

Document à accès différé

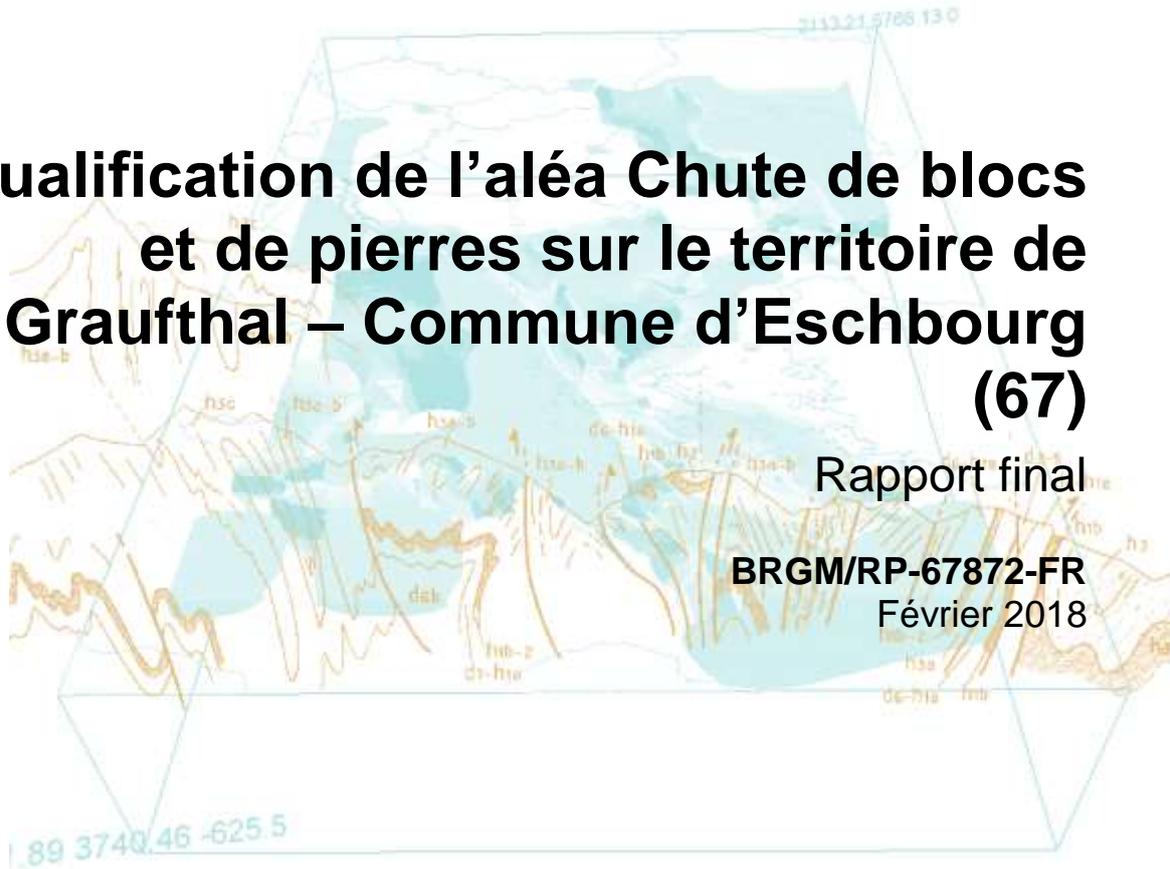


Qualification de l'aléa Chute de blocs et de pierres sur le territoire de Graufthal – Commune d'Eschbourg (67)

Rapport final

BRGM/RP-67872-FR

Février 2018



Document à accès différé

Qualification de l'aléa chute de blocs et de pierres sur le territoire de Graufthal – Commune d'Eschbourg (67)

Rapport final

BRGM/RP-67872-FR

Février 2018

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2017-RIS-20

L. Grabenstaetter, B. Colas

Avec la collaboration de

A. Stumpf



Vérificateur :

Nom : C. Garnier

Fonction : Ingénieur Risque
géologique

Date : 13/04/18

Signature :

Approbateur :

Nom : K. Samyn

Fonction : Directeur Régional
Délégué Strasbourg

Date : 13/04/2018

Signature :

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



Mots-clés : risque naturel, éboulement, chute de blocs, carte aléa, grès vosgien, conglomérat, MEZAP, Grand Est, Alsace, Bas-Rhin, Vosges, Eschbourg, Graufthal

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

Grabenstaetter L., Colas B. (2018) – Qualification de l'aléa chute de blocs et de pierres sur le territoire de Graufthal – Commune d'Eschbourg (67). Rapport final. BRGM/RP-67872-FR, 98 p., 51 ill., 8 tabl., 4 ann.

Synthèse

Plusieurs chutes de blocs et de pierre ont été recensées sur le territoire de la commune d'Eschbourg, plus précisément au droit de lieu-dit Graufthal. En 2012, des éléments rocheux d'un volume individuel inférieur à 1m³ ont chuté depuis un escarpement de faible hauteur. En 2016, une chute de blocs d'un volume estimé supérieur à 200 m³ a endommagé une habitation. Suite à cet évènement, la DDT¹ du Bas-Rhin a missionné le BRGM afin de réaliser une qualification de l'aléa « Chute de blocs et de pierres » sur l'emprise de la zone urbanisée du lieu-dit Graufthal.

La qualification de l'aléa « chute de blocs et de pierres » s'appuiera sur la méthodologie issue de la réflexion du groupe de travail MEZAP² (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, 2014).

L'application de la méthodologie MEZAP nécessite la réalisation des opérations suivantes :

- Recensement des phénomènes historiques concernant l'aléa chute de blocs et de pierre et présentation sous forme de cartes et tableaux descriptifs ;
- Recensement de l'ensemble des zones de départ (reliefs susceptibles de voir des masses rocheuses se décrocher) ;
- Définition d'un scénario de référence pour chaque zone homogène de falaise (volume susceptible de se décrocher, intervalle de temps) à partir des données issues de la recherche bibliographique et des observations de terrain ;
- Qualification de l'aléa de propagation / probabilité d'atteinte ;
- Qualification de la probabilité d'occurrence ;
- Qualification de l'aléa en croisant l'intensité de phénomène attendu (volume) et son occurrence potentielle.

La qualification de l'aléa de propagation nécessite l'utilisation d'une topographie (modèle numérique de terrain, MNT) pour déterminer les enveloppes de propagation. Le MNT fourni par la DDT 67 ne couvrant pas la totalité de la zone d'étude, un levé LiDAR³ des versants a été réalisé en utilisant un LiDAR terrestre afin de capter les zones de surplomb.

L'application de la méthodologie MEZAP a entraîné la description de 3 zones homogènes de falaise au sein desquelles l'ensemble des zones de départ peuvent être classées. Une zone homogène est définie par un volume susceptible de se décrocher (indice d'intensité) et un intervalle au sein duquel cet évènement est susceptible de se déclencher (indice d'activité).

La propagation a été modélisée, à partir de valeurs d'angle définies pour chacune des configurations de versant selon la méthode de la ligne d'énergie.

Une fois l'aléa qualifié sur l'ensemble de la zone d'étude, une carte des risques a été réalisée en confrontant la carte d'aléa et la carte des enjeux.

¹ DDT : Direction Départementale des Territoires

² MEZAP : Méthodologie de Zonage de l'Aléa chute de Pierres

³ LiDAR : Light Détection And Ranging

La cartographie de l'aléa réalisée permet d'établir qu'une forte proportion de la zone urbanisée du lieu-dit Graufthal est exposée à un risque élevé. De nombreuses habitations ainsi que des voies de communication sont exposées, tout comme des enjeux touristiques.

La majorité des zones exposées peuvent être protégées par des ouvrages dont le rôle est d'empêcher le décrochement ou de limiter la propagation des masses rocheuses en versant.

Sommaire

1. Contexte général de l'étude	9
1.1. OBJECTIFS DU PROGRAMME	9
1.2. CONTEXTES GEOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIQUE.....	9
1.2.1. Falaise Nord-Est	11
1.2.2. Falaise Nord-Ouest.....	13
1.2.3. Falaise Sud.....	14
1.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE	15
1.3.1. Description des formations géologiques de la zone d'étude.....	17
1.3.2. Log stratigraphique de la zone d'étude	20
2. Collecte et structuration des données	21
2.1. LEVE TOPOGRAPHIQUE	21
2.2. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	23
2.3. RECONNAISSANCE DE TERRAIN	23
3. Cartographie de l'aléa « Chute de blocs »	27
3.1. METHODOLOGIE.....	27
3.1.1. Définition de l'aléa de rupture	28
3.1.2. Définition de l'aléa de propagation – probabilité d'atteinte.....	28
3.1.3. Définition de la probabilité d'occurrence.....	28
3.1.4. Aléa résultant.....	28
3.2. TYPOLOGIE DES RUPTURES OBSERVEES SUR LA ZONE D'ETUDE.....	29
3.2.1. Rupture de surplomb	30
3.2.2. Glissement plan / dièdre	31
3.2.3. Basculement de colonne ou rupture en pied de colonne.....	32
3.3. INVENTAIRE EVENEMENTIEL.....	33
4. Evaluation de l'aléa « Chute de blocs »	35
4.1. ALEA DE RUPTURE.....	35
4.1.1. Recensement des zones de départ.....	35
4.1.2. Intensité des phénomènes	39
4.1.3. Indice d'activité	43
4.1.4. Synthèse de l'aléa de rupture	43
4.2. ALEA DE PROPAGATION – PROBABILITE D'ATTEINTE	44

4.3. PROBABILITE D'OCCURRENCE DES CHUTES DE BLOCS.....	53
4.4. PRISE EN COMPTE DES EVENEMENTS EXCEPTIONNELS	57
4.5. QUALIFICATION DE L'ALEA « CHUTE DE BLOCS ».....	59
5. Gestion du risque rocheux.....	63
5.1. IDENTIFICATION DES ENJEUX EXPOSES	63
5.2. IDENTIFICATION DU RISQUE ASSOCIE.....	63
5.3. HIERARCHISATION DES ZONES A RISQUES ET PROPOSITION DE TRAVAUX 67	
6. Conclusion	73
7. Bibliographie.....	75

Liste des illustrations

Illustration 1 : Localisation géographique de la commune d'Eschbourg	10
Illustration 2 : Localisation de la zone d'étude au sein de la commune d'Eschbourg (tracé rouge) (© IGN).....	10
Illustration 3 : Carte de localisation des falaises sur le lieu dit de Graufthal	11
Illustration 4 : Photographie de la partie sommitale de la falaise Nord-Est.....	12
Illustration 5 : Profils topographiques caractéristiques de la falaise Nord-Est issus des levés LIDAR réalisés dans le cadre de l'étude	12
Illustration 6 : Vue d'ensemble de la falaise Nord-Ouest	13
Illustration 7 : Profils topographiques caractéristiques de la falaise Nord-Ouest issus des levés LIDAR réalisés dans le cadre de l'étude.....	13
Illustration 8 : Photographie d'un secteur caractéristique de la falaise Sud.....	14
Illustration 9 : Profil topographique caractéristique de la falaise Sud issue des levés LIDAR réalisés dans le cadre de l'étude	14
Illustration 10 : Carte géologique de la zone d'étude (issue de la carte géologique harmonisée au 1/50 000 ^e © BRGM)	16
Illustration 11 : Photographie d'un escarpement de grès vosgien sur le secteur d'étude	17
Illustration 12 : Photographie du Conglomérat principal à Eschbourg	18
Illustration 13 : Coupe géologique du forage BSS000QCDU (01975X0002/F) situé à 1,24 km de Graufthal (© Infoterre).....	19
Illustration 14 : Log lithostratigraphique du Bundsanstein moyen à supérieur d'après la carte géologique de Bouxwiller	20
Illustration 15 : Le phénomène de sous-cavage, facteur de prédisposition à l'aléa « chute de blocs »	20

