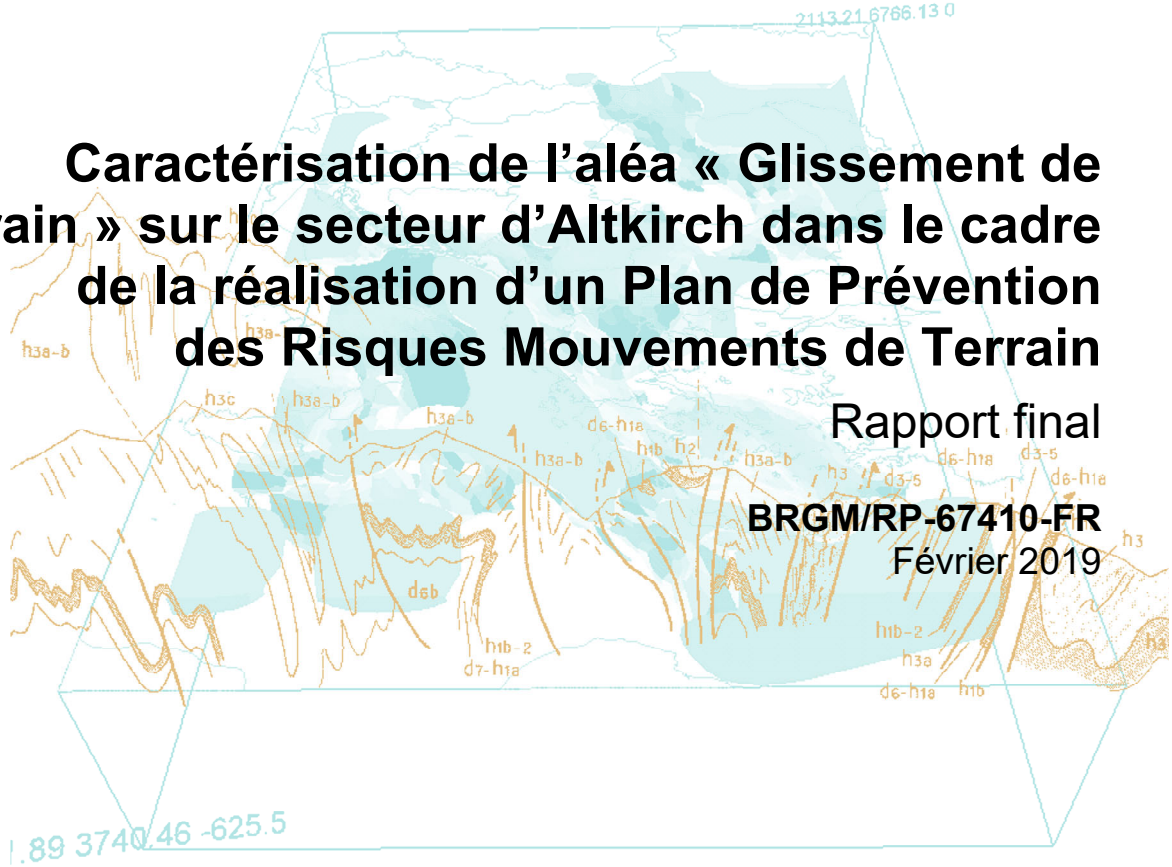
Document à accès différé

Caractérisation de l'aléa « Glissement de terrain » sur le secteur d'Altkirch dans le cadre de la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques Mouvements de Terrain

Rapport final

BRGM/RP-67410-FR
Février 2019



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
PRÉFET
DU HAUT-RHIN

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document à accès différé

Caractérisation de l'aléa « Glissement de terrain » sur le secteur d'Altkirch dans le cadre de la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques Mouvements de Terrain

Rapport final

BRGM/RP-67410-FR
Février 2019

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2016-RIS-20

L. Grabenstaetter

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : Y. Thiery	Nom : K. Samyn
Fonction : Resp. programme délégué	Fonction : Directeur régional délégué
Date : 19/12/2017	Date : 15/02/2019
Signature :	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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
PRÉFET
DU HAUT-RHIN

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Avertissement

Le tirage initial de ce rapport, en nombre fixé par convention, est diffusé à son commanditaire. Sa communication ultérieure à des tiers est liée à la prise d'une décision administrative formelle à laquelle il concourt, conformément à la loi n 78-753 du 17 Juillet 1978.

Passé un délai de 3 ans, ce rapport devient communicable à tout tiers extérieur qui en ferait la demande ; le BRGM ne peut plus être tenu comme responsable de l'usage qui pourrait en être fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Mots-clés : Carte aléa, Glissements de terrain, Mouvement de terrain, Plan Prévention des Risques, Grand Est, Alsace, Haut-Rhin, Sundgau, Altkirch, Carspach, Hirsingue, Hirtzbach.

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

Grabenstaetter L. (2019) - Caractérisation de l'aléa « Glissement de terrain » sur le secteur d'Altkirch dans le cadre de la réalisation d'un Plan Prévention des Risques Mouvements de Terrain. Rapport final. BRGM/RP-67410-FR, 63 p., 11 ill., 4 tab., 5 ann.

© BRGM, 2019, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Plusieurs glissements de terrains se sont déclenchés ces dernières années sur le secteur de la colline de l'Illberg de la commune d'Altkirch dans le Haut-Rhin. Le BRGM est déjà intervenu en tant qu'expert pour le compte de la DDT 68 en 2006 et 2009 pour des glissements de terrains ayant endommagé des habitations. Le présent rapport est une mise à jour du rapport édité en 2017 ; le précédent rapport devient caduque.

Cette étude a pour objectif de réaliser une carte d'aléa glissement de terrains et s'inscrit dans la première partie du PPRMVT[1]. Elle sera mise en œuvre conformément aux recommandations du « Guide méthodologique du PPR - Risques et Mouvements de terrain » du Ministère de la Cohésion des Territoires.

La caractérisation de l'aléa réalisée sur la zone d'étude s'appuie principalement sur une méthodologie mettant en relation la lithologie, la pente et une analyse statistique des glissements de terrain recensés sur le terrain et en bibliographie. Cette méthodologie est enrichie des observations réalisées sur le terrain qui entraine des modifications locales, à dire d'expert, du niveau d'aléa.

Sur la zone d'étude, l'aléa très fort représente 1,3 % du territoire. Il s'agit des zones où des mouvements de terrains sont connus ou ont été observés lors des reconnaissances de terrain. Hormis le glissement situé en zone urbanisée (colline de l'Illberg, nord de la zone d'étude), ces secteurs sont situés en domaine forestier à l'ouest de la zone d'étude sur le versant de la vallée de l'Ill. **En zone d'aléa très fort, le BRGM recommande l'interdiction d'implanter de nouvelles constructions et d'augmenter la population exposée**.

L'aléa fort représente 31 % du territoire. Il s'agit essentiellement des zones où sont cartographiées des formations marneuses et des pentes supérieures à 6 % ainsi que des formations fines et des pentes supérieures à 11 %. Ces zones sont particulièrement concentrées sur les versants de la vallée de l'Ill au nord et à l'est de la zone d'étude. ***Les zones d'aléas fort sont réputées inconstructibles***, cependant, compte tenu du contexte local, **ces zones sont urbanisables *sous conditions***.

L'aléa moyen représente 25,3 % du territoire. Il s'agit essentiellement des zones où sont cartographiées des formations fines ou des formations grossières au sein de pentes supérieures à 20 %. **Ces zones sont urbanisables sous réserve de respecter les dispositions et mesures de prévention d'ordre général**.

Enfin, l'aléa faible représente 31 % du territoire. Il s'agit essentiellement de zones où la pente est inférieure à 11 % (hors marnes), où les pentes sont inférieures à 20 % en présence de formations grossières, ou de secteurs où les formations calcaires ont été observées à l'affleurement. Elles sont principalement situées en fond de vallée et sur le plateau lœssique. **Aucune prescription particulière n'est édictée** si ce n'est de **respecter le principe de précaution** qui consiste à éviter de générer des aléas par la réalisation d'aménagements non contrôlés.

En fonction de l'intensité de l'aléa, des règles de constructibilité ont été proposées pour les constructions neuves et celles existantes.

[1] PPRMVT : Plan Prévention des Risques MouVement de Terrain

Sommaire

1. Introduction 9

1.1. OBJECTIF 9

1.2. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE, GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE 9
1.2.1. Contexte géographique 9
1.2.2. Contexte géologique 10
1.2.3. Formations du substratum 11
1.2.4. Formations superficielles 11
1.2.5. Contexte hydrogéologique 12

2. Mouvements de terrain - généralités 15

2.1. CHAMP DE L'ÉTUDE 15

2.2. TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN 15
2.2.1. Mouvements de terrain sans plan de rupture 15
2.2.2. Mouvements de terrain avec plan de rupture 18

2.3. FACTEURS DE PRÉDISPOSITION, AGGRAVANTS ET DÉCLENCHEURS 19
2.3.1. Facteurs de prédisposition 19
2.3.2. Facteurs aggravants 20
2.3.3. Facteurs déclenchants 20

3. Caractérisation de l'aléa 23

3.1. CARTE DES PENTES 24

3.2. CARTE LITHOLOGIQUE 24

3.3. CARTOGRAPHIE DES FACTEURS AGGRAVANTS ET HYDROLOGIQUES 25

3.4. ÉVALUATION DE LA SUSCEPTIBILITÉ 25

3.5. CARACTÉRISATION DE L'ALÉA 26

3.6. APPLICATION DES ZONES TAMPONS 28

4. Exemples de préconisation et prescription réglementaires impactant l'urbanisme 29

4.1. MESURES GÉNÉRALES APPLICABLES À TOUT LE TERRITOIRE 29

4.2. EXEMPLES DE DISPOSITIONS GÉNÉRALES APPLICABLES À L'ENSEMBLE DE LA ZONE D'ÉTUDE 29

4.3. ÉTUDES TECHNIQUES PRÉALABLES 30

4.4. SECTEUR D'ALÉA TRÈS FORT 34

4.5. SECTEUR D'ALÉA FORT 34
4.5.1. Cas de constructions nouvelles 34
4.5.2. Cas de constructions existantes 36
4.6. SECTEUR D'ALÉA MOYEN 37
4.7. SECTEUR D'ALÉA FAIBLE 37
5. Limites de l'interprétation 39
5.1. VALIDITÉ DANS LE TEMPS 39
5.2. RECOMMANDATIONS D'UTILISATION ET DOMAINE DE VALIDITÉ DES CARTES 39
6. Conclusion 41
7. Bibliographie 43

Liste des illustrations

Illustration 1 : Localisation de la zone d'étude telle que définie par la DDT 68 9
Illustration 2 : Carte géologique du secteur d'étude issue de la carte géologique harmonisée au 1/50 000 du BRGM. 10
Illustration 3 : Coupe géologique et hydrogéologique du versant ouest de la zone d'étude. 13
Illustration 4 : Exemple de fluage sous l'effet d'une surcharge (Phillipponnat *et al.*, 2008) 15
Illustration 5 : Aspect ondulé (moutonnement) des terrains dû au phénomène de solifluxion (Phillipponnat *et al.*, 2008). 16
Illustration 6 : Coupe montrant le phénomène de reptation des couches géologiques superficielles. 17
Illustration 7 : Photographie illustrant le phénomène de fauchage des couches et la reptation du sol superficielle (partie supérieure de l'affleurement) 17
Illustration 8 : Schéma d'un glissement translationnel (ou plan). 18
Illustration 9 : Bloc diagramme d'un glissement rotationnel complexe. 19
Illustration 10 : Enchainement des missions d'ingénierie géotechnique selon la norme géotechnique NF P-94-500 de novembre 2013. 32
Illustration 11 : Classification des missions d'ingénierie géotechnique selon la norme géotechnique NF P-94-500 de novembre 2013. 33

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractérisation de la susceptibilité en fonction de la lithologie. 25
Tableau 2 : Matrice de caractérisation de la susceptibilité (Grabenstaetter, 2019). 26
Tableau 3 : Matrice de caractérisation de la susceptibilité en présence de facteurs aggravants (Grabenstaetter, 2019). 26
Tableau 4 : Matrice de caractérisation de l'aléa. 27

Liste des annexes

Annexe 1 : Carte des pentes issues du MNT 25 m de l'IGN 45
Annexe 2 : Carte lithologique du secteur d'étude issue de la carte géologique harmonisée au 1/50 000 du BRGM et des relevés de terrain 49
Annexe 3 : Cartographie des phénomènes aggravants et tableau de synthèse 53
Annexe 4 : Carte de susceptibilité aux glissements de terrains 57
Annexe 5 : Cartographie de l'aléa « Glissement de terrains » sur la zone d'étude 61

1. Introduction

1.1. OBJECTIF

Plusieurs glissements de terrain se sont déclenchés ces dernières années sur le secteur de la colline de l'Illberg de la commune d'Altkirch dans le Haut-Rhin (68). Le BRGM est déjà intervenu en tant qu'expert pour le compte de la DDT 68 en 2006 et 2009 pour des glissements de terrains ayant endommagé des habitations.

