de Sénones : r-t1A) - Grès Vosgiens (t1-2V) - Grès bigarré du Bundsandstein supérieur (t1-2P ; t2 ; t2-3V) - Grès coquillier du Muschelkalk inférieur (t3C)
Formations volcaniques	<ul style="list-style-type: none"> - Brèches polygéniques du Dévonien (d-hBr) - Schistes du Viséen (h2) - Tufs, ignimbrites et brèches du Permien (r2aMb) - Ignimbrites rhyolitiques du Nideck du Thuringien (ip2-3a)
Loëss	<ul style="list-style-type: none"> - Loëss anciens probablement rissiens (OEx)

Tableau 1 : Classes de facteur lithologie obtenues par regroupement de faciès

Les **alluvions**, localisées en fond de vallées, sont, de manière générale peu susceptibles à l'apparition de mouvements de terrain. Les limites géographiques de cette lithologie ont été précisées à partir du MNT à 1m. Les forages BSS BSS000UTYL et BSS000UTYM indiquent une épaisseur d'alluvions supérieure à 6 m.

Les **dépôts de versants** regroupent plusieurs formations à composantes argileuses dominantes. Ils sont localisés principalement sur les versants et viennent ainsi recouvrir les formations sous-jacentes. Ces faciès lithologiques ont été regroupés et cartographiés lorsque l'épaisseur estimée à partir des données bibliographiques ou observée sur le terrain est supérieure à 1 m. L'emprise de cette formation lithologique a donc été modifiée par rapport à la carte géologique. Les précisions apportées sont basées sur les observations de terrain, des données de la BSS et du MNT à 1 m. Ce contour est localement sujet à des incertitudes en l'absence de données d'épaisseur sur ces formations en bibliographie et d'observations de terrain.

La classe des **marnes** regroupe les formations majoritairement marneuses (y compris argileuses ou calcaires à alternance marneuse). Les limites géographiques de cette lithologie diffèrent également de celles de la carte géologique. Elles ont été précisées à partir des observations de terrain (affleurements), des données de la BSS, de la bibliographie et du MNT à 1 m.

La classe des **calcaires** regroupe les deux formations calcaires du secteur, principalement différenciées sur le terrain par les épaisseurs de bancs. Aucune distinction entre ces formations n'a été identifiée sur le terrain du point de vue de leurs comportements face au glissement de terrain ou aux phénomènes d'affaissement / effondrement. Suite aux observations de terrain (affleurements), aux données issues de la BSS et de la bibliographie, l'emprise de cette lithologie a été modifiée.

La classe lithologique des **grès** reprend les formations gréseuses dont l'emprise géographique coïncide majoritairement avec les zones à couverture forestière. Aucune distinction n'a été observée entre les différents faciès de grès ou de conglomérats. Les limites géographiques de cette lithologie ont été modifiées à partir du MNT à 1 m, de l'ortho photographie (vue aérienne), et des observations de terrain (affleurements).

Les **formations volcaniques** sont présentes au nord-ouest de la zone d'étude. Aucune distinction de comportement des différentes formations volcaniques n'a été observée sur le terrain. Celles-ci sont peu favorables à l'apparition de mouvements de terrain. Les limites géographiques de ces formations ont été précisées à partir du MNT à 1 m et des observations de terrain (affleurements).

Une butte de **loëss** est présente dans le secteur ouest de la zone d'étude. Cette formation est peu susceptible à l'apparition de mouvements de terrain. En l'absence de données complémentaires (terrain ou bibliographie), les limites de la carte géologique ont été conservées. Aucune information d'épaisseur n'est disponible sur la zone d'étude. Néanmoins le forage BSS000UTZS situé à 500 m de la zone d'étude indique une épaisseur de 6 m de loëss.

La carte lithologique obtenue, présentée en Illustration 5, a ensuite été validée sur le terrain. Cette carte sera utilisée dans le cadre des analyses multicritères de qualification des aléas. Si certains secteurs restent soumis à des incertitudes sur les contours géologiques, les modifications apportées à l'aide du MNT à 1 m et des observations de terrain rendent cette carte compatible avec une qualification de l'aléa au 1/10 000. Une attention particulière ayant été apportée au sein des zones urbaines, une qualification de l'aléa utilisable au 1/5 000 sera proposée sur ces secteurs.

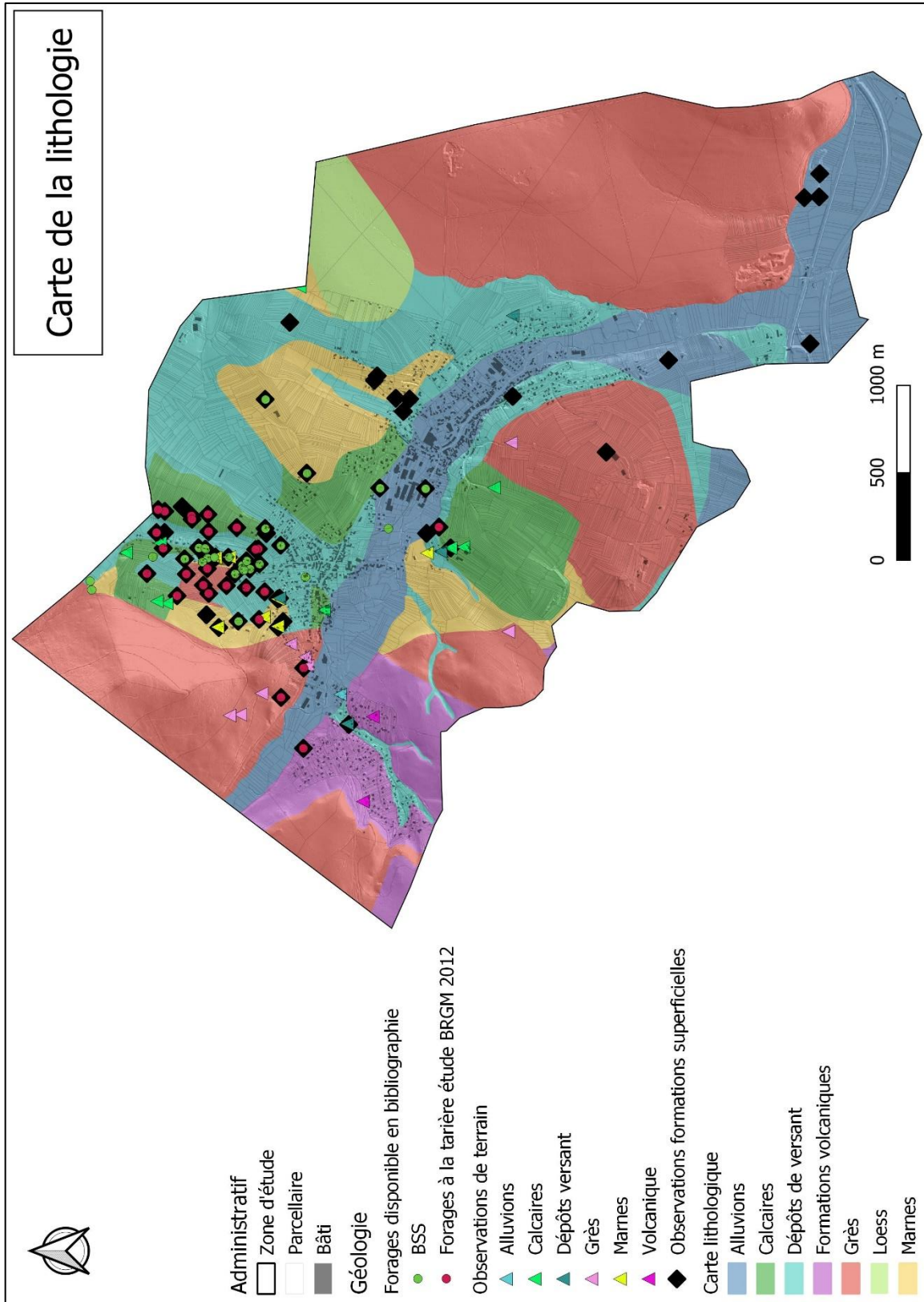


Illustration 5 : Carte lithologique issue du traitement de la carte géologique au 1/50 000, de la bibliographie, du MNT et des observations de terrain.

1.2.3. Contexte hydrogéologique

Sur le secteur de la zone d'étude, 2 formations géologiques sont considérées aquifères.

Nappe des grès triasiques

L'aquifère du Grès Vosgien inférieur et supérieur affleure à l'ouest de la commune d'Oberhaslach et au sud de la commune de Niederhaslach (formation 155 - Illustration 4). L'aquifère présent au sein de cette formation géologique est notamment capté sur le territoire de la commune d'Oberhaslach pour l'alimentation en eau potable. Cette nappe présente des caractéristiques chimiques proches de celles des terrains cristallins avec un pH compris entre 6 et 7. [(Cruz-Mermy, Pierrelveclin, Mathon, & Baierer, 2013) & (BRGM, 1975)].

Nappe des formations cristallines

Les terrains primaires, situés en amont de la zone d'étude, principalement formés de roches siliceuses compactes (rhyolites) constituent, au droit de la zone d'altération, un aquifère de socle. Des sources drainent des zones altérées ; leur débit est généralement modeste et soumis à des variations saisonnières. Sur le secteur de la zone d'étude, ces eaux de sources sont caractérisées par un pH compris entre 5,5 et 7 (Lachassagne & Wyns, 2006).

Les eaux circulant au sein de ces 2 aquifères présentant des caractéristiques « agressives » importantes puisque fortement chargées en CO₂, elles peuvent, localement, favoriser la dissolution des formations calcaires et marneuses qui forment le Muschelkalk et la Lettenkohle en cas de mise en contact de ces différentes formations via un jeu de failles tectoniques.

1.2.4. Contexte climatique

Le massif des Vosges est majoritairement soumis à un climat semi-continental. Le massif montagneux des Vosges, d'orientation nord-sud, forme une barrière aux perturbations océaniques provenant de l'ouest, entraînant ainsi des précipitations importantes sur les lignes de crêtes (2 000 mm/an). Au passage des Vosges, l'air a tendance à s'assécher et un vent sec fort et chaud a tendance à se former (effet de foehn).

Le contexte climatique de la zone d'étude est défini à partir des données de Météo France provenant de la station identifiée par l'indicatif 67122001, localisée sur la commune de Wangenbourg-Engenthal (67), à environ 9 km au nord – nord-ouest de la zone d'étude. La proximité de cette station météo et la similarité du contexte géographique (alt. 460 m) par rapport à la zone étudiée justifie l'utilisation de ces données. Ainsi, pour des statistiques établies sur la période de 1990 à 2010, la température moyenne est de 9,6 °C et la hauteur moyenne de précipitation est de 1 182,8 mm/an.

En complément les données d'archives³ de *meteoblue* indiquent, sur les 30 dernières années, une température maximale dépassant les 30 °C pour la période estivale (en jours chaud) et une température minimale inférieure à 0 °C à la fin du mois de mars (en jours froid). Les précipitations les plus importantes sont enregistrées sur la période de mai (épisodes orageux) et décembre (Illustration 6). Les données de Oberhaslach et Niederhaslach étant similaires, seuls les diagrammes météorologiques de la commune d'Oberhaslach ont été fournis en Illustration 6.

³ Les données d'archives de *meteoblue* sont des données de simulation.

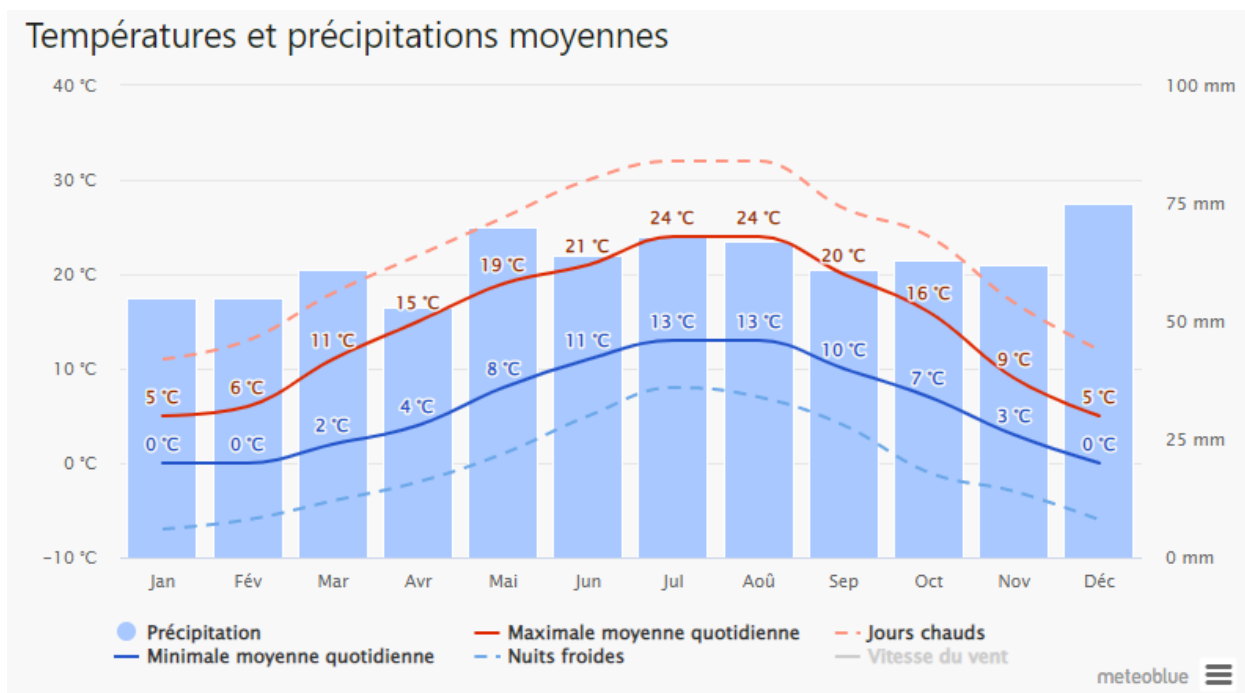


Illustration 6 : Diagramme des températures et des précipitations moyenne de la commune d'Oberhaslach sur une période de 30 ans (www.meteoblue.fr)

1.3. GÉNÉRALITÉ SUR LA QUALIFICATION DES ALÉAS

La cartographie de l'aléa nécessite de définir les zones potentiellement instables et susceptibles d'être déstabilisées.

Dans le cadre de la qualification de l'aléa, un évènement de référence est caractérisé par le volume le plus important susceptible de glisser sur la période de référence de 100 ans. Cet aléa peut être reproductible ou non. Ce scénario de référence peut correspondre soit au plus gros évènement historique connu, soit être supérieur soit inférieur à celui-ci. Dans le cadre de cette étude, les évènements de référence (glissement de terrain et affaissement/effondrement) sont établis d'après les inventaires de mouvements de terrain menés via des recherches bibliographiques et des campagnes de relevés de terrain.

L'approche utilisée pour l'évaluation de l'aléa glissement de terrain combine l'approche de type expert et les méthodes qualitative et quantitative à l'aide d'une approche multicritères réalisée à l'aide du logiciel ILWISS (Thiery, Sterlacchini, Malet, Puissant, & Maquaire, 2004). Cette analyse est basée sur des observations *in situ* (constats réalisés sur le terrain), des documents d'archives, et sur des calculs de densité de phénomènes observés par zone homogène.

La carte d'aléa a été élaborée à l'échelle du 1/10 000. Pour l'utilisation de la carte d'aléa, il conviendra de l'exploiter en tenant compte d'une certaine marge d'imprécision. Les zones d'aléa moyen ont cependant fait l'objet d'une cartographie plus précise lorsqu'elles débordent sur les zones urbanisées. Aussi, les contours de l'aléa moyen peuvent être lus avec une précision cadastrale au 1/5 000.

2. Traitement des données Lidar

2.1. CONDITIONS DE RÉALISATION DU LEVÉ LIDAR

Le jeu de données LIDAR⁴ nécessaire à la réalisation de l'étude a été collecté au mois d'avril 2019 (période à canopée peu développée) via l'utilisation d'un appareil aéroporté. La densité de point acquise est de 16 pts / m² à l'aide du LIDAR Reigl VQ-780i - 1000kHz Multi-échos.

Des mesures au sol ont été réalisées afin de caler et contrôler la qualité des levés.

2.2. OBTENTION DU MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN

Le traitement des données LIDAR permet l'obtention d'un modèle numérique de terrain (Illustration 7) qui servira de base à la réalisation d'une carte des pentes, carte d'exposition des terrains..., et à la réalisation d'un inventaire préalable des mouvements de terrain.

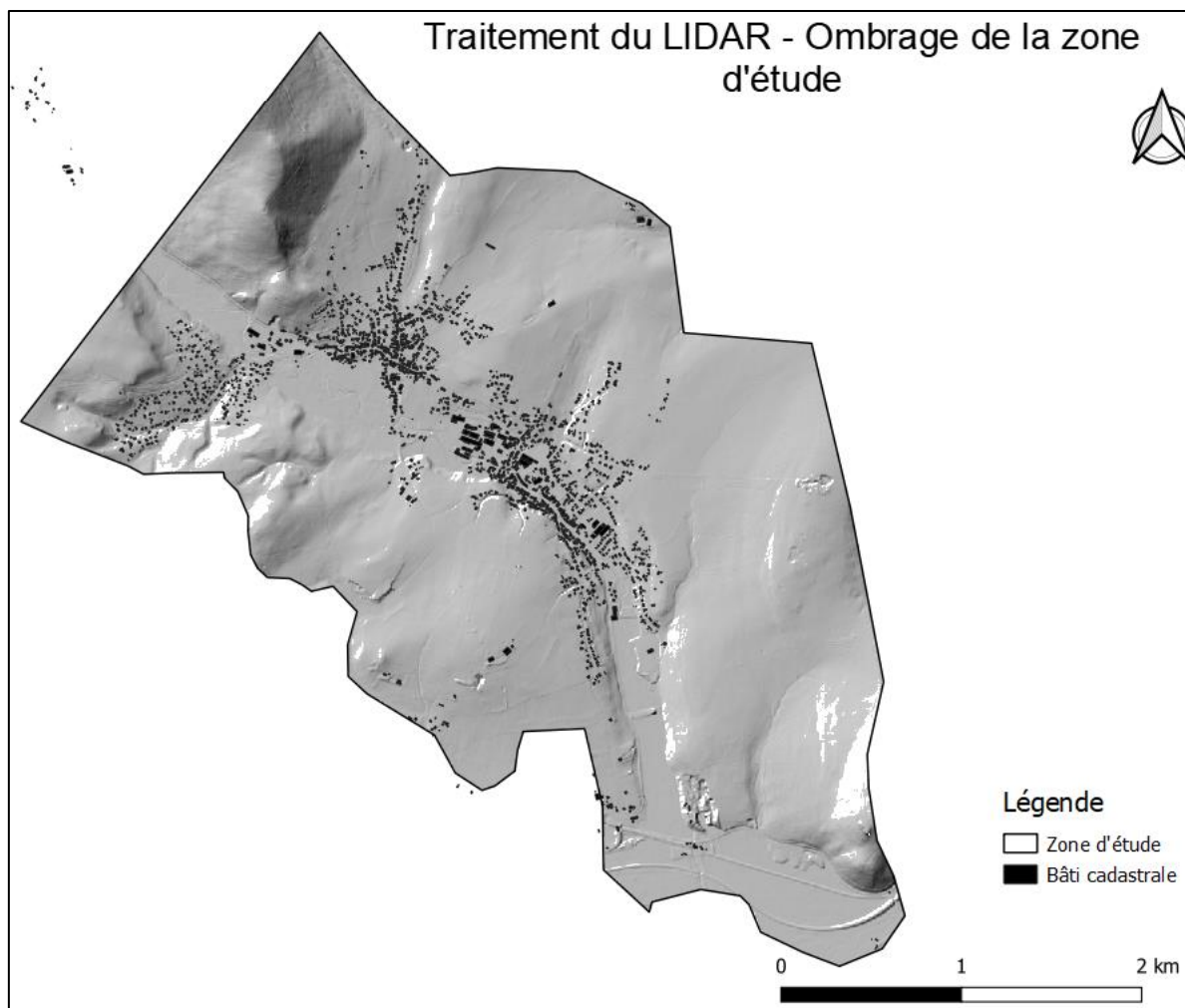


Illustration 7 : Ombrage issu de traitement du modèle numérique de terrain (résolution 5 m x 5 m).

⁴ LIDAR : Light Detection And Ranging

2.3. CARTE DES PENTES

Le traitement du MNT permet de calculer la carte des pentes. Cette donnée est utilisée dans le cadre de la qualification des différents aléas.

La carte des pentes en degrés et en pourcentages est obtenue à partir de traitement du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de résolution 5 m (Illustration 8).

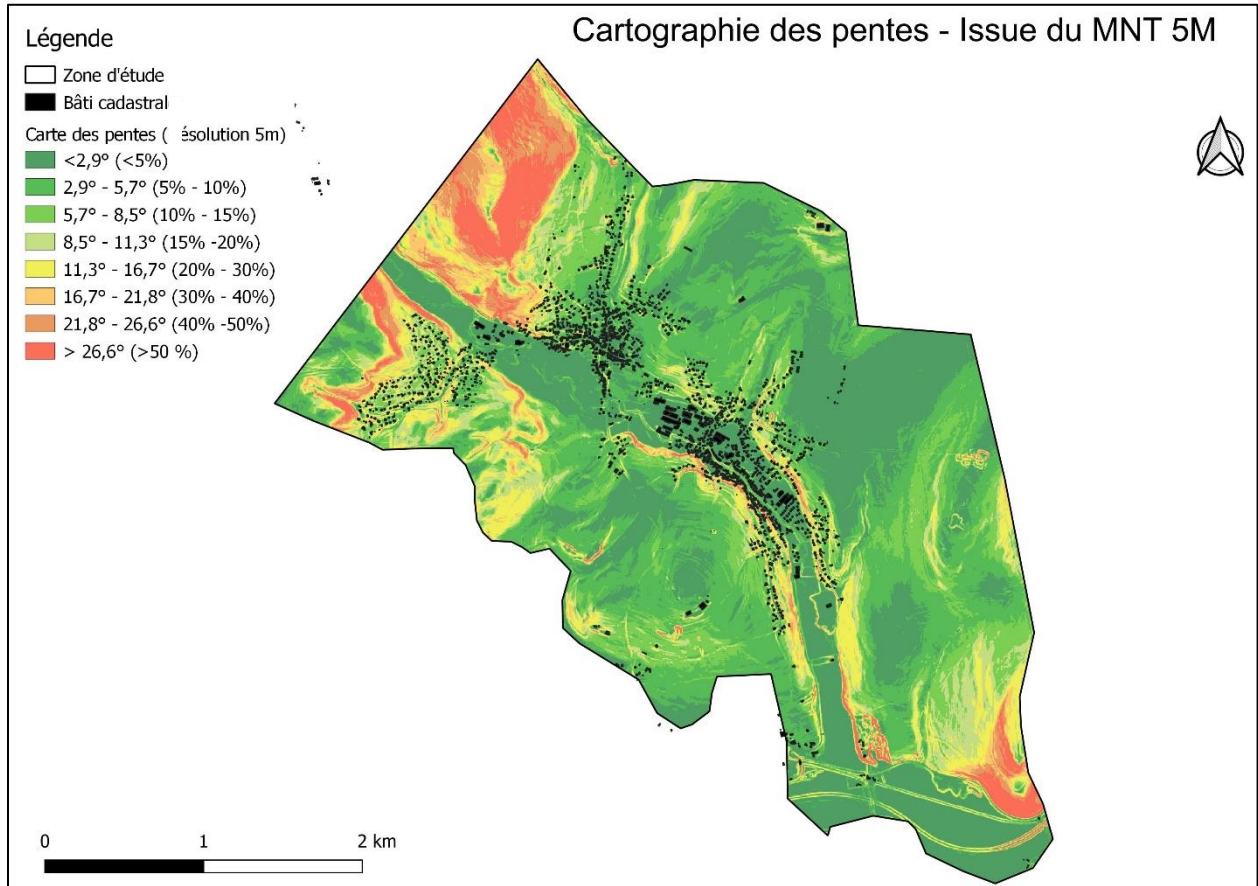


Illustration 8 : Carte des pentes issue du traitement du MNT de résolution 5 m.