Illustration 16 : Restitution du MNT issu du croisement des LiDAR de la DDT 67 et de l'acquisition terrestre de 2017.....	21
Illustration 17 : Acquisition 3D d'une zone de surplomb en falaise nord à l'aide du LiDAR.....	22
Illustration 18 : Nuage de points texturé de la falaise nord, obtenu à l'aide du LiDAR et des ortho photos	22
Illustration 19 : Photographie réalisée dans le cadre des descentes sur cordes réalisées dans le cadre des reconnaissances de terrain.....	24
Illustration 20 : Points GPS illustrant le terrain couvert lors des campagnes de terrain	25
Illustration 21 : Carte des observations réalisées lors des relevés terrain (inventaire non exhaustif)	25
Illustration 22 : Configuration et mécanismes de chutes de blocs (Dussauge-Peissier, 2002) ..	29
Illustration 23 : Rupture de surplomb le 05/06/16 à l'arrière du n°16, rue du Vieux Moulin à Eschbourg Graufthal	30
Illustration 24 : Exemple d'une zone de départ présentant une rupture de type glissement dièdre (encadré rouge)	31
Illustration 25 : Photographie d'une colonne présentant une susceptibilité à une rupture en pied de colonne	32
Illustration 26 : Localisation et volume des blocs éboulés sur la zone d'étude	33
Illustration 27 : Répartition statistique des classes de volume de blocs éboulés recensés lors de l'inventaire.....	34
Illustration 28 : Carte lithologique de la zone d'étude	36
Illustration 29 : Carte des zones de localisation des zones de départs potentielles de blocs et des directions de propagations préférentielles.....	37
Illustration 30 : Identification d'une zone de départ, cachée par la végétation sur le terrain, mais visible sur le levé LIDAR (encadré rouge)	39
Illustration 31 : Répartition des falaises par typologie observée sur le terrain.....	40
Illustration 32 : Photographie d'une zone de départ d'intensité faible en versant de type 1	41
Illustration 33 : Photographie d'une zone de départ d'intensité élevée en versant de type 2.....	42
Illustration 34 : Photographie d'une zone de départ d'intensité élevée en versant de type 3.....	42
Illustration 35 : Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie et de la formule pour déterminer l'angle β	45
Illustration 36 : Illustrations des 2 familles de profils topographiques présents sur la zone d'étude	45
Illustration 37 : Carte de localisation des différentes familles de profils topographiques.....	47
Illustration 38 : Cartographie de l'aléa de propagation depuis les zones de départ identifiées..	51
Illustration 39 : Matrice de définition de la probabilité d'occurrence selon la méthodologie MEZAP	53
Illustration 40 : Cartographie de la probabilité d'occurrence	55
Illustration 41 : Photographie de la colonne rocheuse présentant une intensité exceptionnelle (carré rouge).....	57
Illustration 42 : Photographie du bloc appelé « le champignon »	58
Illustration 43 : Photographie d'un surplomb sur une falaise de type 1	58
Illustration 44 : Matrice de qualification de l'aléa chute de bloc selon la méthodologie MEZAP	59

Illustration 45 : Cartographie de l'aléa chute de blocs et de pierres au droit du lieu-dit Grauffthal sur la commune d'Eschbourg	61
Illustration 46 : Carte de localisation des enjeux affectés par l'aléa chute de blocs	65
Illustration 47 : Localisation des secteurs de risque	69
Illustration 48 : Localisation du secteur 1	71
Illustration 49 : Vue d'ensemble du secteur 2 (© Google Earth)	71
Illustration 50 : Exemple de blocs présents sur le secteur 3	72
Illustration 51 : Photographie du secteur 4	72

Liste des tableaux

Tableau 1 : Informations issues de la BD MVT concernant les chutes de blocs en contexte similaire à la zone d'étude	23
Tableau 2 : Définition des classes d'intensité (source : document MEZAP)	39
Tableau 3 : Distribution statistique des intensités potentielles recensées sur la zone d'étude ...	40
Tableau 4 : Distribution statistique des intensités potentielles par typologie de falaise	41
Tableau 5 : Définition des classes d'indice d'activité (source : document MEZAP)	43
Tableau 6 : Distribution statistique des indices d'activité par typologie de falaise	43
Tableau 7 : Présentation des différents scénarii de rupture	44
Tableau 8 : Présentation des valeurs d'angle β utilisées pour déterminer l'aléa de propagation	49

Liste des annexes

Annexe 1 Fiches descriptives et carte de localisation des zones de départ	77
Annexe 2 Tableau de synthèse des blocs éboulés recensés sur la zone d'étude	85
Annexe 3 Principaux types de profils de pente utilisés dans le cadre de la méthode des cônes selon la méthodologie MEZAP	89
Annexe 4 Cartographie de l'aléa chute de pierres et de blocs au droit du lieu-dit Grauffthal sur la commune d'Eschbourg au 1/2.500 ^{ème}	93

1. Contexte général de l'étude

1.1. OBJECTIFS DU PROGRAMME

Plusieurs chutes de blocs et de pierres ont été recensées sur le territoire de la commune d'Eschbourg, plus précisément au droit du lieu-dit Graufthal. En 2012, des éléments rocheux d'un volume inférieur à 1 m³ ont chuté depuis un escarpement de faible hauteur (Cruz Mermy, 2012). En 2016, une chute de blocs d'un volume estimé supérieur à 200 m³ a endommagé une habitation (Grabenstaetter, 2016).

Les conclusions des expertises réalisées à l'occasion de ces instabilités ont montré que la probabilité que des blocs atteignent la zone urbaine de Graufthal est non négligeable. L'occurrence de nouveaux événements pourraient affecter des zones à enjeux (habitations, voies de communication, zone touristique...).

Compte-tenu de ces éléments, le pôle Aménagement et Développement Durable de la DDT 67⁴ a missionné, sur demande de la Préfecture du Bas-Rhin, le BRGM pour réaliser une qualification de l'aléa « chute de blocs et de pierres » à l'échelle du 1/5 000^{ème}, sur l'emprise de la zone urbanisée du lieu-dit Graufthal.

Cette qualification sera réalisée en appliquant la méthodologie MEZAP (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, 2014). Outre l'évaluation des aléas, un diagnostic de risques, intégrant les enjeux exposés est attendu.

Des pistes de solutions de gestion des risques identifiés sont également proposées.

1.2. CONTEXTES GEOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIQUE

Eschbourg est une commune du Nord-Ouest du Bas-Rhin, située à moins de 10 km au Nord-Ouest de Saverne (Illustration 1 et Illustration 2). La commune présente une superficie de 14,05 km² et compte 494 habitants répartis dans les zones urbaines d'Eschbourg et du lieu-dit Graufthal. La commune d'Eschbourg fait partie de la Communauté de communes de Hanau-La Petite Pierre.

L'étude objet du présent rapport prend place au lieu-dit Graufthal.

⁴ DDT 67 : Direction Départementale des Territoires du Bas-Rhin



Illustration 1 : Localisation géographique de la commune d'Eschbourg

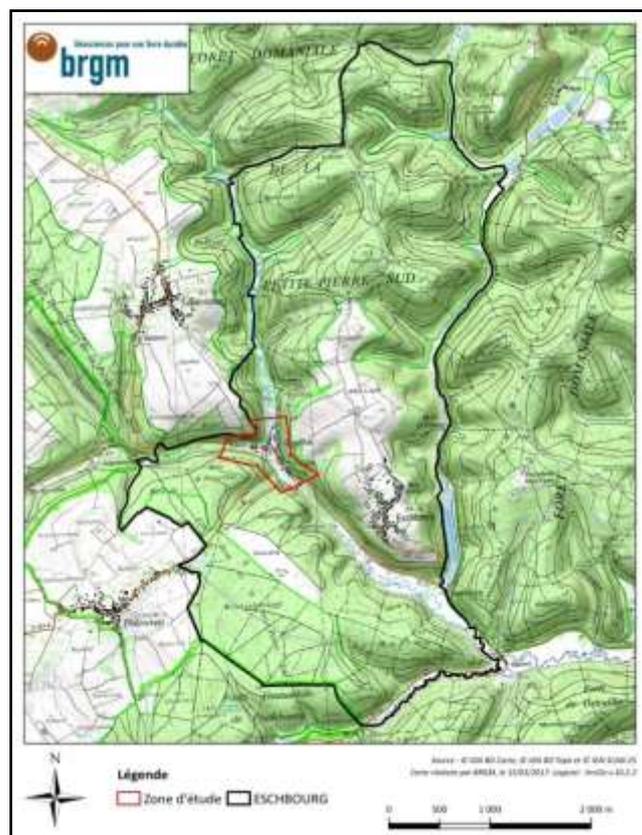


Illustration 2 : Localisation de la zone d'étude au sein de la commune d'Eschbourg (tracé rouge) (© IGN)

D'un point de vue morphologique, la zone d'étude est caractérisée par trois parois rocheuses subverticales de profils différents (Illustration 3). Le fond de vallée est parcouru par les cours d'eau de la Zinsel du Sud en Ouest-Est et du Rehbach en Nord-Sud.

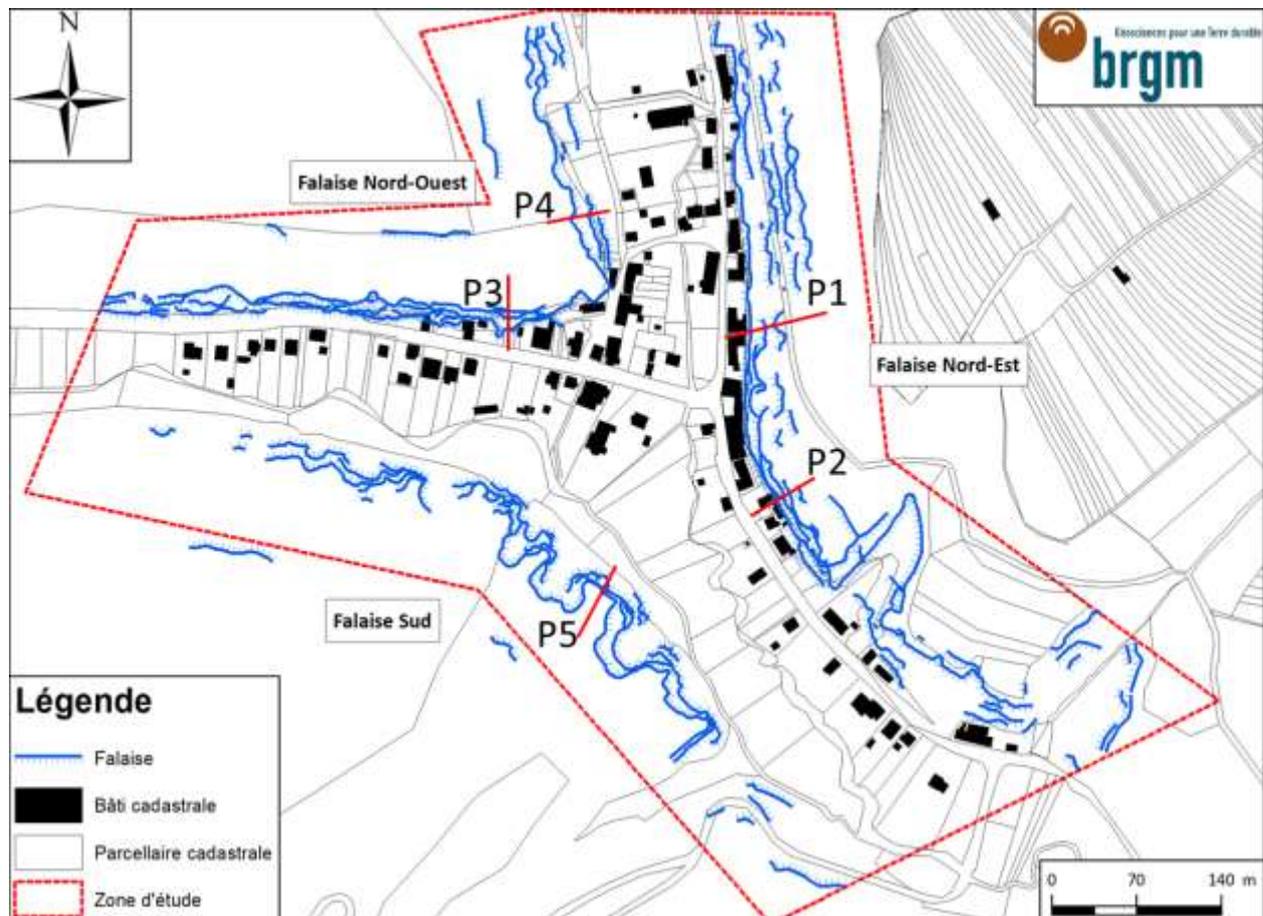


Illustration 3 : Carte de localisation des falaises sur le lieu dit de Graufthal

1.2.1. Falaise Nord-Est

La falaise Nord-Est longe la Rue Principale en venant d'Oberhof ainsi que la Rue du Vieux Moulin en allant vers le Nord. La présence d'un sous cavage en pied de falaise est observée sur la partie nord de la Rue du Vieux Moulin.

De manière générale, cette falaise présente un pan vertical recoupé ponctuellement par des zones de surplomb (Illustration 4 et Illustration 5). La hauteur de cette falaise est comprise entre 5 et 30 m avec une hauteur maximum se situant au droit du n°20, Rue Principale.

Lors de l'expertise réalisée au mois de juin 2016 suite à la chute de bloc au droit du n°16, Rue du Vieux Moulin (Grabenstaetter, 2016), une famille de plans de fissuration parallèles à la falaise d'orientation de N10E a été observée.