Cette étude a pour objectif de réaliser une carte d'aléa glissement de terrains et s'inscrit dans la première partie du PPRMVT[2]. Elle sera mise en œuvre conformément aux recommandations du « Guide méthodologique du PPR- Risques et Mouvements de terrain » du MEDDE (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement - Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement, 1999). Un rapport méthodologique explicitant les différentes étapes de caractérisation de l'aléa « glissement de terrain » a été rédigé préalablement au présent rapport (Grabenstaetter, 2019). Le présent rapport est une mise à jour du rapport édité en 2017 ; le précédent rapport devient caduque.

1.2. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE, GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

1.2.1. Contexte géographique

La zone d'étude s'étend sur quatre communes du Haut-Rhin, au sud de Mulhouse. Les communes intéressées sont Altkirch, Carspach, Hirsingue et Hirtzbach. L'emprise de la zone d'étude présente une superficie de 15 km² et a été définie par la DDT68 (Illustration 1). Ce secteur géographique appartient à un secteur géographique communément appelé « Sundgau ».

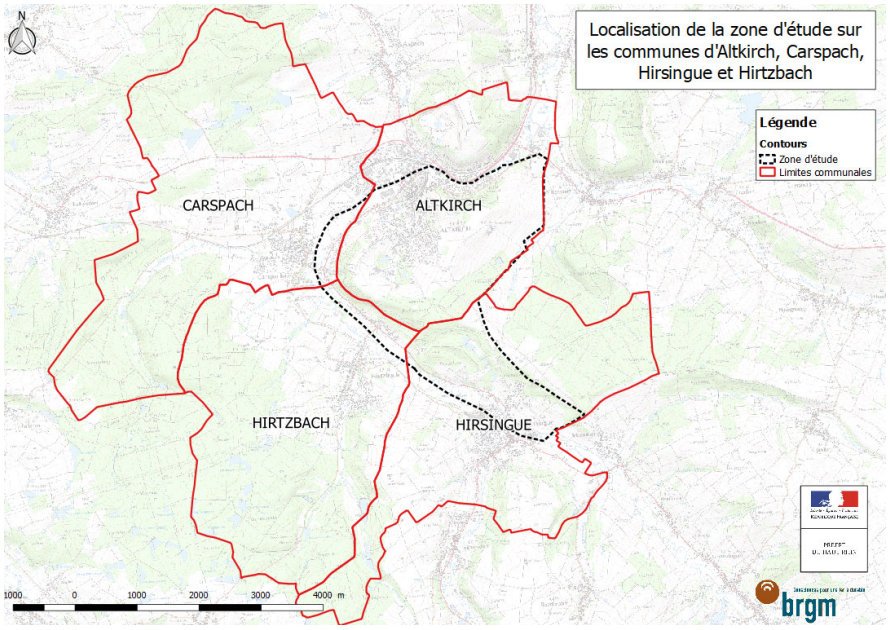


Illustration 1 : Localisation de la zone d'étude telle que définie par la DDT 68.

[2] PPRMVT : Plan Prévention des Risques MouVement de Terrain

1.2.2. Contexte géologique

La carte géologique du secteur d'étude est présentée en Illustration 2. Les différentes formations observées sont décrites en suivant.

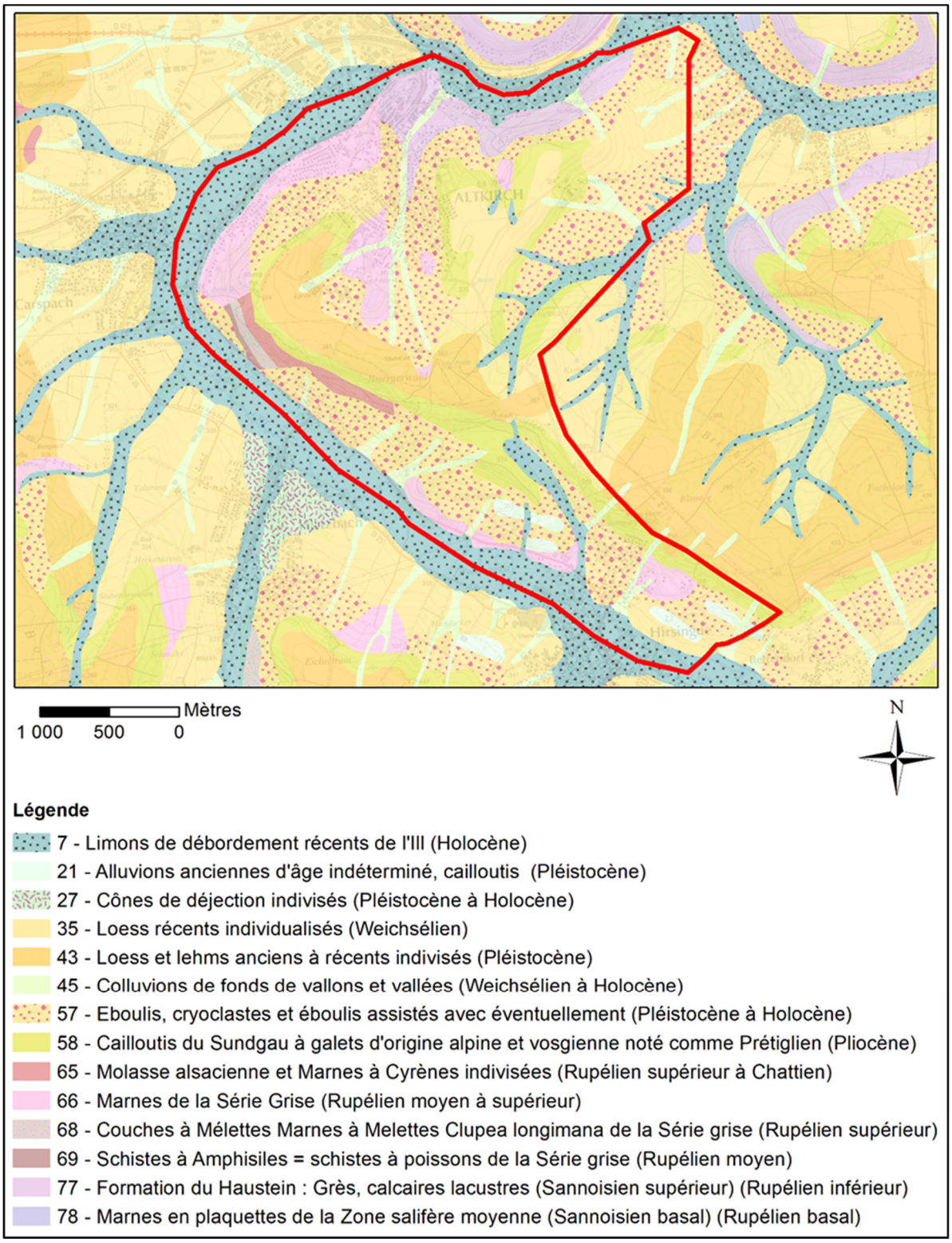


Illustration 2 : Carte géologique du secteur d'étude issue de la carte géologique harmonisée au 1/50 000 du BRGM.

1.2.3. Formations du substratum

La partie ouest du Sundgau possède un soubassement oligocène (Theobald, 1958), la transgression marine venant du sud à cette époque a conduit au dépôt d'une série grise fossilifère parfois difficile à différencier. Cette série contient des marnes à Cyrènes (65), souvent appelée molasse Alsacienne. Cette molasse correspond à une série détritique, issue de l'érosion massive de terrains vosgiens à l'Oligocène supérieur (Stampien supérieur). Elle contient des marnes bleues et vertes ainsi que des lentilles gréso-calcaires. La série grise contient également les marnes à Melettes (68) et des marnes bleues-vertes micacées. Des schistes à amphisiles (poissons) appartiennent également à cette séquence (69) tout comme les marnes à foraminifères (66).

Les limites de séparation de ces différents ensembles sont très difficiles à discerner sur le terrain, l'appellation « série grise » est par conséquent souvent employée. La série grise est considérée comme la couche dite « savon » sur le secteur d'étude, les plans de glissement des phénomènes recensés se situent préférentiellement à l'interface entre cette dernière et les formations superficielles. Ces couches présentent une puissance comprise entre 30 et 50 m.

La série grise s'appuie sur une des rares couches dures du secteur, les calcaires du Haustien (77). Ces calcaires, souvent appelés pierre à bâtir du Sannoisien supérieur, parfois gréseux (50 – 90 m d'épaisseur), affleurent au nord de la zone d'étude.

1.2.4. Formations superficielles

L'abondance et l'épaisseur des formations superficielles constituent une des caractéristiques principales du Sundgau.

- ***Alluvions fluviatiles***

Les alluvions de l'Ill sont constituées de sables et graviers recouvertes de limons. Trois types d'alluvions sont présents sur le secteur d'étude :

- (7) limons de débordement récents de l'Ill ;
- (21) alluvions anciennes et cailloutis d'âge indéterminé ;
- (27) cônes de déjection vosgiens.

- ***Alluvions anciennes***

Les alluvions anciennes dites cailloutis ou graviers du Sundgau (58) à éléments rhénans ou vosgiens sont attribuées au Pliocène. Cette nappe d'alluvions constitue une structure importante de la morphologie de la région car elle représente l'ossature de la plupart des reliefs. L'épaisseur est variable et peut atteindre 10 à 15 m.

- ***Éboulis de pente***

Les éboulis de pente (57) sont fréquents au niveau des escarpements, topographiquement en aval des calcaires oligocènes (77) et cailloutis du Sundgau (58). Ces éboulis sont souvent indifférenciés et affectés par des glissements de terrains. Les terrains sous-jacents étant déstructurés, ils ne sont jamais identifiés. La granulométrie de ces formations est très variable, comprise entre des blocs grossiers et des particules fines.

- ***Formations des plateaux***

Les lœss (35) et lœss et lehm indifférenciés (43) sont des dépôts peu cohérents d'âge Riss ou Würm, d'origine éolienne, finement sableux, de teinte jaune paille, contenant jusqu'à 50 % de calcaire à l'origine (lœss), souvent décalcifiés (lehm). Leur épaisseur peut atteindre 15 m.

Les lœss sont des limons jaunes clair, au toucher farineux et pulvérulent, renfermant à l'origine jusqu'à 50 % de calcaire et riches en argiles. Les lehms représentent les produits d'altération du lœss, résultant notamment de sa décalcification. Le lehm est imperméable et de teinte brunâtre.

Sur la zone d'étude, ces formations se retrouvent en somment de plateaux exclusivement.

1.2.5. Contexte hydrogéologique

Dans le cadre de la caractérisation de l'aléa glissement de terrain, deux systèmes aquifères demeurent intéressants à prendre en considération :

- les cailloutis du Sundgau, sont alimentés par les eaux d'infiltration circulant au sein des lœss, localement perméables à la faveur de niveaux moins riches en produits d'altérations argileux. L'eau s'infiltre dans les cailloutis qui font office d'aquifère et se retrouve bloquée à la base de cette formation, au niveau de la jonction avec la série grise constituée des marnes oligocènes imperméables (aquiclude). Un important système de sources perchées va se mettre en place à la limite entre ces deux formations, ce qui permet de marquer la limite lithostratigraphique. Ce réseau de source est utilisé localement pour alimenter les villages en eau potable ;
- les lœss et certaines formations superficielles comme les éboulis ou les colluvions, en fonction de leur granulométrie, peuvent être aquifère et emmagasiner de l'eau. Des niveaux de nappes temporaires ont été mis en évidence par des sondages géotechniques à 3 et 7 m de profondeur dans ces formations (Theobald, 1958).

Le Sundgau est aussi appelé « pays des étangs », qui se développent à la faveur de zones plus imperméables sur les plateaux (Maurin G. et Messin M., 2000).

L'accumulation d'eau dans des formations géologiques peut entraîner l'apparition de glissements de terrain. L'augmentation des teneurs en eau des sols entraine une augmentation de la pression interstitielle au sein des formations, ce qui dégrade d'autant leurs qualités mécaniques (cohésion des grains). Au droit de la zone d'étude, la diminution des qualités mécaniques des formations superficielles a un impact direct sur l'occurrence de mouvements de terrains car ces formations reposent directement sur la « couche savon » de la région : les marnes oligocènes. L'apparition de surface de cisaillement est facilitée par les infiltrations d'eau au sein des formations superficielles.

La coupe stratigraphique suivante (Illustration 3) synthétise la succession géologique présente au droit de la zone d'étude d'après la carte géologique et les données bibliographiques traitant notamment des épaisseurs des différentes formations. Les informations issues de la synthèse hydrogéologique sont également représentées sur cette coupe.