3. Caractérisation de l'aléa affaissement / effondrement

La méthodologie de qualification de l'aléa est basée sur une méthodologie de qualification de l'aléa karstique proposée par le BRGM dans le cadre du Plan National Cavité (Perrin, Noury, & Cartannaz, 2014) et sur les travaux à paraître du BRGM et du CÉREMA⁵ dans le cadre du programme PRECAS (Prévention du Risque d'Effondrement CAVités Souterraines) (Clément, Husson, Noury, & Vedie, 2021).

3.1. TYPOLOGIES DES PHÉNOMÈNES ET PROCESSUS IDENTIFIÉS SUR LA ZONE D'ÉTUDE

3.1.1. Inventaires des phénomènes

Les communes d'Oberhaslach et Niederhaslach sont situées en partie sur les calcaires du Muschelkalk, en bordure du Massif Vosgien et du Fossé Rhénan. Ces calcaires sont affectés par des phénomènes de dissolution karstique à l'origine d'affaissements et d'effondrements affectant les terrains en surface : plusieurs événements notables se sont produits au cours du xx^{ème} siècle, les derniers - au niveau de l'école d'Oberhaslach - datant de 1998 et 2018. Ces événements sont de nature à mettre en danger les biens et les personnes.

Une étude du BRGM réalisée en 1987 (Lebon & Talbot A., 1987) a émis l'hypothèse de l'existence de circulations d'eau dans les calcaires du Muschelkalk au sein d'un réseau karstique guidé par des failles. Le débit et l'agressivité des eaux provenant du massif gréseux Vosgien voisin expliqueraient leur capacité de dissolution.

Une seconde étude réalisée par le BRGM en 2012 (Cruz-Mermy, Pierrelvein, Mathon, & Baierer, 2013) au niveau du lieu-dit Schotten (emprise beaucoup plus limitée que la présente étude) a permis de réaliser un inventaire des événements connus à date (Tableau 2) et la réalisation d'une carte de synthèse des phénomènes (Illustration 9). De plus, l'enveloppe de différents niveaux d'aléa a pu être tracée à l'échelle du 1/5 000 ; des recommandations en terme d'urbanisme ont été énoncées ainsi que des propositions d'investigations complémentaires.

Dans le cadre de la présente étude, des recherches bibliographiques ont été réalisées au sein de la base de données mouvement de terrain (BDMVT – www.georisques.gouv.fr) ainsi qu'au sein des archives communales et de la presse régionale sur une emprise plus large que la zone d'étude. Seules 2 entrées en BD MVT concernent des effondrements à proximité de la zone d'étude. Néanmoins, le niveau qualitatif des données saisies ne permet pas de les intégrer à cette étude, en l'absence d'informations sur les dimensions ou l'origine des événements. Il apparaît qu'aucun phénomène complémentaire pertinent n'a été recensé en dehors de la zone d'étude.

⁵ CÉREMA : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

IDENTIFIANT DE L'EFFONDREMENT	E01	E02	E03	E04	E05	E06
DATE	Fin 17 ^{ème} / début 18 ^{ème} siècle ?	1930	1953	1970	1980	24/01/1998
LOCALISATION	Perte du Ringelsbaechel	A proximité de la rue des Pèlerins	Rue des Pèlerins, sur le chemin	Au-dessus de la rue de la Source	Pré au-dessus de l'école maternelle	Cour de l'école maternelle
DIAMETRE (* = estimé)	50 m	4 à 5 m *	4 à 5 m *	4 à 5 m *	4 à 5 m *	0.60m en surface, 2-3m en profondeur
PROFONDEUR (* = estimée)	15 m	3 à 5 m *	3 à 5 m *	3 à 5 m *	3 à 5 m *	2.7 m
VOLUME	?	?	?	?	?	20 m ³
ENJEUX	vies humaines	vies humaines, résidences	vies humaines, route, voitures	vies humaines, résidences	vies humaines, école	vies humaines, école
PRECISION DE LA LOCALISATION	exacte	parcelle	parcelle	parcelle	parcelle	5m
CONFIRMÉ SUR LE TERRAIN	oui	non	oui	non	non	oui
DATE DE CONFIRMATION	07.03.13	-	21.03.13	-	-	08.03.2013
REFERENCE	Rapport BRGM87 SGN753 ALS	mairie d'Oberhaslach, courrier 19/07/2012	mairie d'Oberhaslach, courrier 19/07/2012	mairie d'Oberhaslach, courrier 19/07/2012	mairie d'Oberhaslach, courrier 19/07/2012	compte rendu BRGM du 26/01/98 - Antéa AR/LOR 123/98-JCC
MOYEN D'ACQUISITION DE L'INFORMATION	terrain	témoignage	témoignage	témoignage	témoignage	terrain
GEOLOGIE	grès vosgien et couches à cératites	dépôts soliflués de versant	dépôts soliflués de versant	dépôts soliflués de versant	cailloutis des cônes de déjection	0-2m : limons; > 2m : calcaires

Tableau 2 : Inventaire des effondrements recensés sur la commune d'Oberhaslach durant l'étude BRGM de 2013 (Cruz-Mermey, Pierrevelcin, Mathon, & Baierer, 2013).

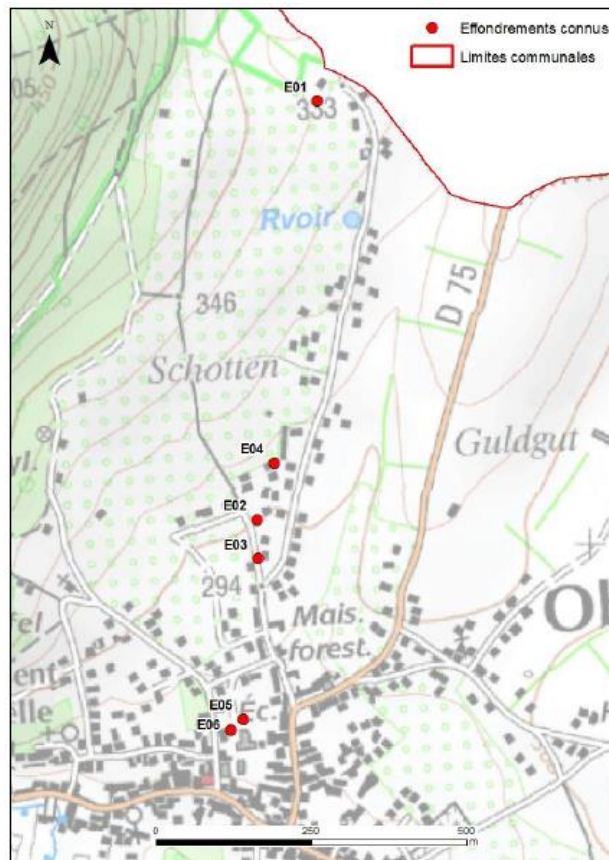


Illustration 9 : Carte des effondrements recensés lors de l'étude BRGM en 2013.

Cet inventaire a fait l'objet d'une mise à jour lors de la présente étude au travers du traitement des données LIDAR acquise en 2019. Cette analyse a permis d'identifier de nombreuses zones présentant des dépressions dont la nature a été confirmée ou infirmée sur le terrain. Pour ce faire, les données LIDAR ont été transformées en un modèle numérique de terrain de résolution 25 cm. Une analyse de la rugosité des sols a été réalisée afin de localiser les zones à valider sur le terrain (Illustration 10).

L'Illustration 11 présente l'ensemble des phénomènes recensés en bibliographie, sur le LIDAR et lors des campagnes de terrain. L'inventaire est présenté sous forme de tableau en Annexe 1.

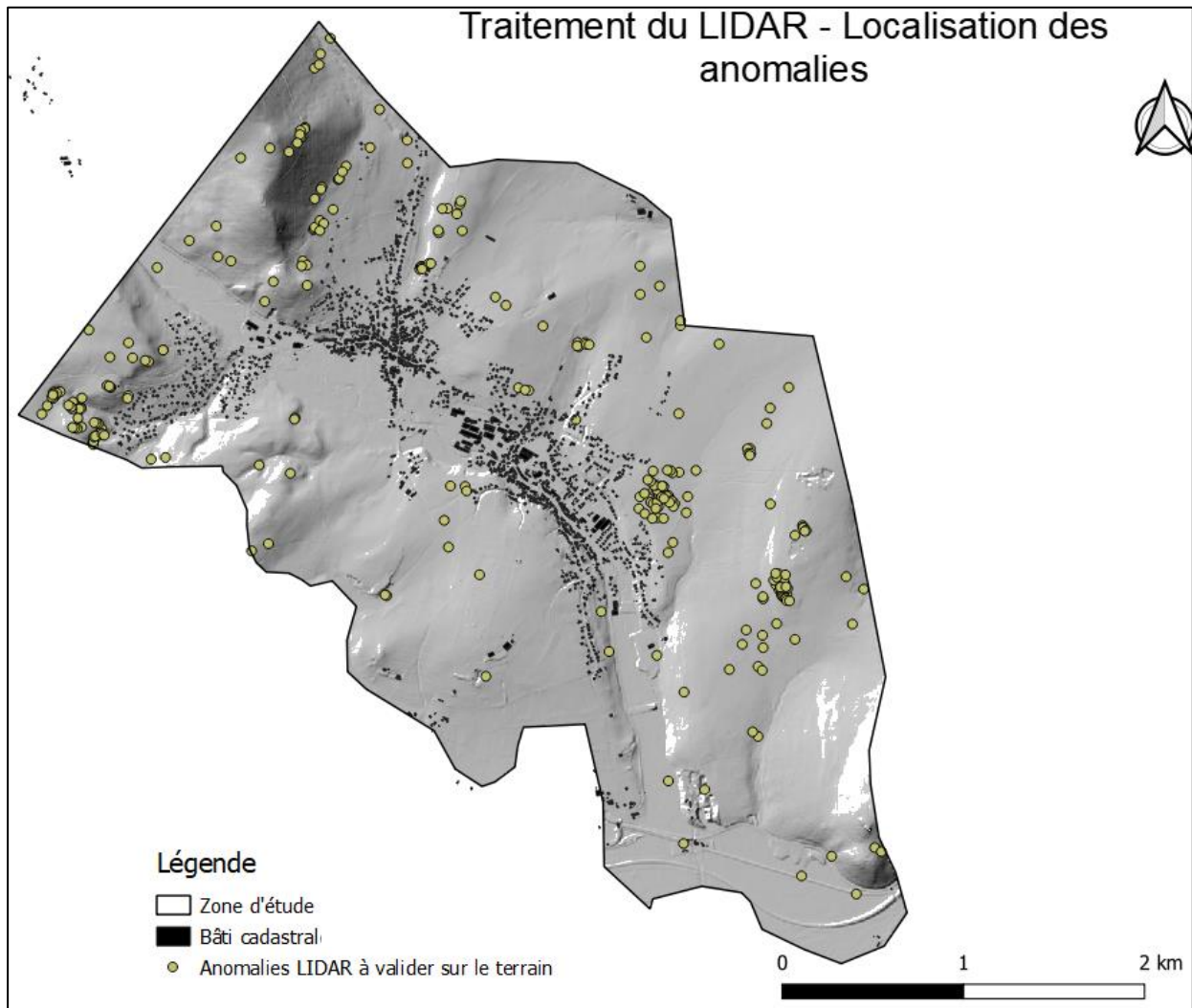


Illustration 10 : Résultat « brut » du traitement LIDAR – anomalies susceptibles d'être des zones d'affaissement / effondrement.

L'ensemble des points ont fait l'objet d'une visite de terrain ayant pour objectif de caractériser l'anomalie (affaissement/effondrement ou phénomènes autres). Seuls ont été conservés et décrits ceux pouvant être mis en relation avec un phénomène d'affaissement / effondrement (50 phénomènes conservés sur 279 - Illustration 11).

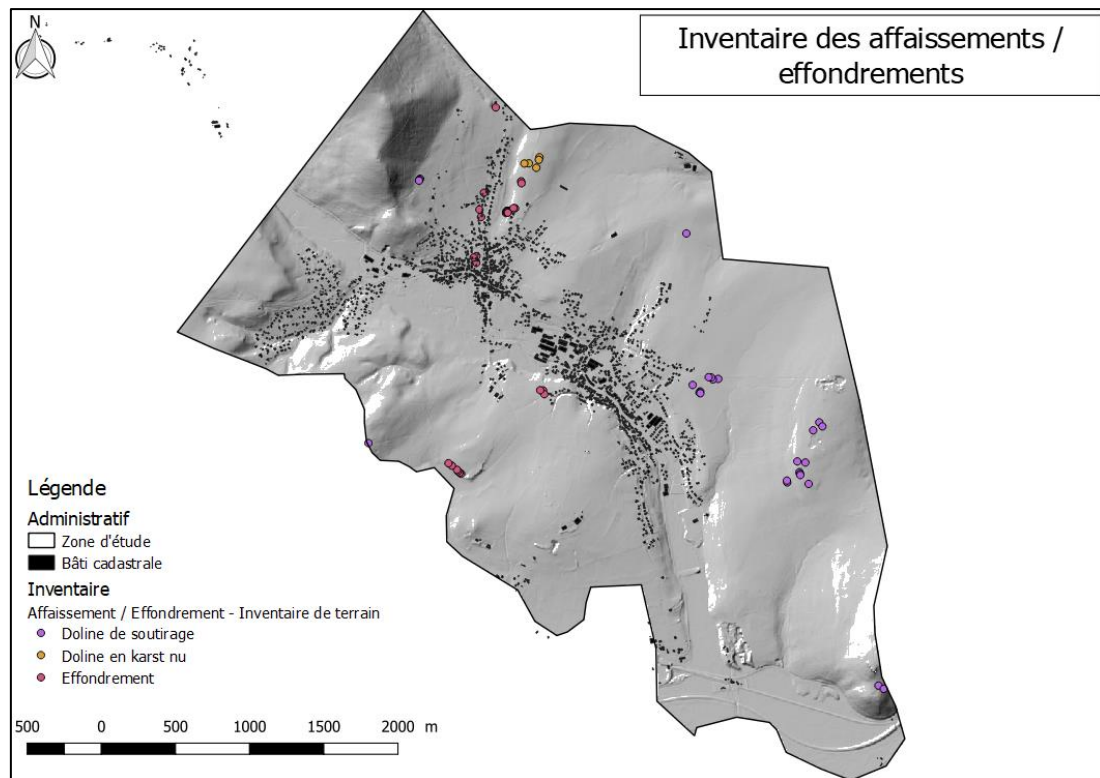


Illustration 11 : Carte de localisation des phénomènes recensés

L'inventaire issu de l'analyse du LIDAR a été complété à l'aide des données issues de l'étude BRGM de 2012 (Cruz-Mermy, Pierrelvelcin, Mathon, & Baierer, 2013) dont les effondrements, comblés, ne pouvaient pas être identifiés sur l'analyse du MNT (6 évènements).

Durant les campagnes de terrain qui ont permis de parcourir la quasi-totalité de la zone d'étude pour compléter l'inventaire, seuls 2 évènements ont été recensés sur le terrain sans avoir été identifiés sur le MNT (en zone de couvert forestier plus important) ou en bibliographie. L'inventaire réalisé à l'aide du LIDAR peut donc être considéré comme quasi-exhaustif.

Au total, 58 évènements ont été recensés sur la zone d'étude (analyse MNT, bibliographie et campagne de terrain). La description des phénomènes réalisée durant la phase d'inventaire a permis de décrire les évènements (notamment les dimensions qui permettent de définir une classe d'intensité), d'observer les lithologies impactées et d'appréhender les mécanismes à l'origine de l'apparition des mouvements de terrain.

Les phénomènes recensés sur lors des relevés de terrain ont été divisés en 3 catégories :

- les dolines de soutirages (Illustration 12 - gauche) caractérisées par des zones d'affaissement en forme d'entonnoir qui affecte un matériau meuble (formations superficielles sur la zone d'étude) ;
- les dolines en karst nu caractérisées par une zone d'affaissement circulaire située sur des formations calcaires (potentiellement karstique).

Ces 2 types de dolines peuvent être assimilées à du karst sous couverture peu perméable.

- les effondrements caractérisés par l'ouverture d'une cavité en surface (Illustration 12 - droite), qui peuvent être assimilés à des phénomènes en karst nu.



Illustration 12 : Photographie d'une doline (gauche – cercle rouge) et d'un effondrement (droite).

Les points de l'inventaire qui ont été supprimés correspondent majoritairement à des arbres déracinés, excavations anthropiques, pistes de VTT... - Illustration 13).



Illustration 13 : Exemple de faux positifs sur la détection LIDAR éliminés lors des campagnes de terrain (gauche : piste VTT, droite : arbre déraciné).

3.1.2. Synthèse de la typologie des phénomènes rencontrés sur la zone d'étude

D'après les éléments obtenus lors de l'inventaire des mouvements de terrain, 3 types de phénomènes (dolines en karst nu, dolines de soutirage ou effondrements) présentant des zones d'affaissement / effondrement ont été observés sur la zone d'étude.

Les travaux menés dans le cadre du programme PRECAS [(Prévention du Risque d'Effondrement CAvités Souterraines) (Clément, Husson, Noury, & Védie, 2021)] identifient 4 types de processus différents entraînant l'apparition d'affaissement ou effondrement (suffosion/soutirage, débouillage de conduit karstique, extrusion, rupture de toit de cavité).

D'après les observations réalisées sur le terrain et en l'absence d'étude géotechnique sur les zones impactées, **l'hypothèse selon laquelle l'ensemble des zones affaissées et effondrées ont subi un processus de suffosion / soutirage est retenue** (Illustration 14).

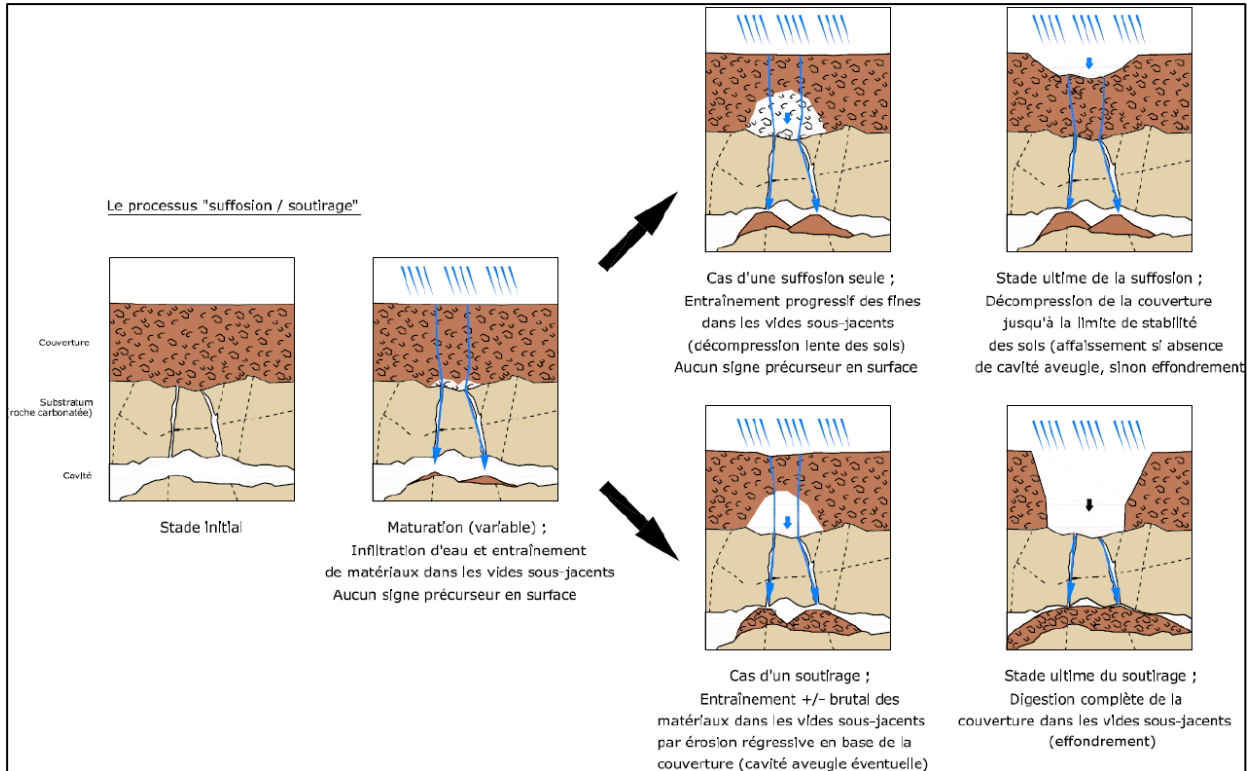


Illustration 14 : Principe du phénomène de suffosion / soutirage

(Clément, Husson, Noury, & Vedie, 2021).

La qualification de l'aléa cherchera donc à établir, dans un premier temps, la prédisposition des terrains à subir un phénomène de soutirage.

3.1.3. Sinistralité sur la zone d'étude

La sinistralité permet également de décrire l'évènement le plus important susceptible de se produire sur la zone d'étude. Cette sinistralité est basée sur les données d'inventaire.

L'analyse des données d'inventaire permet de définir 3 ensembles présentant des sinistralités différentes :

1. Les formations volcaniques, loessiques et alluviales ne présentent pas de phénoménologie (aucun évènement recensé) ;
2. Les formations marneuses et gréseuses présentent des phénomènes d'affaissement dont le diamètre peut être métrique et la profondeur pluri-centimétrique (18 évènements recensés soit 31 %) ;
3. Les zones de calcaire affleurant et recouvertes par des dépôts de versant présentent des effondrements dont le diamètre est pluri métrique, des informations sur leur profondeur sont disponibles ponctuellement ; elles sont généralement comprises entre 3 et 5 m (40 évènements recensés soit 69 %).

3.2. CARTOGRAPHIE DE LA PRÉDISPOSITION

3.2.1. Principes généraux

La cartographie de la prédisposition est réalisée selon la méthodologie proposée par le BRGM et le CÉREMA (Illustration 15) dans le cadre des opérations de recherche PRECAS (Clément, Husson, Noury, & Védie, 2021). Pour rappel, sur la base des travaux d'inventaire réalisés, seul le processus de soutirage a été identifié sur la zone d'étude.