Illustration 4 : Photographie de la partie sommitale de la falaise Nord-Est

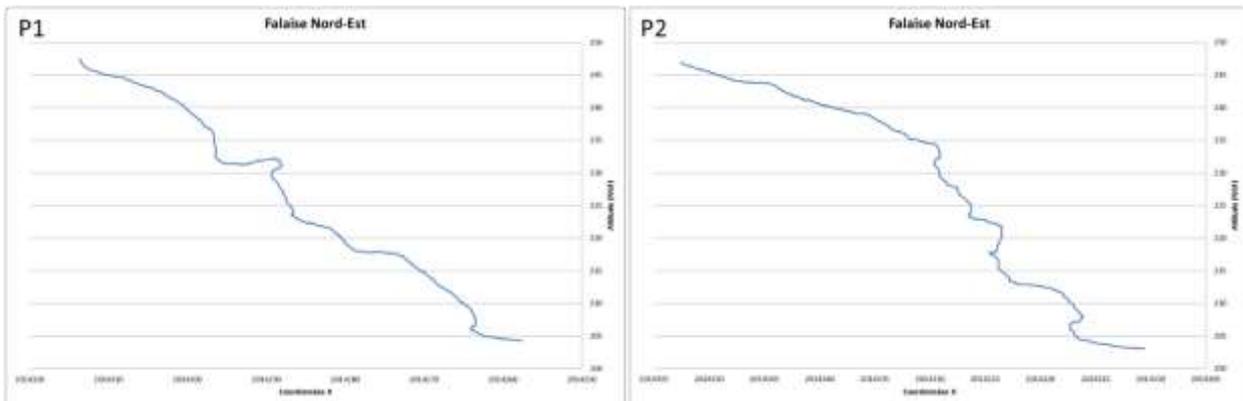


Illustration 5 : Profils topographiques caractéristiques de la falaise Nord-Est issus des levés LIDAR réalisés dans le cadre de l'étude

1.2.2. Falaise Nord-Ouest

Cette falaise forme un « L » en longeant la partie Ouest de la Rue Principale ainsi que la Rue des Fontaines. Ce versant est caractérisé par un éperon rocheux situé au croisement des 2 rues. Le versant ouest présente des maisons troglodytes (Illustration 6), considéré comme un enjeu patrimonial.



Illustration 6 : Vue d'ensemble de la falaise Nord-Ouest

Cette falaise se caractérise par un affleurement quasi vertical sur l'ensemble de son linéaire (400 m). De la même manière que sur la falaise Nord-Est, des zones de surplomb apparaissent à intervalles réguliers à la faveur de bancs plus compacts offrant une meilleure résistance à l'érosion (Illustration 7).

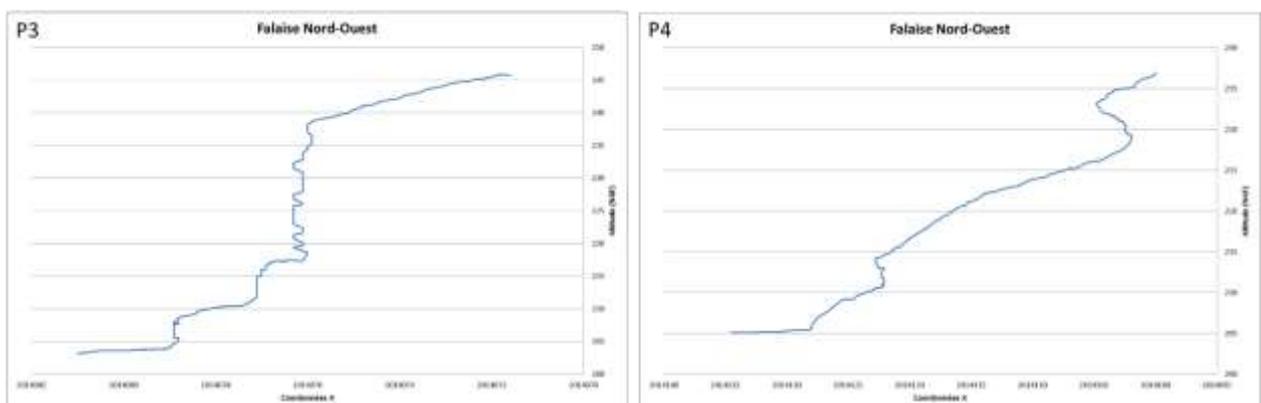


Illustration 7 : Profils topographiques caractéristiques de la falaise Nord-Ouest issus des levés LIDAR réalisés dans le cadre de l'étude

1.2.3. Falaise Sud

Cette falaise possède un profil différent, plus découpé que les falaises Nord-Ouest et Nord-Est (Illustration 8 et Illustration 9). Elle se caractérise par un profil en arc. Les pans rocheux présentent plusieurs petits vallons secs qui découpent le versant (Illustration 3).

Cette falaise, d'une hauteur de 30 m, se situe sur le versant sud de la vallée de la Zinsel du Sud qui s'écoule au pied de ce relief.



Illustration 8 : Photographie d'un secteur caractéristique de la falaise Sud

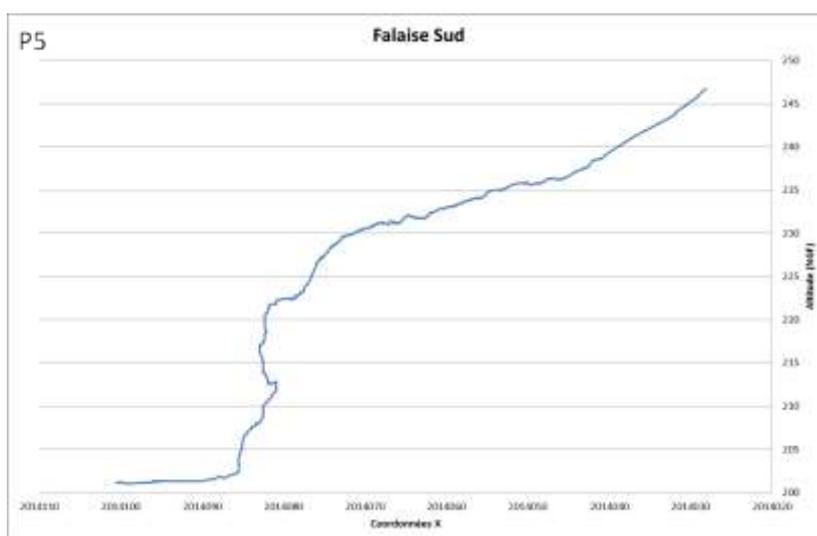


Illustration 9 : Profil topographique caractéristique de la falaise Sud issue des levés LIDAR réalisés dans le cadre de l'étude

1.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE

La zone d'étude se trouve sur la carte géologique du BRGM au 1/50.000 de Bouxwiller (Illustration 10, feuille n°197).

Sur le banc communal d'Eschbourg, les formations du Buntsandstein inférieur et du Muschelkalk inférieur affleurent. Au droit du secteur d'étude (polygone rouge - Illustration 10), les couches géologiques qui présentent une susceptibilité à l'aléa « chute de blocs » sont :

- 155 – Grès vosgien indifférencié ;
- 153 – Conglomérat principal ou Poudingue de St Odile.

Les formations superficielles sont représentées par les colluvions de fonds de vallons et vallées (numéroté 47) et les alluvions récentes à actuelles des rivières Vosgiennes (numéroté 7). Ces formations ne sont pas considérées lors de la qualification de l'aléa « chute de blocs ».

Deux familles de fractures ont été observées sur les différents pans de falaise. La première famille est orientée N10E à N40E et est sensiblement parallèle à la faille Vosgienne qui délimite l'Ouest de la Plaine d'Alsace. La seconde famille, orientée N40E à N90E est caractéristique des Basses-Vosges (Ménillet, et al., 1979).

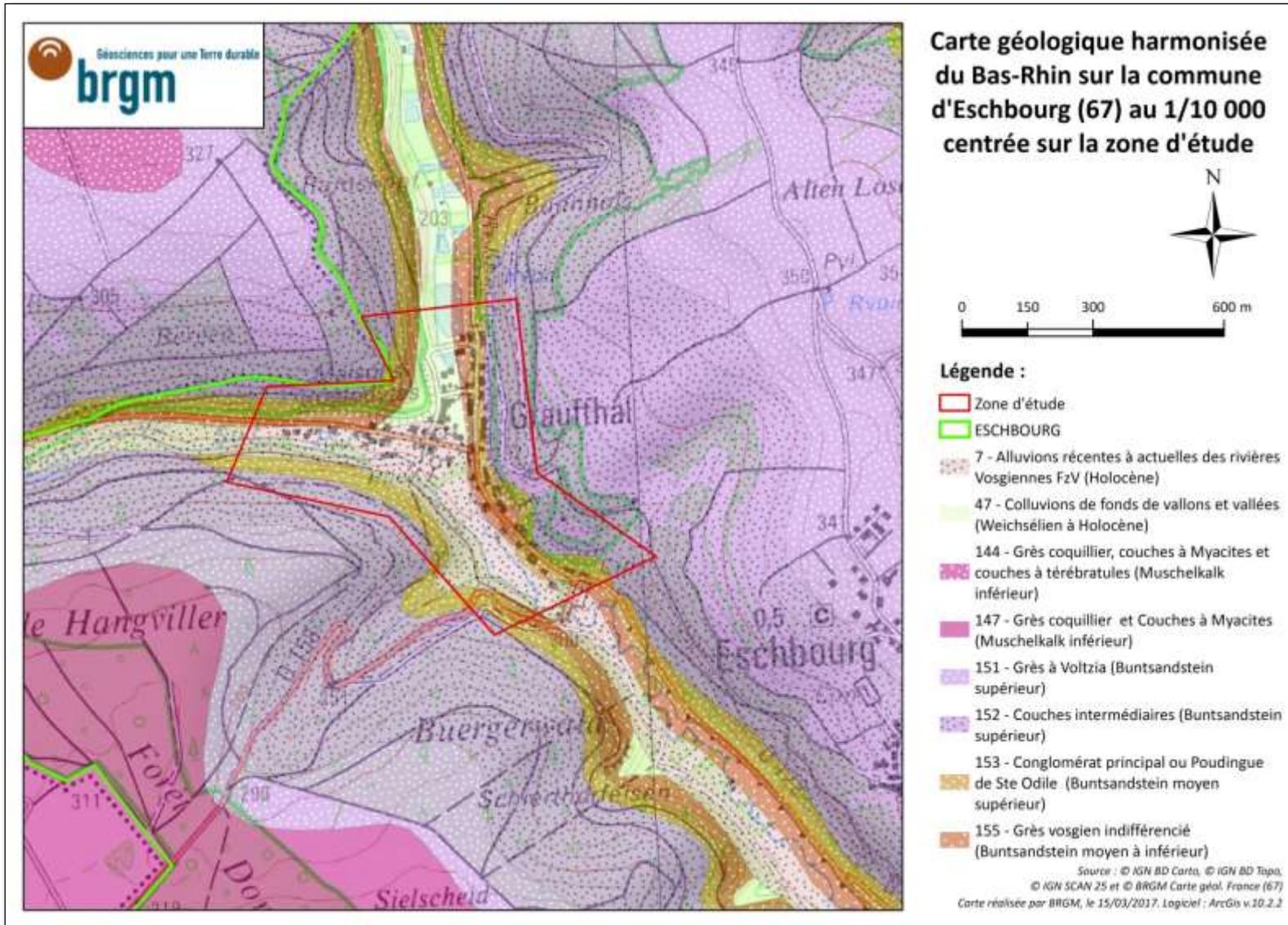


Illustration 10 : Carte géologique de la zone d'étude (issu de la carte géologique harmonisée au 1/50 000^e © BRGM)

1.3.1. Description des formations géologiques de la zone d'étude

a. Le Grès vosgien indifférencié

La puissance de cette formation est très importante au niveau régional (350 m d'épaisseur). Seule la partie terminale de cette série affleure au droit de la zone d'étude. Les observations réalisées sur le terrain indiquent que l'épaisseur affleurante de grès vosgien indifférencié atteint 5 à 6 m sur le territoire de Graufthal.

Le grès vosgien est essentiellement constitué d'anciens sables fluviatiles cimentés après leur dépôt, de couleur rouge, à grains moyens en bancs lenticulaires d'épaisseur comprise entre 0,5 et 4 m. Ces bancs lenticulaires sont séparés par des intercalations meubles de faible épaisseur (silty-argileuses) (Ménillet, et al., 1979).

Cette formation est présente sur les versants Est et Nord-Ouest de la zone d'étude ainsi que partiellement sur la partie la plus au Sud du versant Sud-Ouest (Illustration 10).

D'un point de vue morphologique, les grès vosgiens indifférenciés se présentent sous la forme d'escarpement verticaux (Illustration 11) **potentiellement générateur de blocs**.



Illustration 11 : Photographie d'un escarpement de grès vosgien sur le secteur d'étude

b. Le Conglomérat principal ou Poudingue de Ste Odile

Le Conglomérat principal affleure sur l'ensemble des versants de la zone d'étude et repose sur le Grès vosgien. D'un point de vue morphologique, il forme les principaux éperons rocheux, **potentiellement générateur de blocs**, visibles sur la commune d'Eschbourg (Illustration 12).



Illustration 12 : Photographie du Conglomérat principal à Eschbourg

Dans le massif des Vosges, le Conglomérat principal présente une puissance de 13 à 20 m (Ménillet, et al., 1979). La série conglomératique est constituée soit uniquement de bancs lenticulaires de poudingue, soit d'une succession de bancs de poudingue et de bancs de grès. Ces bancs présentent généralement un granoclassement indiquant leur origine fluvatile.

Cette formation possède une stratification oblique ou entrecroisée où les bancs de poudingues apparaissent comme le remplissage de chenaux fluviatiles. La matrice de grès rouge est quasiment identique aux grès vosgiens, et la présence de galets de quartz non émoussés est caractéristique d'un modelé fluvatile (Illustration 12).