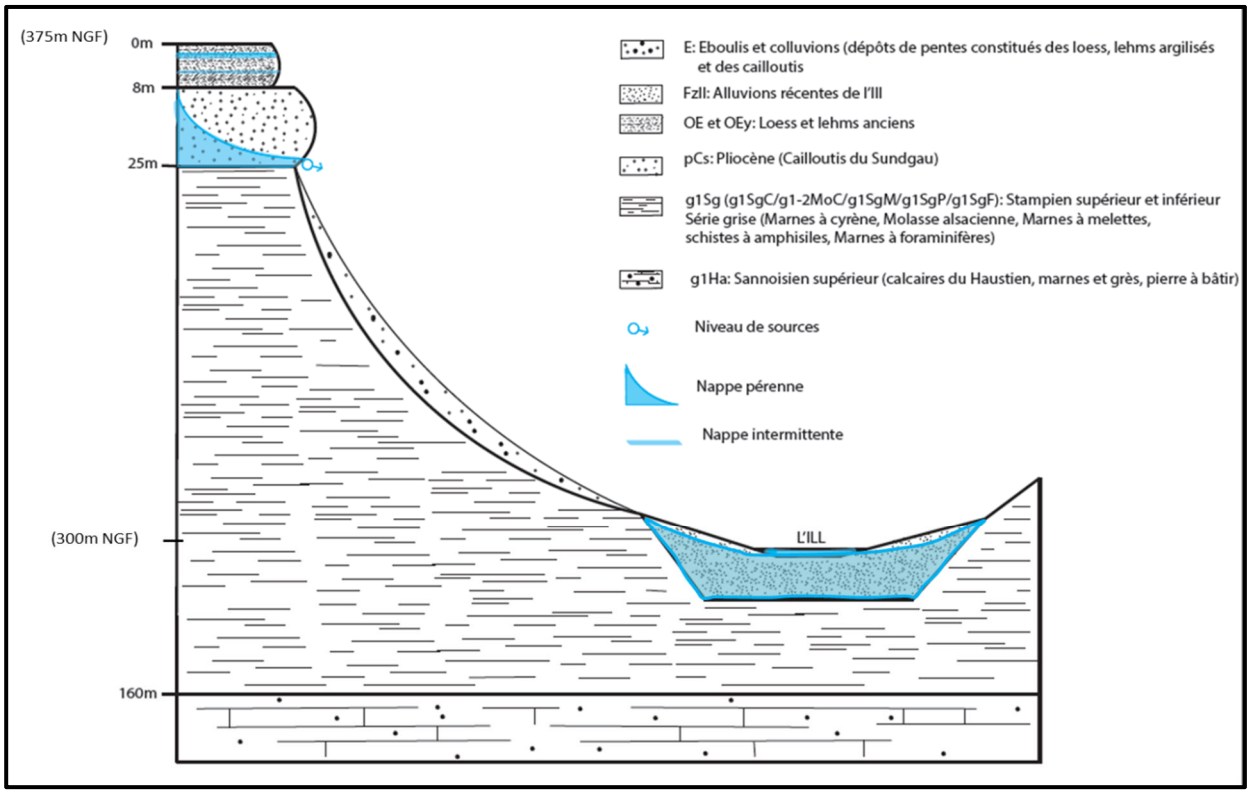


Illustration 3 : Coupe géologique et hydrogéologique du versant ouest de la zone d'étude.

2. Mouvements de terrain - généralités

2.1. CHAMP DE L'ÉTUDE

Les mouvements de terrains pris en compte dans cette étude comprennent les phénomènes de glissements sans plan de rupture (fluage, solifluxion, reptation) et avec plans de rupture (pelliculaires, plans, circulaires).

Ne sont pas pris en compte les phénomènes de retrait-gonflement liés à la sécheresse sur des sols argileux, les mouvements rocheux (chutes de blocs et éboulements), les affaissements, les effondrements ou les fontis liés à la présence de cavités naturelles ou anthropiques et les coulées de boue dues à l'érosion des sols.

2.2. TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

L'ensemble des glissements de terrain décrits ci-dessous peuvent être rencontrés sur le secteur d'étude.

2.2.1. Mouvements de terrain sans plan de rupture

Ces types de mouvements ne sont pas considérés comme des glissements à proprement parler puisque la mise en mouvement n'est pas caractérisée par un plan de cisaillement. Généralement dans la région traitée, seule la frange superficielle de terrain est affectée par ce type de mouvements.

- ***Le fluage***

Le fluage est un phénomène physique provoquant des déformations gravitaires irréversibles sous des sollicitations constantes atteignant le domaine plastique (Phillipponnat G. *et al.*, 2008) (Illustration 4). C'est un mouvement lent d'une masse de terrain (à matrice fine argileuse ou silteuse) non limitée par une surface de rupture clairement définie se manifestant sur des faibles ou fortes pentes.

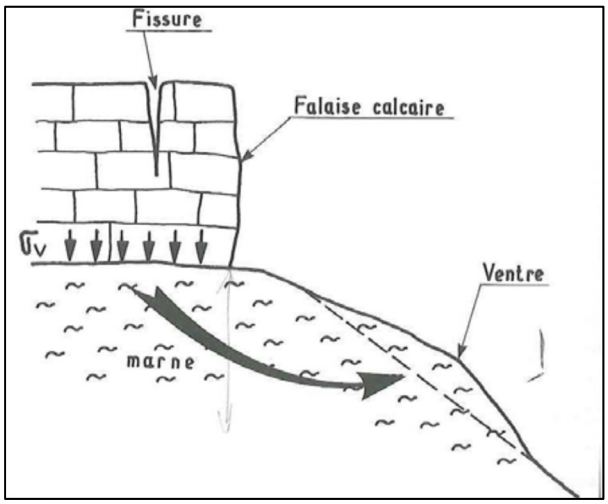


Illustration 4 : Exemple de fluage sous l'effet d'une surcharge (Phillipponnat G. et al.*, 2008).*

- ***La solifluxion***

C'est un cas particulier du fluage. C'est un phénomène d'écoulement lent des sols. Elle concerne les sols à matrice fine (argileuse ou silteuse) et à teneur en eau marquée, sur une épaisseur de l'ordre d'un mètre, sans surface de rupture nette. Ce phénomène est provoqué par des variations de volume du sol au cours des saisons. En effet, le gel-dégel en montagne ou l'alternance des saisons sèches et pluvieuses causent la déstructuration et la perte de cohésion de ces sols gonflants et rétractables [(Phillipponnat G. *et al*., 2008) ; (Mathon, Fourniguet et Nédellec, 2005)].

La solifluxion s'opère sur des terrains de pente faible à modérée et se repère par un état boueux des sols, une ondulation des terrains (Phillipponnat G. *et al*., 2008) (Illustration 5) et des rochers « laboureurs ».

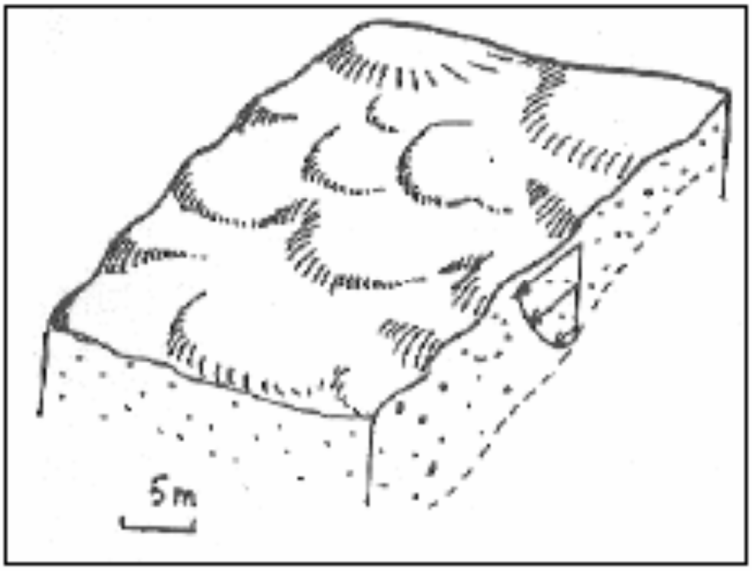


Illustration 5 : Aspect ondulé (moutonnement) des terrains dû au phénomène de solifluxion (Phillipponnat G. et al.*, 2008).*

- ***La reptation***

C'est le glissement lent, vers l'aval, des sols ou des formations superficielles sur un versant à pente modérée à forte (Foucault A. et Raoult J.-F., 2001). Ce phénomène ne nécessite pas un état boueux du sol. Il peut se repérer par un moutonnement de faible amplitude et relativement serré. Généralement, les arbres sont inclinés ou présentent une forme dite « pipée ». Le moteur du mouvement est le propre poids du terrain.

Ce phénomène provoque un fauchage (également appelé « basculement ») des couches géologiques (Illustration 6) ; ce qui entraîne une évaluation erronée de leur pendage en profondeur (Illustration 7).

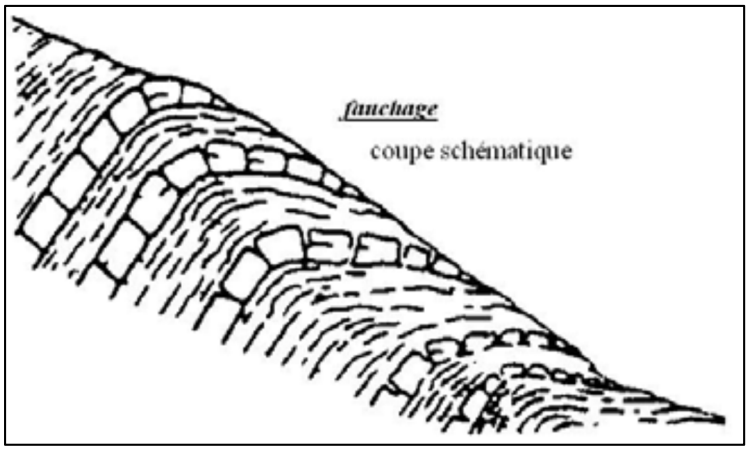


Illustration 6 : Coupe montrant le phénomène de reptation des couches géologiques superficielles.

Illustration 7 : Photographie illustrant le phénomène de fauchage des couches et la reptation du sol superficielle (partie supérieure de l'affleurement).

La reptation et la solifluxion se manifestent dans les terrains généralement argileux. Une formation meuble à matrice fine (silts et argiles) et homogène développera davantage de glissements circulaires tandis qu'une hétérogénéité des caractéristiques mécaniques des formations lithologiques (formation altérée sur formation saine) développera des glissements pelliculaires ou plans.

2.2.2. Mouvements de terrain avec plan de rupture

- ***Les glissements pelliculaires***

Le glissement pelliculaire est un décrochement superficiel gravitaire affectant une mince frange de terrain à matrice fine et limitée par une surface de rupture identifiable (< 10 m de profondeur), recouvrant les versants rocheux à pente raide (> 20 % - 11°). Cette frange est fortement altérée avec des caractéristiques mécaniques faibles.

Par suite d'une saturation en eau du matériel, le sol devient viscoplastique et instable. Le terrain se détache du haut du versant et glisse par petits paquets vers le bas (Mathon, Fourniguet et Nédellec, 2005). Ce type de glissement fait généralement suite au phénomène de reptation.

La morphologie de ce glissement est caractérisée par une surface moutonnée ou par des petites terrasses dans les versants, et de courtes fissures arquées ou rectilignes soulignent la tête des instabilités. Sur le terrain, il peut être délimité grâce à des entonnoirs d'effondrement créés en bordure du glissement par des infiltrations et des circulations d'eau en sub-surface.

- ***Les glissements translationnels***

Il s'agit de mouvements gravitaires se traduisant par la translation d'un volume de sol ou de roche sur un versant, le long d'une surface de rupture approximativement plane, généralement selon la ligne de plus grande pente (Illustration 8).

La particularité de ce glissement tient dans la géométrie de sa surface de rupture qui est plus ou moins rectiligne. Généralement, elle est héritée d'une discontinuité naturelle préexistante dans le terrain : joints ou limites stratigraphiques, plans de faille ou diaclases, plans de schistosité. Elle peut également correspondre à une couche mince de mauvaises caractéristiques mécaniques (couche-savon) sur laquelle s'exerce souvent l'action de l'eau.

Les glissements translationnels sont le plus souvent associés à des fissures en tête et des bourrelets en pied. Ils peuvent se développer sur des épaisseurs de plusieurs dizaines de mètres et peuvent affecter des versants de faible pente (< 20 %) pour autant que les facteurs de prédisposition soient réunis.

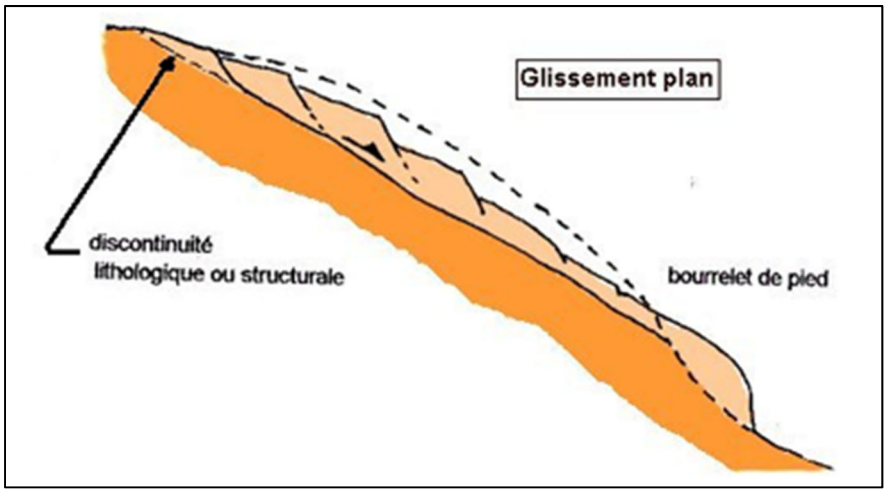


Illustration 8 : Schéma d'un glissement translationnel (ou plan).