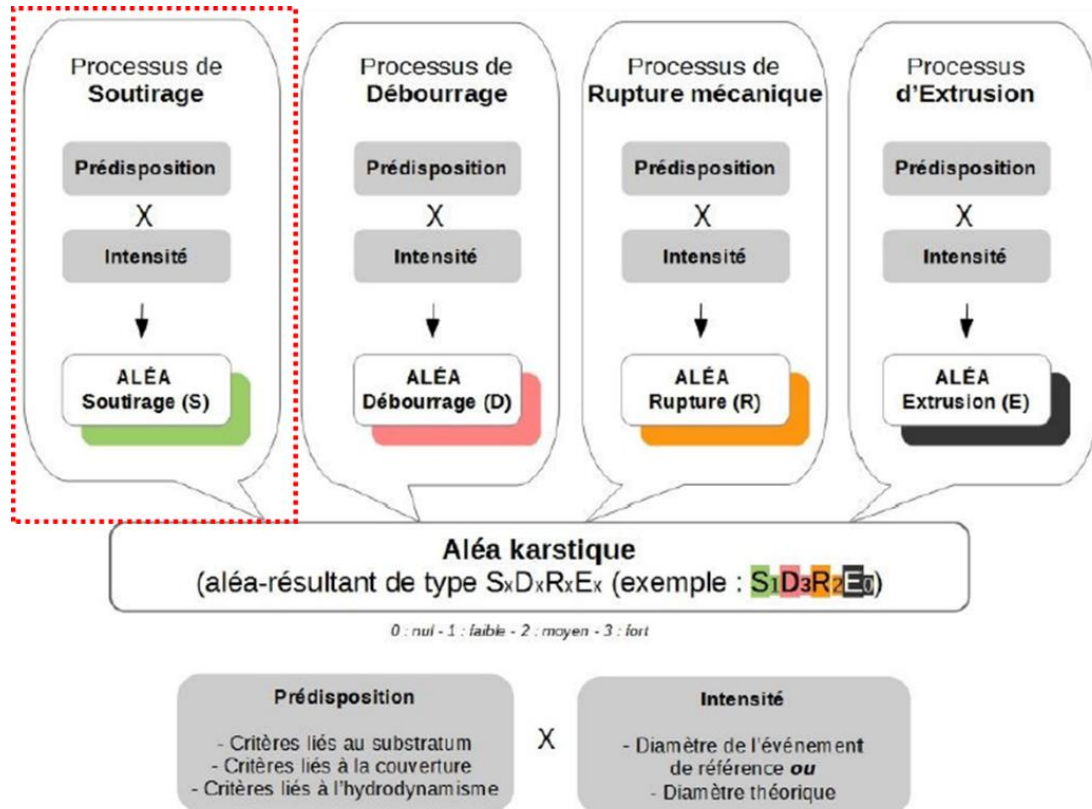


Illustration 15 : Méthodologie de caractérisation de l'aléa (Clément, Husson, Noury, & Védie, 2021).

La méthode propose une liste de paramètres pouvant être utilisés dans la qualification de la prédisposition. Seul un certain nombre de ces paramètres sont disponibles sur la zone d'étude (Illustration 16). L'absence de certaines données est susceptible d'introduire des incertitudes lors de la présentation des résultats. Ces incertitudes sont dues à l'absence de certaines données hydrogéologiques et géologiques sur la zone d'étude qui ne pouvaient être acquises dans le cadre des investigations menées.

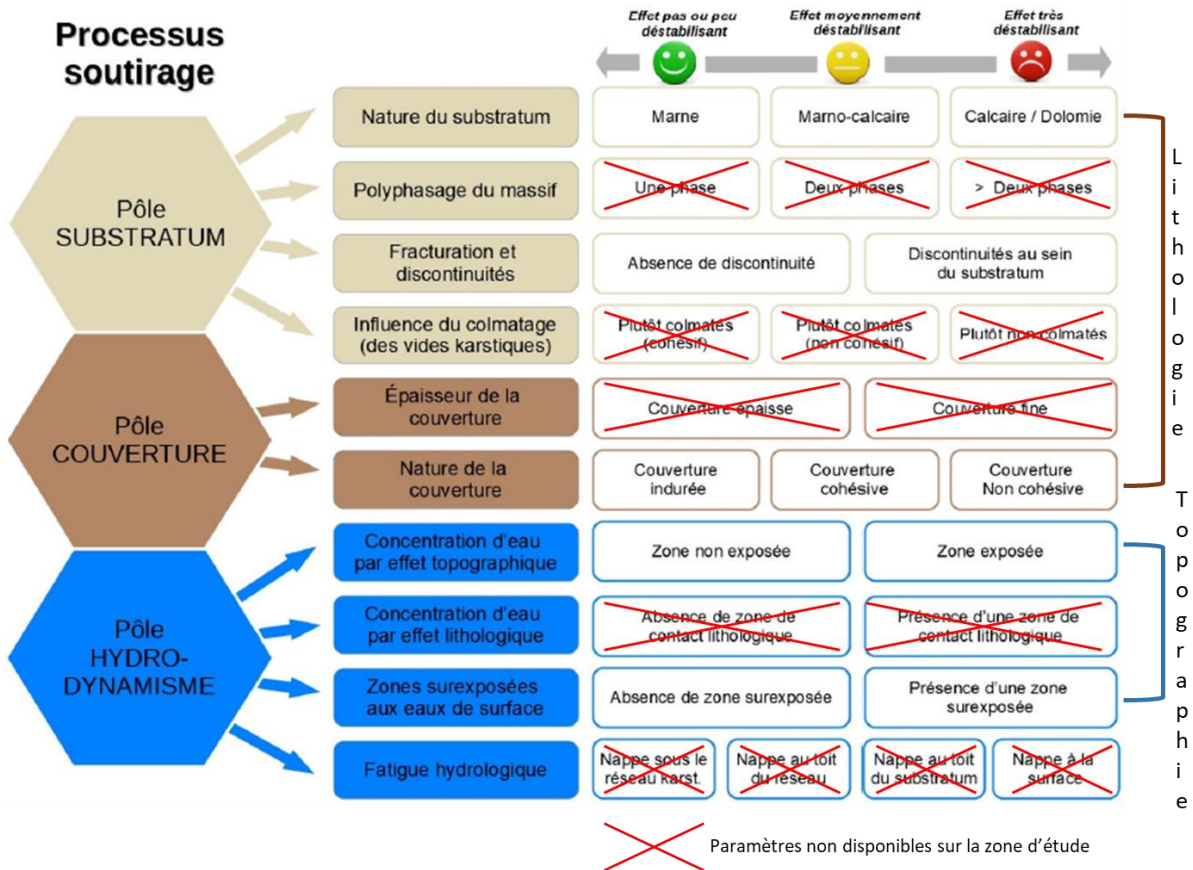


Illustration 16 : Listes des paramètres pouvant être pris en compte dans la caractérisation de la prédisposition (Clément, Husson, Noury, & Vedie, 2021).

3.2.2. Identification et pondération des critères pris en compte sur la zone d'étude

Compte tenu des informations à disposition sur la zone d'étude et obtenues grâce aux travaux d'inventaire des phénomènes, les critères suivants ont été intégrés, à dire d'expert, à l'analyse multicritère relative à la qualification de la prédisposition aux phénomènes karstiques sur la base de la compréhension des mécanismes à l'origine des mouvements de terrain :

- la lithologie joue un rôle dans l'apparition de ces phénomènes car certaines familles de roches sont plus susceptibles, de par leur composition minéralogique à la karstification ;
- la présence de discontinuités géologiques (failles) joue un rôle dans l'apparition de ces phénomènes car des circulations d'eau sont possibles au sein de ces zones fracturées et entraîne un phénomène de karstification et/ou de soutirage ;

La topographie (carte des pentes) permet d'identifier des zones de moindre pente topographique qui facilitent l'infiltration des eaux de ruissellement, ce qui peut entraîner la mise en place d'un phénomène de soutirage. La caractérisation de la prédisposition est réalisée à l'aide d'une analyse multicritère selon la théorie de l'évidence (AMC), à l'aide du logiciel ILWISS (Thiery, Sterlacchini, Malet, Puissant, & Maquaire, 2004) valorisant ces critères en s'appuyant sur une analyse statistique basée sur l'inventaire des phénomènes pour justifier de leur pertinence. En effet, cette méthode permet d'intégrer de nombreux facteurs en mettant en relation des critères spatiaux, combinés et pondérés par rapport à l'objectif global de cartographie de la prédisposition au phénomène de suffosion.

Il existe trois méthodes pour utiliser la théorie de l'évidence (Saty, 1980) ; les deux méthodes développées ci-dessous ont été combinées dans le cadre de cette étude :

- la méthode « rank-ordering » permettant de classer qualitativement les différents critères les uns par rapport aux autres (ex : le critère « x » et beaucoup plus important que le critère « y »). Cette qualification qualitative est traduite par le logiciel en pondération quantitative normalisée. C'est-à-dire que plus le poids attribué est important, plus le facteur favorise l'apparition d'un phénomène (dans ce cas de suffosion/soutirage). Cette classification est déterminée en fonction des observations de terrain issues de l'inventaire des phénomènes et d'un traitement statistique ;
- la méthode « directe » permet également de pondérer en appliquant directement une valeur numérique normalisée à chaque critère. Cette méthode permet également de normaliser automatiquement l'ensemble des poids appliqués et offre plus de souplesse pour pondérer les critères à dire d'expert.

Dans le cas de cette étude, la méthode « rank-ordering » est tout d'abord utilisée car la pondération qualitative des critères permet à l'expert de traduire aux mieux la hiérarchisation des critères appréhendés d'après l'inventaire et l'analyse statistique qui en résulte (densité de mouvements de terrain dans chaque classe de critères).

Cette première étape permet d'obtenir une première cartographie de la prédisposition qui sera affinée à dire d'expert via la méthode « direct ».

Dans un second temps, la méthode « directe » est donc utilisée pour aboutir à une cartographie de la prédisposition plus fine et en cohérence avec les observations de terrain via la modification, à dire d'expert, des pondérations obtenues par la méthode « rank-ordering ».

Le résultat de l'analyse multicritère se traduit par l'attribution d'une valeur de prédisposition à chaque pixel de la zone d'étude. Des seuils de valeur permettant de définir les différentes classes de susceptibilité sont définis à dire d'expert pour obtenir une cartographie de la prédisposition.

Lithologie (pôles substratum et couverture)

L'ensemble des formations décrites sur la carte géologique au 1/50 000 ont été regroupées en 7 classes lithologiques qui présentent chacune un comportement particulier vis-à-vis de la prédisposition au phénomène de soutirage. Une analyse statistique de ces classes lithologiques a été réalisée afin d'identifier celles qui présentent les plus grandes densités de phénomènes et donc la plus grande prédisposition (Tableau 3).

Les limites géologiques utilisées correspondent à celles de la carte géologique au 1/50 000 du BRGM corrigées sur la base des données Lidar et des observations de terrain (ce qui permet de s'approcher d'une précision au 1/10 000 nécessaire pour la cartographie de l'aléa à l'échelle communale). La carte lithologique de la zone d'étude est présentée en Illustration 5 et en Annexe 2.

Parmi les incertitudes qui ne pouvaient être résolues durant la phase de terrain, l'absence de cartographie de l'épaisseur des dépôts de versant sur l'ensemble de la zone a déjà été citée précédemment, ils seront donc traités comme ayant une épaisseur uniforme sur l'ensemble de leur emprise.

Lithologie / densité de phénomènes soutirage			
Lithologie	Superficie (km ²)	Nbr de phénomènes	densité (nbr de phénomènes/km ²)
Alluvions	2.03	0	0.00
Calcaires	0.95	19	20
Dépôts de versants	2.39	21	8.79
Formations volcaniques	0.69	0	0.00
Grès	5.1	17	3.33
Loess	0.41	0	0
Marnes	0.92	1	1.09
<i>Total</i>		58	

Tableau 3 : Densité d'indices de phénomènes de soutirage selon les formations géologiques concernées.

L'analyse des résultats permet d'identifier les calcaires comme présentant la plus grande prédisposition au phénomène de soutirage. Les grès, marnes et dépôts de versants présentent également de la phénoménologie mais dans des proportions moindres.

Les phénomènes recensés au sein des formations gréseuses ne sont pas liés à un phénomène karstique mais probablement dû à un phénomène de soutirage des fines à proximité de zones fracturées. Les pathologies étant similaires, elles seront prises en compte dans la cartographie de la prédisposition aux phénomènes de soutirage.

À l'inverse, certaines formations ne présentent aucune phénoménologie et ne présentent donc pas de prédisposition au phénomène de soutirage. Il s'agit des formations suivantes :

- les alluvions ne présentent pas de phénoménologie du fait de leur épaisseur importante (supérieure à 6 m selon les forages enregistrés en BSS) et de leur granulométrie qui n'est pas favorable à la mise en place d'un phénomène de suffosion ;
- les formations volcaniques ne présentent pas de phénoménologie du fait de leur compacité et de leur minéralogie non propice à la karstification ;
- les loess ne présentent pas de phénoménologie ; leur localisation en sommet de plateau limite leur exposition aux ruissellements. De plus, leur faible perméabilité limite les infiltrations ce qui complique la mise en place de phénomènes de soutirage.

Ces formations devraient présenter une prédisposition au soutirage très faible en terme cartographique.

Présence de fracturations géologiques (pôle substratum et hydrodynamisme)

La présence de failles permet d'intégrer la présence de discontinuités géologiques et de concentrations potentielles des circulations d'eau dans l'analyse multicritère. L'ensemble des failles considérées sont présentées en Annexe 2.

L'ensemble des failles recensées sur la zone d'étude ont été classées en 3 catégories :

1. Les failles qui ont pu être observées sur le terrain via des contacts géologiques et considérées comme karstiquement actives au regard des indices de mouvements de terrain karstiques recensés (compte tenu des incertitudes de localisation faibles, une zone tampon de 25 m a été appliquée autour de ces discontinuités) ;
2. Les failles qui ont pu être observées sur le terrain via des contacts géologiques et considérées comme non actives en l'absence d'indices de mouvements de terrain karstiques recensés (compte tenu des incertitudes de localisation faibles, une zone tampon de 25 m a été appliquée autour de ces discontinuités) ;
3. Les failles présentes sur la carte géologique au 1/50 000 mais non recensées sur le terrain (compte tenu des incertitudes de localisation liées à l'imprécision de la carte géologique une zone tampon de 50 m a été appliquée autour de ces discontinuités).

L'analyse statistique de ce jeu de données permet de calibrer l'analyse multicritère et de mettre en avant la forte prédisposition au soutirage attendu à proximité de zones de failles actives.

Failles terrain - Actives			
Failles	Superficie (km ²)	Nbr de phénomènes	Densité (nbr de phénomènes/km ²)
Zone tampon 25 m	0.34	35	102.9
Failles terrain - Non actives			
Failles	Superficie (km ²)	Nbr de phénomènes	Densité (nbr de phénomènes/km ²)
Zone tampon 25 m	0.55	1	1.8
Failles carte géologique			
Failles	Superficie (km ²)	Nbr de phénomènes	Densité (nbr de phénomènes/km ²)
Zone tampon 50 m	2.29	2	0.9

Tableau 4 : Densité d'indices de phénomènes de soutirage selon la présence et la typologie de failles à proximité.

Les zones affectées par la présence de failles actives conjuguent la présence de karst potentiel et de circulation d'eau. Ces secteurs représentent donc logiquement des zones de prédisposition plus forte au phénomène de soutirage.

Pentes (pôle hydrodynamisme)

Les traitements des données LIDAR permettent de définir une cartographie des pentes. La relation entre l'existence de processus de soutirage et classes de pente a été étudiée via une analyse de la densité de phénomènes selon les classes de pente (Tableau 5).

Classes de pentes (°)	Superficie (km ²)	Nbr de phénomènes	Densité (nbr phénomènes/km ²)
0-5	6.78	23	3.39
5-7	1.62	18	11.10
7-10	1.46	9	6.15
>10	2.57	8	3.11
<i>Total</i>		58	

Tableau 5 : Densité d'indices de phénomènes de soutirage en fonction des seuils de pente.

L'analyse de la relation entre phénoménologie et pente indique que les zones de faibles pentes, correspondant aux zones d'infiltration présentent la plus grande prédisposition à la mise en place de phénomènes de soutirage.

Le phénomène de soutirage étant directement lié à l'infiltration des eaux de ruissellement, il est logique que les zones présentant la plus forte susceptibilité correspondent aux zones de pente faible qui favorisent les infiltrations.

Les zones de très faible pente (<5°) présentent une densité plus faible de phénomènes car les zones d'alluvions et de loëss qui ne présentent pas de phénoménologie sont caractérisées par ces très faibles pentes (en fond de vallée et sur les plateaux).

Paramètres étudiés mais non pris en compte

En l'absence de données disponibles ou de relations claires entre les paramètres et l'occurrence des phénomènes relevés sur le terrain, les paramètres suivants n'ont pas pu être intégrés à l'analyse multicritères :

1. La distance aux écoulements d'eaux superficielles : la localisation et le cheminement des cours d'eau ont été modélisés via le calcul d'une accumulation de flux à partir des données LIDAR. D'après les résultats de l'analyse statistique et en cohérence avec les observations de terrain, aucun lien entre les ruissellements de surface et les phénomènes de soutirage n'a été mis en évidence sur la zone d'étude ;
2. En l'absence de données sur les écoulements souterrains sur la zone d'étude (ni piézomètre ni carte piézométrique), les écoulements souterrains n'ont pas pu être intégrés dans la caractérisation de la prédisposition.

De fait, le pôle « hydrodynamisme » est très peu représenté dans les données disponibles pour caractériser la susceptibilité au phénomène de soutirage. Si de telles données deviennent disponibles dans l'avenir, une mise à jour de la cartographie de la susceptibilité et de l'aléa devra être envisagée.

Pondération des critères de prédisposition

L'ensemble des critères ont été pondérés les uns par rapport aux autres de manière qualitative (analyse multicritère par méthode « rank-ordering ») ce qui a permis d'attribuer une pondération normalisée à chaque critère et facteur. Ces pondérations ont été affinées à dire d'expert (méthode Direct) afin d'obtenir une carte de prédisposition (§ 3.2.2).

Au total, 8 pondérations différentes ont été testées et ont permis d'obtenir une cartographie de la susceptibilité cohérente avec les observations de terrain. Le Tableau 6 présente celle retenue.

Facteurs et critères	Niveaux de prédisposition au soutirage	Pondération normalisée appliquée
Lithologie	***	0.5
Calcaire	*****	0.51
Dépôts de versant	****	0.36
Grès	***	0.09
Marnes	**	0.02
Alluvions	*	0.01
Formations volcaniques	*	0.01
Loess	*	0.01
Discontinuités géologiques	**	0.4
Failles actives observées	***	0.78
Failles non actives observées	**	0.18
Failles non observées - issue carte géologique 1/50 000	*	0.04
Pente (%)	*	0.1
0 - 5	*	0.07
5 - 7	***	0.34
7 - 10	**	0.21
> 10	*	0.07

faible prédisposition * -> forte prédisposition ****

Tableau 6 : Pondérations appliquées pour la caractérisation de la prédisposition au soutirage.

Les pondérations normalisées proposées s'attachent à traduire de manière quantitative la compréhension des mécanismes observés sur le terrain. Les zones de plus forte susceptibilité sont situées au droit de formations calcaires, à proximité de failles actives et de zones de faible pente (entre 5° et 7°).

3.2.3. Définition des seuils de classes de prédisposition

Afin de finaliser la carte de prédisposition, il est nécessaire de définir des seuils pour les différentes classes de prédisposition. Ces seuils ont été définis à dire d'expert et validés à l'aide d'un calcul de densité (les densités de phénomènes doivent augmenter significativement avec chaque classe de prédisposition).

Classe de prédisposition	Seuils	Surface (Km ²)	Nombre de phénomène	Densité
Nulle	0 - 0.051	3.35	0	0
Très faible	0.051 - 0.10001	4.53	4	0.88
Faible	0.10001 - 0.299	3.98	19	4.77
Moyenne	0.299 - 0.7	0.60	35	58.27
Somme		12.47	58	

Tableau 7 : Définition et validation des seuils de classe de prédisposition.

La carte de prédisposition aux phénomènes de soutirage est présentée en Illustration 17.

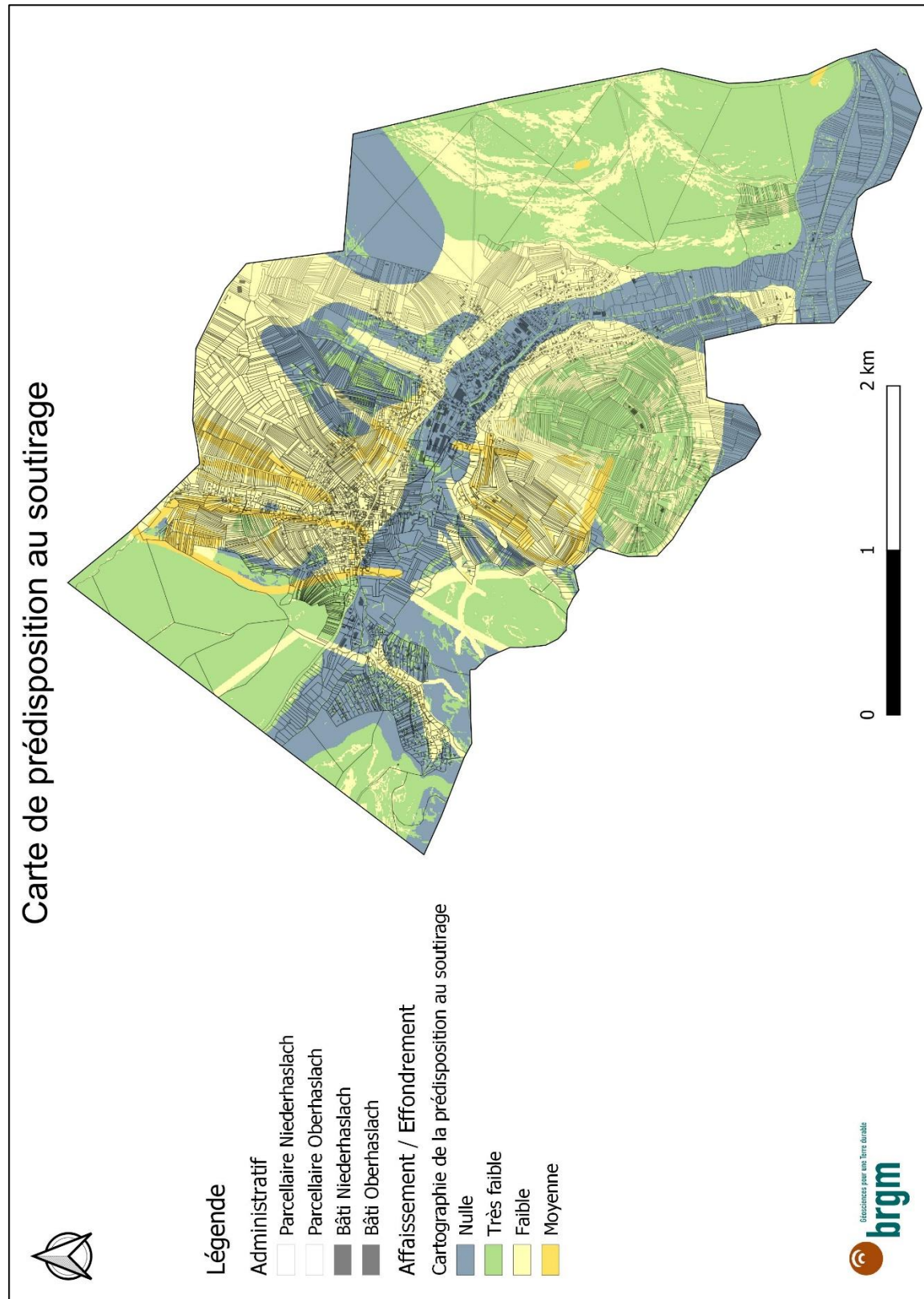


Illustration 17 : Cartographie de la prédisposition aux phénomènes de soutirage.