Le sondage BSS000QCDU (01975X0002/F), réalisé sur la commune de Schoenbourg (67), situé à 1,24 km de la zone d'étude, fait apparaître une puissance d'environ 13 m pour le Conglomérat principal (Illustration 13). Il s'agit du forage le plus proche de la zone d'étude susceptible d'apporter des informations sur la puissance des formations géologiques.

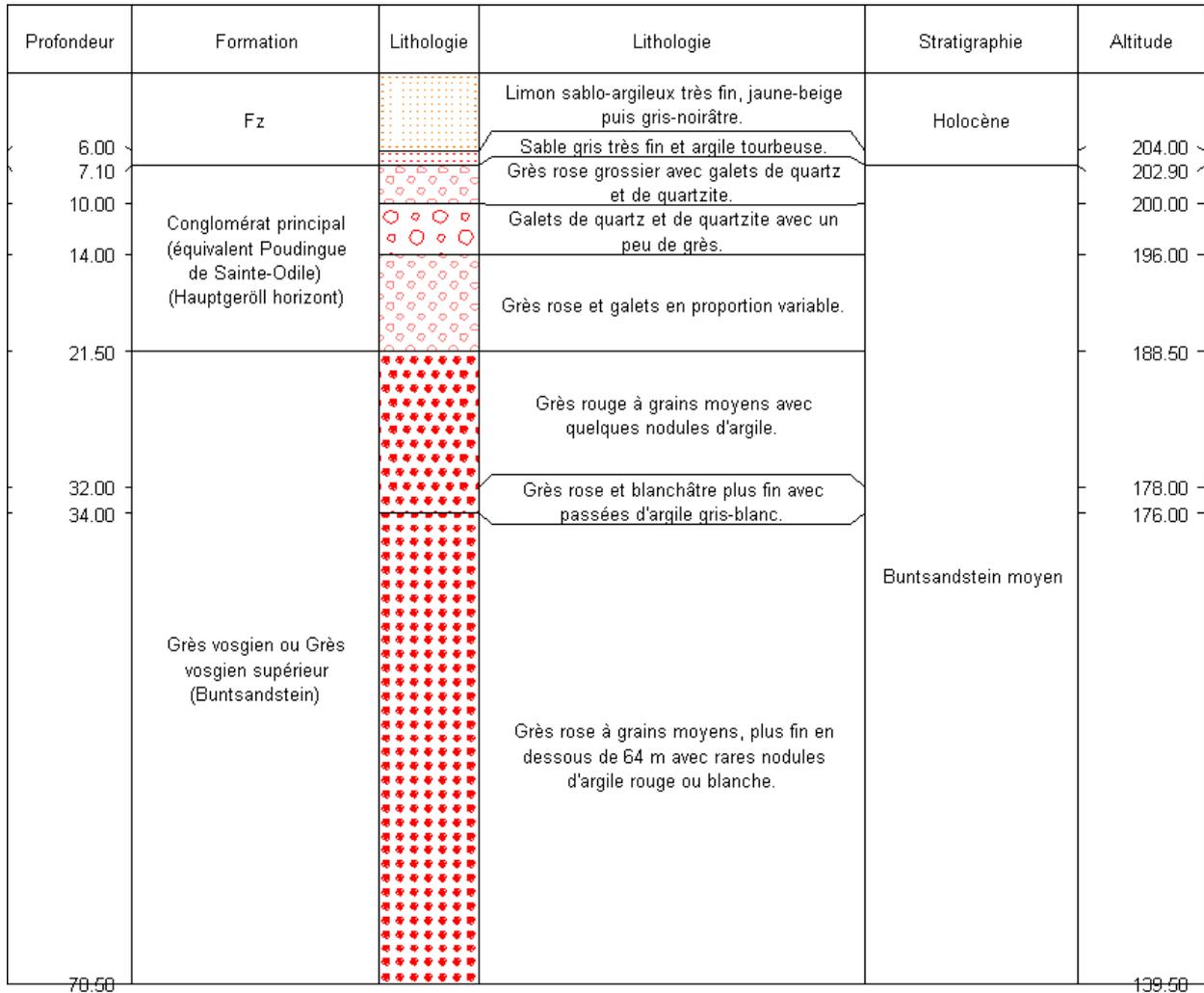


Illustration 13 : Coupe géologique du forage BSS000QCDU (01975X0002/F) situé à 1,24 km de Graufthal (© Infoterre)

c. Les Couches intermédiaires

Les Couches intermédiaires sont constituées de grès massifs rouges et d'intercalations sablo-argileuses noirâtres reposant sur le Conglomérat principal. De manière générale, la puissance de cette formation géologique est comprise entre 70 et 80 m.

La stratification présente dans les Couches intermédiaires est du même type que celle du Conglomérat principal. Cette formation est composée de lentilles épaisses de 0,5 à 4 m avec des intercalations gréseuses tendres, sableuses fines ou silto-argileuses. Ces intercalations sont épaisses de quelques centimètres à 2 ou 3 m. Leur couleur est soit rougeâtre, soit noirâtre en fonction de leur composition minéralogique.

Sur le secteur d'étude, cette formation, observée en sommet de versant nord-ouest, **n'a pas été identifiée comme génératrice de blocs.**

1.3.2. Log stratigraphique de la zone d'étude

L'illustration 14 permet d'illustrer l'empilement des couches géologiques présentes sur la zone d'étude (encadré rouge).

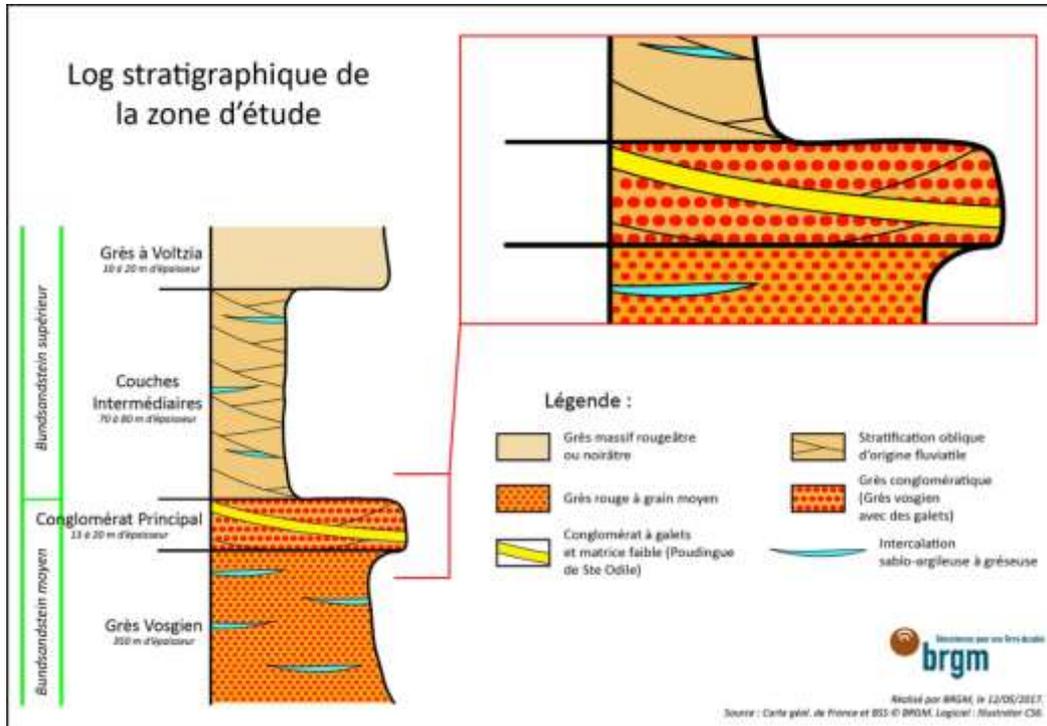


Illustration 14 : Log lithostratigraphique du Bundsandstein moyen à supérieur d'après la carte géologique de Bouxwiller

Les formations géologiques présentent des duretés différentes. Le Conglomérat principal a la résistance la plus importante. Le Grès vosgien, du fait de sa résistance plus faible (Illustration 15), se caractérise, sur la zone d'étude par un taux d'érosion plus important qui se traduit localement par l'existence de zones de sous-cavage important (surplomb). Ce sous-cavage est considéré comme un facteur aggravant vis-à-vis du déclenchement des chutes de blocs. Les Couches intermédiaires présentent la dureté la plus faible sur le secteur d'étude.



Illustration 15 : Le phénomène de sous-cavage, facteur de prédisposition à l'aléa « chute de blocs »

2. Collecte et structuration des données

2.1. LEVE TOPOGRAPHIQUE

La DDT 67 dispose d'un relevé LiDAR à la précision de 0,50 m réalisé dans le cadre de l'instruction du PPRi⁵ de la Zinsel du Sud. Ce relevé ne couvrant pas l'intégralité de la zone d'étude, une acquisition complémentaire a été réalisée dans le cadre de ce programme. Un levé laser 3D a été réalisé à l'aide d'un LiDAR terrestre, par l'entreprise 3D Scan Map afin de couvrir la totalité des versants de la zone d'étude. Le nuage de point, d'une résolution de 20 cm, a été réalisé par lasergrammétrie depuis 58 station de scan placées à la fois sur des points de vue panoramique en sommet de falaise et en vis-à-vis afin de réaliser des tirs croisés et d'optimiser l'acquisition, notamment des zones de surplomb.

Le MNT⁶ issu de ces relevés a été intégré au LiDAR fourni par la DDT67 (Illustration 16). Les données issues du levé complémentaires concernent les versants alors que les données issues du LiDAR fourni par la DDT ont permis de compléter le fond de vallée. La cohérence entre les 2 levés a été vérifiée sur la base de profil topographique tracé en travers des 2 jeux de données.

La résolution des données a été dégradé pour obtenir une résolution de 1 m afin de s'affranchir de zones de bruit lié à des ressauts topographiques négligeables.



⁵ PPRi : Plan Prévention des Risques Inondations

⁶ MNT : Modèle Numérique de Terrain

L'utilisation du LiDAR terrestre a permis l'acquisition d'un nuage de points qui représente l'ensemble des surplombs (Illustration 17).

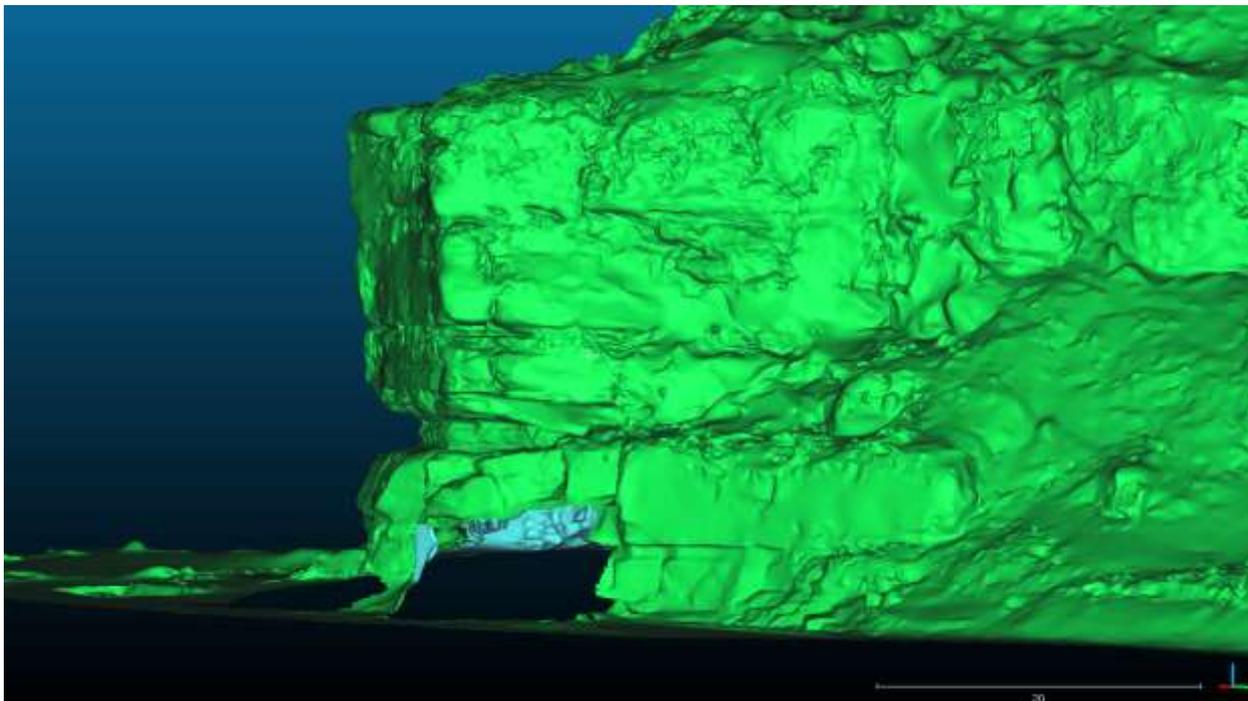


Illustration 17 : Acquisition 3D d'une zone de surplomb en falaise nord à l'aide du LiDAR

De plus, les versants nord-ouest et nord-est ont fait l'objet de prises de vue permettant de texturer les nuages de points (Illustration 18). La falaise sud n'a pas pu faire l'objet d'un texturage car le couvert végétal y est trop développé.