- ***Les glissements rotationnels ou circulaires***

Ils correspondent à des mouvements gravitaires et peuvent présenter une brusque rupture de pente ainsi que des fissures en tête et des bourrelets en pied. Leur surface de rupture, de forme circulaire et concave, les différencie des glissements plans. La présence de contre-pentes est observée au sein de la masse glissée. De plus, ils se développent généralement au sein d'un milieu homogène et meuble (sables, silts, voire argiles) en l'absence de discontinuité marquée. Par ailleurs, plusieurs glissements rotationnels peuvent s'emboiter et former un glissement circulaire complexe. L'apparition d'un premier glissement en bas de pente entraîne une perte de butée pour les terres situées au-dessus et provoque des glissements successifs remontant vers l'amont : on parle d'évolution régressive (Phillipponnat G. *et al*., 2008) (Illustration 9).

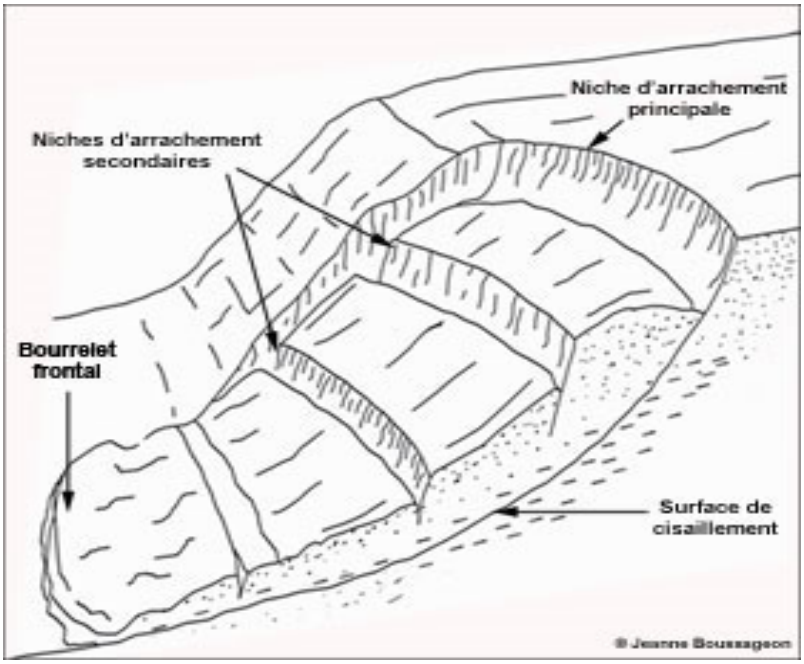


Illustration 9 : Bloc diagramme d'un glissement rotationnel complexe.

2.3. FACTEURS DE PRÉDISPOSITION, AGGRAVANTS ET DÉCLENCHEURS

Ces trois facteurs (prédisposition, aggravant et déclencheur) conditionnent la probabilité d'occurrence des glissements de terrain. Il est donc indispensable de définir leur rôle et leur poids respectif dans l'initiation de ces phénomènes.

2.3.1. Facteurs de prédisposition

Il s'agit de l'ensemble des facteurs précurseurs rendant une zone favorable au déclenchement d'un glissement de terrain.

La pente : une pente minimale est nécessaire. De manière générale, toutes les pentes supérieures à 5 % (2,8°) sont susceptibles de connaître une instabilité. Le phénomène le plus courant est la reptation. Toutefois, au-delà de 20 %, ce phénomène peut être relayé par des glissements pelliculaires ou des glissements rotationnels (Cartannaz C. *et al.*, 2009). L'exploitation des données de l'inventaire départemental sur les mouvements de terrain et des recherches bibliographiques complémentaires montre que l'occurrence de glissements au-dessous d'une pente de 6 % est très faible sur le secteur de la zone d'étude.

La morphologie des terrains : dans le cas de formations argileuses, l'équilibre des terrains est plus fragile au niveau des lignes de crête ou de thalweg.

La lithologie : de manière générale, les formations argileuses et marneuses sont davantage prédisposées aux glissements de terrain. Toutes les formations aux caractéristiques mécaniques faibles (formations de pente comme les éboulis et les colluvions, altérites, remblais mal compactés,…) confèrent aux terrains une susceptibilité forte aux glissements.

Les mouvements anciens et récents : l'existence de mouvements de terrains avérés, qu'ils soient anciens ou récents constitue un facteur aggravant classique. Les secteurs impactés par ces phénomènes sont susceptibles de subir la poursuite de ces derniers ou leur réactivation dans le cas de mouvements anciens.

2.3.2. Facteurs aggravants

Il s'agit de l'ensemble des facteurs qui augmentent la probabilité d'occurrence d'un glissement de terrain sur une zone précise.

La végétation : l'absence de végétation arborée est un facteur aggravant très classique dans le cas des glissements superficiels. Le système racinaire contribue à « armer » la frange superficielle de terrain entre 1 m et 1,50 m de profondeur selon les espèces et surtout réduit les infiltrations d'eau météorique et donc la teneur en eau du sol. Une mauvaise gestion forestière peut donc conduire à fragiliser les terrains et favoriser les glissements. Néanmoins, la présence de végétation ne garantit en rien la stabilité des terrains.

L'eau : la présence de zones humides provoque une perte de cohésion locale dans les formations meubles à matrice fine (silts et argiles). Une élévation du niveau de la nappe, entraîne une baisse de la résistance au cisaillement dans les horizons frottant. L'existence de biseaux ou interlits aquifères, entre des formations argileuses, favorise le développement de surpressions interstitielles réduisant leur résistance au cisaillement.

Les anciennes carrières d'emprunts : en particulier dans les cailloutis du Sundgau sur les versants, ont laissé des fronts de taille verticaux qui peuvent atteindre localement 10 m de haut. L'érosion de ces gradins dans des matériaux légèrement cohérents à court terme, peut sous l'action combinée des eaux météoriques et des écoulements de la nappe des cailloutis, être à l'origine de ruptures.

Le pendage aval : la présence d'un pendage au sein des couches de la série grise peut, dans le cas d'une absence de butée de pied, entraîner l'apparition de mouvement de terrain superficiel par « appel au vide ».

2.3.3. Facteurs déclenchants

Il s'agit de l'ensemble des facteurs susceptibles, par leur présence de déclencher un glissement de terrain.

Les précipitations : les précipitations de longue durée ou les périodes de fonte des neiges sont le principal déclencheur naturel des glissements de terrain. Elles augmentent la teneur en eau des sols à matrice fine, et font donc chuter la résistance de ces sols au cisaillement. D'autre part, elles contribuent à la remontée de nappes favorisant alors la mise en pression des aquifères captifs et donc le décollement de la masse potentiellement instable.

Les séismes : les séismes peuvent être un facteur déclenchant des glissements de terrain. La zone d'étude présente un aléa sismique moyen (niveau 4/5).

L'érosion naturelle (ruissellements, érosion des berges) : l'érosion de berges et le ruissellement peuvent saper le pied des talus et ainsi modifier l'équilibre naturel du versant à l'origine d'un glissement de terrain.

Un déboisement intempestif : il induit la suppression du système racinaire qui retenait les terrains, ce qui peut engendrer des glissements de terrains superficiels.

Une action anthropique sur le relief : toute modification du relief contribue à changer les conditions naturelles d'équilibre du terrain. Un remblaiement, même limité, à l'amont du versant à pente modérée, peut parfois se traduire par le développement d'un mouvement de terrain (reptation, glissements plans ou circulaires). Un déblaiement en aval des terrains inclinés est souvent l'élément déclencheur de glissements plans ou circulaires. Dans certains cas (formation argileuse saturée), un remblai en pied de talus peut être néfaste car il crée des surpressions interstitielles propices à la mise en mouvement des terrains.

Une action anthropique : il s'agit essentiellement des dispositions anthropiques qui favorisent l'infiltration en masse des eaux météoriques dans le sol (drain perdu, retenue d'eau en amont du versant) et modifient les conditions d'équilibre du versant. Lorsqu'elles sont mal maîtrisées, elles peuvent engendrer des glissements.

3. Caractérisation de l'aléa

La cartographie de l'aléa s'effectue par étapes successives tout en respectant les recommandations du Guide Méthodologique pour l'élaboration des PPR mouvements de terrain (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement - Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement, 1999).

La cartographie de l'aléa est fondée sur :

- l'analyse de la susceptibilité des formations géologiques à l'apparition d'un mouvement de terrain dans une configuration de pente précise.

La susceptibilité correspond à la prédisposition d'un site à produire un évènement donné dans un délai retenu (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement - Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement, 1999).

- l'intensité attendue des mouvements de terrain définie d'après les évènements historiques recensés.

L'intensité correspond à 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).

Plusieurs documents cartographiques sont élaborés pour aboutir à la carte de susceptibilité qui résulte du croisement entre :

- les pentes ;
- la géologie ;
- les facteurs aggravants, notamment l'hydrologie, les pendages avals ou encore la présence de mouvement de terrains contemporains ou anciens.

Les différentes étapes de caractérisation de l'aléa vont être détaillées, les documents cartographiques relatifs sont présentés en annexe.

3.1. CARTE DES PENTES

Les pentes ont été calculées à partir du MNT à 25 m de l'IGN. Le MNT à 25 m a été sélectionné car il permet une vision plus lissée de la pente et une meilleure estimation de la susceptibilité liée au relief[3].

L'analyse de la base de données des mouvements de terrain recensés à proximité de la zone d'étude a permis de définir les classes de pente suivantes pour la qualification de l'aléa (Grabenstaetter, 2019).

- 0 à 6 % ou 0° à 3,5°(bleu) ;
- 6 à 11 % ou 3,5° à 6,3°(vert) ;
- 11 à 20 % ou 6,3° à 11,3°(jaune) ;
- 20 à 30 % ou 6,3° à 16,7°(orange) ;
- 30 à 50 % ou 16,7° à 26,5° (rouge) ;
- > 50 % ou > 26,5° (violet).

La carte des pentes est présentée en Annexe 1.

3.2. CARTE LITHOLOGIQUE

La distinction entre les formations superficielles grossières et fines est cruciale car leurs propriétés géotechniques sont différentes. Les formations superficielles fines engendrent un niveau d'aléa plus élevé que les formations grossières (Mathon, Fourniguet, et Nédellec, 2005).

La carte lithologique, issue d'un croisement entre la carte géologique harmonisée au 1/50 000 du BRGM et des observations réalisées sur le terrain, présente les contours des formations géologiques regroupées en 4 catégories :

- la catégorie « Fines sur marnes » comprend l'ensemble des formations marneuses de la Série grise, recouvertes de formations de pente et de colluvions ;
- la catégorie « Lœss » comprend l'ensemble des formations des plateaux de type lœss et lehms ;
- la catégorie « Alluvions » comprend l'ensemble des formations alluviales et de thalwegs ;
- les cailloutis du Sundgau sont décrits comme une formation grossière.

Ces deux formations sont regroupées au sein des tableaux de qualification de l'aléa.

- La dernière catégorie correspond aux contours des formations calcaires.

La carte lithologique est présentée en Annexe 2.

[3] En effet, compte tenu de la méthode engagée pour cette étude, l'utilisation d'un LIDAR trop précis présente un risque de sous-estimation localisée de la susceptibilité, notamment dans le cas de figure de glissements d'emprise importante présentant une zone de propagation de faible pente entre la cicatrice d'arrachement et le bourrelet frontal (Grabenstaetter, 2019)

À partir de ces quatre catégories, trois classes de formations affleurantes sont déterminées suivant leur susceptibilité croissante. Les formations fines sont plus susceptibles de glisser que les formations grossières. Les différentes formations observées ont donc été classées de la plus susceptible à la moins susceptible avec le résultat suivant (Grabenstaetter, 2019).

Classe de formations affleurantes	Niveau de susceptibilité croissant	Description lithologique
Grossières seules	1	Cailloutis du Sundgau Colluvions de pente Alluvions de l'Ill
Fines sur marnes	2	Formations superficielles sur marnes de l'Oligocène
Fines seules	2	Forte épaisseur de lœss ou de lehms

Tableau 1 : Caractérisation de la susceptibilité en fonction de la lithologie.

3.3. CARTOGRAPHIE DES FACTEURS AGGRAVANTS ET HYDROLOGIQUES

Cette carte recense l'ensemble des phénomènes aggravant repérés sur le terrain ou issus des recherches bibliographiques.

Chaque glissement de terrain observé est indicé. Le numéro renvoie à une description dans un tableau (Annexe 3) qui précise notamment la nature du phénomène (glissements, indice hydrologique,…), la source d'information et une description.