3.3. DÉFINITION DE L'INTENSITÉ DES MOUVEMENTS DE TERRAIN ATTENDUS

D'après la méthodologie de cartographie de l'aléa karstique élaborée par le BRGM (Perrin, Noury, & Cartannaz, 2014), l'intensité peut être définie sur la base des phénomènes observés lors de l'inventaire des désordres. Les différentes classes d'intensité sont définies à partir du diamètre du phénomène observé en surface (Tableau 8) selon le guide PPR des cavités souterraines abandonnées (Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie, 2012).

Classe d'intensité	Diamètre de l'effondrement
Très limitée	Effondrements auto-remblayés à proximité immédiate de la surface (flache de profondeur centimétrique)
Limitée	$\varnothing < 3 \text{ m}$
Modérée	$3 \text{ m} < \varnothing < 10 \text{ m}$
Elevée	$\varnothing > 10 \text{ m}$

Tableau 8 : Hiérarchisation des classes d'intensité pour un effondrement (Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie, 2012)

La méthodologie à paraître du BRGM/CÉREMA (Clément, Husson, Noury, & Vedie, 2021) se base sur la sinistralité connue pour définir un niveau d'intensité attendue par zone homogène de la zone d'étude. L'intensité peut néanmoins être réévaluée en fonction de données argumentées.

Au droit de la zone d'étude, la qualification de l'intensité attendue due aux phénomènes de soutirage sera qualifiée via les données d'inventaire selon la méthodologie du guide PPR affaissement / effondrement (Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie, 2012) qui vise principalement à limiter les impacts des phénomènes sur le bâti (Tableau 8).

Compte tenu des différences significatives observées sur la zone d'étude, l'intensité de référence sera déclinée par zone homogène. Une zone homogène est une zone présentant des caractéristiques similaires vis-à-vis d'un processus, la rendant partout sensible de la même manière à ce processus. Autrement dit, le nombre d'aléas de référence pour un site étudié est égal à la somme du nombre de zones homogènes retenues pour chacun des processus retenus. (Clément, Husson, Noury, & Vedie, 2021)

L'analyse des 58 phénomènes recensés lors de l'inventaire bibliographique et des campagnes de terrain a permis de décrire 2 zones homogènes pour les phénomènes attendus sur la zone d'étude.

Les 2 zones homogènes sont les suivantes :

1. Les secteurs où les calcaires affleurent, qui sont caractérisés par des phénomènes d'effondrement par soutirage bien décrits, ce qui permet de définir une sinistralité (intensité) attendue.

Sur la base des observations réalisées en phase d'inventaire (phénomènes présentant une certitude forte), **les zones de calcaires affleurant peuvent être impactées par des phénomènes d'intensité attendue « modérée »** (diamètre entre 3 à 10 m) selon la classification du Guide PPR (Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie, 2012). L'intensité a été définie sur la base des différents phénomènes observés sur la commune d'Oberhaslach entre 1918 et 1930 (Tableau 2).

2. Les secteurs où les calcaires n'affleurent pas (sous couverture ou sans calcaire), ne présentent pas de phénomènes aussi marqués. Ils sont caractérisés par la présence de dolines dont le diamètre peut être important (pluri métrique) mais dont le dénivelé est faible (décimétrique).

Sur la base des observations réalisées en phase d'inventaire, **les zones hors calcaires affleurant sont généralement impactées par des phénomènes dont l'intensité peut être qualifiée de très limitée** (alluvions, loess, roches volcaniques) **à limitée** (grès, marnes, dépôts de versant).

3.4. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA AFFAISSEMENT / EFFONDREMENT

3.4.1. Élaboration de la cartographie de l'aléa

La cartographie de l'aléa résulte du croisement entre la prédisposition et l'intensité tel que proposé dans le Tableau 9.

ALEA		Prédisposition			
		Nulle	Très faible	Faible	Moyenne
Intensité	Limitée	Très faible	Très faible	Faible	Moyen
	Modérée	Très faible	Faible	Moyen	Moyen à fort
	Elevée	Faible	Moyen à fort	Fort	Fort à très fort

Tableau 9 : Matrice de définition de l'aléa affaissement selon la prédisposition et intensité modifiée d'après le guide à paraître BRGM / CÉREMA (Clément, Husson, Noury, & Vedie, 2021)

La carte d'aléa a été élaborée à l'échelle du 1/10 000. Il conviendra de l'exploiter en tenant compte d'une certaine marge d'imprécision. Les zones d'aléa moyen ont cependant fait l'objet d'une cartographie plus précise lorsqu'elles débordent sur les zones urbanisées. Aussi, les contours de l'aléa moyen devraient pouvoir être lus avec une précision cadastrale au 1/5 000.

La cohérence de la cartographie de l'aléa affaissement / effondrement est validée par le calcul de densité des phénomènes issus de l'inventaire pour chaque niveau d'aléa (Tableau 10). L'inventaire n'étant considéré que comme quasi exhaustif, les seuils des classes d'aléa pourront être affinés dans le cas de figure où une phénoménologie importante serait recensée dans un avenir proche.

Niveaux d'aléa	Surface (Km ²)	Nombre de phénomène	Densité
Très faible	3.05	0	0
Faible	8.26	18	2.79
Moyen	1.15	40	30.31
Somme	12.47	58	

Tableau 10 : Validation de la carte d'aléa via la densité de phénomènes recensés.

3.4.2. Zones d'incertitudes

L'analyse de la cartographie met en évidence 3 zones d'incertitude qui présentent une concentration d'évènement importante tout en étant considérées en aléa « faible » (Illustration 18). Ces zones sont situées hors des zones urbaines (zones agricoles et forestières).

Ces zones d'incertitudes présentent une concentration d'indices laissant à penser que des facteurs de prédisposition n'ont pas pu être identifiés lors des campagnes de terrain (discontinuités géologiques – failles non identifiées, faible épaisseur de formations superficielles et calcaire à faible profondeur...).

De fait, des recommandations complémentaires peuvent être proposées sur ces secteurs :

- études complémentaires (géophysique) pour déterminer les éventuelles discontinuités géologiques ; une mise à jour de la cartographie de l'aléa pourrait être réalisée *a posteriori* ;
- dans le règlement d'un éventuel PPR, ces zones d'incertitudes pourraient être considérées comme des zones d'aléa moyen.

À la demande de la DDT 67, les zones d'incertitudes seront assimilées à des zones d'aléa moyen lors de la cartographie finale de l'aléa. La carte de synthèse des aléas mouvements de terrain est présentée en Annexe 3.

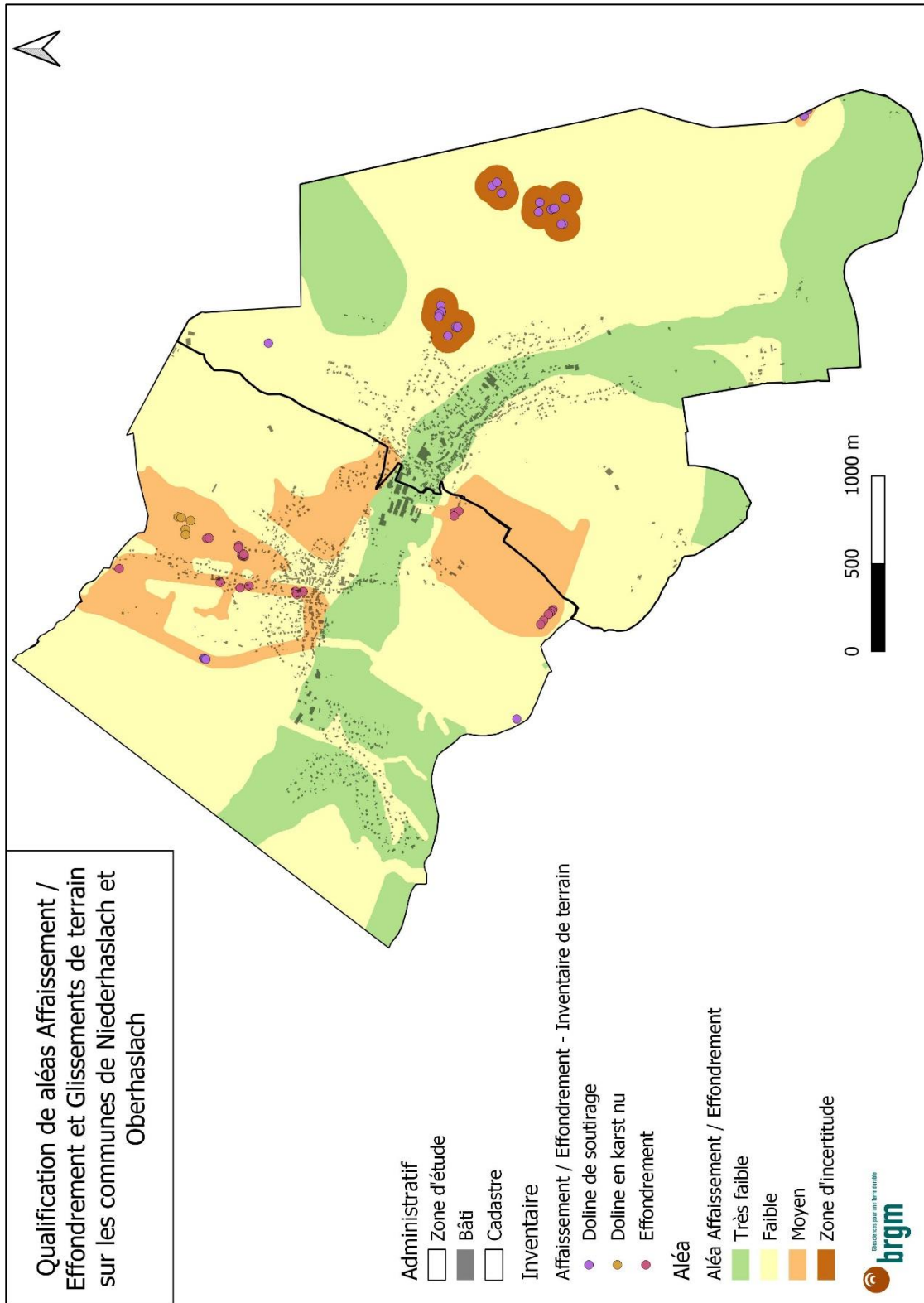


Illustration 18 : Cartographie de l'aléa affaissement / effondrement sur les communes d'Oberhaslach et de Niederhaslach avec les zones d'incertitudes.

4. Caractérisation de l'aléa glissement de terrain

La méthode valorisée dans le cadre du présent programme est issue des résultats à paraître d'un groupe de travail sur l'évaluation de « l'aléa glissement de terrain » dans le cadre d'un PPRn.

4.1. TYPOLOGIE DES PHÉNOMÈNES OBSERVÉS

Les recherches en bibliographie ont permis d'identifier les glissements de terrains suivants :

- en BD MVT⁶ : 1 glissement de terrain est recensé sur la commune de Niederhaslach, rue des forgerons, en 1990. Ce phénomène a été confirmé par les services de la mairie de Niederhaslach (id 66700285) ;
- au sein de la presse régionale, un glissement de terrain est mentionné sur la commune de Niederhaslach, sur le même secteur géographique. Ce phénomène étant lié à un épisode pluvieux intense et à des coulées d'eaux boueuses, il a été rattaché à un phénomène de coulées d'eaux boueuses.

De plus, la commune d'Oberhaslach a fourni les éléments suivants (saisie en BD MVT réalisée dans le cadre de l'étude) :

- 1 glissement de terrain a eu lieu en 1954, rue du Nideck (ID BD MVT : 66700146) ;
- 1 glissement de terrain a eu lieu en 1983 et a affecté la route départementale RD 218 à l'ouest de la commune (saisi en BD MVT sous l'indice 66700147).

Durant la phase d'inventaire des mouvements de terrain sur le terrain, 35 phénomènes ont été observés et décrits.

L'inventaire a été réalisé via l'analyse du MNT et la réalisation de campagne de terrain qui ont permis de parcourir la quasi-totalité de la zone d'étude. De fait, si l'inventaire des glissements de terrain peut ne pas être exhaustif, la majorité des mouvements de terrain existant à la date des visites de terrain ont été recensés. Dans le cadre de cet inventaire, ont été recensés :

- 9 glissements plans (Illustration 19) ;
- 26 phénomènes de reptation et moutonnement (Illustration 20).

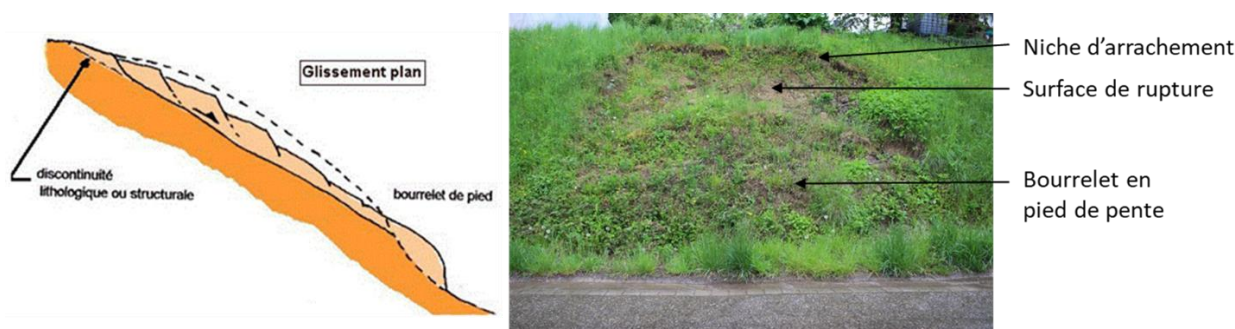


Illustration 19 : Schéma de principe (Cartannaz & al, 2009) et photographie d'un glissement plan sur la commune de Niederhaslach.

⁶ BD MVT : Base de Données nationales sur les Mouvements de Terrains gérée par le BRGM

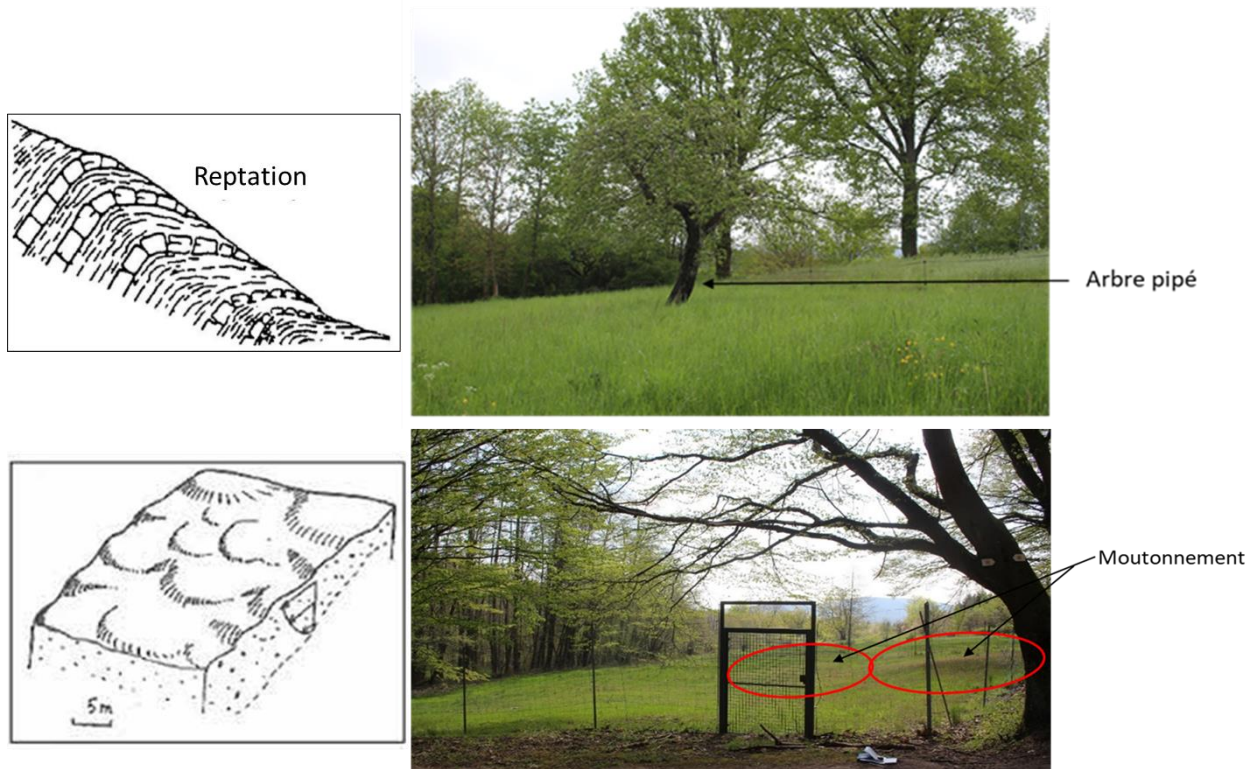


Illustration 20 : Schémas de principes (Phillipponnat & al., 2008) et photographie des phénomènes de reptation (haut) et moutonnement (bas) sur la commune d'Oberhaslach.

L'ensemble des phénomènes recensés correspondent à des phénomènes affectant les couches superficielles de sols (tranche 0 – 0,5 m). La cartographie de l'aléa visera donc à qualifier l'aléa « glissements superficiels ».

L'ensemble des phénomènes recensés en bibliographie et sur le terrain sont présentés en Annexe 2 et sur la carte présentée en Illustration 21.

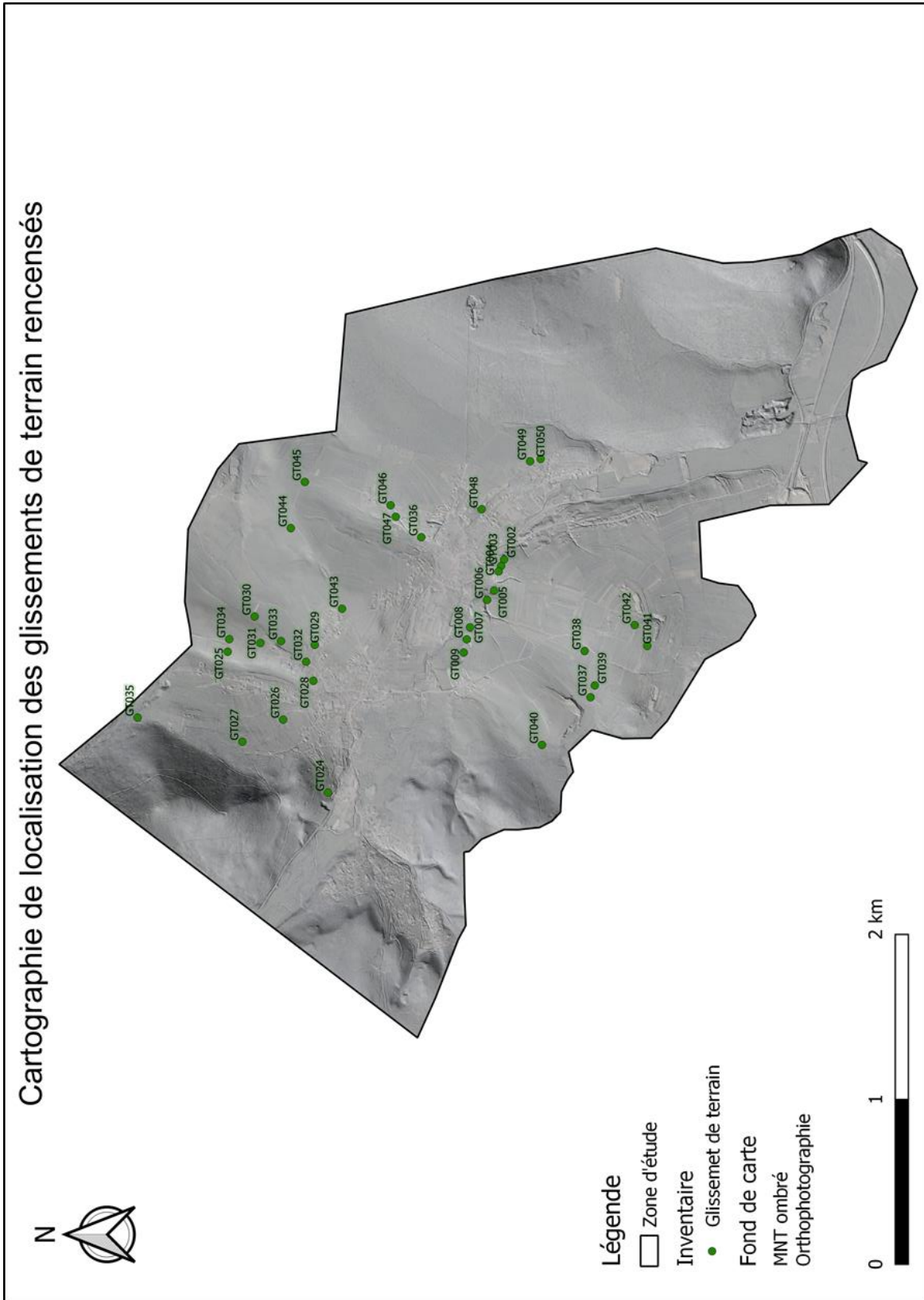


Illustration 21 : Carte de localisation de l'ensemble des glissements de terrain recensés.

4.2. CARTOGRAPHIE DE LA SUSCEPTIBILITÉ

4.2.1. Principes généraux

La susceptibilité est définie comme étant la prédisposition de la zone à produire un évènement sur une période de référence donnée (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement - Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement, 1999).

Les principaux éléments déclencheurs des glissements de terrain ont été recensés lors des campagnes de terrain ayant permis la réalisation de l'inventaire. Ces paramètres sont ensuite intégrés à l'analyse multicritères afin d'obtenir une carte de susceptibilité à l'occurrence de glissement de terrain

Dans le cadre de la réalisation de cette étude, les facteurs suivants ont été identifiés comme jouant un rôle dans l'occurrence de glissements de terrains :

- pente ;
- lithologie ;
- exposition des versants.

La pertinence d'autres facteurs a également été étudiée sans que ces derniers ne soient intégrés à l'analyse multicritère.

4.2.2. Identification et pondération des critères pris en compte sur la zone d'étude

Lithologie

L'ensemble des formations décrites sur la carte géologique au 1/50 000 ont été regroupées en 7 classes lithologiques dont les contours ont été précisés grâce aux observations réalisées sur le terrain, aux informations issues de la BSS et de l'analyse du MNT Lidar de résolution 1 m. Une analyse statistique de l'inventaire des mouvements de terrain recensés au sein de chaque classe lithologique a été réalisée afin d'identifier celles qui présentent les plus grandes densités de glissements de terrain, ce qui correspond à la plus grande susceptibilité (Tableau 11).