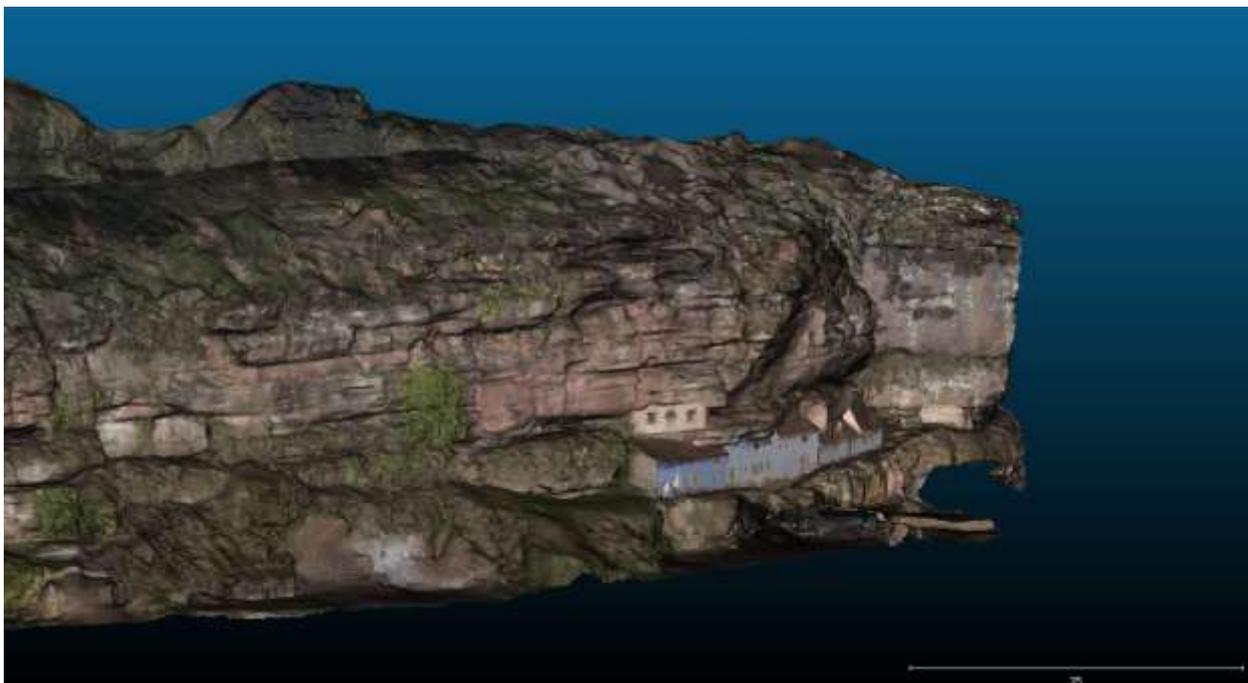


Illustration 18 : Nuage de points texturé de la falaise nord, obtenu à l'aide du LiDAR et des ortho photos

2.2. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

La BD MVT⁷ recense, sur le territoire communal d'Eschbourg, 3 chutes de blocs dont celle de juin 2016, toutes localisées au droit du lieu-dit Graufthal.

En complément, la BD MVT permet de recenser 15 chutes de blocs sur les départements du Bas-Rhin (67) et de la Moselle (57) (incluant les 3 événements situés dans la zone d'étude) dans un contexte topographique et géologique similaire (Tableau 1).

Aucune information complémentaire n'a été obtenue lors de la consultation des archives communales et départementales.

Cette analyse a été complétée par des relevés de terrain et une enquête auprès des habitants.

ID_MVT	Commune	Lieu-dit	Date	Précision Date	Volume (m ³)	Géologie
66700396	Ratzwiller	Vallée du Spielersbach	/	/	1	Grès Vosgien
66700393	Ratzwiller	Burg	/	/	1	Grès Vosgien
66700186	Saint-Jean-Saverne	Mont St Michel	01/01/2004	Récurrent	/	Conglomérat Principal
65700004	Haselbourg (57)	RD 98 - Haselbourg	/	Récurrent	/	Conglomérat Principal
65700003	Haselbourg (57)	Falkenthal	01/01/1930	Décennie	/	Grès Vosgien
65700045	Lutzelbourg (57)	/	/	/	/	Grès Vosgien
65700134	Waldhouse (57)	Parcelle 140, 141 et 143	/	/	1	Conglomérat Principal
65700137	Bousseviller (57)	1 rue Eugène Pistorius	01/01/1998	Année	/	Conglomérat Principal
65700016	Hanviller (57)	37 rue de la Montagne	26/02/1997	Jour	> 300	/
11529401	Hanviller (57)	/	/	/	/	/
66700372	Eschbourg	Graufthal	/	/	/	Grès Vosgien
66700342	Eschbourg	Graufthal	/	/	10	Conglomérat Principal
66700343	Eschbourg	Graufthal	01/03/1987	Mois	10	Grès Vosgien

Tableau 1 : Informations issues de la BD MVT concernant les chutes de blocs en contexte similaire à la zone d'étude

2.3. RECONNAISSANCE DE TERRAIN

Plusieurs campagnes de terrain ont été menées entre avril et octobre 2017. L'ensemble de la zone d'étude a été parcourue à pied. En complément, 2 descentes sur corde ont été réalisées en octobre 2017 sur des zones difficiles d'accès sur la falaise nord-est (Illustration 19).

L'illustration 20 illustre les cheminements réalisés. Les parcours hors zone représentent principalement l'utilisation des chemins d'accès.

⁷ BD MVT : Base de Données nationale des Mouvements de Terrain (www.georisques.gouv.fr)



Illustration 19 : Photographie réalisée dans le cadre des descentes sur cordes réalisées dans le cadre des reconnaissances de terrain

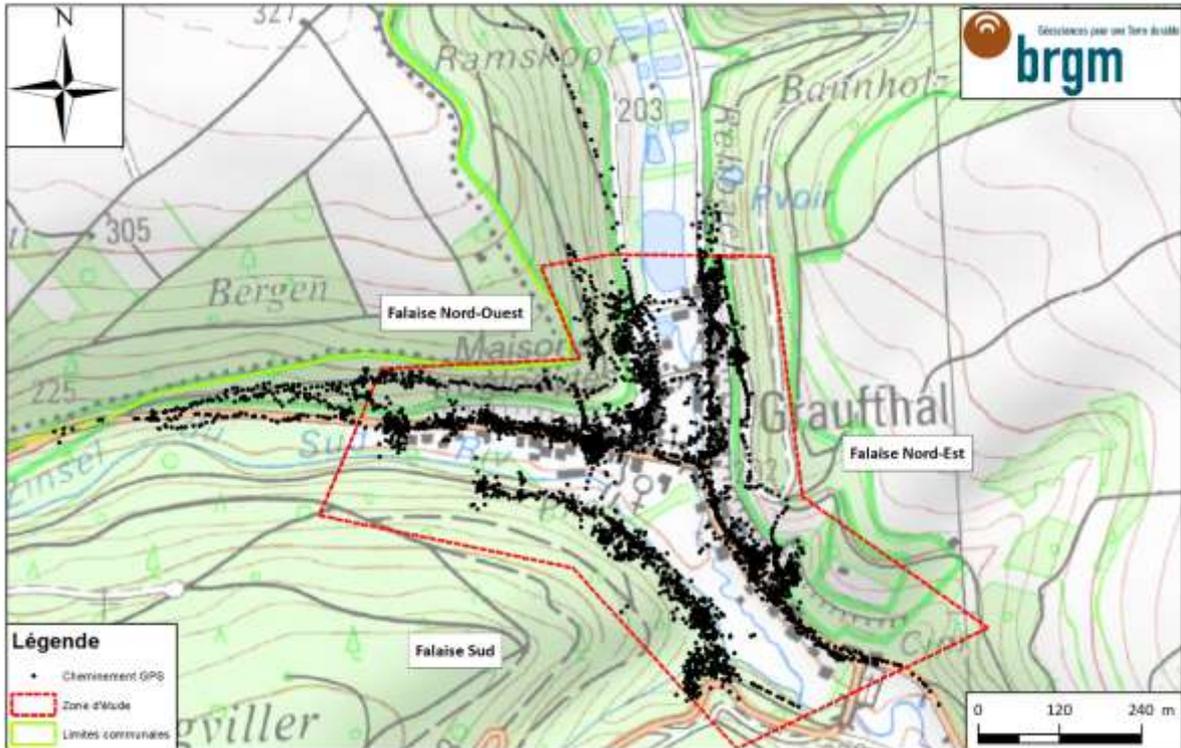


Illustration 20 : Points GPS illustrant le terrain couvert lors des campagnes de terrain

Les principaux relevés réalisés sur le terrain concernant (Illustration 21) :

- L'inventaire des blocs éboulés en pied de falaise ;
- L'identification et la description de zones de départ potentielles.

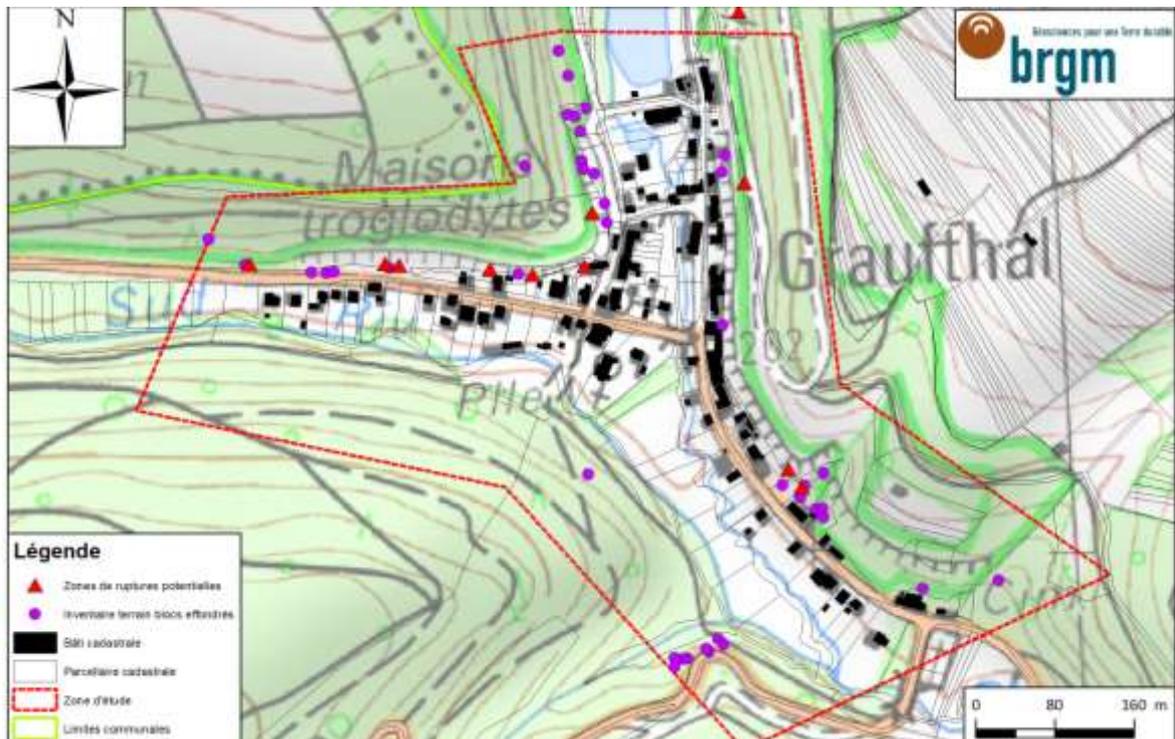


Illustration 21 : Carte des observations réalisées lors des relevés terrain (inventaire non exhaustif)

3. Cartographie de l'aléa « Chute de blocs »

3.1. METHODOLOGIE

La cartographie de l'aléa chute de blocs nécessite de définir les volumes susceptibles de s'ébouler et les enveloppes d'atteintes potentielles. Ces volumes peuvent être issus de plusieurs types de scénarii :

- départ de volume unitaire et son enveloppe de propagation ;
- départ d'un volume important se fragmentant lors de sa chute et produisant des volumes plus faibles et son enveloppe de propagation ;
- écroulement en masse avec propagation spécifique.

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 rocheux » dans le cadre d'un PPRn (MEZAP[§])

Pour l'aléa de chute de blocs, **le scénario de référence est caractérisé par le volume du plus gros bloc susceptible de se propager jusqu'aux enjeux 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.

La détermination d'une période de retour centennale pour l'aléa rocheux n'est pas utilisable contrairement aux crues qui sont basées sur les chroniques historiques.

Après examen des zones de départ et de dépôt, recherches bibliographiques dans des contextes géologiques et topographiques similaires, réalisation d'une enquête auprès des habitants, des **zones homogènes** de départ ont été établies, chacune étant caractérisée par un volume unitaire de bloc (volume après fragmentation) susceptible de se propager dans la pente jusqu'aux enjeux. Un scénario de référence est retenu par zone homogène.