Les sources d'information utilisées sont :

- la Banque de données du Sous-Sol (BSS) gérée par le BRGM ;
- les archives du BRGM (rapports, cartes géologiques) ;
- l'inventaire mouvements de terrain du Haut-Rhin réalisé par le BRGM ;
- les observations réalisées lors des campagnes de terrain.

La cartographie des facteurs aggravant et le tableau de synthèse sont présentés en Annexe 3.

3.4. ÉVALUATION DE LA SUSCEPTIBILITÉ

Pour définir les différentes zones de susceptibilité, un croisement a été fait entre les mouvements de terrains observés, les pentes, les formations affleurantes et les facteurs aggravants. À chacune de ces zones est attribué un niveau d'aléa en fonction des combinaisons opérées dans la matrice suivante (Tableau 2).

Ainsi, chaque zone fait l'objet d'un classement en susceptibilité selon les critères préalablement définis :

- les pentes : six classes de pentes de 0 à 100 %. La gradation des niveaux d'aléa s'est faite en fonction des pentes. Plus la pente est élevée, plus la susceptibilité augmente. En deçà de 6 % et sans facteur aggravant, il n'est pas décrit de glissements en bibliographie. La susceptibilité est donc supposée nulle ;

- la nature des formations affleurantes (fines sur marnes, fines seules, grossières seules). La présence de fines entraîne un niveau de susceptibilité plus importante que lorsque les formations sont plus grossières ;
- la présence ou l'absence d'un facteur aggravant. Il peut s'agir de l'hydrologie, ou d'un mouvement de terrain de petite ampleur. Ces derniers contribuent à augmenter le niveau de susceptibilité. Le choix de l'incrémentation de la susceptibilité à partir des facteurs aggravants relève de l'appréciation de l'expert (Tableau 3).

Matrice de susceptibilité	Géologie		Zone d'étude : secteur d'Altkirch - Hirsingue (68)					
			Pentes (%)					
			0-6%	6-11%	11-20%	20-30%	30-50%	50-100%
	Formations affleurantes	Fines sur Marnes	Supposé nul	Faible	Moyen	Fort	Fort	Fort
		Lœss (formations fines)	Supposé nul	Supposé nul	Faible	Moyen	Moyen	Fort
		Cailloutis Sundgau	Supposé nul	Supposé nul	Faible	Moyen	Moyen	Fort
		Calcaire	Supposé nul	Supposé nul	Supposé nul	Supposé nul	Supposé nul	Supposé nul

Tableau 2 : Matrice de caractérisation de la susceptibilité (Grabenstaetter, 2019).

Matrice de susceptibilité en présence de facteurs aggravants	Géologie		Zone d'étude : secteur d'Altkirch - Hirsingue (68)					
			Pentes (%)					
			0-6%	6-11%	11-20%	20-30%	30-50%	50-100%
	Formations affleurantes	Fines sur Marnes	Faible	Moyen	Fort	Fort	Fort	Fort
		Lœss (formations fines des	Faible	Faible	Moyen	Fort	Fort	Fort
		Cailloutis Sundgau	Faible	Faible	Moyen	Fort	Fort	Fort
		Calcaire	Supposé nul	Supposé nul	Supposé nul	Supposé nul	Supposé nul	Supposé nul

Tableau 3 : Matrice de caractérisation de la susceptibilité en présence de facteurs aggravants (Grabenstaetter, 2019).

La carte de susceptibilité est présentée en Annexe 4.

3.5. CARACTÉRISATION DE L'ALÉA

Un scénario de référence a été défini précédemment afin de définir l'intensité d'un mouvement de terrain « type » sur la zone d'étude. D'après l'emprise et les dommages attendus selon le scénario de référence, l'intensité de mouvements de terrains probables sur le secteur d'étude est moyenne (Grabenstaetter, 2019).

Le Tableau 4 permet de qualifier le niveau d'aléa en fonction de la susceptibilité.

Intensité / Probabilité d'occurrence	Faible	Moyenne	Forte	Majeure
Nulle	1	1	1	1
Faible	1	2	3	4
Moyenne	2	3	3	4
Forte	2	3	4	4

Tableau 4 : Matrice de caractérisation de l'aléa.

L'aléa est défini tel que :

- 1 = Aléa faible ;
- 2 = Aléa modéré ;
- 3 = Aléa fort ;
- 4 = Aléa très fort.

D'après la matrice de caractérisation de l'aléa, sur le secteur d'étude, trois niveaux d'aléa vont être appliqués :

- aléa fort : phénomènes potentiels dont le coût des parades est très élevé et/ou techniquement difficile à mettre en œuvre. En cas d'intervention anthropique, le phénomène peut apparaître de manière à dépasser très largement le cadre de la parcelle où les travaux étaient en cours ou ont été réalisés ;
- aléa modéré : les phénomènes potentiels sont d'ampleur réduite. Les parades financières restent supportables par un groupe restreint de propriétaires (immeubles collectifs, petits lotissements). En cas de perturbation anthropique, un phénomène de même niveau ou de niveau inférieur peut se propager au-delà de la zone de travaux ;
- aléa faible : les phénomènes potentiels sont d'ampleur très réduite. Concernant le budget des parades, il est acceptable par un propriétaire individuel. Une action humaine peut néanmoins entraîner un glissement de faible ampleur, qui restera en général limité à la zone de travaux.

En accord avec la DDT 68, un niveau d'aléa « très fort » a également été représenté sur la carte d'aléa définitive. Ce zonage d'aléa concerne les zones où des mouvements de terrains sont avérés. Cette classe additionnelle de l'aléa permettra de nuancer les prescriptions réglementaires.

3.6. APPLICATION DES ZONES TAMPONS

Une zone tampon de 25 m a été tracée autour des zones d'aléa fort et modéré. L'existence de cette zone tampon est justifiée par :

- dans le cas où un glissement de terrain prendrait naissance dans une zone d'aléa fort, il pourrait se propager en pied sur plusieurs mètres (et dépasser la zone à forte susceptibilité), de même, une érosion régressive pourrait se mettre en place en amont ;
- la distance de 25 m est dictée à dire d'expert en l'absence de données historiques suffisante pour déterminer une enveloppe de propagation « type ».

La carte d'aléa obtenue par application des étapes susmentionnées est présentée en Annexe 5.

4. Exemples de préconisation et prescription réglementaires impactant l'urbanisme

L'ensemble des mesures proposées ci-dessous proviennent d'études menées précédemment par le BRGM Grand Est dans le cadre de la réalisation de carte d'aléa dans un contexte similaire.

4.1. MESURES GÉNÉRALES APPLICABLES À TOUT LE TERRITOIRE

Les recommandations générales qui suivent sont applicables sur l'ensemble de l'emprise de l'étude quel que soit le classement réglementaire des terrains dans le 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 eaux pluviales doivent être collectées par des réseaux d'assainissement appropriés (fossés, drainage,…) et évacuées vers des exutoires capables de les recevoir. Les gestionnaires de ces réseaux veilleront à assurer la surveillance et l'entretien des ouvrages ;
- les sols particulièrement soumis aux risques d'érosion doivent être plantés d'espèces végétales stabilisatrices et anti-érosives afin de contrer les mouvements de type fluage et reptation.

4.2. EXEMPLES DE DISPOSITIONS GÉNÉRALES APPLICABLES À L'ENSEMBLE DE LA ZONE D'ÉTUDE

Par ailleurs, les dispositions générales suivantes sont applicables à l'ensemble de la zone d'étude.

SONT INTERDITS

- 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 %, à l'exception de ceux réalisés en accord des services compétents (ONF, etc.) et concernant notamment les remises en terre agricole de friches.

PRESCRIPTIONS RELATIVES AUX RÈGLES DE CONSTRUCTION

- ***Prescriptions relatives aux eaux usées, pluviales ou de drainage***

Les eaux récupérées par le drainage, les eaux pluviales éventuellement collectées ainsi que les eaux usées seront évacuées dans les réseaux existants ou vers un émissaire naturel capable de recevoir un débit supplémentaire sans aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux (augmentation de l'érosion dans les exutoires naturels, saturation du réseau, inondation, glissement ou effondrement de terrains).

Les ouvrages de collecte, de traitement et de rejet devront être régulièrement entretenus et surveillés par leur propriétaire notamment après chaque forte précipitation.

- ***Prescriptions relatives aux aménagements extérieurs***

Des soutènements, dispositifs anti-érosion ou toute autre disposition assurant la stabilité doivent être envisagés pour tout talus de déblai de hauteur supérieure à 2 mètres. Les ouvrages de soutènement qui seraient nécessaires doivent être calculés suivant les règles de l'art.

Lors de la création de talus, des mesures de protection des personnes et des biens doivent 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.

Dans tous les cas, les terrassements ou talutages seront réalisés avec des soutènements dimensionnés, adaptés au contexte géotechnique et géologique et seront drainés. Le dimensionnement de ces ouvrages se fera avec l'appui d'une étude géotechnique de type G2 PRO selon la norme NF P 94-500 de novembre 2013.

4.3. ÉTUDES TECHNIQUES PRÉALABLES

Dans certaines zones du PPR, du fait de l'intensité et la fréquence de l'aléa, la constructibilité est conditionnée à la réalisation d'une étude technique préalable destinée à rendre compatible le projet (constructions, installations, ouvrages ou équipements) avec le risque considéré. Cette étude devra déterminer les conditions de réalisation, d'utilisation ou d'exploitation du projet (adaptations du projet au site) et préciser que ce projet prend en compte ces conditions au stade de la conception.

Ainsi, le pétitionnaire d'une demande d'autorisation de construire ou d'aménager devra 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.

Cette étude devra être réalisée par un bureau d'études techniques 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 (chutes de blocs, éboulements, glissements, fluages, solifluxion, effondrements, coulées de boue) 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 (bassin de risque) ;
- 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 (étude géotechnique préalable), G2 (étude géotechnique de conception) ou G5 (diagnostic géotechnique) selon la norme NF P94-500 de novembre 2013. Le contenu de ces missions est détaillé dans les tableaux des Illustration 10 et Illustration 11.

On entend par bassin de risque :

- la parcelle sur laquelle sera réalisé le projet proprement dit ;
- les terrains en amont, en aval ou latéraux au sein desquels :
  - tout mouvement de terrain en se propageant pourrait induire des conséquences préjudiciables sur le projet,
  - le projet pourrait de lui-même générer des instabilités,
  - 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 du bassin de risques considéré, 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 ;
- les facteurs aggravants pouvant favoriser le déclenchement de ces phénomènes : par exemple la présence de surcharge amont (route, bâtiment, remblai), de rejets d'eau mal maîtrisés, d'assainissement non collectif pouvant induire une saturation permanente des terrains, de terrassements non contrôlés, etc. ;
- 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.

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

Illustration 10 : Enchainement des missions d'ingénierie géotechnique selon la norme géotechnique NF P-94-500 de novembre 2013.

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

ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)

ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

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 :

Phase Étude

— 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.

Phase Suivi

— 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)

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

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 :

Phase Supervision de l'étude d'exécution

— 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.

Phase Supervision du suivi d'exécution

— 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.

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

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.

— 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).

Illustration 11 : Classification des missions d'ingénierie géotechnique selon la norme géotechnique NF P-94-500 de novembre 2013.

4.4. SECTEUR D'ALÉA TRÈS FORT

Il s'agit des zones où des glissements de terrain sont connus ou ont été observés lors des reconnaissances de terrains.

De manière générale, l'état boisé des terrains doit être maintenu et la réalisation d'une étude sur la stabilité du sol par un bureau qualifié dans le cas de coupes rases est à réaliser. L'étude technique devra évaluer l'impact du déboisement sur l'aléa érosion du sol et proposer des parades afin de réduire cet aléa (lutte contre les ravinements qui sont souvent à l'origine de glissement superficiels voire de coulées de boue).

Compte tenu de l'importance de l'intensité de l'aléa (très fort), il est proscrit de construire toute nouvelle construction dans ces secteurs. Une urbanisation dans ces secteurs peut réactiver un ancien phénomène ou en provoquer un nouveau avec une extension de ce dernier en dehors des zones de travaux (Cruz-Mermy, 2009).

Les principes généraux qui s'appliquent aux zones d'aléas forts sont les suivants :

- l'interdiction des nouvelles constructions ;
- la non-augmentation de la population exposée ;
- la non-aggravation des risques.

4.5. SECTEUR D'ALÉA FORT

De manière générale, l'état boisé des terrains devrait être maintenu et dans le cas de coupes rases, une étude sur la stabilité du sol par un bureau qualifié est indispensable. L'étude devra évaluer l'impact du déboisement sur l'aléa érosion du sol et proposer des parades afin de réduire cet aléa (lutte contre les ravinements qui sont souvent à l'origine de glissement superficiels voire de coulée de boue).

De même, la création de toute retenue d'eau est interdite (bassin, piscine, étang…). En cas de défaut, un apport d'eau massif dans des secteurs d'aléa fort se traduirait de manière très probable par l'occurrence d'un glissement de terrain.