Classes	Superficie (km ²)	Nombre de glissements	Densité (nombre de glissement / km ²)
Alluvions	2,03	0	0,00
Dépôt de versant	2,39	19	7,95
Lœss	0,41	0	0,00
Marnes	0,92	7	7,61
Calcaires	0,95	4	4,21
Grès	5,1	5	0,98
Formation volcanique	0,68	0	0,00

Tableau 11 : Densité de glissements de terrain par classe lithologique

D'après l'analyse des densités, les dépôts de versants et les formations marneuses présentent la plus forte susceptibilité aux glissements de terrain ; cet état de fait est cohérent avec les caractéristiques géotechniques de ces formations. *A contrario* les alluvions, lœss et les formations volcaniques ne présentent pas de phénoménologie. Les calcaires et grès peuvent être impactés par des glissements de terrains dans la frange d'altération de ces formations.

Pentes

La pente est un facteur nécessaire à l'apparition de mouvements de terrain gravitaire. La valeur de la pente a une influence directe sur l'équilibre des efforts mécaniques exercés entre la pente en elle-même et les matériaux constitutifs. Des classes de pente sont déterminées afin de hiérarchiser les classes de pente les plus susceptibles aux glissements de terrain.

Le Tableau 12 présente la répartition des glissements de terrain en fonction des classes de pente.

classes des pentes (°)	classes des pentes (%)	Superficie (km ²)	Nombre de glissements	Densité (nombre de glissements / km ²)
< 2,86	< 5	3,53	1	0,28
2,86 - 8,53	5 - 10	3,46	14	4,04
5,71 - 11,31	10 - 20	3,13	8	2,55
11,31 - 16,7	20 - 30	0,96	2	2,09
16,7 - 26,57	30 - 50	0,85	6	7,05
> 26,57	> 50	0,50	4	8,01

Tableau 12 : Répartition des glissements observés selon la classe de pente.

De manière générale, les classes de pente inférieures à 5 % (2.86°) sont réputées non affectées par les glissements de terrain. Or, dans la présente étude, 1 évènement est recensé dans cette classe de pente. Ceci s'explique par la résolution 5 m de la carte des pentes. En effet, la valeur attribuée à chaque pixel ne représente pas la valeur maximale de pente observée sur le pixel mais une valeur « moyennée ». Le glissement de terrain concerné est probablement situé sur une zone de pente locale supérieure à 5° au sein d'une zone de pente moyenne inférieure à 5°.

L'analyse des densités de mouvements en fonction des classes de pente permet d'affirmer que, dans l'état de l'inventaire actuel, plus la pente est importante, plus la susceptibilité aux glissements de terrain est importante.

Exposition des versants

L'exposition est le facteur traduisant la sensibilité des versants aux phénomènes de précipitations, fonte des neiges, et de gel-dégel. Le facteur hydrique (précipitations, ruissellement...) étant un facteur déclenchant des glissements de terrain par altération de la cohésion des terrains, l'exposition peut avoir un impact indirect sur l'occurrence de glissements de terrain.

La cartographie de l'exposition des versants est obtenue sur SIG à partir du MNT à 5 m en donnée d'entrée et à l'aide des outils de géotraitement disponibles sur le logiciel ArcGis. Les 8 expositions obtenues en sortie sont ensuite regroupées en 4 classes : nord, est, sud, ouest (Tableau 13 et Annexe 2).

Classes - Exposition		Valeur	Superficie (km ²)	Nombre de glissements	Densité (nombre de glissements / km ²)
Nord	Nord	337,5 - 22,5	0,86	5	5,82
Est	Nord-Est	22,5 - 67,5	5,13	10	1,95
	Est	67,5 - 112,5			
	Sud-Est	112,5 - 157,5			
Sud	Sud	157,5 - 202,5	2,15	7	3,26
Ouest	Sud-Ouest	202,5 - 247,5	4,29	13	3,03
	Ouest	247,5 - 292,5			
	Nord-Ouest	292,5 - 337,5			

Tableau 13 : Densité de glissements de terrain selon l'exposition des versants.

Suite aux observations de terrain réalisées lors des campagnes d'acquisition et au calcul de densité, il a été identifié que la classe d'exposition « est » présentait une susceptibilité aux glissements de terrain plus faible que les classes d'exposition nord, sud et ouest. Un second ensemble composé des expositions nord, sud et ouest sera considéré comme homogène lors de l'analyse multicritère.

Cette observation s'explique par le fait que les versant exposés « est » sont davantage préservés des fortes précipitations et des cycles de gel-dégel durant la période hivernale.

Paramètres étudiés mais non pris en compte pour la version finale

- **Distance aux cours d'eau**

La distance aux cours d'eau fait partie des facteurs déclenchants observés sur d'autres secteurs d'étude (Grabensteatter, Lazizi, Thiery, & *et al.*, 2021). En période de crue, le cours d'eau est susceptible d'affouiller une zone en pied de glissement et de provoquer sa mise en mouvement. Ce facteur est couramment utilisé afin de cartographier la susceptibilité aux glissements de terrain.

Cependant les observations relevées sur le terrain et la disposition géographique des glissements de terrain répertoriés dans l'inventaire n'ont pas permis de mettre en relation la distance au cours d'eau avec l'occurrence des glissements de terrain.

- **Morphologie des terrains**

La morphologie des terrains est également un facteur utilisable pour la caractérisation de la susceptibilité aux glissements de terrain. Ce facteur prend en compte la structure des terrains définie par l'empilement des couches géologiques (stratigraphie) et les discontinuités (fracturation, failles). Iwahashi et Pike (2007) définissent la morphologie du terrain en une combinaison de 3 critères qui sont la pente, la convexité, et la texture du terrain.

Une cartographie de la morphologie de la zone d'étude a été réalisée avec le logiciel SAGA en utilisant le MNT à 5 m en donnée d'entrée et l'outil de géotraitement « *Terrain Surface Classification (Iwahashi and Pike)* ».

Après classification de ce facteur en 8 classes et après l'étude statistique sur la répartition des glissements de terrain au sein de classes (Tableau 14), il a été déterminé que seul le critère de la pente a une influence significative sur la susceptibilité du terrain à la formation de glissement.

La pente étant déjà un facteur à part entière, il a été choisi de ne pas utiliser le facteur « morphologie des terrains ».

Classes	Pente	Texture	Convexité	Superficie (km ²)	Nombre de glissements	Densité (nombre de glissements / km ²)
1	Forte	Fine	Elevée	0,30	2	6,67
2	Forte	Rugeuse	Elevée	1,86	5	2,68
3	Forte	Fine	Faible	0,28	2	7,23
4	Forte	Rugeuse	Faible	1,70	6	3,54
5	Douce	Fine	Elevée	0,23	1	4,35
6	Douce	Rugeuse	Elevée	3,88	10	2,58
7	Douce	Fine	Faible	0,22	0	0,00
8	Douce	Rugeuse	Faible	4,04	9	2,23

Tableau 14 : Répartition des glissements observés selon la classe de morphologie.

Pondération des critères de susceptibilité

Suite aux observations de terrain, les facteurs de prédisposition aux glissements de terrain ont été hiérarchisés à **dire d'expert**, par ordre d'importance :

- 1- La lithologie ;
- 2- La pente ;
- 3- L'exposition des versants.

Si de manière générale, il peut exister un lien entre la lithologie et la pente, la géomorphologie de la zone d'étude nécessite de prendre en considération les 2 paramètres de manière indépendante. En effet, les classes de pente particulièrement susceptibles aux glissements de terrain (supérieure à 30 %) ne sont pas concernées par une lithologie unique mais par plusieurs lithologies présentant des susceptibilités différentes aux glissements de terrain (grès, marnes, calcaires et formations volcaniques).

De la même manière, les caractéristiques géomorphologiques de ces différentes lithologies ne permettent pas de mettre en relation directe une classe de pente et une lithologie.

Les observations de terrain et les calculs de densité effectués pour chacune des classes de ces 3 facteurs permettent également de hiérarchiser leur niveau de susceptibilité.

Les classes dont la densité de mouvement de terrain recensée est la plus élevée sont considérées, dans l'état des connaissances actuelles, les plus favorables à l'occurrence d'un glissement de terrain et par conséquent ont une importance plus élevée dans la hiérarchie des critères.

La caractérisation de la susceptibilité est réalisée à l'aide d'une analyse multicritère selon la théorie de l'évidence (AMC), à l'aide du logiciel ILWISS (Thiery, Sterlacchini, Malet, Puissant, & Maquaire, 2004) valorisant ces critères en s'appuyant sur une analyse statistique basée sur l'inventaire des phénomènes pour justifier de leur pertinence. En effet, cette méthode permet d'intégrer de nombreux facteurs en mettant en relation des critères spatiaux, combinés et pondérés par rapport à l'objectif global de cartographie de la prédisposition au phénomène de suffosion.

Il existe trois méthodes pour utiliser la théorie de l'évidence (Saty, 1980) ; les deux méthodes développées ci-dessous ont été combinées dans le cadre de cette étude :

- la méthode « rank-ordering » permettant de classer qualitativement les différents critères les uns par rapport aux autres (ex : le critère « x » et beaucoup plus important que le critère « y »). Cette qualification qualitative est traduite par le logiciel en pondération quantitative normalisée. C'est-à-dire que plus le poids attribué est important, plus le facteur favorise l'apparition d'un phénomène (dans ce cas de suffosion/soutirage). Cette classification est déterminée en fonction des observations de terrain issue de l'inventaire des phénomènes et d'un traitement statistique ;
- la méthode « direct » permet également de pondérer en appliquant directement une valeur numérique normalisée à chaque critère. Cette méthode permet également de normaliser automatiquement l'ensemble des poids appliqués et offre plus de souplesse pour pondérer les critères à dire d'expert.

Dans le cas de cette étude, la méthode « rank-ordering » est tout d'abord utilisée car la pondération qualitative des critères permet à l'expert de traduire au mieux la hiérarchisation des critères appréhendés d'après l'inventaire et l'analyse statistique qui en résulte (densité de mouvement de terrain dans chaque classe de critères).

Cette première étape permet d'obtenir une première cartographie de la prédisposition qui est ensuite affinée à dire d'expert via la méthode « direct ».

Dans un second temps, la méthode « direct » est donc utilisée pour aboutir à une cartographie de la prédisposition plus fine et en cohérence avec les observations de terrain via la modification, à dire d'expert, des pondérations obtenues par la méthode « rank-ordering ».

Le résultat de l'analyse multicritère se traduit par l'attribution d'une valeur de prédisposition à chaque pixel de la zone d'étude. Des seuils de valeur permettant de définir les différentes classes de susceptibilité sont définis à dire d'expert pour obtenir une cartographie de la prédisposition.

Au total, 10 pondérations différentes ont été testées et ont permis d'obtenir une cartographie de la susceptibilité cohérente avec les observations de terrain. Le Tableau 15 présente celle retenue.

L'ensemble des hiérarchisations et des pondérations associées à chaque facteur et classes de facteur sont présentées dans le Tableau 15.

FACTEURS & CLASSES	HIERARCHISATION*	PONDERATION RANK ORDERING	PONDERATION EXPERT (DIRECTE)
Lithologie	3	0.61	0.6
marnes	4	0.3	0.29
dépôt de versant		0.3	0.29
calcaires	3	0.16	0.17
grès	2	0.11	0.11
alluvions	1	0.05	0.05
formation volcanique		0.05	0.05
loess		0.05	0.05
Pente	2	0.28	0.3
<5	1	0.02	0.02
5 - 10	2	0.07	0,11
10-15		0.07	0,11
15-20		0.07	0,11
20-30		0.07	0,11
30-40	3	0.24	0.18
40-50		0.24	0.18
> 50		0.24	0.18
Exposition	1	0.11	0.1
Nord	2	0.18	0.18
Nord-Ouest		0.18	0.18
Ouest		0.18	0.18
Sud		0.18	0.18
Sud-Ouest		0.18	0.18
Est	1	0.03	0.03
Nord-Est		0.03	0.03
Sud-Est		0.03	0.03

Tableau 15 : Hiérarchisation des facteurs et des classes, et valeurs de pondération associées afin de caractériser la susceptibilité aux glissements de terrain.

4.2.3. Cartographie de la susceptibilité

Le résultat de l'analyse multicritère caractérise chaque pixel de la zone d'étude par une valeur de susceptibilité. Des seuils de valeur permettant de définir les différentes classes de susceptibilité sont définies à dire d'expert et validées à l'aide de calculs de densité de phénomènes par classe de susceptibilité (Tableau 16).

Niveaux de susceptibilité	seuil de valeurs	Superficie (km ²)	Nombre de glissements	Densité (Nombre de glissements / km ²)
Très Faible	3 - 10	3,64	0	0,00
Faible	10 - 22	7,63	15	1,97
Moyen	22- 23	1,07	12	11,19
Fort	23 - 25	0,09	8	88,37

Tableau 16 : Définition des intervalles de susceptibilité aux glissements de terrain à dire d'expert et sur la base des valeurs établies par analyse multicritères.

La carte de susceptibilité aux glissements de terrain à l'échelle 1/10 000 sur la zone d'étude est présentée en Illustration 22.

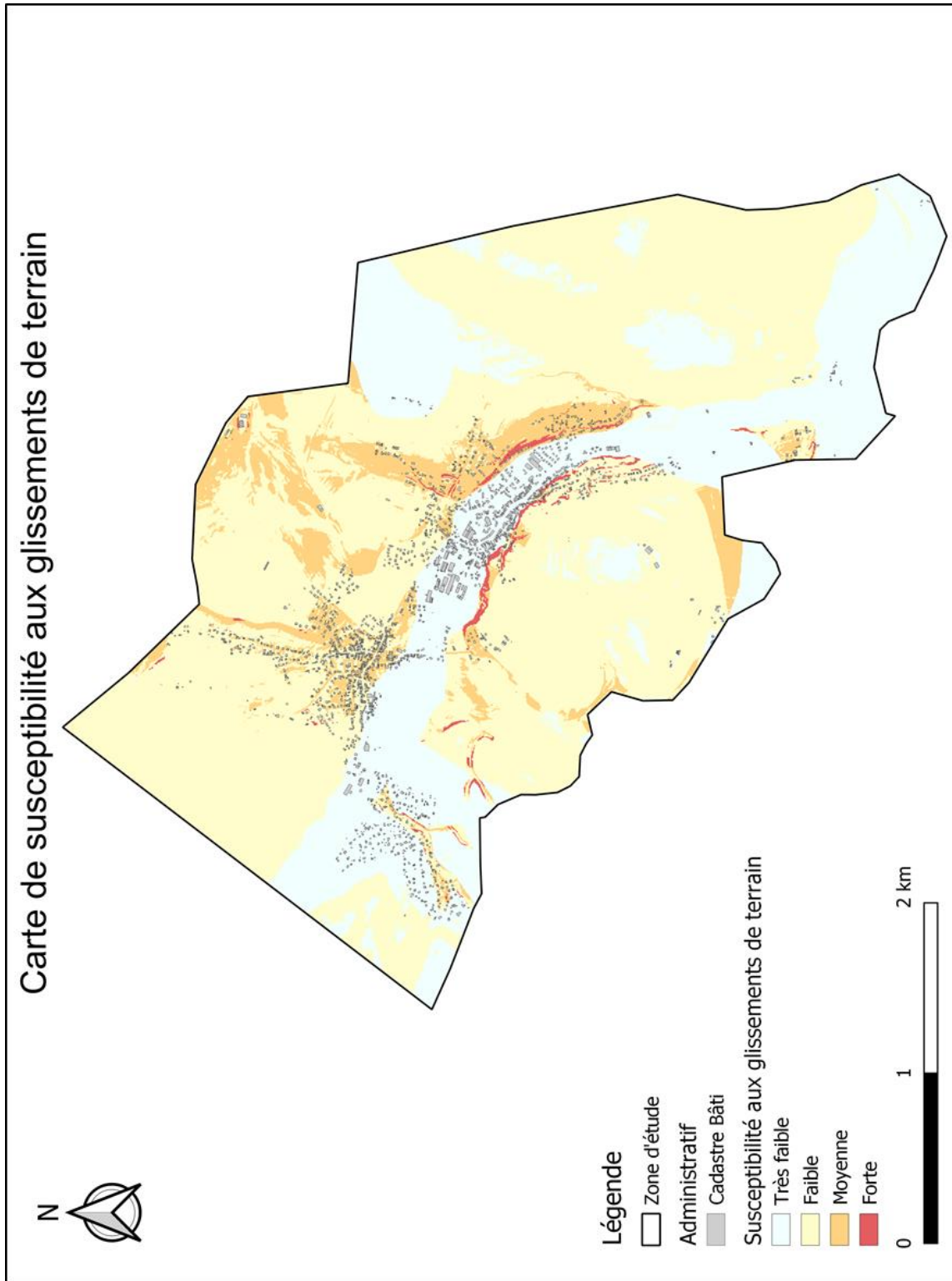


Illustration 22 : Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain.

4.3. DÉFINITION DE L'INTENSITÉ

L'intensité est l'expression de la violence ou de l'importance d'un phénomène (glissement de terrain dans le cas présent) évalué ou mesuré par des paramètres physiques (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement - Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement, 1999). L'intensité est basée sur l'étude d'un événement de référence. Il s'agit du glissement de terrain le plus important attendu sur la période de référence de 100 ans.

Elle est alors définie en fonction des coûts des parades à mettre en place pour diminuer la susceptibilité de la zone ou remédier à l'occurrence d'un événement :

- si les parades peuvent être financées par un particulier seul, l'intensité est dite faible ;
- si les parades peuvent être financées par un ensemble de propriétaires, l'intensité est dite modérée ;
- et si les parades ont un coût supérieur, l'intensité est dite forte.

L'intensité est déterminée à partir de l'inventaire des glissements de terrain réalisé sur la zone d'étude.

L'ensemble des glissements de terrain de la zone d'étude affecte la tranche superficielle du sol. Le coût des parades à mettre en place est considéré comme étant supportable financièrement par un propriétaire individuel (Illustration 23). D'après l'inventaire des phénomènes observés sur le terrain (Annexe 1), les glissements de terrains sont caractérisés par des vitesses de déplacement faibles et mobilisent des aires géographiques réduites.



Illustration 23 : Photographie d'un glissement sur la commune de Niederhaslach utilisé pour déterminer l'intensité maximale attendue sur la zone d'étude

L'intensité est donc définie comme **faible** sur l'ensemble de la zone d'étude.

4.4. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA GLISSEMENT DE TERRAIN

Pour rappel, un aléa est un phénomène naturel susceptible d'engendrer des dommages. Il est fonction de son niveau d'intensité et de la probabilité d'occurrence spatiale et temporelle (Thiery & Terrier, 2018).

Dans cette étude, la cartographie de l'aléa glissement de terrain correspond au croisement cartographique de la susceptibilité et de l'intensité.

La cartographie de l'aléa est déterminée à partir du croisement entre la susceptibilité et un niveau d'intensité. La matrice du croisement de ces deux paramètres permet de définir un degré d'aléa (Tableau 17).

Intensité	Faible	Moyenne	Forte		Aléa	Degré d'aléa
Susceptibilité						
Très faible	1	1	2		Très faible	1
Faible	2	2	4		Faible	2
Moyenne	2	3	4		Moyen	3
Forte	3	4	4		Fort	4

Tableau 17 : Matrice de caractérisation de l'aléa.

La zone d'étude est ainsi concernée par les 3 degrés d'aléa suivants :

1. Moyen : les phénomènes potentiels sont d'ampleur réduite et les parades financières à mettre en œuvre sont supportables par un groupe restreint de propriétaires (immeubles collectifs, petits lotissements) ;
2. Faible : les phénomènes potentiels sont d'ampleur très réduite, ne dépassant généralement par une emprise parcellaire. Un propriétaire individuel est en mesure de supporter financièrement les parades à mettre en œuvre ;
3. Très Faible : les phénomènes potentiels sont d'ampleur très réduite et très peu probables. Un particulier peut supporter le coût financier des parades à mettre en place.

Une zone tampon de 5 m a été digitalisée autour des zones d'aléa moyen afin de prendre en compte les erreurs d'imprécision de cartographie ainsi que les érosions régressives et les enveloppes de glissements de terrain. Après application de la zone tampon à 5 m, une correction manuelle est effectuée afin de relier certaines zones d'aléa moyen suffisamment proche (< 5 m) (Illustration 24).

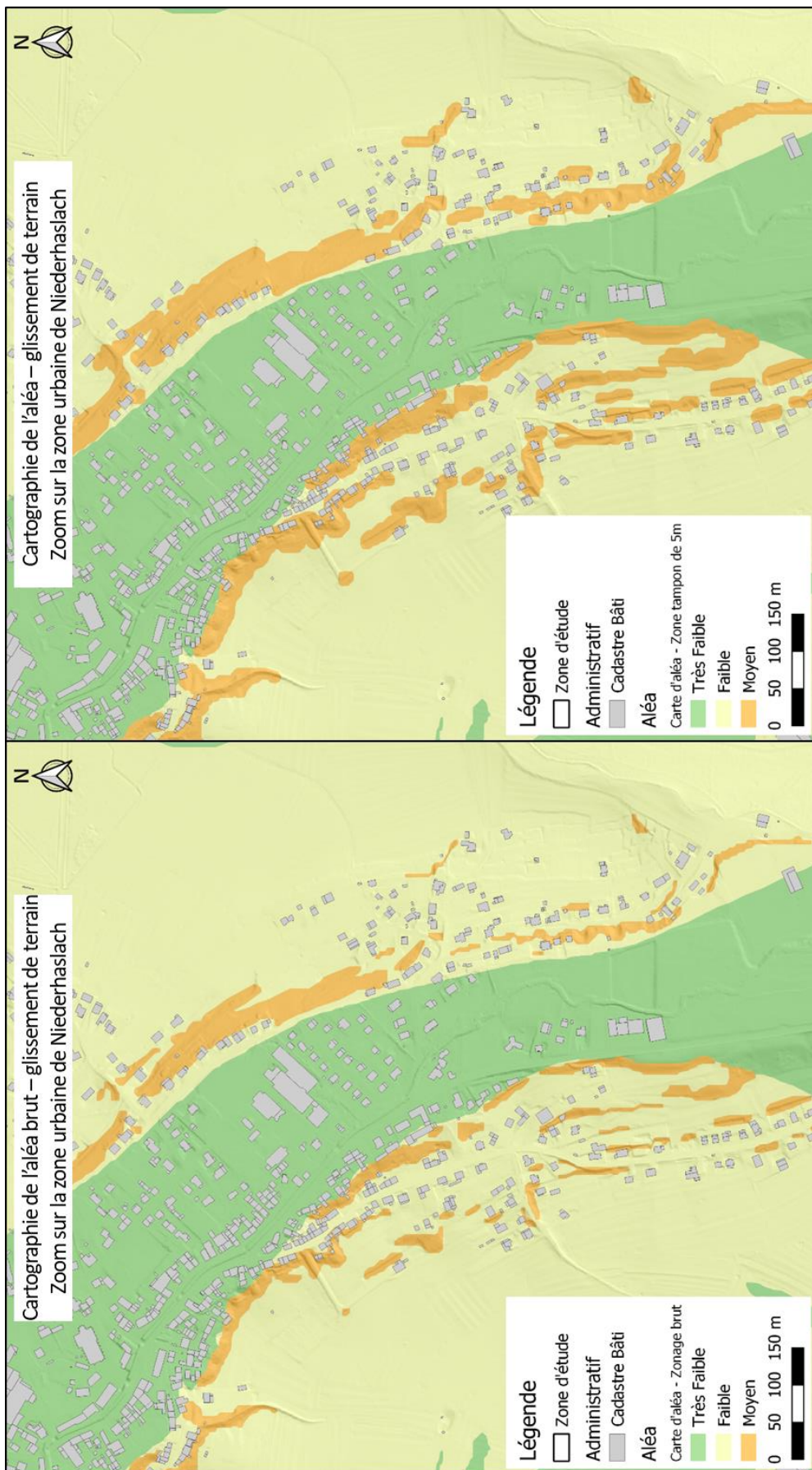


Illustration 24 : Comparaison entre la cartographie de l'aléa brut (à gauche) et la cartographie de l'aléa avec une zone tampon de 5 m autour du zonage « Moyen » (à droite).