Dans le cadre de cette étude, les blocs instables présentant ponctuellement un volume plus important que celui du scénario de référence sur une zone homogène ont été cartographiés et classés dans une catégorie « blocs remarquables ». Un aléa spécifique (exceptionnel) a été déterminé pour ces blocs en parallèle de l'aléa du scénario de référence.

Cette distinction permet une meilleure résolution de la cartographie de l'aléa et permet d'éviter que le scénario de référence, caractérisé par le volume du plus gros bloc susceptible de se propager, soit contraint par un nombre limité d'éléments rocheux présentant un volume bien supérieur au scénario de référence de l'affleurement et une occurrence dépassant vraisemblablement la période centennale.

L'approche utilisée pour l'évaluation de l'aléa de référence est de type expert. Cette analyse est basée sur des observations in-situ (constats réalisés sur le terrain) et fonction des documents d'archives, le tout en prenant soin de compiler les données événementielles servant de référence à l'analyse de propagation des blocs en versant.

[§] MEZAP : groupe de travail réuni sous l'autorité du METS pour la détermination d'une METHodologie de Zonage de l'Aléa chute de Pierres, piloté par IRSTEA

Pour cette étude, la **cartographie de l'aléa a été réalisée à l'échelle 1/ 2 500^{ème}**. Cette cartographie permettra ensuite de cibler et hiérarchiser des zones à risque. Des pistes de solutions de gestion du risque seront également proposées.

La qualification de l'aléa « chute de blocs » se déroule en 4 étapes détaillées ci-après.

3.1.1. Définition de l'aléa de rupture

L'aléa de rupture est défini par le croisement des indices d'intensité et d'activité.

- L'indice d'intensité est défini par la quantité de roche maximale, exprimée en volume, qui peut être déstabilisée et mise en mouvement. Le moteur de ce mouvement est gravitaire.

Ces volumes potentiellement mobilisables qualifient l'intensité attendue des phénomènes. Cette intensité est associée à l'endommagement potentiel engendré par une atteinte des enjeux (ici un bâtiment d'habitation « classique »).

- L'indice d'activité (probabilité de départ), correspond à la fréquence avec laquelle ce ou ces volumes de roches se mettent en mouvement. Dans certains contextes, des chutes de pierres incessantes sont observées alors qu'une fois par décennie, un gros bloc se détache. L'indice d'activité retenu correspondra à la fréquence de départ du bloc de plus gros volume.

L'indice d'activité se qualifie à l'aide de longs historiques d'observation, ou, à défaut, à dire d'expert à partir d'une liste de facteurs de prédisposition éventuellement aggravés.

Dans le cadre de la réalisation de PPR, seuls les blocs présentant un indice d'activité potentielle dans une période de 100 ans sont intégrés à la cartographie.

La qualification de l'aléa de référence entraîne la caractérisation d'un phénomène de référence (volume concerné et probabilité de départ).

3.1.2. Définition de l'aléa de propagation – probabilité d'atteinte

Une fois l'aléa de rupture défini, la propagation des éléments rocheux sur les versants est étudiée. Cette analyse est basée sur de la modélisation, validée ou « corrigée » par les retours d'expérience d'événements passés (inventaire des blocs observés en pied de falaise sur le terrain).

Le résultat permet de définir **des probabilités d'atteinte** des blocs en tout point du territoire.

3.1.3. Définition de la probabilité d'occurrence

La probabilité d'occurrence résulte du croisement de l'indice d'activité des zones de départ et des probabilités d'atteinte simulées.

3.1.4. Aléa résultant

La définition de l'aléa chute de blocs résulte du croisement de la probabilité d'occurrence et de l'intensité du phénomène de référence considéré.

Dans la pratique, la mise en œuvre de cette démarche sur la zone d'étude impose la définition d'un (de) phénomène(s) de référence pour le(s)quel(s) sont déclinés :

- l'estimation de la probabilité de départ (rupture) ;
- la détermination de la probabilité d'atteinte ;
- l'évaluation de l'aléa résultant « chute de blocs » à l'échelle de la zone d'étude.

3.2. TYPOLOGIE DES RUPTURES OBSERVEES SUR LA ZONE D'ETUDE

La typologie générale des évènements « chute de blocs » est décrite de manière exhaustive sur l'illustration 22.

Configurations / mécanismes	Mécanisme d'instabilité
	Glissement plan Gp
	Glissement dièdre ou plan Gd
	Glissements rotationnel et fractionné Gr
<p>Configuration plutôt verticale (rupture en cisaillement)</p> <p>Configuration plutôt horizontale (rupture en traction)</p>	Rupture de surplomb S
	Basculement de colonne ou de blocs Cb
	Rupture de colonne en pied Cp
	Rupture de banc (par flambage ou sur fracture) Bf

Illustration 22 : Configuration et mécanismes de chutes de blocs (Dussauge-Peissier, 2002)

Les recherches bibliographiques et les observations réalisées sur le terrain ont permis de mettre en évidence les principaux types de rupture affectant les versants dominant la zone urbanisée du

lieu-dit Graufthal. Trois grands types de mécanismes de rupture ont été identifiés sur le secteur d'étude.

3.2.1. Rupture de surplomb

Il s'agit d'un des principaux phénomènes affectant la zone d'étude. La présence en pied de falaise de bancs gréseux peu indurés entraîne une érosion plus importante des pieds de versants qui aboutit à l'apparition de zones de surplomb. Le grand conglomérat, présent dans les versants, présente également de nombreuses zones de surplomb dues à la présence de bancs plus ou moins indurés. L'évènement du 5 juin 2016 est probablement dû à une rupture de surplomb (Illustration 23) (Grabenstaetter, 2016). Le volume total effondré représente environ 300 m³.



Illustration 23 : Rupture de surplomb le 05/06/16 à l'arrière du n°16, rue du Vieux Moulin à Eschbourg Graufthal

Les conditions de mise en mouvement pour ce type de configuration sont :

- Facteurs de prédisposition :
 - La nature des formations géologiques formées d'empilement de bancs gréseux aux caractéristiques différentes ;
 - La structure des terrains, notamment les interbancs à stratification sablo-argileuse peu résistants à l'érosion et la fracturation qui fragilisent les bancs profondément au sein des affleurements.
- Facteurs d'activité :
 - Les précipitations et la fonte des neiges entraînent des écoulements et ruissellement au sein des formations gréseuses. Ces écoulements entraînent d'une part l'érosion des interbancs argileux et diminuent la résistance aux cisaillement au sein des formations interstitielles ;
 - Les épisodes de gel/dégel et l'action des racines agrandissent les discontinuités.

Les caractéristiques des masses rocheuses (volumes et géométries) associées à ces ruptures sont également très variables en fonction de l'organisation locale du réseau de fractures.

3.2.2. Glissement plan / dièdre

Ce mécanisme se retrouve sur l'ensemble du massif rocheux. Les orientations de fracturation sont constantes et correspondent généralement aux directions de la fracturation régionale.

- Facteurs de prédisposition :
 - o La nature des formations géologiques formées d'empilements de bancs gréseux aux caractéristiques lithologiques différentes et les directions de fracturation régionale qui découpent les versants rocheux.
- Facteurs d'activité :
 - o La présence de fractures et d'interstratifications ouvertes témoignent de phénomènes actifs ;
 - o Les précipitations et la fonte des neiges entraînent des écoulements et ruissellement au sein des formations gréseuses. Ces écoulements entraînent d'une part l'érosion des interbancs argileux et diminuent la résistance aux cisaillement au sein des formations interstitielles ;
 - o Les épisodes de gel/dégel et l'action des racines agrandissent les discontinuités.

Les caractéristiques des masses rocheuses (volume et géométrie - Illustration 24) associées à ces ruptures sont très variables et sont fonction de l'organisation locale des réseaux de fractures.



Illustration 24 : Exemple d'une zone de départ présentant une rupture de type glissement dièdre (encadré rouge)

3.2.3. Basculement de colonne ou rupture en pied de colonne

Ces types de rupture sont localement présents mais non prépondérants sur le secteur d'étude. Un exemple remarquable de zone susceptible de présenter une rupture en pied de colonne est présent au pied du circuit des maisons troglodytes (Illustration 25).

Les conditions de rupture sont liées à :

- Facteurs de prédisposition :
 - Orientation relative des discontinuités au sein de la colonne et organisation géométrique de la colonne rocheuse et de sa base
 - Fragilité en pied de colonne liée à un contraste lithologique ou une fatigue de matériaux d'assise (fracturation mécanique et altération plus développée) lié par exemple à des circulations d'eau préférentielles.
- Facteurs d'activité :
 - La présence de rejets géométriques locaux et de zones fracturées en pied de colonne d'une amorce de rupture.
 - Les cycles de gel/dégel, et des circulations d'eaux locales, constituent les principaux facteurs d'évolution sensibilisant les masses prédécoupées.

Les masses rocheuses associées à ces ruptures sont également très variables, fonction de l'organisation locale du réseau de fractures et de la géométrie des chicots rocheux.



Illustration 25 : Photographie d'une colonne présentant une susceptibilité à une rupture en pied de colonne

Ce mécanisme peut naturellement être couplé à des ruptures en surplomb (colonne « suspendue ») ou à des mécanismes de glissement dièdre (plan) suivant des fractures parallèles à la falaise.

3.3. INVENTAIRE EVENEMENTIEL

La réalisation de l'inventaire évènementiel compile toutes les données obtenues via la BD MVT ainsi que les observations de terrain.

Le report des évènements reconnus lors du relevé de terrain réalisé par le BRGM permet de donner une première idée des zones de propagation des blocs. L'ensemble des blocs identifiés est relativement peu éloigné du pied de versant.

L'inventaire évènementiel apporte des informations concernant les volumes potentiellement mobilisables. Dans le cadre de cette étude, l'ensemble des volumes des blocs recensés a été analysé afin d'estimer le volume mobilisable du scénario de référence pour chaque zone homogène (Illustration 26).

Les différents volumes observés sur le terrain sont répartis dans 4 classes de volume définie au sein de la méthodologie MEZAP.

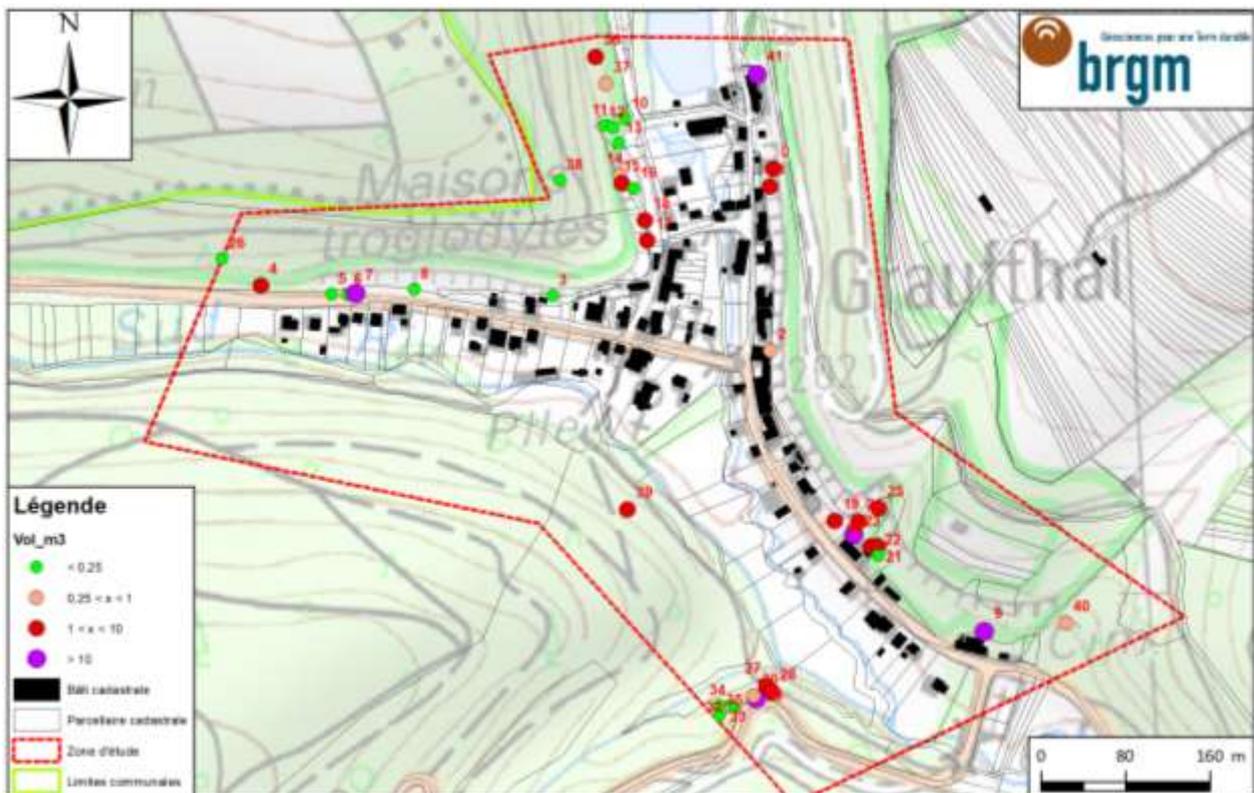


Illustration 26 : Localisation et volume des blocs éboulés sur la zone d'étude

Le tableau présenté en Annexe 2 récapitule le volume des blocs recensés lors de cet inventaire. Une analyse statistique de cet inventaire est présentée en Illustration 27.