4.5.1. Cas de constructions nouvelles

Les zones à aléa fort sont réputées inconstructibles, cependant, dans certains cas de figure, ces zones sont urbanisables sous conditions. Les principes généraux qui s'appliquent sur ces zones sont les suivants :

- permettre une densification de l'habitat ou l'ouverture de nouvelles opérations d'aménagement tout en intégrant les risques mouvements de terrain dès la conception des projets via une étude spécifique ;
- ne pas aggraver l'aléa ni dégrader les conditions d'écoulement.

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 mesures suivantes sont autorisées :

- 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 aménagements liés à la desserte collective de parcelles, à condition de démontrer la non-aggravation des risques naturels, 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 talus et soutènements d'une hauteur n'excédant pas hors sol 2 m ou justifiés par une étude géotechnique de dimensionnement si leurs hauteurs dépassent hors sol les 2 m. L'étude précisera les conditions dans lesquelles le projet sera rendu compatible avec l'aléa considéré et ce sans préjudice du droit des tiers ;
- les opérations d'aménagement au sens du code de l'urbanisme sous réserve de réaliser une étude technique préalable afin de déterminer les conditions de réalisation des aménagements projetés.

Au moment du dépôt du permis d'aménager, une attestation établie par l'architecte du projet ou un expert sera exigée en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme afin de s'assurer de la réalisation de cette étude préalable et de la conformité du projet avec ses prescriptions. Pour les opérations d'aménagement de type ZAC, l'étude d'impact du dossier de création de la ZAC devra intégrer un volet risques naturels qui explicitera les contraintes liées aux différents aléas et précisera les mesures de sécurisation nécessaires. Le programme des équipements publics joint au dossier de création de la ZAC devra comprendre les travaux et ouvrages de protections nécessaires à la sécurisation de la zone :

- l'aménagement de stationnements individuels liés à un logement ou de surfaces imperméabilisées, sous réserve de ne pas empêcher le libre écoulement des eaux et de collecter et évacuer vers les réseaux publics les eaux pluviales et de ruissellement ;
- les systèmes d'épuration autonomes individuels sont autorisés sous réserve de la réalisation d'une étude de faisabilité. Une attestation établie par l'architecte du projet ou un expert sera exigée en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme afin de s'assurer de la réalisation de cette étude préalable traitant notamment de l'infiltration vis-à-vis des aléas mouvements de terrain, et de la conformité du projet avec ses prescriptions ;
- les constructions et installations nécessaires à l'exploitation agricole ou forestière, sous réserve de réaliser une étude technique préalable afin de déterminer les conditions de réalisation des constructions projetées. Au moment du dépôt du permis de construire ou d'aménager une attestation établie par un architecte ou un expert agréé sera exigée en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme afin de s'assurer de la réalisation de cette étude préalable et de la conformité du projet avec ses prescriptions ;
- la création ou l'aménagement de stationnements souterrains et de sous-sols sous réserve de garantir une stabilité géotechnique, afin d'assurer une sécurité totale pour les biens et les personnes. Pour cela une étude préalable permettant de déterminer les conditions de réalisation et d'utilisation est exigée. En application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme, une attestation établie par l'architecte du projet ou l'expert certifiant la réalisation de cette étude est exigée lors du dépôt du dossier de demande d'autorisation ;
- les espaces verts, sous réserve que toutes les dispositions techniques relatives à la nature du ou des risques soient prises dès la conception selon l'article R.431-16 du code de l'urbanisme ;
- les équipements légers de loisir et de plein air (kiosques, sanitaires publics), les installations à vocation sportive et les aménagements associés, sous réserve de la réalisation d'une étude technique préalable visant à adapter le projet à l'aléa considéré. Au moment du dépôt du permis, une attestation établie par un l'architecte du projet ou un expert sera exigée en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme ;

- les travaux d'infrastructures, réseaux techniques (eau, assainissement, électricité, télécommunication, etc.), locaux techniques et installations nécessaires au fonctionnement des services publics ou des services destinés au public, notamment les travaux de desserte routière ou piétonne, l'implantation de mobilier urbain à condition d'être ancré dans le sol, sous réserve que le maître d'ouvrage prenne les dispositions appropriées aux risques selon l'article R.431-16 du code de l'urbanisme ;
- l'installation d'unités de production d'énergie renouvelable, sous réserve du respect de la prise en compte des prescriptions, d'une étude technique préalable associée à une étude d'impact exigée réglementairement par le code de l'environnement, dont l'objectif est de minimiser l'impact du projet sur les différents aléas selon l'article R.431-16 du code de l'urbanisme.

Toute construction nouvelle doit être conçue pour résister au fluage.

4.5.2. Cas de constructions existantes

Dans le cas d'une modification d'un logement qui augmente l'importance de l'enjeu ainsi que sa vulnérabilité, une attestation, signée d'un expert justifiant d'études techniques réalisées par un professionnel est nécessaire et indispensable.

En cas de modification ou de création d'ouvertures sur des bâtiments existants qui entraînent une modification de structure, une étude signée par un professionnel de la construction attestant de la prise en compte du problème de descente de charge est également indispensable.

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'elles n'accroissent pas les risques et leurs effets, qu'elles ne provoquent pas de nouveau risque ni n'augmentent la vulnérabilité des biens et activités, sont 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 présent plan, notamment les aménagements intérieurs, les traitements et ravalements de façade, les modifications d'aspect extérieur, les réfections et réparations de toitures ;
- les constructions et extensions nouvelles au sol à usage d'habitations, de locaux d'activités et de commerces sous réserve de réaliser une étude technique préalable afin de déterminer les conditions de réalisation des constructions projetées. Au moment du dépôt de la demande, une attestation établie par l'architecte du projet ou un expert sera exigée en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme afin de s'assurer de la réalisation de cette étude préalable et de la conformité du projet avec ses prescriptions ;
- les extensions par surélévation des habitations, des hébergements, des commerces et activités sous réserve de réaliser une étude technique préalable afin de déterminer les conditions de réalisation des constructions projetées. Une attestation établie par l'architecte du projet ou un expert sera exigée en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme afin de s'assurer de la réalisation de cette étude préalable et de la conformité du projet avec ses prescriptions ;

- la création et l'extension des établissements sensibles, en particulier les établissements recevant du public (ERP), à la condition de réaliser une étude technique préalable afin de déterminer les conditions de réalisation des constructions projetées. Une attestation établie par l'architecte du projet ou un expert sera exigée en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme afin de s'assurer de la réalisation de cette étude préalable et de la conformité du projet avec ses prescriptions ;
- Les éventuelles retenues d'eau existantes antérieurement à la parution du plan de prévention des risques devront pouvoir justifier de la prise en compte du risque par la mise en œuvre de drainage périphérique, avec rejet dans le réseau communal ou dans une zone non sensible en cas de fuite.

4.6. SECTEUR D'ALÉA MOYEN

Dans les zones d'aléa moyen, d'une manière générale, les aménagements et constructions sont autorisées sous réserve de respecter les dispositions et mesures de prévention d'ordre général détaillées dans le chapitre 4.1.

Pour les projets de grande ampleur tels que immeubles collectifs, surfaces commerciales ou lotissements qui peuvent entrainer des hauteurs de décaissement ou de remblaiement supérieures à 2 m (fondations, terrassements, remblais, etc.), une étude technique, qui visera à évaluer l'impact du projet sur la stabilité de l'unité foncière et des parcelles adjacentes, et définira les moyens de conserver cette stabilité y compris en phase de travaux est à réaliser.

La réalisation de retenues d'eau, de piscines et de bassins est envisageable sous réserve que le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre fassent apparaître dans le projet une étude justifiant de la prise en compte du risque par la mise en œuvre de drainage périphérique, avec rejet dans le réseau communal ou dans une zone non sensible en cas de fuite.

4.7. SECTEUR D'ALÉA FAIBLE

L'exploitation des données de l'inventaire départemental sur les mouvements de terrain et des recherches bibliographiques complémentaires montre que l'occurrence de glissements au-dessous de cette valeur est très faible.

Aucune prescription particulière n'est édictée si ce n'est de respecter le principe de précaution qui consiste à éviter de générer des aléas par la réalisation d'aménagements non contrôlés. Les mesures et dispositions générales s'appliquent à tout le territoire y compris dans les zones d'aléa faible.

Même si ces zones ne sont pas réglementées, les règles de l'art et les règlements usuels en terme de construction s'y appliquent (Documents techniques Unifiées, Normes, etc.).

5. Limites de l'interprétation

5.1. VALIDITÉ DANS LE TEMPS

La présente étude a été menée en 2018. Elle est fondée sur l'analyse des sources documentaires disponibles à cette date et sur l'exploitation des évènements connus. Elle est donc le reflet des connaissances du moment. La prise en compte ultérieure de données non connues ou non disponibles en 2018 (investigations, phénomènes, archives, témoignages, etc.) peut conduire à une révision des critères d'analyses de la susceptibilité, de l'aléa et de la carte associée.

D'autre part, si les paramètres permanents (géologie, topographie, hydrologie, etc.) sont relativement bien connus, l'impact d'un évènement 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 moyen voire faible peut se révéler sujette à un glissement de terrains lors de tels évènements.

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

5.2. RECOMMANDATIONS D'UTILISATION ET DOMAINE DE VALIDITÉ DES CARTES

La carte d'aléa est élaborée à l'échelle du 1/5 000 sur le fond cadastral. Pour l'utilisation de la carte d'aléa, il convient d'exploiter cette cartographie en tenant compte d'une certaine marge d'imprécision De fait, il faut affecter à toute la parcelle du cadastre le niveau d'aléa maximal présent sur le périmètre de la parcelle.

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.

En ce qui concerne les zones d'aléa faible, moyen et fort, bien que les différentes cartographies intermédiaires (géologie, hydrologie et contextes de phénomène) soient effectuées à l'échelle du 1/5 000, la précision de la carte d'aléa est conditionnée par le Modèle Numérique de Terrain au pas de 25 m. Aussi, tout contexte local inférieur au pas de 25 m n'est pas forcément identifié sur la carte.

Les zones d'aléa très fort ont cependant fait l'objet d'une cartographie plus précise. Aussi, les contours de l'aléa très fort peuvent être lus avec une précision cadastrale au 1/5 000.

6. Conclusion

Suite à l'occurrence de deux glissements de terrains majeurs en 2006 et 2009, le préfet du Haut-Rhin a, fin 2015, prescrit la réalisation d'un PPRMVT sur une partie de la commune d'Altkirch et des communes attenantes (Hirtzbach, Carspach, Aspach, Hirsingue). La première étape de la réalisation d'un PPRN Mvt est la réalisation de la carte d'aléa pour les mouvements de terrain.

La phase d'inventaire des phénomènes historiques basée sur une recherche bibliographique (Grabenstaetter, 2019) (BSS, rapport d'expertise, BDmvt, etc.) et une reconnaissance de terrain ont permis :

- de préciser la nature et la géométrie des mouvements historiques qui étaient déjà connus dans les différents documents (BDmvt, (Cruz-Mermy, 2009),…) ;
- de référencer neuf nouveaux événements :
  - sept glissements circulaires (dont un en domaine fortement urbanisé),
  - un glissement translationnel,
  - une zone de moutonnement.

L'ensemble des données recueillies a permis d'établir une matrice de susceptibilité puis de caractériser l'intensité des mouvements de terrain attendus sur la zone d'étude (Grabenstaetter, 2019).

La caractérisation de l'aléa réalisée sur la zone d'étude s'appuie principalement sur une méthodologie mettant en relation la lithologie et la pente. Cette méthodologie est enrichie des observations réalisées sur le terrain qui entraine des modifications locales, à dire d'expert, du niveau d'aléa.

Sur la zone d'étude, l'aléa très fort représente 1,3 % du territoire. Il s'agit des zones où des mouvements de terrains sont connus ou ont été observés lors des reconnaissances de terrain. Hormis le glissement situé en zone urbanisée (colline de l'Illberg, nord de la zone d'étude), ces secteurs sont situés en domaine forestier à l'ouest de la zone d'étude sur le versant de la vallée de l'Ill. **En zone d'aléa très fort, le BRGM recommande l'interdiction d'implanter de nouvelles constructions et d'augmenter la population exposée**.

L'aléa fort représente 31 % du territoire. Il s'agit essentiellement des zones où sont cartographiées des formations marneuses et des pentes supérieures à 6 % ainsi que des formations fines et des pentes supérieures à 11 %. Ces zones sont particulièrement concentrées sur les versants de la vallée de l'Ill au nord et à l'est de la zone d'étude. ***Les zones d'aléas fort sont réputées inconstructibles***, cependant, compte tenu du contexte local, **ces zones sont urbanisables *sous conditions***.

L'aléa moyen représente 25,3 % du territoire. Il s'agit essentiellement des zones où sont cartographiées des formations fines ou des formations grossières au sein de pentes supérieures à 20 %. **Ces zones sont urbanisables sous réserve de respecter les dispositions et mesures de prévention d'ordre général**.