La carte d'aléa aux glissements de terrain est présentée en Illustration 25.

Afin de valider le résultat obtenu la carte d'aléa a été validée sur le terrain à dire d'expert et par analyse statistique basée sur l'inventaire des glissements de terrain (Tableau 18).

Niveaux d'aléa	Superficie (km ²)	Nombre de glissements	Densité (Nombre de glissements / km ²)
Très Faible	3,55	0	0,00
Faible	8,7	25	2,87
Moyen	0,21	10	47,62

Tableau 18 : Validation de la carte d'aléa selon l'inventaire des mouvements de terrain.

La densité de glissements de terrain la plus élevée affecte les zonages d'aléa moyen représentant une faible superficie (0,21 km²).

En terme d'aléa, 28 % de la zone d'étude est concernée par un aléa très faible, 70 % par un aléa faible et 2 % par un aléa moyen.

La carte d'aléa a été élaborée à l'échelle du 1/10 000. Il conviendra de l'exploiter en tenant compte d'une certaine marge d'imprécision. Les zones d'aléa moyen ont cependant fait l'objet d'une cartographie plus précise lorsqu'elles débordent sur les zones urbanisées. Aussi, les contours de l'aléa moyen devraient pouvoir être lus avec une précision cadastrale au 1/5 000.

La cartographie de l'aléa étant basée sur les évènements recensés lors des recherches bibliographiques et des investigations de terrain, elle est valable dans l'état des connaissances actuelles. Dans le cas de figure où une phénoménologie importante serait observée ou recensée dans un futur proche, il conviendra de vérifier la pertinence des seuils établis via la mise à jour des densités de mouvements de terrain.

Une mise à jour de la cartographie de l'aléa pourra alors s'avérer pertinente.

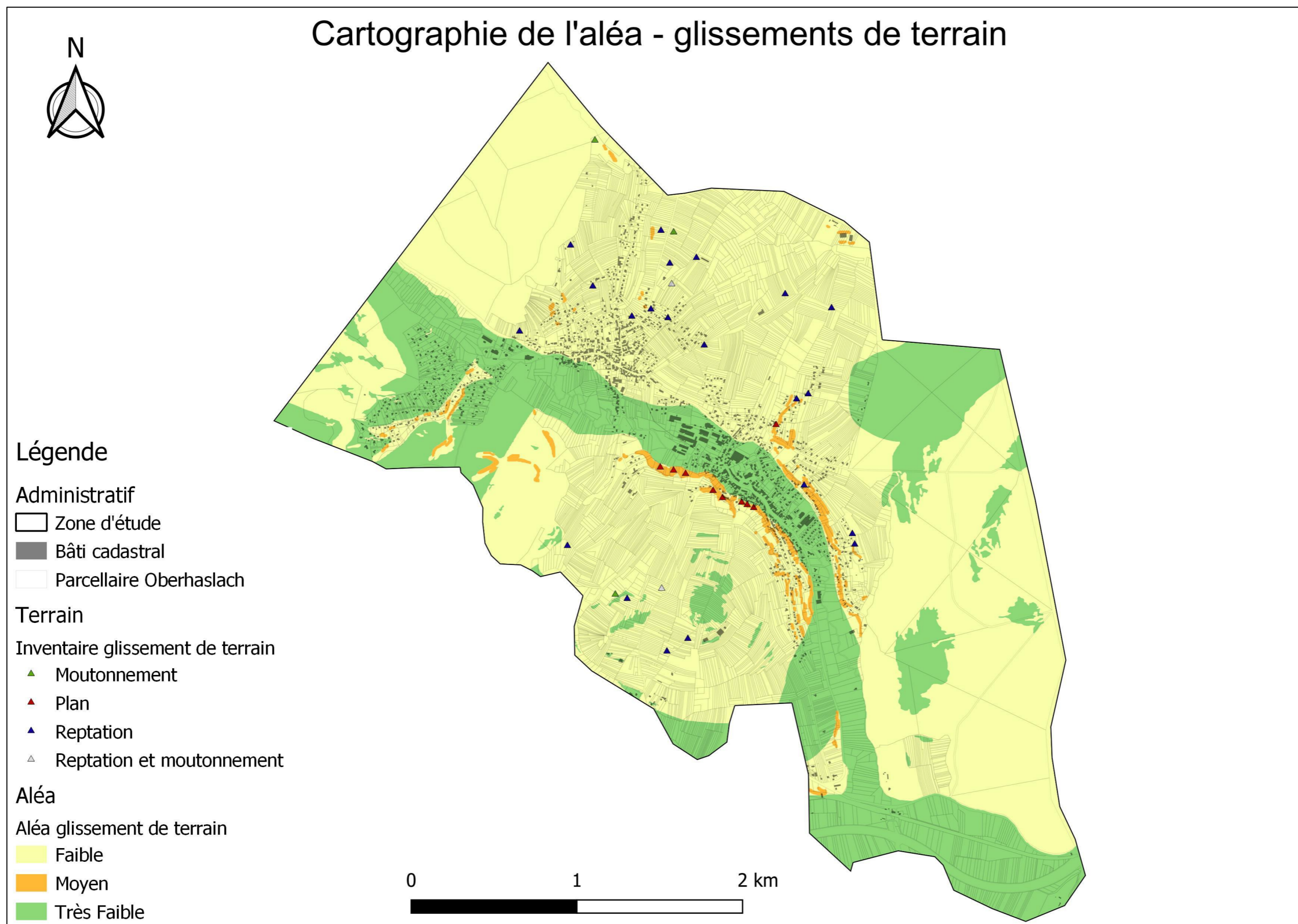


Illustration 25 : Cartographie de l'aléa glissement de terrain à l'échelle de la zone d'étude.

5. Propositions de prescriptions constructives

La transcription réglementaire de cartes d'aléa, dans le cadre de PPR notamment, conditionne l'aménagement. L'ensemble des mesures proposées ci-après sont issues de recommandations / prescriptions formulées et potentiellement appliquées en région Grand Est dans le cadre de la valorisation de cartes d'aléa. Les mesures ont vocation à être décrites dans un règlement PPR. En théorie, les prescriptions s'appliquent au zonage réglementaire, résultant d'une transcription de la carte d'aléa, en prenant en considération les enjeux.

Important : La proposition d'exemples de recommandations et de prescriptions est réalisée ici à titre illustratif, en associant ces mesures aux niveaux d'aléa évalués.

5.1. DÉFINITION DE NIVEAUX DE CONTRAINTES

La qualification des aléas liés aux mouvements de terrain s'est principalement basée sur l'intensité caractérisant les différents types de glissement. Ainsi, sur les communes d'Oberhaslach et Niederhaslach, le zonage des risques liés aux mouvements de terrain a été établi de sorte que les niveaux de contrainte associés préconisés puissent se répartir de la manière suivante (Illustration 26) :

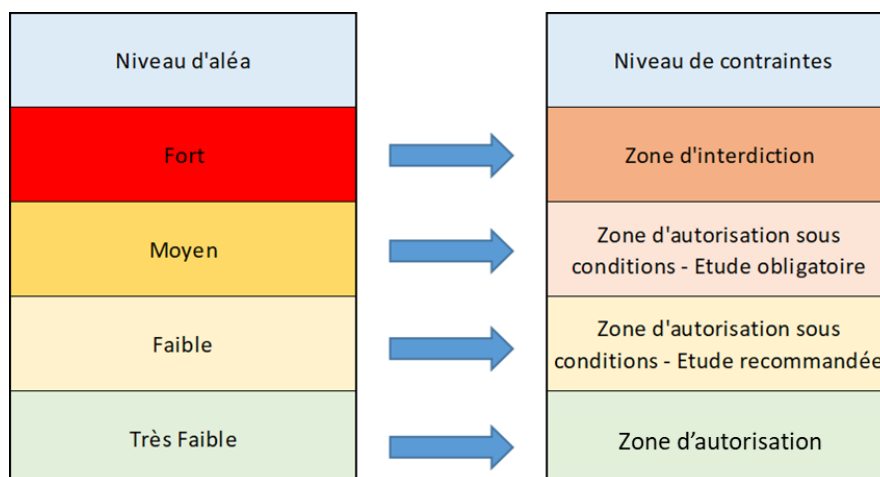


Illustration 26 : Relation entre le niveau d'aléa et les niveaux de contraintes constructives préconisées.

La zone d'étude n'est pas concernée par le niveau d'aléa fort.

Généralement il n'est pas recommandé d'ouvrir des secteurs sous prédisposition moyenne à forte à l'urbanisation et à l'aménagement (Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie, 2012) ; les zones d'aléa d'un niveau inférieur sont à privilégier. Cependant compte-tenu des incertitudes liées à la méthodologie mise en œuvre dans cette étude, il est seulement conseillé de privilégier les secteurs en zonage faible et très faible. L'aménagement des zones d'aléa moyen reste possible sous réserve de respecter les recommandations rédigées dans le cadre d'un éventuel document d'urbanisme pouvant être basé sur les recommandations énoncées dans ce document.

5.2. MESURES GÉNÉRALES APPLICABLES À TOUT LE TERRITOIRE

Les recommandations générales qui suivent concernent l'ensemble de l'emprise de l'étude, quel que soit le classement réglementaire des terrains finalement retenus dans un PPR :

- d'une manière générale, les aménagements ne doivent pas aggraver les risques naturels existants et leurs effets (y compris durant la phase « chantier ») ;
- les sols particulièrement soumis aux risques d'érosion doivent être plantés d'espèces végétales stabilisatrices et antiérosives afin de contrer les mouvements de type fluage et reptation.

Il conviendra d'interdire :

- la reconstruction de bâtiments détruits par un mouvement de terrain ;
- les déboisements et défrichements des pentes d'encaissement de ravines et versants supérieures ou égales à 50 % (26°), à l'exception de ceux réalisés en accord avec les services compétents (ONF, etc.) et concernant notamment les remises en terre agricole de friches.

Pour les projets autorisés, les **prescriptions** proposées ci-dessous concernent l'ensemble de l'emprise de l'étude :

- eaux usées, pluviales ou de drainage :
 - **les eaux récupérées par le drainage, les eaux pluviales éventuellement collectées ainsi que les eaux usées devraient être évacuées dans les réseaux existants,**
 - les ouvrages de collecte, de traitement et de rejet devraient être régulièrement entretenus et surveillés par leur propriétaire notamment après chaque événement pluvieux intense ;
- aménagements extérieurs :
 - lors de la création de talus, des mesures de protection des personnes et des biens devraient être recherchées par le maître d'ouvrage :
 - mesures actives telles que l'équipement des talus avec des grillages, boulonnages, etc.,
 - mesures passives telles que des murs et clôtures renforcés ;
 - des soutènements, dispositifs anti-érosion ou toute autre disposition assurant la stabilité devraient être envisagés pour tout talus de déblai de hauteur supérieure à 2 mètres. Les terrassements ou talutages devraient être réalisés avec des soutènements dimensionnés, adaptés au contexte géotechnique et géologique et devraient être drainés. Le dimensionnement de ces ouvrages devrait se faire avec l'appui d'une étude géotechnique de type G2 PRO selon la norme NF P 94-500 de novembre 2013 (Annexe 4 et 5).

De manière globale, lorsque le pétitionnaire d'une demande d'autorisation de construire ou d'aménager est contraint à la **réalisation d'une étude technique**, il devrait fournir une attestation, établie par l'architecte du projet ou par un expert, certifiant la réalisation de cette étude en application de l'article R 431-16 du code de l'urbanisme.

Pour mémoire, les règles de l'art et les règlements usuels en terme de construction s'appliquent quelle que soit la zone d'aléa considérée (Documents techniques Unifiés, Normes, etc.).

5.3. MESURES EN SECTEUR D'ALÉA MOYEN

La création de toute retenue d'eau devrait être interdite (bassin, piscine enterrée, étang...). En cas de défaut, un apport d'eau massif dans des secteurs d'aléa moyen se traduirait de manière très probable par l'occurrence d'un glissement de terrain ou pourrait avoir un impact sur des zones préexistantes de soutirage.

5.3.1. Cas de constructions nouvelles

Les zones à **aléa moyen sont constructibles** sous réserve qu'elles n'accroissent pas les risques et leurs effets, qu'elles ne provoquent pas de nouveaux aléas ni n'augmentent la vulnérabilité des biens et activités, et par conséquent, les niveaux de risques, les **aménagements, constructions et installations sont autorisés sous réserve d'une étude géotechnique attestant de la prise en compte d'aléa.**

Des précisions sont apportées pour certains type d'ouvrages :

- les travaux, ouvrages et aménagements destinés à réduire les conséquences des différents aléas recensés (murs de soutènements, etc.) afin de protéger des zones déjà construites ou aménagées, sous réserve de mener une étude technique préalable qui précisera les conditions dans lesquelles le projet sera rendu compatible avec l'aléa considéré et ce sans préjudice du droit des tiers ;
- les carrières dans le respect des réglementations en vigueur (notamment réglementation ICPE), sous réserve qu'une étude d'impact intègre la gestion des risques ;
- les systèmes d'épuration autonomes individuels sont autorisés sous réserve de la réalisation d'une étude de faisabilité et d'impact de l'infiltration vis-à-vis des aléas mouvements de terrain, et de la conformité du projet avec les résultats de l'étude de faisabilité ;
- l'infiltration des eaux (pluies, voiries, etc.) est interdite, sauf si aucune autre solution n'est possible et qu'une étude d'un cabinet spécialisé dimensionne une solution d'infiltration qui n'aggrave pas les risques et n'en provoque pas de nouveaux. Il est recommandé de développer et d'inciter au réemploi des eaux pluviales pour les eaux domestiques (arrosage, sanitaires ...). Il est recommandé de développer des campagnes de prévention des fuites d'eau sur le réseau en particulier pour l'AEP. Toute fuite constatée doit être traitée dans les meilleurs délais. Il est conseillé de limiter l'imperméabilisation des sols et d'encourager la préservation / mise en place d'espaces couverts par de la végétation (zones boisées, espaces verts agricoles ou non). L'objectif étant de limiter la concentration des ruissellements et leur infiltration en un seul point.
- dans le cas du zonage d'aléa moyen affaissement / effondrement, l'étude géotechnique visera notamment à :
 - adapter les descentes de charge des bâtiments ;
 - de tolérer de légers mouvements du sol de type affaissements/tassements ;
 - respecter une condition « anti-fontis ».

5.3.2. Cas de constructions existantes

Toute modification de bâtiments existants entraînant une modification de structure devrait s'accompagner d'une étude technique signée par un professionnel de la construction attestant de l'impact du projet sur le sol et le sous-sol (descentes de charge, perte de rigidité, etc...).

De plus, afin de prévenir les apports d'eau accidentels pouvant altérer la stabilité des terrains, il est préconisé de suivre le risque de fuite des constructions de retenue d'eau existante (drainage périphérique notamment), *a minima* par un contrôle régulier des installations.

Sous réserve qu'ils n'accroissent pas les risques et leurs effets, qu'ils ne provoquent pas de nouveau risque ni n'augmentent la vulnérabilité des biens et activités, devraient être autorisées les mesures suivantes :

- les travaux d'entretien, de réparation et de gestion courante des constructions et des installations implantées antérieurement à la publication du plan de prévention des risques, notamment les aménagements intérieurs, les traitements et ravalements de façade, les modifications d'aspect extérieur, les réfections et réparations de toitures.

5.4. MESURES EN SECTEUR D'ALÉA FAIBLE

Dans les zones d'aléa faible, les aménagements et constructions pourraient être autorisées, sauf exception énoncée ci-après, sous réserve de respecter les dispositions et mesures de prévention d'ordre général, notamment de gestion des eaux qui en s'infiltrant peuvent aggraver le niveau de risque.

La seule exception correspond à la réalisation de retenues d'eau, de piscines enterrées et de bassins qui reste envisageable sous réserve que le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre attestent **de la prise en compte du risque** par exemple par la mise en œuvre de drainage périphérique, avec rejet dans le réseau communal ou dans une zone d'aléa très faible en cas de fuite et/ou d'une surveillance adaptée.

En tout état de cause, afin de prévenir les apports d'eau accidentels pouvant altérer la stabilité des terrains, il est essentiel de s'assurer de l'absence de fuite des retenues d'eau existantes.

Les zones d'aléa faible ont vocation à permettre une densification de l'habitat ou l'ouverture de nouvelles opérations d'aménagement tout en intégrant les risques de mouvements de terrain dès la conception des projets.

5.4.1. Cas de constructions nouvelles

- dans le cas de constructions et extensions nouvelles (surface supérieure à 20 m²) au sol à usage d'habitation, de locaux d'activités et de commerces il est conseillé de réaliser une étude technique préalable afin de déterminer les conditions de réalisation des constructions projetées ;
- dans le cas de la création et l'extension des établissements sensibles, en particulier les établissements recevant du public (ERP), il est fortement conseillé de réaliser une étude technique préalable afin de déterminer les conditions de réalisation des constructions projetées.

5.4.2. Cas de constructions existantes

- dans le cas d'une modification d'un logement qui augmente (supérieur à 20 m²) l'importance de l'enjeu ainsi que sa vulnérabilité, la réalisation d'une d'étude technique réalisée par un professionnel pourrait être jugée nécessaire et fortement conseillée ;
- dans le cas d'extensions par surélévation des habitations, des hébergements, des commerces et activités la réalisation d'une d'étude technique réalisée par un professionnel pourrait être jugée nécessaire et fortement conseillée.

5.5. MESURES EN SECTEUR D'ALÉA TRÈS FAIBLE

Les zones d'aléa très faibles ne sont pas censées être soumises aux mouvements de terrain. Elles seraient néanmoins soumises aux mesures générales applicables à l'ensemble de la zone d'étude.

6. Conclusion et limites de l'étude

6.1. CONCLUSION

La qualification des aléas affaissement/effondrement et glissement de terrain ont été réalisées à l'aide d'analyses multicritères à partir du croisement cartographique de la carte de susceptibilité et de la carte de l'intensité.

L'inventaire des phénomènes répertoriés, issu de recherches bibliographiques, de l'analyse du levé LIDAR réalisé dans le cadre de cette étude et de campagnes de terrain ayant permis de reconnaître la quasi-totalité du territoire de la zone d'étude, permet de décrire les phénomènes attendus, de hiérarchiser les critères retenus lors de l'analyse multicritère et de valider les résultats à l'aide d'un examen de la densité de phénomènes recensés par zones d'aléa.

Les aléas ont été cartographiés via une analyse multicritère basée sur la théorie de l'évidence qui a permis de hiérarchiser et pondérer, de manière qualitative dans un premier temps, puis quantitative à dire d'expert l'ensemble des paramètres identifiés comme moteur, selon les données disponibles, dans l'occurrence des mouvements de terrain sur la zone d'étude

Lors de la qualification de l'aléa affaissement/effondrement, les familles de paramètres utilisées sont : la pente, la lithologie et les informations relatives aux failles tectoniques connues sur le secteur. L'absence de données liées directement au fonctionnement hydrodynamique de la zone d'étude (carte piézométrique...) disponible au moment de la réalisation de cette étude invite à poser des limites sur la cartographie de l'aléa (cf. §6.2).

Sur la base des observations réalisées en phase d'inventaire (phénomènes présentant une certitude forte), 2 ensembles homogènes ont été distingués lors de la qualification des intensités maximales attendues :

- **les zones de calcaires affleurant peuvent être impactées par des phénomènes d'intensité attendue « modérée »** (diamètre entre 3 à 10 m) ;
- **les zones hors calcaires** affleurant sont généralement impactées par des phénomènes dont **l'intensité peut être qualifiée de très limitée** (alluvions, loess, roches volcaniques) à **limitée** (grès, marnes, dépôts de versant).

En terme d'aléa affaissement / effondrement, 24 % de la zone d'étude est concernée par un aléa très faible, 65 % par un aléa faible et 11 % par un aléa moyen. En complément, 3 zones d'incertitudes (hors zones urbanisées), présentant une densité anormale d'indices d'affaissement ont été matérialisées sur la carte d'aléa au sein des zones d'aléa faible. La présence de ces concentrations d'indices ne pouvant pas être explicitées sur la base des données disponibles et recueillies. À la demande de la DDT 67, ces zones d'incertitudes sont considérées en aléa moyen dans la cartographie finale de l'aléa (des études complémentaires pourraient être réalisées ultérieurement pour mettre à jour la cartographie actuelle de l'aléa).

Les critères retenus pour la qualification de l'aléa glissement de terrain sont la pente, la lithologie et l'exposition. Les critères de distance aux cours d'eau et de morphologie des terrains ont été étudiés mais n'ont pas été intégrés car aucun lien n'a pu être mis en évidence entre l'occurrence des glissements de terrains et ces paramètres.

L'inventaire réalisé sur la base de données bibliographiques et d'observations de terrain a permis d'identifier 35 phénomènes (glissements plans, reptation et moutonnement) n'affectant qu'une tranche superficielle des sols ; l'intensité attendue est faible.

En termes d'aléa glissement de terrain, 28 % de la zone d'étude est concernée par un aléa très faible, 70 % par un aléa faible et 2 % par un aléa moyen.

Des exemples de prescriptions réglementaires relatives à chaque niveau d'aléa ont été proposés.

Parmi les grands principes énoncés, les éléments essentiels sont :

- l'absence de restrictions / recommandations particulières dans les zones d'aléa très faible si ce n'est la non aggravation des risques existants ;
- en zone d'aléa faible, il est recommandé d'intégrer la possibilité d'occurrence d'un mouvement de terrain dès la conception d'un nouveau projet afin de limiter les impacts éventuels ;
- en zone d'aléa moyen, le BRGM recommande l'instauration d'une obligation de réalisation d'une étude géotechnique par un bureau d'étude compétent afin de réaliser des analyses préalables et d'adapter le projet en tenant compte de la possible occurrence d'un mouvement de terrain.

6.2. LIMITES DE L'ÉTUDE

6.2.1. Disponibilité des données d'entrées

La qualification des aléas glissements de terrain et affaissement/effondrement dans le cadre de la présente étude s'est heurtée au manque de disponibilité de certaines données qui auraient permis une qualification plus précise. Parmi les données lacunaires, le contexte hydrogéologique et une cartographie précise de l'épaisseur des formations superficielles, notamment les niveaux d'altération, auraient permis une meilleure appréhension des spécificités locales et une cartographie plus fine des niveaux d'aléa.

Dans le cas de figure où une réelle amélioration de la connaissance serait constatée dans l'avenir, une mise à jour des cartes d'aléa devra être envisagée.

De la même manière, une mise à jour conséquente de la qualité de l'inventaire des mouvements de terrain et/ou l'occurrence d'un événement d'ampleur exceptionnelle pourrait amener à revoir les seuils de susceptibilité ou les niveaux d'intensités attendues et donc le zonage d'aléa.