Les blocs d'un volume supérieur à 10 m³ ne représentent que 12% des observations réalisées sur le terrain. Les pierres et petits blocs (volume inférieur à 0,25 m³) représentant 38 % des observations.

Les blocs d'un volume compris entre 0,25 m³ et 1 m³ représentent 14% des observations et les volumes compris entre 1 m³ et 10 m³ représentent 36 %. De manière globale, aucune classe de volume ne paraît plus spécifiquement représentative des événements recensés sur le secteur d'étude.

Il est à noter que si la répartition des blocs ne révèle pas de hiérarchisation en terme de volume, les périodes d'éboulement associées ne sont pas prises en compte, par manque de données précise permettant de justifier de leur date d'occurrence.

Cette pondération, si elle pouvait être engagée permettrait peut-être de moduler ce constat. Il est probable que les petits volumes présentent une période d'occurrence plus régulière.

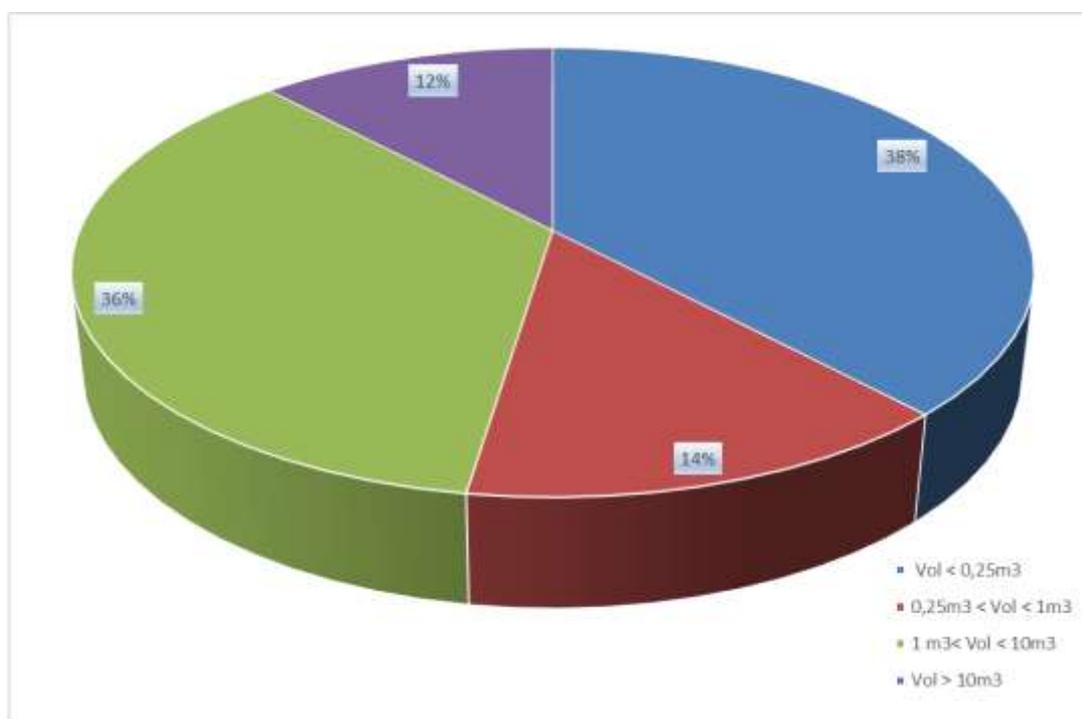


Illustration 27 : Répartition statistique des classes de volume de blocs éboulés recensés lors de l'inventaire

4. Evaluation de l'aléa « Chute de blocs »

4.1. ALEA DE RUPTURE

L'objectif est de définir l'ensemble des éléments pouvant être mis en mouvement (de quel endroit ? quand ? à quelle échéance ?).

D'après les informations obtenues durant la phase d'inventaire évènementiel, les mécanismes, les volumes et l'activité diffèrent au sein des différents versants et au sein des formations géologiques. La première étape de caractérisation de l'aléa chute de blocs va consister en une définition des zones homogènes de départ et des scénarii (probabilité d'occurrence et de rupture) pour chacune de ces zones.

4.1.1. Recensement des zones de départ

La définition des zones de départs potentiels est basée sur les paramètres de prédisposition suivants :

- La morphologie : présence de ressauts topographiques pouvant générer des éboulements ;
- La géologie : quelles sont les formations géologiques pouvant générer des blocs instables ;
- Les mécanismes de rupture : fracturation, interstratifications rendant le massif susceptible aux chutes de blocs.

La diversité des mécanismes de rupture observés au sein de la zone d'étude, parfois au sein d'une même formation géologique, a rendu difficile la prise en compte du mode de rupture au niveau des zones de départ. De fait, il a été considéré que l'ensemble des reliefs était susceptible de produire des blocs.

Géologie

Les zones favorables sont définies à partir de la carte géologique harmonisée au 1/50 000 enrichie des levés de terrain. Les résultats sont compilés sur l'illustration 28. D'un point de vue lithologique, les ensembles lithologiques favorables au départ de chutes de blocs sont les formations cartées comme « rochers sains ».

L'observation des zones de rochers sains lors des visites de terrain a permis de différencier 3 typologies de rochers :

- Les Grès vosgiens qui sont caractérisés par des falaises linéaires régulières ;
- Le conglomérat principal qui est caractérisé par des zones de falaise d'aspect plus découpé affecté par une fracturation importante ;
- Le conglomérat principal qui est caractérisé par des zones de falaise d'aspect plus découpé peu fracturé.

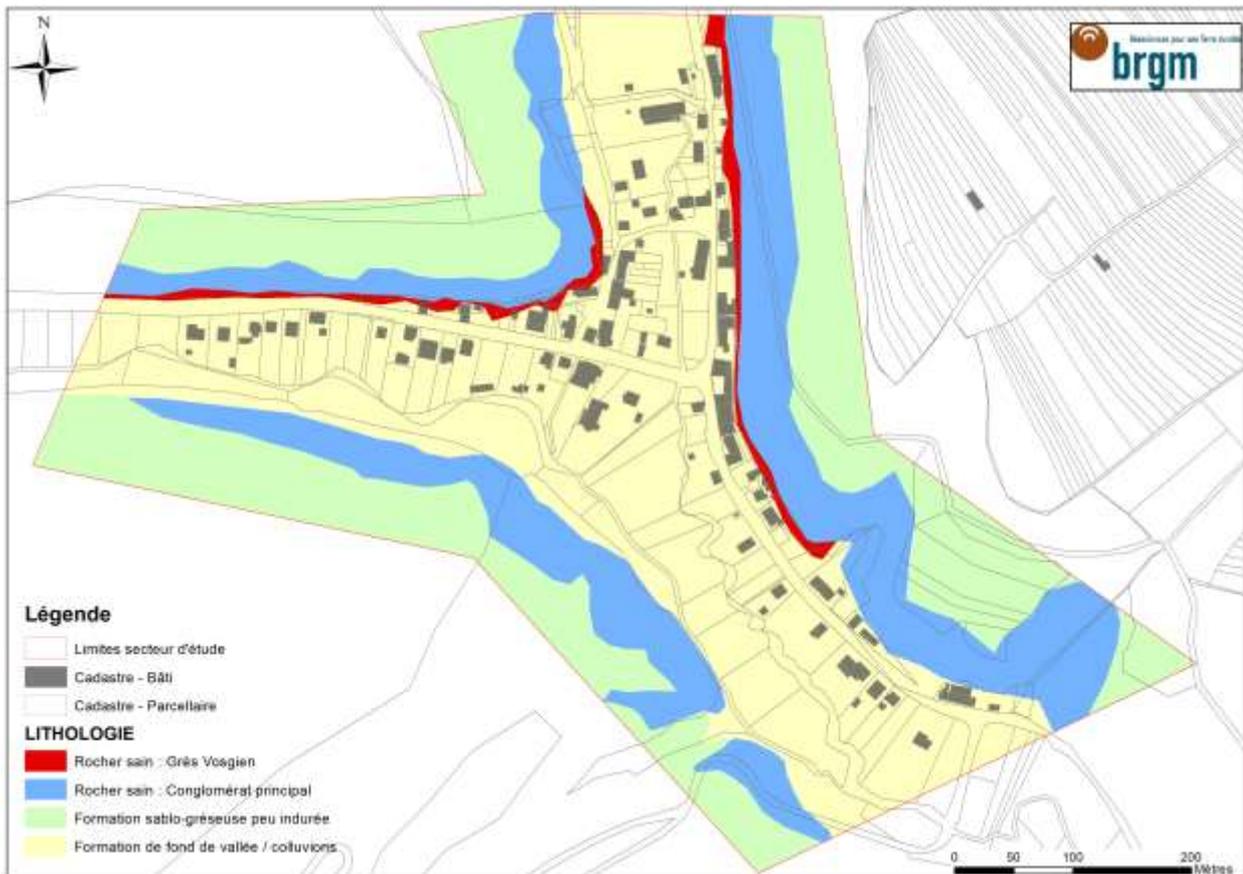


Illustration 28 : Carte lithologique de la zone d'étude

Morphologie

L'inventaire exhaustif des zones de départ potentielles (falaises et barres rocheuses) lors d'une reconnaissance *in situ* est difficilement réalisable à l'échelle de la zone d'étude. A ce titre le couplage par photo-interprétation et valorisation des données du MNT a été engagé. Des réflexions, par retour d'expérience de zones d'éboulement dans le massif alpin (Berger, 2009) ont été menées pour valoriser les données MNT au travers de la carte des pentes notamment. Sur cette base, un modèle permettant de calculer la valeur du seuil de pente α en fonction de la résolution de MNT (avec RES résolution du MNT) est proposé :

$$\alpha = 55^\circ \times RES^{-0.075}$$

La résolution du MNT obtenu suite à la réalisation des levés LiDAR étant de 1 m, une pente supérieure ou égale à 55° est considérée comme zone de départ potentielle. En complément, cette approche est croisée et ponctuellement enrichie avec la digitalisation des barres rocheuses apparentes sur l'ortho photo haute résolution afin de produire une carte des zones de départ potentielles la plus exhaustive possible (Illustration 30). Cette carte est validée et complétée à l'aide des données obtenues durant les campagnes de terrain.

En outre, l'orientation des barres par rapport à la topographie est précisée, afin d'identifier un sens de propagation préférentiel en cas de chute. Les résultats sont reportés sur l'illustration 29 :

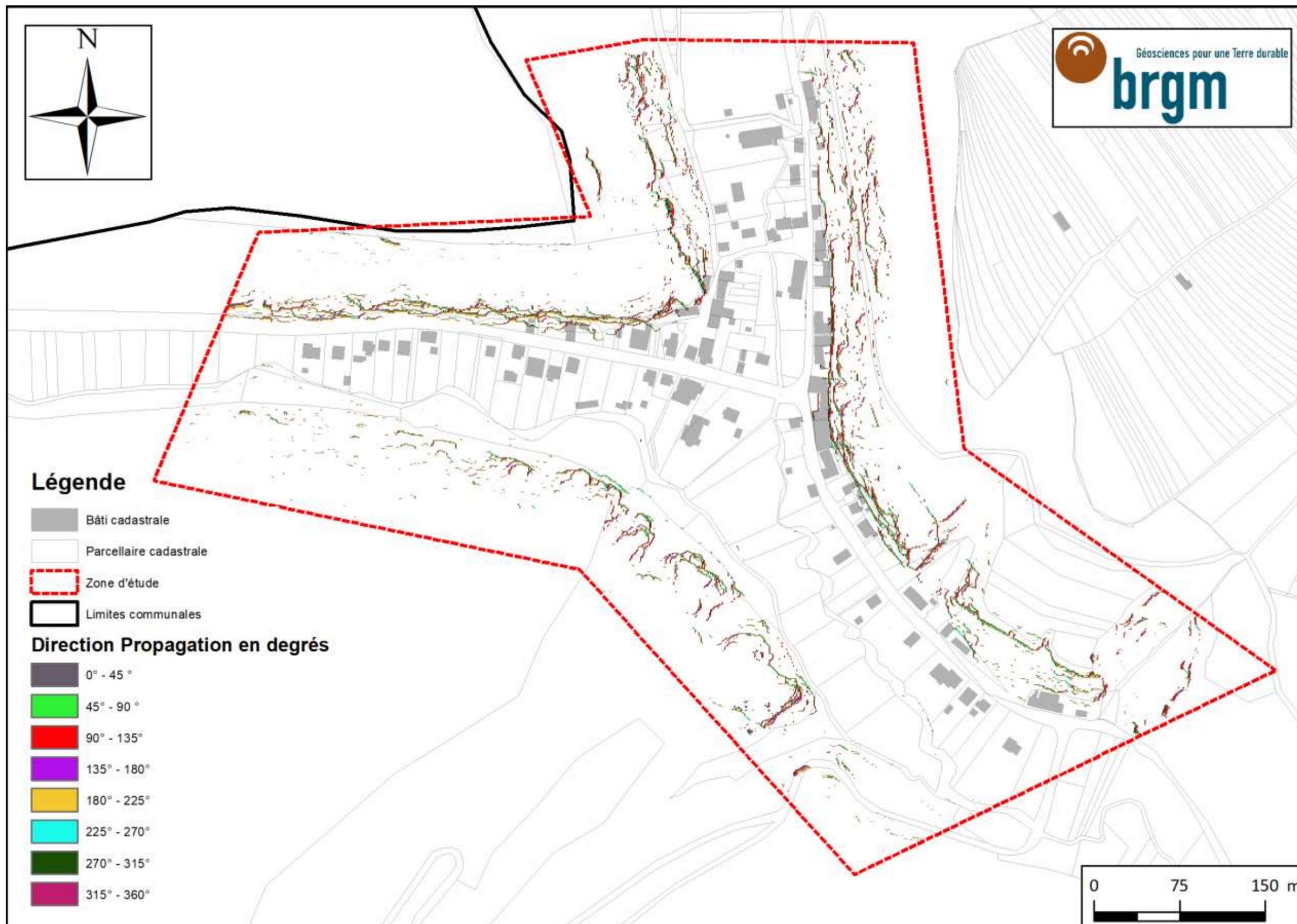


Illustration 29 : Carte des zones de localisation des zones de départs potentielles de blocs et des directions de propagations préférentielles