Enfin, l'aléa faible représente 31 % du territoire. Il s'agit essentiellement de zones où la pente est inférieure à 11 % (hors marnes), où les pentes sont inférieures à 20 % en présence de formations grossières, ou de secteurs où les formations calcaires ont été observées à l'affleurement. Elles sont principalement situées en fond de vallée et sur le plateau lœssique. **Aucune prescription particulière n'est édictée** si ce n'est de **respecter le principe de précaution** qui consiste à éviter de générer des aléas par la réalisation d'aménagements non contrôlés.

En fonction de l'intensité de l'aléa, des règles de constructibilités plus détaillées ont été proposées pour les constructions neuves et/ou existantes.

7. Bibliographie

Cartannaz C., *et al.* (2009) - Cartographie de l'aléa mouvement de terrain sur la commune d'Ars-Sur-Moselle (57). BRGM/RP-57263-FR.

Cruz-Mermy D. (2009) - Glissement de terrrain lotissement domaine de l'Illberg à Altkirch (68). Rapport final.

Foucault A., Raoult J. (2001) - Dictionnaire de géologie. DUNOD.

Grabenstaetter, L. (2019) - Méthodologie de caractérisation de l'aléa glissement de terrain dans le Sundgau dans le cadre d'un PPR sur le secteur d'Altkirch (68).

Mathon C., Fourniguet G. et Nédellec J. (2005) - Étude technique de caractérisation de l'aléa mouvement de terrain sur la Communauté Urbaine du Grand Nancy (54). BRGM/RP-54369-FR.

Maurin G., Messin M. (2000) - Plan de Prévention des Risques naturels de la vallée de la Largue (Haut-Rhin). Évaluation et cartographie de l'aléa mouvements de terrain. BRGM R 40823.

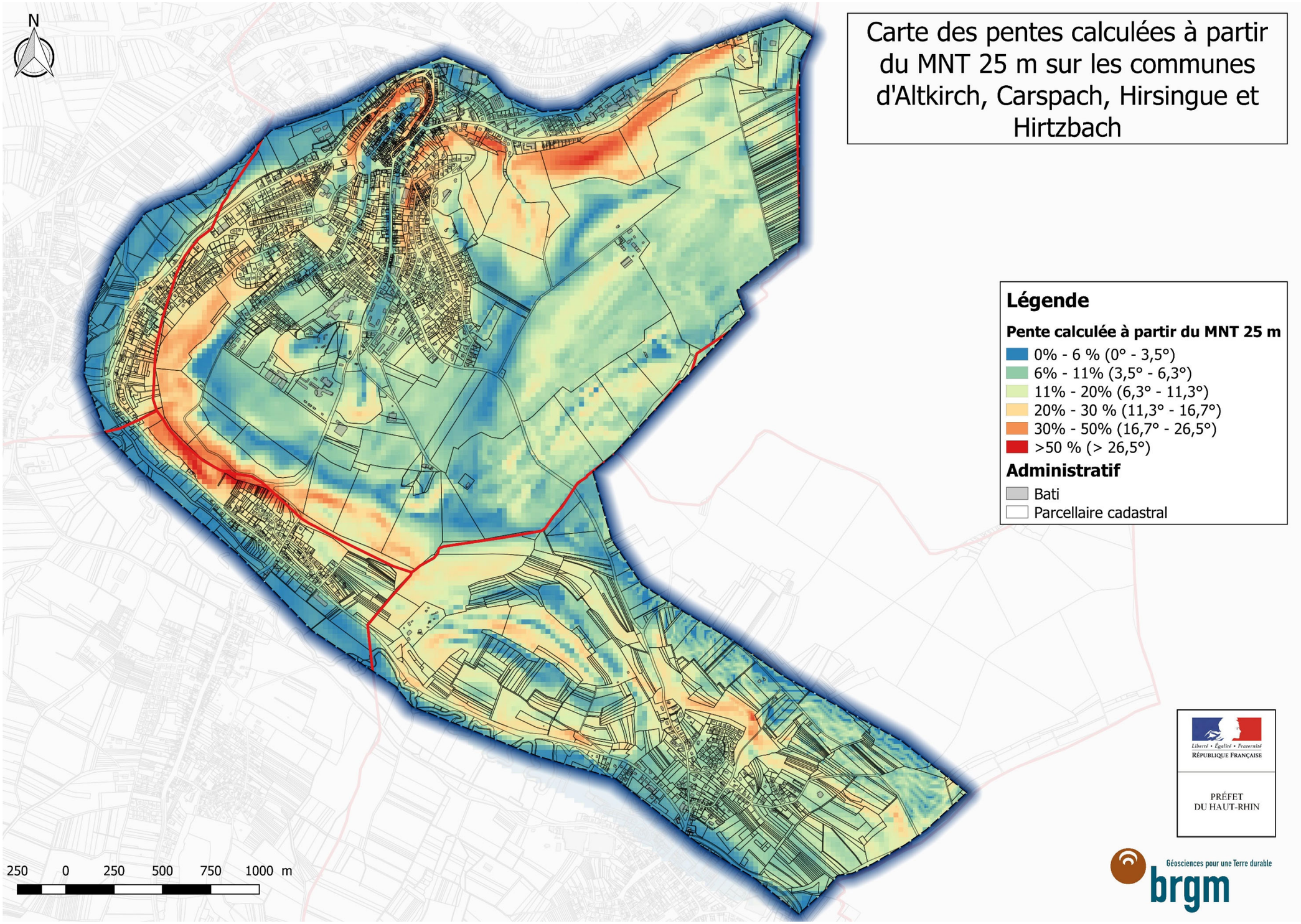
Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement - Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement. (1999) - Guide Méthodologique - Plan de prévention des risques naturels (PPR) - Risques de Mouvements de terrain. La Documentation Française.

Phillipponnat G. *et al.* (2008) - Fondations et ouvrages en terre - Septième tirage. Éditions Eyrolles.

Theobald N. (1958) - Carte géologique d'Altkirch (445) et sa notice. Service Géologique d'Alsace Lorraine.

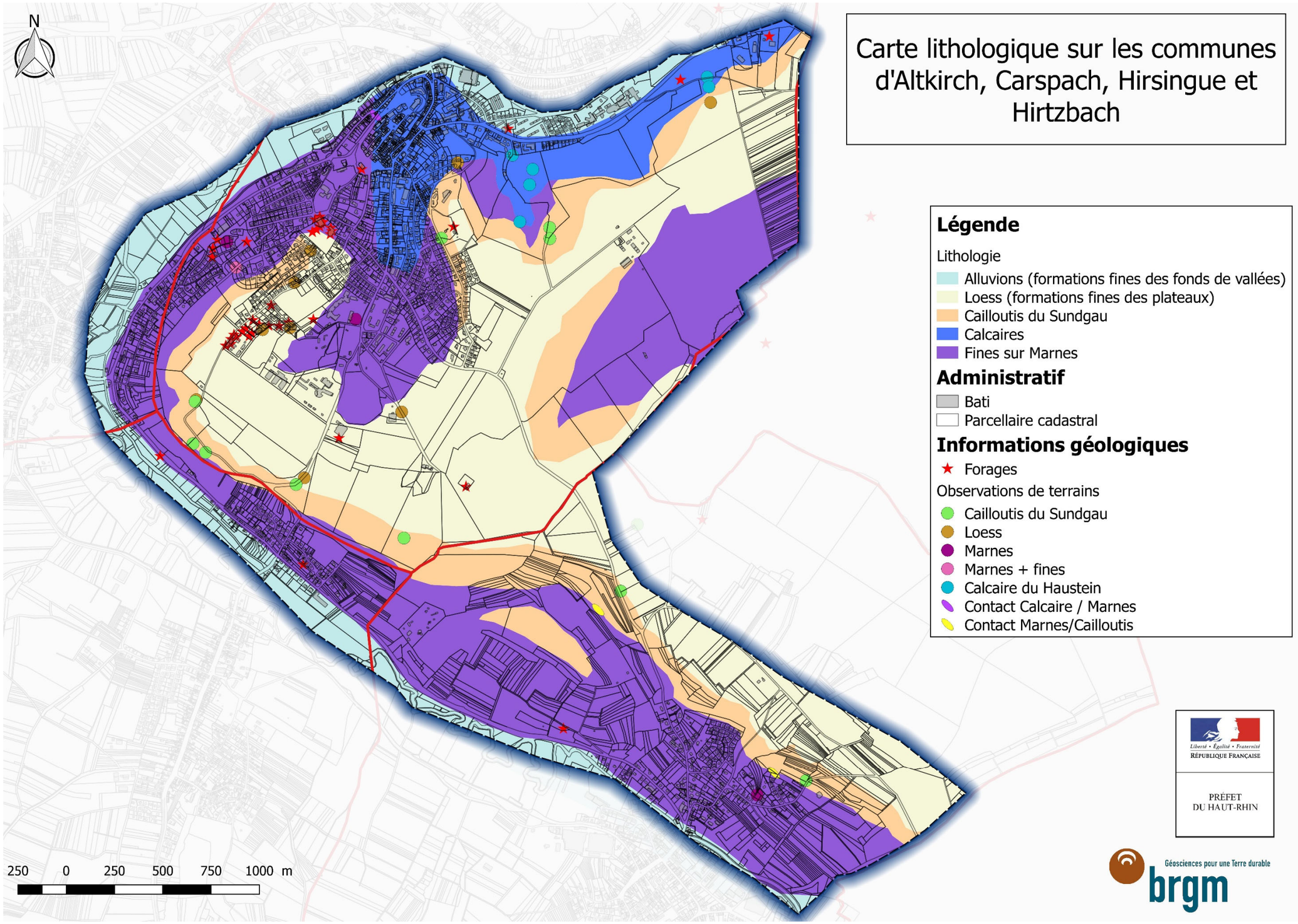
Annexe 1

Carte des pentes issues du MNT 25 m de l'IGN


N
Carte des pentes calculées à partir du MNT 25 m sur les communes d'Altkirch, Carspach, Hirsingue et Hirtzbach
Légende
Pente calculée à partir du MNT 25 m
0% - 6 % (0° - 3,5°)
6% - 11% (3,5° - 6,3°)
11% - 20% (6,3° - 11,3°)
20% - 30 % (11,3° - 16,7°)
30% - 50% (16,7° - 26,5°)
>50 % (> 26,5°)
Administratif
Bati
Parcellaire cadastral
250 0 250 500 750 1000 m
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
PRÉFET
DU HAUT-RHIN
Géosciences pour une Terre durable
brgm

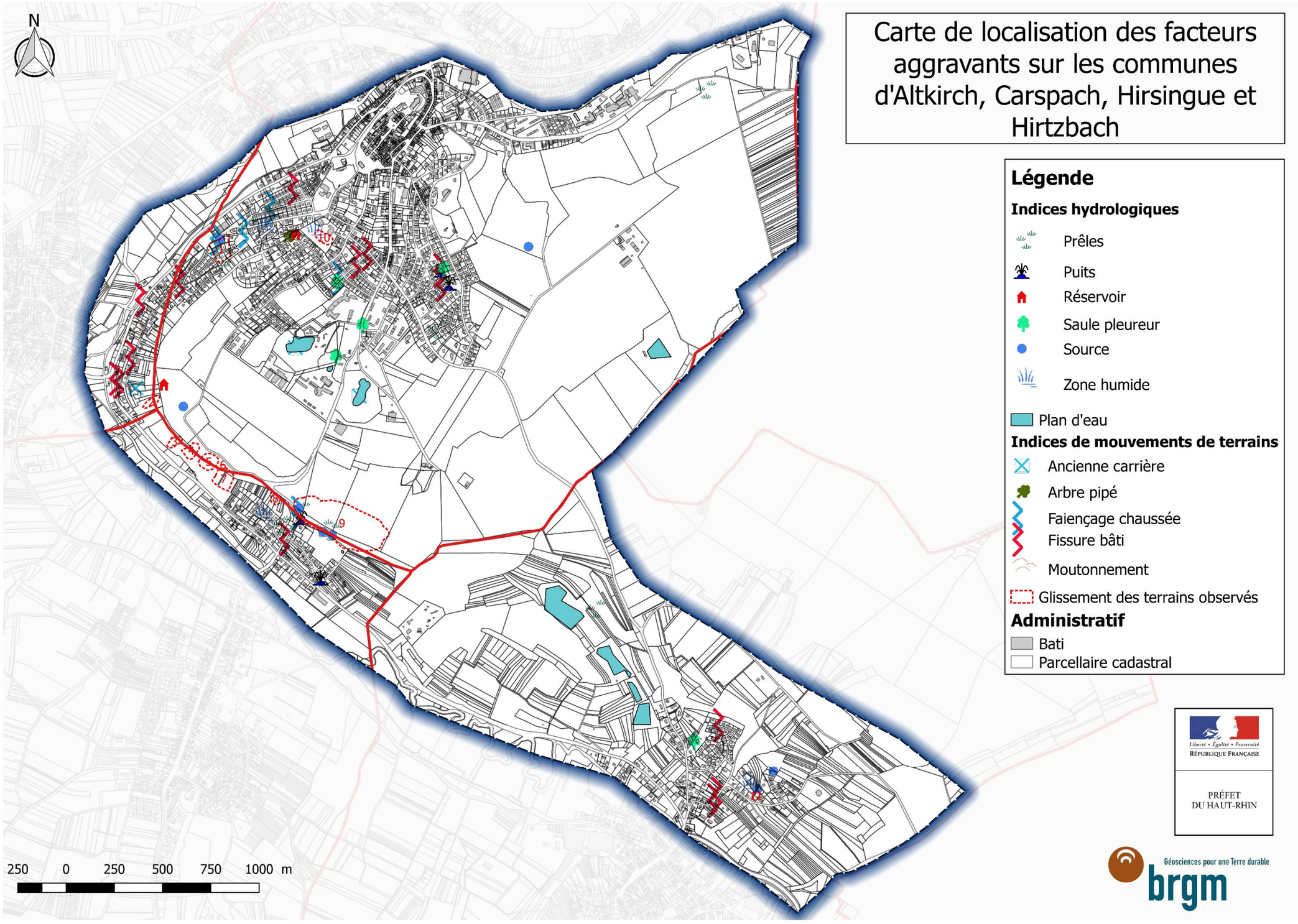
Annexe 2

Carte lithologique du secteur d'étude issue de la carte géologique harmonisée au 1/50 000ème du BRGM et des relevés de terrain