6.2.2. Validité dans le temps

La présente étude a été menée en 2021. Elle est fondée sur l'analyse des sources documentaires disponibles à cette date et sur l'exploitation des événements connus. Elle est donc le reflet des connaissances du moment. La prise en compte ultérieure de données non connues ou non disponibles en 2021 (investigations, phénomènes, archives, témoignages, etc.) pourraient conduire à une révision des critères d'analyses de la susceptibilité/prédisposition, de l'aléa et des cartes associées.

D'autre part, si les paramètres permanents (géologie, topographie, hydrologie, etc.) sont relativement bien connus, l'impact d'un événement climatique exceptionnel n'a pas été pris en compte dans la caractérisation de l'aléa car il n'est pas possible d'anticiper les conséquences d'un phénomène climatique exceptionnel, pour lequel aucun retour d'expérience n'est disponible en termes de mouvements de terrain. Il convient de garder en mémoire qu'une zone d'aléa faible voire très faible peut se révéler sujette à un mouvement de terrains lors de tels événements.

Aussi, la révision périodique des cartes d'aléa est nécessaire car les évolutions naturelles et/ou anthropiques induisent des modifications de l'aléa.

6.2.3. Recommandations d'utilisation et domaine de validité des cartes

Les cartes d'aléa ont été élaborées à l'échelle du 1/10 000. Pour l'utilisation des cartes d'aléa, il conviendra de les exploiter en tenant compte d'une certaine marge d'imprécision. Les zones d'aléa moyen ont cependant fait l'objet d'une cartographie plus précise lorsqu'elles débordent sur les zones urbanisées. Aussi, les contours des zones en aléa moyen devraient pouvoir être lus avec une précision cadastrale au 1/5 000.

De plus, concernant les limites tracées entre deux zones d'aléa, même si celles-ci n'ont pas « d'épaisseur » réelle sur le terrain, leurs emprises sur la carte doivent être assimilées à la zone d'aléa la plus élevée.

7. Bibliographie

- BRGM.** (1975). Carte géologique de la France et sa notice - Feuille 271 - Molsheim.
- Cartannaz, C., & al.** (2009). Cartographie de l'aléa mouvement de terrain sur la commune d'Ars-Sur-Moselle (57). BRGM/RP-57263-FR.
- Clément, F., Husson, E., Noury, G., & Vedie, E.** (2021). Guide méthodologique - Aléa mouvement de terrain d'origine karstique - évaluation et cartographie - A PARAITRE.
- Cruz-Mermy, D., Pierrelvecin, B., Mathon, C., & BaiÉrer, C.** (2013). Identification des zones soumises à l'aléa effondrements et affaissements karstiques sur le territoire de la commune d'Oberhaslach au niveau du bourg et du lieu-dit Schotten. BRGM/RP-62765-FR.
- Grabenstaetter, L., Lazizi, L., Thiery, Y., & et al.** (2021). Caractérisation des aléas glissement de terrain et chute de blocs sur la communauté de communes du Val d'Argent. BRGM/RP-70484-FR.
- Lachassagne, P., & Wyns, R.** (2006). Aquifère de socle. (B. Editions, Éd.) Aquifères et eaux souterraines en France.
- Lebon, P., & Talbot A.** (1987). Commune d'Oberhaslach (Bas-Rhin) - Examen des risques liés au sous-sol de la commune. BRGM/87-SGN-753-ALS.
- Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement - Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement.** (1999). Guide Méthodologique - Plan de prévention des risques naturels (PPR) - Risques de Mouvements de terrain. La Documentation Française.
- Ministère de l'Écologie du Développement Durable et de l'Énergie.** (2012). Guide méthodologique Plan de Prévention des risques naturels : Cavités souterraines abandonnées.
- Perrin, J., Noury, G., & Cartannaz, C.** (2014). ALEA-Karst : vers une approche multicritères de l'aléa lié aux cavités karstiques en contexte calcaire. Volume 1 : Trame méthodologique. BRGM/RP-63771-FR.
- Phillipponnat, G., & al.** (2008). Fondations et ouvrages en terre - Septième tirage. Editions Eyrolles.
- Saty, T.** (1980). The analytical hierarchy process : Planning, priority, setting and resource allocation.
- Thiery, Y., & Terrier, M.** (2018). Évaluation de l'aléa glissements de terrain : état de l'art et perspectives pour la cartographie réglementaire en France. Géotech.
- Thiery, Y., Sterlacchini, S., Malet, J., Puissant, A., & Maquaire, O.** (2004). Modélisation spatiale de la susceptibilité des versants aux mouvements de terrain. Grenoble.
- Williams, P.** (1993). Karst terrains, environmental changes and human impacts. Catena Supplement 25.

Annexe 1

Inventaire des mouvements de terrains recensés durant l'étude

INVENTAIRE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN											
Id	Num	Commune	Phénoménologie	Mouvement actif	Habitat	Lithologie	Source	Indices observés	Descriptions complémentaires	Intensité	
1	GT002	Niederhaslach	Glissement plan	non	Forêt / Urbain	Dépôt de versant	Terrain	Paléo niche de glissement stable	Origine anthropique probable	Faible	
2	GT003	Niederhaslach	Glissement plan	non	Forêt / Urbain	Dépôt de versant	Terrain	Paléo niche de glissement stable	Origine anthropique probable	Faible	
3	GT004	Niederhaslach	Glissement plan	non	Prairie / Urbain	Dépôt de versant	Terrain	Paléo niche de glissement stable	Origine anthropique probable	Faible	
4	GT005	Niederhaslach	Glissement plan	oui	Urbain	Dépôt de versant	Terrain	cicatrice d'arrachement, loupe de glissement	Origine anthropique probable, 50 m de long, 10 m de large	Faible	
5	GT006	Niederhaslach	Glissement plan	oui	Forêt / Urbain	Dépôt de versant	Terrain	loupe de glissement	Plusieurs petits glissements sur le talus étalés sur 100m de longueur	Faible	
6	GT007	Oberhaslach	Glissement plan	non	Forêt	Dépôt de versant	Terrain, LIDAR	Paléo niche de glissement stable	50 m de long, 40 m de large	Faible	
7	GT008	Oberhaslach	Glissement plan	non	Forêt	Dépôt de versant	Terrain, LIDAR	Paléo niche de glissement stable	60 m de long, 20 m de large	Faible	
8	GT009	Oberhaslach	Glissement plan	non	Forêt	Dépôt de versant	Terrain, LIDAR	Paléo niche de glissement, arbre pipé	50 m de long, 140 m de large	Faible	
9	GT024	Oberhaslach	Reptation	oui	Forêt	Grès	Terrain, LIDAR	Arbres pipés	Reptation qui évolue en érosion avec la forte pente. Sol sableux argileux avec beaucoup d'éboulis, 26° de pente	Très faible	
10	GT025	Oberhaslach	reptation, moutonnement	oui	Prairie	Calcaire	Terrain	Arbres pipés		Très faible	
11	GT026	Oberhaslach	Reptation	oui	Prairie	Dépôts de versant	Terrain	Arbres pipés		Très faible	
12	GT027	Oberhaslach	Reptation	oui	Prairie	Marnes	Terrain	Arbres pipés		Très faible	
13	GT028	Oberhaslach	Reptation	oui	Prairie	Dépôts de versant	Terrain	Arbres pipés	Résurgence d'eau dans le terrain d'après témoignage	Très faible	
14	GT029	Oberhaslach	Reptation	oui	Urbain	Dépôts de versant	Terrain	Arbres pipés		Très faible	
15	GT030	Oberhaslach	Reptation	oui	Prairie	Dépôts de versant	RP-62765-FR, Terrain	Arbres pipés		Très faible	
16	GT031	Oberhaslach	Reptation	oui	Prairie	Calcaire	RP-62765-FR, Terrain	Arbres pipés		Très faible	
17	GT032	Oberhaslach	Reptation	oui	Urbain	Dépôts de versant	Terrain	Arbres pipés		Très faible	
18	GT033	Oberhaslach	Reptation, moutonnement	oui	Prairie	Dépôts de versant	RP-62765-FR, Terrain	Arbres pipés, terrain bosselé		Très faible	

Aléa effondrement et glissement de terrain à Oberhaslach et Niederhaslach (AEGON)

INVENTAIRE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN										
Id	Num	Commune	Phénoménologie	Mouvement actif	Habitat	Lithologie	Source	Indices observés	Descriptions complémentaires	Intensité
19	GT034	Oberhaslach	Moutonnement	oui	Prairie	Calcaire	Terrain, LIDAR	Terrain bosselé		Très faible
20	GT035	Oberhaslach	Moutonnement	oui	Prairie	Marnes	Terrain	Terrain bosselé		Très faible
21	GT036	Niederhaslach	Glissement plan	non	Urbain	Marnes	Terrain	Plan de glissement	Glissement de 20cm de terre/colluvions sur les marnes, 4m de haut, 5m de large, 20cm de profondeur, 35° de pente	Faible
22	GT037	Niederhaslach	Moutonnement	oui	Prairie	Grès	Terrain, LIDAR	Terrain bosselé et gorgé d'eau		Très faible
23	GT038	Niederhaslach	Reptation, moutonnement	oui	Prairie	Calcaire	Terrain	Arbres pipés, terrain bosselé		Très faible
24	GT039	Niederhaslach	Reptation	oui	Prairie	Grès	Terrain		L'ensemble du versant, constitué de grès à alteration sableuse, est sujet à de la reptation	Très faible
25	GT040	Oberhaslach	Reptation	oui	Prairie	Marnes	Terrain	Arbres penchés		Très faible
26	GT041	Niederhaslach	Reptation	oui	Prairie	Grès	Terrain	Arbre pipé		Très faible
27	GT042	Niederhaslach	Reptation	oui	Prairie	Grès	Terrain	Poteaux penchés		Très faible
28	GT043	Oberhaslach	Reptation	oui	Prairie	Marnes	Terrain	Arbre pipé		Très faible
29	GT044	Oberhaslach	Reptation	oui	Prairie	Marnes	Terrain	Arbre pipé		Très faible
30	GT045	Niederhaslach	Reptation	oui	Prairie	Dépôts de versant	Terrain	Arbre pipé		Très faible
31	GT046	Niederhaslach	Reptation	oui	Urbain	Dépôts de versant	Google Street View 2013	Arbres penchés		Très faible
32	GT047	Niederhaslach	Reptation	oui	Urbain	Marnes	Terrain	Arbre pipé		Très faible
33	GT048	Niederhaslach	Reptation	oui	Urbain	Dépôt de versant	Terrain	Arbres penchés		Très faible
34	GT049	Niederhaslach	Reptation	oui	Urbain / Prairie	Dépôt de versant	Terrain	Arbre pipé		Très faible
35	GT050	Niederhaslach	Reptation	oui	Prairie / Forêt	Dépôt de versant	Terrain	Arbre pipé		Très faible

INVENTAIRE DES AFFAISSEMENTS / EFFONDEMENTS												
Num	Commune	Phénoménologie	Processus	Dimensions	Habitat	Lithologie	Source	Source de l'observation	Commentaire	Niveau de certitude		
EK001	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 1 m Profondeur : 1 m	Prairie	Dépôts de versant	Témoignage propriétaire, terrain	Cuvette	Rebouché	Moyen		
EK002	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 1 m	Prairie	Dépôts de versant	Terrain	LIDAR + trace de végétation plus grasse	Rebouché	Moyen		
EK003	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 1 m Profondeur : 1 m	Prairie	Dépôts de versant	Témoignage propriétaire, terrain	Cuvette	Rebouché, non visible	Faible		
EK004	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 10 m (mesure LIDAR)	Forêt	Calcaire et Dolomie	Terrain	Cuvette	Doline alignée suivant une faille N120	Fort		
EK005	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 10 m (mesure LIDAR)	Forêt	Calcaire et Dolomie	Terrain	Cuvette	Doline alignée suivant une faille N120	Fort		
EK006	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 10 m (mesure LIDAR)	Forêt	Calcaire et Dolomie	Terrain	Cuvette	Doline alignée suivant une faille N120	Fort		
EK007	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 10 m (mesure LIDAR)	Forêt	Calcaire et Dolomie	Terrain	Cuvette	Doline alignée suivant une faille N120	Fort		
EK008	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 10 m (mesure LIDAR)	Forêt	Calcaire et Dolomie	Terrain	Cuvette	Doline alignée suivant une faille N120	Fort		
EK009	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 10 m (mesure LIDAR)	Forêt	Calcaire et Dolomie	Terrain	Cuvette	Doline alignée suivant une faille N120	Fort		
EK010	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Inconnues	Urbain	Dépôts de versant	Terrain	-	Remblayé	Faible		
EK011	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 0,6 m en surface 2-3m en profondeur Profondeur : 2,7 m	Urbain	Dépôts de versant	Etude BRGM 2013 RP-62765-FR	-	Evènement E06 (étude 2013) - remblayé	Fort		
EK012	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 4 à 5 m Profondeur : 3 à 5 m	Urbain	Dépôts de versant	Etude BRGM 2013 RP-62765-FR	-	Evènement E05 (étude 2013) - remblayé	Fort		
EK013	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 4 à 5 m Profondeur : 3 à 5 m	Urbain	Dépôts de versant	Etude BRGM 2013 RP-62765-FR	-	Evènement E03 (étude 2013) - remblayé	Fort		
EK014	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 4 à 5 m Profondeur : 3 à 5 m	Urbain	Dépôts de versant	Etude BRGM 2013 RP-62765-FR	-	Evènement E02 (étude 2013) - remblayé	Fort		
EK015	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 4 à 5 m Profondeur : 3 à 5 m	Urbain	Calcaire et Dolomie	Etude BRGM 2013 RP-62765-FR	-	Evènement E04 (étude 2013) - remblayé	Fort		
EK016	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 1 m	Prairie / Forêt	Calcaire et Dolomie	Terrain	Cuvette	Remblayé, non certain, indice uniquement	Moyen		

Aléa effondrement et glissement de terrain à Oberhaslach et Niederhaslach (AEGON)

INVENTAIRE DES AFFAISSEMENTS / EFFONDEMENTS											
Num	Commune	Phénoméno- logie	Processus	Dimensions	Habitat	Lithologie	Source	Source de l'observation	Commentaire	Niveau de certitude	
EK017	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 1 m	Prairie / Forêt	Calcaire et Dolomie	Terrain	LIDAR	Remblayé, non certain, indice uniquement	Moyen	
EK018	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 1 m	Prairie / Forêt	Calcaire et Dolomie	Terrain	LIDAR	Remblayé, non certain, indice uniquement	Moyen	
EK019	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 1 m	Prairie / Forêt	Calcaire et Dolomie	Terrain	LIDAR	Remblayé, non certain, indice uniquement	Moyen	
EK020	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 1 m	Prairie / Forêt	Calcaire et Dolomie	Terrain	LIDAR	Remblayé, non certain, indice uniquement	Moyen	
EK021	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 1 m	Prairie / Forêt	Calcaire et Dolomie	Terrain	LIDAR	Remblayé, non certain, indice uniquement	Moyen	
EK022	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 1 m	Prairie / Forêt	Calcaire et Dolomie	Terrain	LIDAR	Remblayé, non certain, indice uniquement	Moyen	
EK023	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 1 m	Prairie	Calcaire et Dolomie	Terrain	LIDAR + trace de végétation plus grasse	Rebouché, plutôt sûr	Fort	
EK024	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 1 m	Prairie	Calcaire et Dolomie	Terrain	LIDAR + trace de végétation plus grasse	Rebouché, plutôt sûr	Fort	
EK025	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 1 m	Prairie	Calcaire et Dolomie	Terrain	LIDAR	Contexte calcaire dur	Fort	
EK026	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 1 m	Prairie	Calcaire et Dolomie	Terrain	LIDAR	Contexte calcaire dur	Fort	
EK027	Oberhaslach	Effondrement	Soutirage	Diamètre : 50 m Profondeur : 15 m	Forêt / Prairie	Calcaire et Dolomie	Etude BRGM 2013 RP-62765-FR	Perte	Evènement E01 (étude 2013) joue en perte, résurgence 1200m au sud	Fort	
EK028	Oberhaslach	Doline en karst nu	Soutirage	Diamètre : 13 m (mesure LIDAR)	Prairie	Calcaire et Dolomie	Terrain	LIDAR	Stable	Fort	
EK029	Oberhaslach	Doline en karst nu	Soutirage	Diamètre : 16 m (mesure LIDAR)	Prairie	Calcaire et Dolomie	Terrain	LIDAR	Stable	Fort	
EK030	Oberhaslach	Doline en karst nu	Soutirage	Diamètre : 12 m (mesure LIDAR)	Prairie	Calcaire et Dolomie	Terrain	LIDAR	Stable	Fort	
EK031	Oberhaslach	Doline en karst nu	Soutirage	Diamètre : 14 m (mesure LIDAR)	Prairie	Calcaire et Dolomie	Terrain	LIDAR	Stable	Fort	
EK032	Oberhaslach	Doline en karst nu	Soutirage	Diamètre : 15 m (mesure LIDAR)	Prairie	Calcaire et Dolomie	Terrain	LIDAR	Stable	Fort	

Aléa effondrement et glissement de terrain à Oberhaslach et Niederhaslach (AEGON)

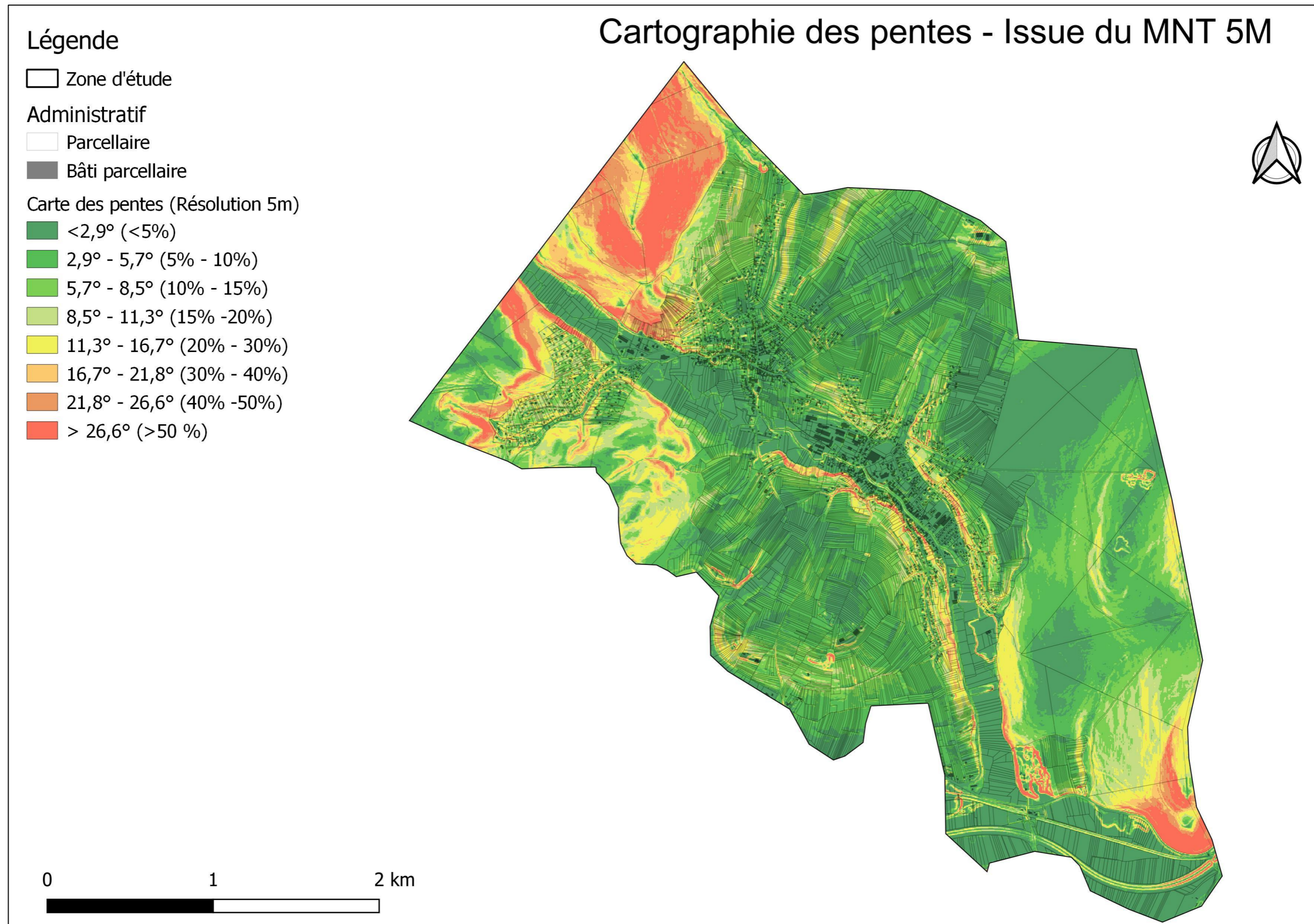
INVENTAIRE DES AFFAISSEMENTS / EFFONDEMENTS												
Num	Commune	Phénoménologie	Processus	Dimensions	Habitat	Lithologie	Source	Source de l'observation	Commentaire	Niveau de certitude		
EK033	Oberhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Diamètre : 8 m Profondeur : 1 m	Forêt	Grès	Terrain	Cuvette	Suivant la faille de contact Grès-Formation carbonatée	Fort		
EK034	Oberhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Diamètre : 8 m Profondeur : 1 m	Forêt	Grès	Terrain	Cuvette	Suivant la faille de contact Grès-Formation carbonatée	Fort		
EK035	Oberhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Diamètre : 8 m Profondeur : 1 m	Forêt	Grès	Terrain	Cuvette	Suivant la faille de contact Grès-Formation carbonatée	Fort		
EK036	Oberhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Diamètre : 5 m Profondeur : 2 m	Forêt	Grès	Terrain	Cuvette	Possible sappe de guerre	Faible		
EK037	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Diamètre : 1 à 2 m Profondeur : faible	Prairie / Forêt	Dépôts de versant	Terrain	Zone humide, cuvette		Moyen		
EK038	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Diamètre : 5 m Profondeur : faible	Forêt	Dépôts de versant	Terrain	LIDAR, cuvette		Moyen		
EK039	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Diamètre : 5 m Profondeur : faible	Forêt	Dépôts de versant	Terrain	LIDAR, cuvette		Moyen		
EK040	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Diamètre : 5 m Profondeur : faible	Forêt	Dépôts de versant	Terrain	LIDAR, cuvette		Moyen		
EK041	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Diamètre : 5 m Profondeur : faible	Forêt	Dépôts de versant	Terrain	LIDAR		Moyen		
EK042	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Diamètre : 1 m Profondeur : faible	Prairie	Dépôts de versant	Terrain	LIDAR, petite cuvette	Phénoménologie certaine	Fort		
EK043	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Inconnues	Prairie	Dépôts de versant	Terrain	LIDAR	Anomalie LIDAR non détectée sur le terrain, zone douteuse	Faible		
EK044	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Inconnues	Prairie	Dépôts de versant	Terrain	LIDAR	Anomalie LIDAR non détectée sur le terrain, zone douteuse	Faible		
EK045	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Inconnues	Prairie	Dépôts de versant	Terrain	LIDAR	Anomalie LIDAR non détectée sur le terrain, zone douteuse	Faible		
EK046	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Inconnues	Forêt	Grès	Terrain	LIDAR	Cuvette à l'origine inconnue, soutirage naturelle, mais probablement exploitation humaine du sable par-dessus, alignement N120, zone anormale	Faible		
EK047	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Inconnues	Forêt	Grès	Terrain	LIDAR	Cuvette à l'origine inconnue, soutirage naturelle, mais probablement exploitation humaine du sable par-dessus, alignement N120, zone anormale	Faible		
EK048	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Inconnues	Forêt	Grès	Terrain	LIDAR	Cuvette à l'origine inconnue, soutirage naturelle, mais probablement exploitation humaine du sable par-dessus, alignement N120, zone anormale	Faible		