N
Carte lithologique sur les communes d'Altkirch, Carspach, Hirsingue et Hirtzbach
Légende
Lithologie
Alluvions (formations fines des fonds de vallées)
Loess (formations fines des plateaux)
Cailloutis du Sundgau
Calcaires
Fines sur Marnes
Administratif
Bati
Parcellaire cadastral
Informations géologiques
Forages
Observations de terrains
Cailloutis du Sundgau
Loess
Marnes
Marnes + fines
Calcaire du Haustein
Contact Calcaire / Marnes
Contact Marnes/Cailloutis
250 0 250 500 750 1000 m
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
PRÉFET
DU HAUT-RHIN
Géosciences pour une Terre durable
brgm

Annexe 3

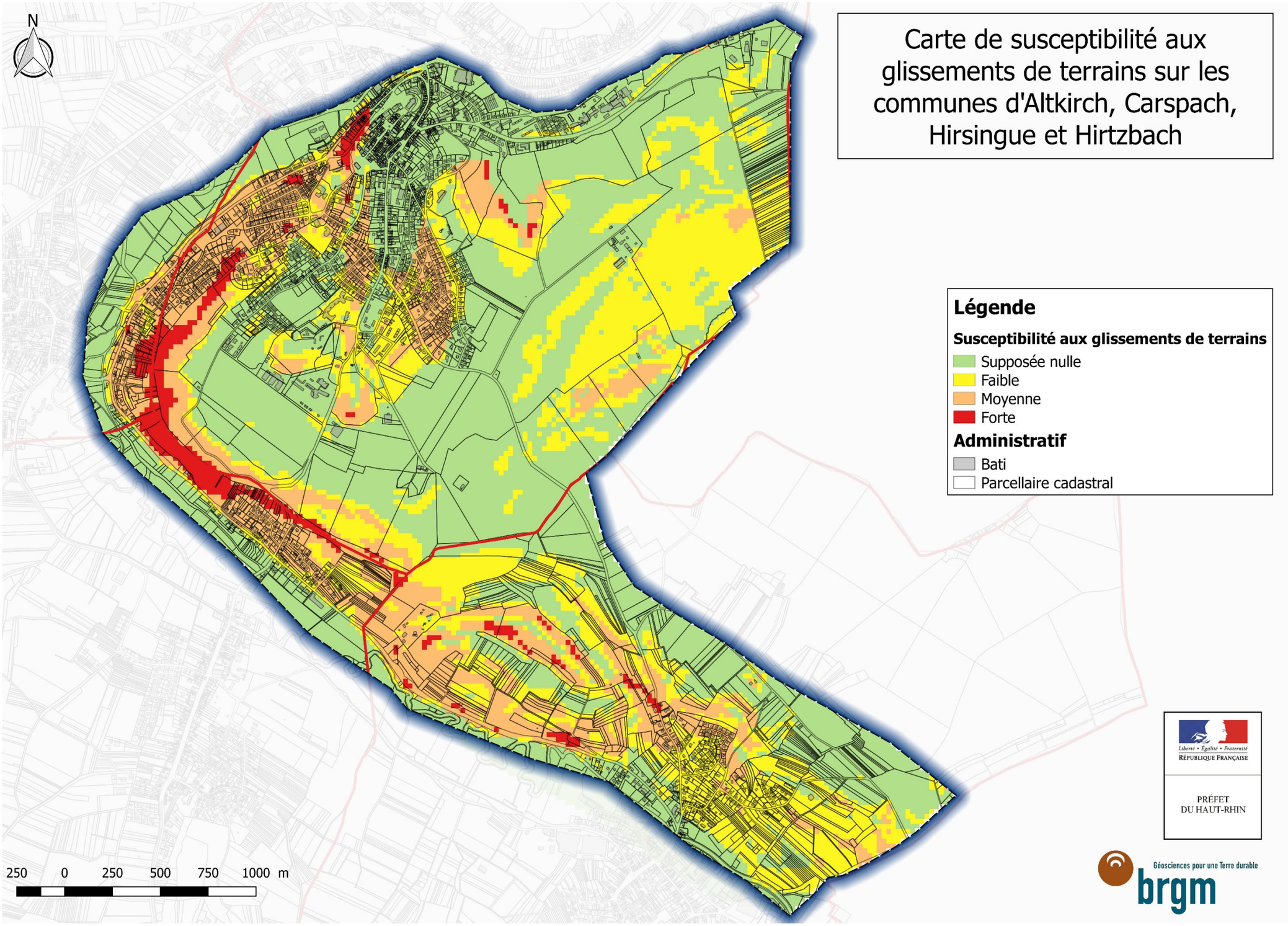
Cartographie des phénomènes aggravants et tableau de synthèse


N
Carte de localisation des facteurs aggravants sur les communes d'Altkirch, Carspach, Hirsingue et Hirtzbach
Légende
Indices hydrologiques
Prêles
Puits
Réservoir
Saule pleureur
Source
Zone humide
Plan d'eau
Indices de mouvements de terrains
Ancienne carrière
Arbre pipé
Faiençage chaussée
Fissure bâti
Moutonnement
Glissement des terrains observés
Administratif
Bati
Parcellaire cadastral
250 0 250 500 750 1000 m
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
PRÉFET
DU HAUT-RHIN
Géosciences pour une Terre durable
brgm

id	Commune	Lieu-dit	Type MVT	Habitat	Géologie	MVT actif	Indices observés	Source	Commentaires
1	Altkirch	Rue des Sources	Glissement circulaire	Urbain	Fines sur Marnes	oui	fisurres / végétation hydrophile	Terrain/biblio	BRGM RP-57961-FR
2	Altkirch		Moutonnement	Prairie	Fines sur Marnes	non	Bourrelets	Terrain/Lidar	Dénivelé 2 m
3	Altkirch		Glissement circulaire	Forêt	Fines sur Marnes	non	Niche d'arrachement	Lidar/Terrain	
4	Altkirch		Glissement circulaire	Forêt	Fines sur Marnes	non	Niche d'arrachement	Lidar/Terrain	
5	Altkirch		Glissement circulaire	Forêt	Fines sur Marnes	non	Niche d'arrachement	Lidar/Terrain	
6	Altkirch		Glissement translationnel	Forêt	Cailloutis du Sundgau	oui	Niche d'arrachement	Terrain	
7	Altkirch		Glissement circulaire	Forêt	Fines sur Marnes	non	Niche d'arrachement	Lidar/Terrain	
8	Altkirch		Glissement circulaire	Forêt	Fines sur Marnes	non	Niche d'arrachement / bourrelet	Terrain	
9	Altkirch		Circulaire/ Plan complexe imbriqués	Forêt	Fines sur Marnes / Cailloutis du Sundgau	non	Indices hydro, niche arrachement, replats, bourrelets	Lidar/Terrain	
10	Altkirch	Médiathèque	Glissement circulaire	Urbain	Fines sur marnes	non		Biblio	Article de presse
11	Hirsingue	Rue de Bâle	Glissement circulaire	Urbain	Fines sur marnes	oui	Niche d'arrachement	Terrain	

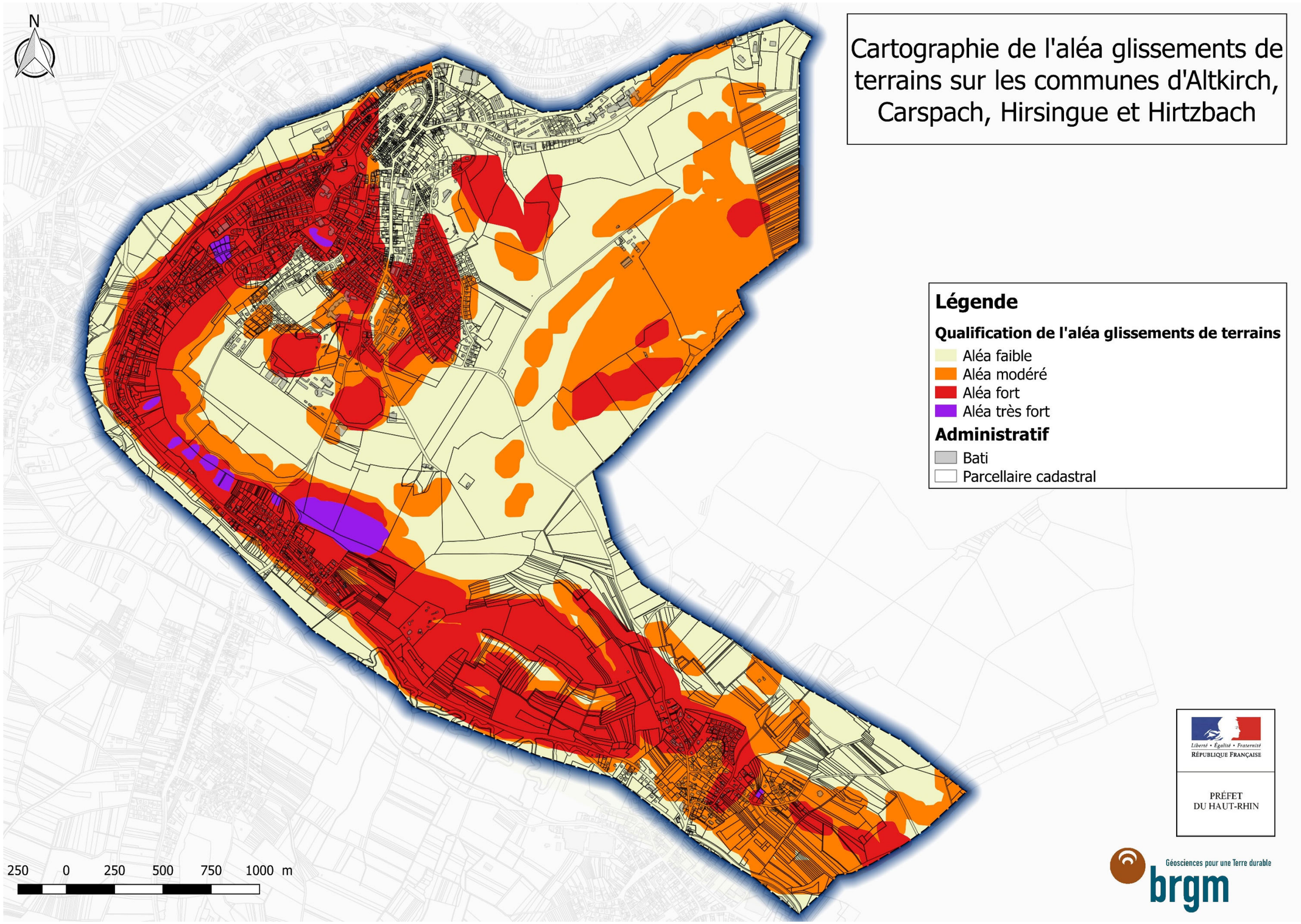
Annexe 4

Carte de susceptibilité aux glissements de terrains


N
Carte de susceptibilité aux glissements de terrains sur les communes d'Altkirch, Carspach, Hirsingue et Hirtzbach
Légende
Susceptibilité aux glissements de terrains
Supposée nulle
Faible
Moyenne
Forte
Administratif
Bati
Parcellaire cadastral
250 0 250 500 750 1000 m
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
PRÉFET
DU HAUT-RHIN
Géosciences pour une Terre durable
brgm

Annexe 5

Cartographie de l'aléa « Glissement de terrains » sur la zone d'étude


N
Cartographie de l'aléa glissements de terrains sur les communes d'Altkirch, Carspach, Hirsingue et Hirtzbach
Légende
Qualification de l'aléa glissements de terrains
Aléa faible
Aléa modéré
Aléa fort
Aléa très fort
Administratif
Bati
Parcellaire cadastral
250 0 250 500 750 1000 m
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
PRÉFET
DU HAUT-RHIN
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 - **www.brgm.fr**

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