Aléa effondrement et glissement de terrain à Oberhaslach et Niederhaslach (AEGON)

INVENTAIRE DES AFFAISSEMENTS / EFFONDREMENTS										
Num	Commune	Phénoménologie	Processus	Dimensions	Habitat	Lithologie	Source	Source de l'observation	Commentaire	Niveau de certitude
EK049	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Inconnues	Forêt	Grès	Terrain	LIDAR	Cuvette à l'origine inconnue, soutirage naturelle, mais probablement exploitation humaine du sable par-dessus, alignement N120, zone anormale	Faible
EK050	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Inconnues	Forêt	Grès	Terrain	LIDAR	Cuvette à l'origine inconnue, soutirage naturelle, mais probablement exploitation humaine du sable par-dessus, alignement N120, zone anormale	Faible
EK051	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Inconnues	Forêt	Grès	Terrain	LIDAR	Cuvette à l'origine inconnue, soutirage naturelle, mais probablement exploitation humaine du sable par-dessus, alignement N120, zone anormale	Faible
EK052	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Inconnues	Forêt	Grès	Terrain	LIDAR	Cuvette à l'origine inconnue, soutirage naturelle, mais probablement exploitation humaine du sable par-dessus, alignement N120, zone anormale	Faible
EK053	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Inconnues	Forêt	Grès	Terrain	LIDAR	Cuvette à l'origine inconnue, soutirage naturelle, mais probablement exploitation humaine du sable par-dessus, alignement N120, zone anormale	Faible
EK054	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Inconnues	Forêt	Grès	Terrain	LIDAR	Cuvette à l'origine inconnue, soutirage naturelle, mais probablement exploitation humaine du sable par-dessus, alignement N120, zone anormale	Faible
EK055	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Inconnues	Forêt	Grès	Terrain	LIDAR	Cuvette à l'origine inconnue, soutirage naturelle, mais probablement exploitation humaine du sable par-dessus, alignement N120, zone anormale	Faible
EK056	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Inconnues	Forêt	Grès	Terrain	LIDAR	Cuvette à l'origine inconnue, soutirage naturelle, mais probablement exploitation humaine du sable par-dessus, alignement N120, zone anormale	Faible
EK057	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Diamètre : 7 m Profondeur : 1 m	Forêt	Grès	Terrain	LIDAR	Origine inconnue mais probablement faille N120	Moyen
EK058	Niederhaslach	Doline de soutirage	Soutirage	Diamètre : 5 m Profondeur : 1 m	Forêt	Grès	Terrain	LIDAR	Doline circulaire égeulée	Moyen

Annexe 2

Documents cartographiques intermédiaires



Cartographie de l'exposition des versants



Légende

Administratif

Zone d'étude

Bâti

Parcellaire

Exposition

Nord

Nord-Est

Est

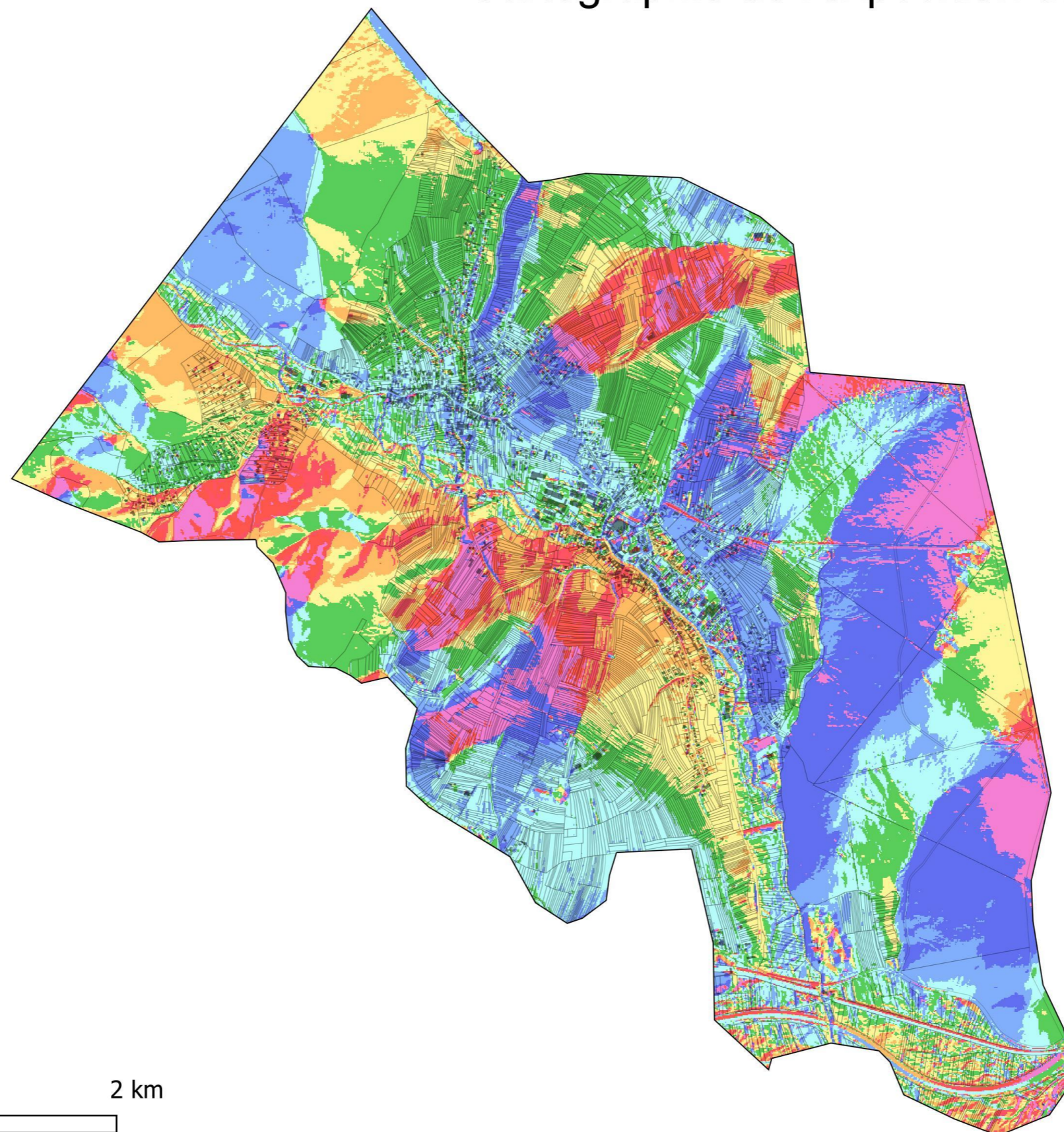
Sud-Est

Sud

Sud-Ouest

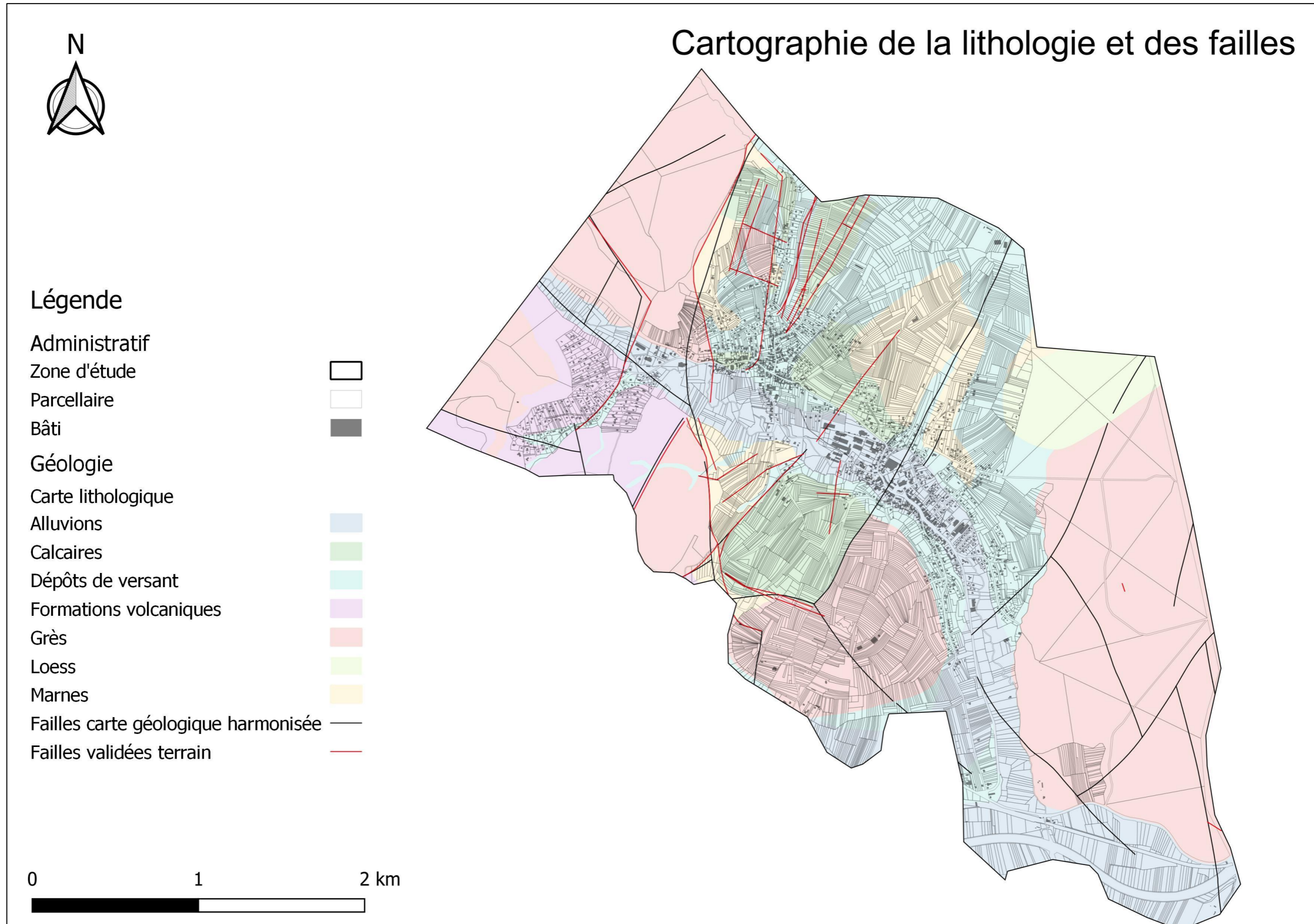
Ouest

Nord-Ouest



0 1 2 km








Inventaire des mouvements de terrain sur MNT ombré







Légende

Administratif




-  Zone d'étude
-  Bâti Niederhaslach
-  Parcellaire Niederhaslach

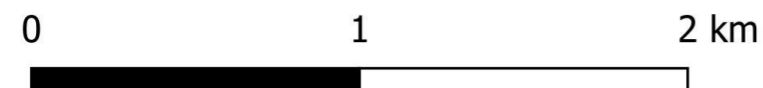
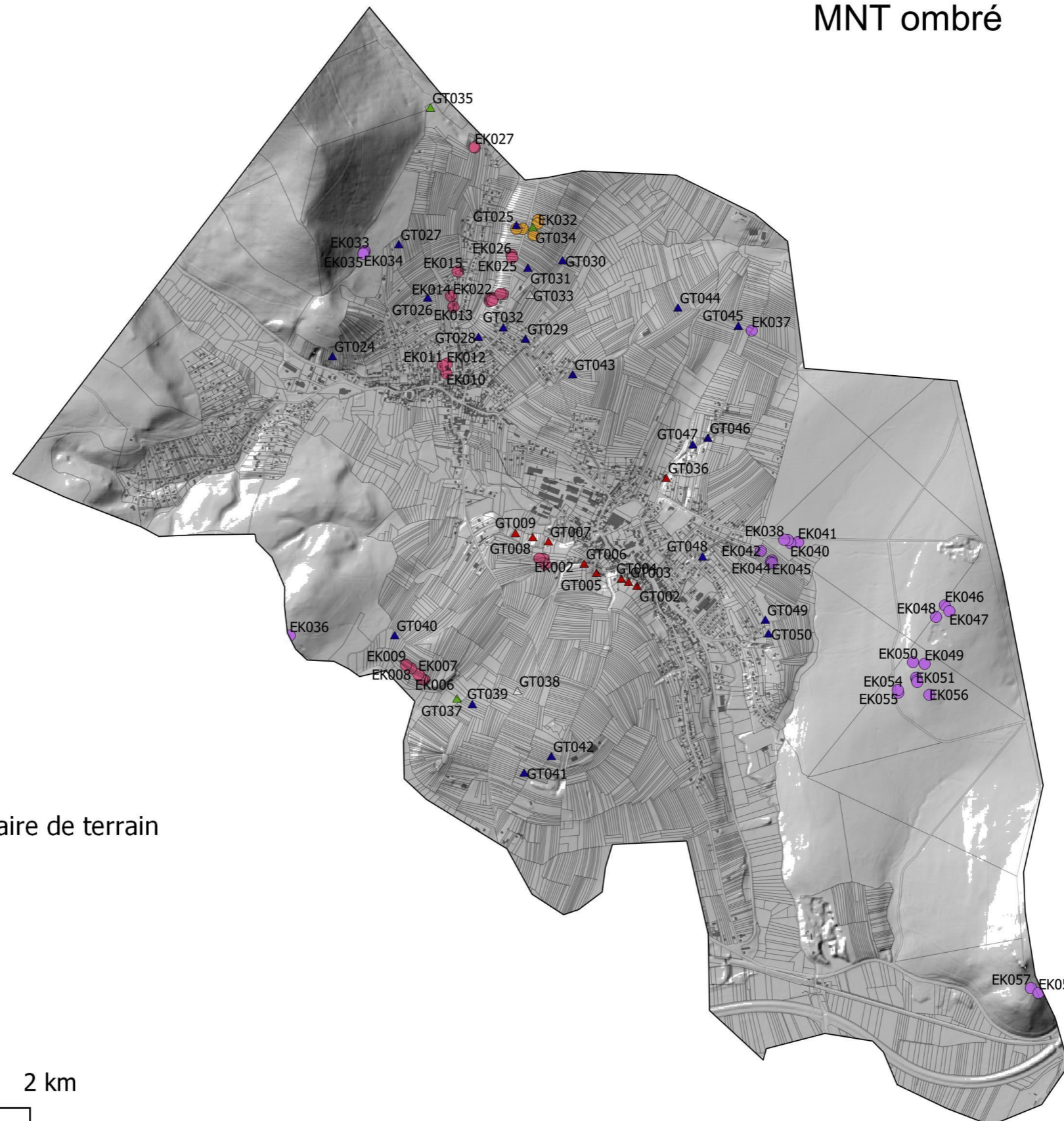
Inventaire

Glissement de terrain

-  Moutonnement
-  Plan
-  Reptation
-  Reptation et moutonnement

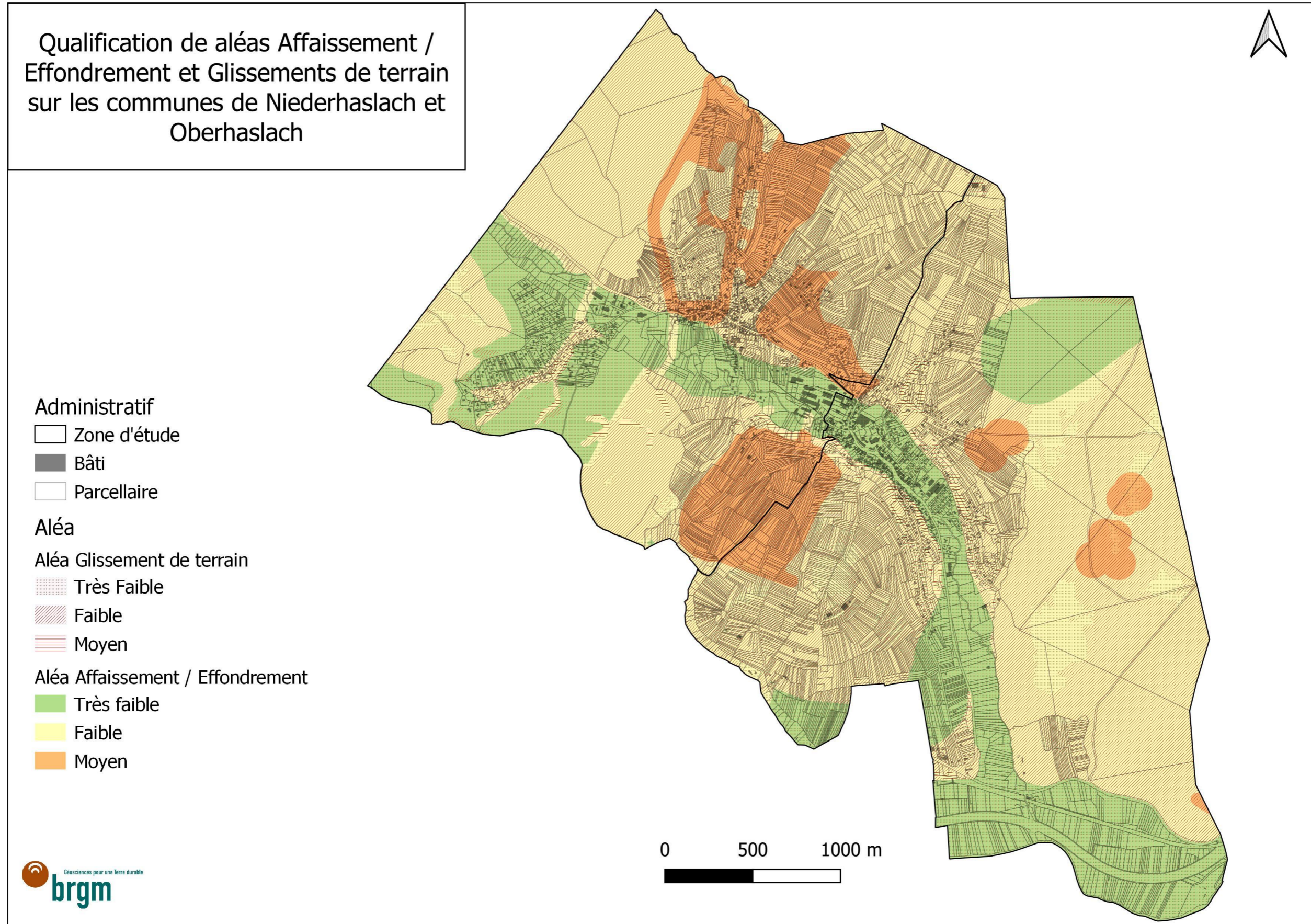
Affaissement / Effondrement - Inventaire de terrain

-  Doline de soutirage
-  Doline en karst nu
-  Effondrement



Annexe 3

Cartographie synthétique des aléas mouvements de terrain au 1/10 000



Annexe 4

Norme géotechnique NF P 94-500 de novembre 2013

Tableau 1 — Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage	Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux		
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Tableau 2 — Classification des missions d'ingénierie géotechnique (suite)

<p>ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)</p> <p>ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)</p> <p>Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :</p> <p><u>Phase Étude</u></p> <ul style="list-style-type: none"> — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles). — Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi. <p><u>Phase Suivi</u></p> <ul style="list-style-type: none"> — Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude. — Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats). — Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO) <p>SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)</p> <p>Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :</p> <p><u>Phase Supervision de l'étude d'exécution</u></p> <ul style="list-style-type: none"> — Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils. <p><u>Phase Supervision du suivi d'exécution</u></p> <ul style="list-style-type: none"> — Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3). — donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.
<p>DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (Gs)</p> <p>Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.</p> <ul style="list-style-type: none"> — Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant. — Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

Annexe 5

Précisions concernant les études géotechniques

Cas des études géotechniques

Si une étude géotechnique doit être réalisée, elle le sera par un bureau d'études géotechniques spécialisé, conformément aux prescriptions de la norme NF P94-500 de novembre 2013. L'étude technique devra prendre en compte les données de ce présent rapport avec notamment les phénomènes qui y sont décrits.

L'étude devra en particulier répondre aux principaux objectifs suivants :

- *Préciser la nature et l'intensité des phénomènes à risque de mouvement de terrain pouvant affecter le projet ou qui pourraient être induits par le projet, ainsi que les conséquences qu'ils pourraient provoquer sur le projet ou sur son environnement (zone d'influence géotechnique) ;*
- *Proposer des principes généraux de construction, ainsi que des solutions techniques de mise en sécurité et d'aménagement, adaptées au projet et à son contexte d'exposition aux risques de mouvement de terrain, tant à long terme qu'en phase de travaux ;*
- *Aborder les problématiques relatives aux fondations, aux terrassements et à la gestion des eaux (usées et pluviales) et définir les mesures appropriées relatives à ces problématiques pouvant affecter le projet ou qui pourraient être induites par le projet ;*
- *Proposer les principes pour la mise en œuvre de l'assainissement non collectif quand l'équipement existant et/ou l'aménagement en projet est concerné.*

Selon le contexte géomorphologique, les caractéristiques du projet, son ampleur, les moyens techniques à mobiliser in situ, cette étude pourra être de type G1, ou G2 selon la norme NF P94-500 de novembre 2013. Le contenu de ces missions est détaillé en Annexe 4.

On entend par zone d'influence géotechnique (ZIG) :

- *La parcelle sur laquelle sera réalisé le projet proprement dit ;*
- *Les terrains en amont, en aval ou latéraux au sein desquels :*
 - o *Tout mouvement de terrain en se propageant pourrait induire des conséquences préjudiciables sur le projet ;*
 - o *Le projet pourrait de lui-même générer des instabilités ;*
 - o *Des instabilités initiées sur la parcelle de projet pourraient régresser en amont ou se propager en aval.*

Le prestataire interprétera les résultats obtenus dans son analyse afin de définir les mesures de sécurisation adaptées au projet et qui permettront de ne pas aggraver les risques sur le long terme avant de procéder, à l'échelle de la ZIG considérée, à une analyse des paramètres suivants :

- *Le contexte géologique, hydrogéologique et géotechnique. Il s'agira de définir la nature et les caractéristiques des formations en place afin notamment d'identifier les formations sensibles à ces problématiques. Dans ce cadre, le prestataire définira la nécessité éventuelle, et le cas échéant le contenu (nombre, nature, localisation, etc.), de sondages et/ou d'essais in situ pour caractériser au mieux les formations en place ;*

- *La stabilité des terrains à partir des hypothèses et informations recueillies au préalable, avec et sans le projet afin notamment de définir les mesures de sécurisation adaptées pour garantir la stabilité du projet et pour éviter d'aggraver la situation vis à vis des risques naturels.*

Le prestataire ayant une obligation de résultat, il est de sa responsabilité d'apprécier la nécessité de recourir à un logiciel de modélisation (stabilité de pentes notamment) afin de déterminer la nature et la localisation des ouvrages de protection, ainsi que leur dimensionnement.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 –

Direction régionale Grand Est

Délégation de Strasbourg

Parc d'Activité Porte Sud – Bât H1

Rue du Pont du Péage

67118 – Geispolsheim – France

Tél. : 03 88 77 48 90

www.brgm.fr