Illustration 30 : Identification d'une zone de départ, cachée par la végétation sur le terrain, mais visible sur le levé LIDAR (encadré rouge)

4.1.2. Intensité des phénomènes

L'indice d'intensité est qualifié en fonction des volumes potentiellement mobilisables, eux-mêmes associés à l'endommagement potentiel des enjeux en cas d'atteinte. De manière générale, le niveau d'intensité d'un phénomène se définit selon le Tableau 2 :

<i>Indices d'intensité</i>	<i>Description</i>	<i>Potentiels de dommages</i>
Faible	Le volume unitaire pouvant se propager est inférieur à 0,25 m ³	Pas de dommage au gros œuvre, peu ou pas de dommages aux éléments de façade.
Modérée	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 0,25 m ³ mais inférieur à 1 m ³	Domage au gros œuvre sans ruine. Intégrité structurelle sollicitée.
Elevée	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 1 m ³ mais inférieur à 10m ³	Domage important au gros œuvre. Ruine probable. Intégrité structurelle remise en cause.
Très élevée	Le volume unitaire pouvant se propager dépasse 10 m ³	Destruction du gros œuvre. Ruine certaine. Perte de toute intégrité structurelle

Tableau 2 : Définition des classes d'intensité (source : document MEZAP)

L'inventaire évènementiel, ainsi que les observations réalisées sur le terrain concernant les éléments **rocheux susceptibles de s'ébouler** (après fragmentation) permet de qualifier une classe d'intensité de référence sur la zone d'étude. D'après la distribution des volumes observés au droit de l'ensemble de la zone d'étude, **la classe d'intensité de référence serait comprise entre élevée à très élevée afin de ne pas sous-estimer l'aléa** (Tableau 3).

Indice d'intensité	Nombre de blocs observés (sol + falaise)	%
Faible	15	37.50
Modérée	13	32.50
Elevée	10	25.00
Très élevée	2	5.00
Total	40	100

Tableau 3 : Distribution statistique des intensités potentielles recensées sur la zone d'étude

Cependant, les campagnes de terrain permettent de différencier localement des contextes géomorphologiques différents qui permettent de pondérer cette première approche (Illustration 31) :

- Type 1 : Falaise de grès vosgiens
- Type 2 : Falaise de conglomérat peu fracturée
- Type 3 : Falaise de conglomérat à forte fracturation

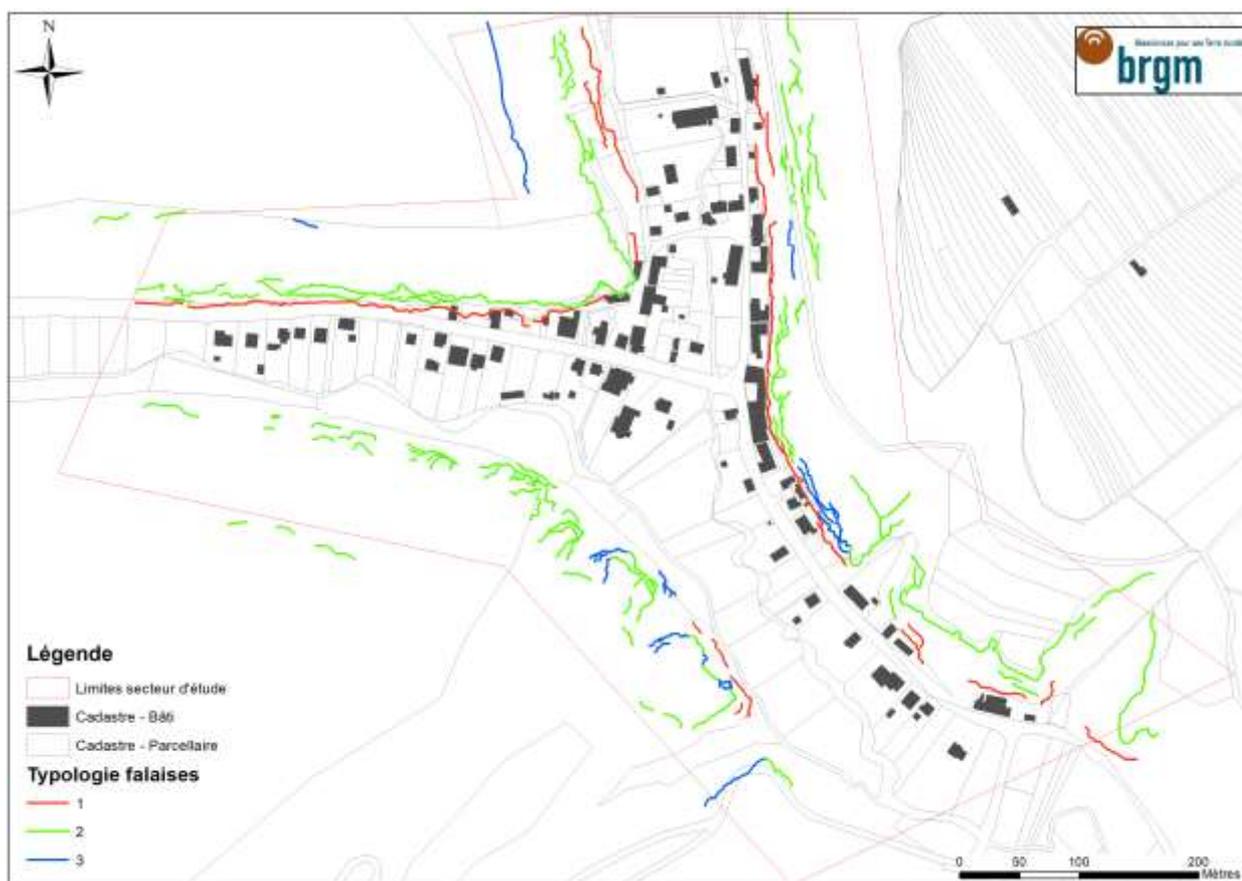


Illustration 31 : Répartition des falaises par typologie observée sur le terrain

De fait, une intensité de référence a été établie pour chacune des typologies de falaise (Tableau 4).

Falaise type 1			Falaise type 2			Falaise type 3		
Indice d'intensité	Nombre de zones	%	Indice d'intensité	Nombre de zones	%	Indice d'intensité	Nombre de zones	%
Faible	15	71.43	Faible	7	19.44	Faible	2	28.57
Modérée	2	9.52	Modérée	10	27.78	Modérée	3	42.86
Elevée	3	14.29	Elevée	18	50.00	Elevée	2	28.57
Très élevée	1	4.76	Très élevée	1	2.78	Très élevée	0	0.00
Total	21	100	Total	36	100	Total	7	100

Tableau 4 : Distribution statistique des intensités potentielles par typologie de falaise

Chaque typologie de falaise identifiée présente une intensité de référence différente :

- Type 1 = Intensité faible (Illustration 32), les évènements à intensité élevée et très élevée correspondent à des ruptures de surplomb qui constitue des évènements localisés et exceptionnels, ces évènements sont traités de façon distincte lors de la qualification de l'aléa ;
- Type 2 : l'intensité très élevée est jugée comme phénomène exceptionnelle et traitée de façon distincte, on retiendra une intensité « élevée » (Illustration 33) ;
- Type 3 : la **qualification d'intensité « élevée » est réalisée à dire d'expert**, à partir des observations générales réalisées sur les affleurements lors des visites de terrain (Illustration 34), et non sur la seule base de l'analyse statistique pour laquelle l'échantillon est jugé trop faible pour être représentatif.



Illustration 32 : Photographie d'une zone de départ d'intensité faible en versant de type 1



Illustration 33 : Photographie d'une zone de départ d'intensité élevée en versant de type 2



Illustration 34 : Photographie d'une zone de départ d'intensité élevée en versant de type 3

4.1.3. Indice d'activité

L'indice d'activité des zones de départ est fonction de la fréquence avec laquelle les volumes de roches sont susceptibles de se mettre en mouvement (Tableau 5).

Indice d'activité par zone d'homogène	Description
Faible	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 100 ans
Moyen	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 10 ans
Fort	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les ans

Tableau 5 : Définition des classes d'indice d'activité (source : document MEZAP)

L'inventaire évènementiel n'a pas permis d'établir des périodes de retour au droit de la zone d'étude. La majorité des blocs recensés sur le terrain l'ont été en zone non urbanisée. En l'absence de témoignage précis, la qualification de l'indice d'activité a été réalisée, pour chaque zone de départ potentiel identifiée, à dire d'expert.

Les fiches descriptives des zones de départ potentiel contiennent l'évaluation de l'indice d'activité. Une analyse statistique, identique à celle réalisée pour qualifier l'indice d'intensité, a été réalisée pour chaque typologie de falaise (Tableau 6).

Falaise type 1			Falaise type 2			Falaise type 3		
Indice d'activité	Nombre de zones	%	Indice d'activité	Nombre de zones	%	Indice d'activité	Nombre de zones	%
Faible	12	57.14	Faible	26	72.22	Faible	5	71.43
Moyenne	9	42.86	Moyenne	10	27.78	Moyenne	1	14.29
Elevée	0	0.00	Elevée	0	0.00	Elevée	1	14.29
Total	21	100	Total	36	100	Total	7	100

Tableau 6 : Distribution statistique des indices d'activité par typologie de falaise

Les 3 typologies de falaises présentent un indice d'activité qualifié de faible à moyen.

4.1.4. Synthèse de l'aléa de rupture

La différenciation des différentes falaises en 3 typologies entraîne la définition de 3 scénarii de rupture qui vont prendre en compte les indices d'intensité et d'activité définis pour chacune des typologies de falaises.

Falaise type 1			Falaise type 2			Falaise type 3		
Indice d'intensité	Nombre de zones	%	Indice d'intensité	Nombre de zones	%	Indice d'intensité	Nombre de zones	%
Faible	15	71.43	Faible	7	19.44	Faible	2	28.57
Modérée	2	9.52	Modérée	10	27.78	Modérée	3	42.86
Elevée	3	14.29	Elevée	18	50.00	Elevée	2	28.57
Très élevée	1	4.76	Très élevée	1	2.78	Très élevée	0	0.00
Total	21	100	Total	36	100	Total	7	100

Indice d'activité	Nombre de zones	%	Indice d'activité	Nombre de zones	%	Indice d'activité	Nombre de zones	%
Faible	12	57.14	Faible	26	72.22	Faible	5	71.43
Moyenne	9	42.86	Moyenne	10	27.78	Moyenne	1	14.29
Elevée	0	0.00	Elevée	0	0.00	Elevée	1	14.29
Total	21	100	Total	36	100	Total	7	100

Tableau 7 : Présentation des différents scénarii de rupture

Les scénarii de rupture sont donc les suivants :

- Falaise droite de grès (Type 1) : un indice d'activité « moyen » et un indice d'intensité « faible ». L'indice d'activité est qualifié de moyen afin de ne pas sous-estimer l'aléa du fait du faible écart statistique et de l'échantillon réduit ;
- Falaise droite de conglomérat (Type 2) : un indice d'activité « faible » et un indice d'intensité « élevé » ;
- Falaise fracturée de conglomérat (Type 3) : un indice d'activité « faible » et un indice d'intensité « élevé » qualifié à dire d'expert (Cf. § 4.1.2).

4.2. ALEA DE PROPAGATION – PROBABILITE D'ATTEINTE

L'aléa de propagation a été défini à l'aide du modèle de la ligne d'énergie également appelée « méthode des cônes ». Ce modèle est basé sur un principe simple selon lequel un bloc ne peut progresser sur une pente que si celle-ci est suffisamment raide.

Ainsi, si la pente est supérieure à un angle limite β , le bloc accélère. Si elle est inférieure à β , il ralentit. En partant de ce constat, un bloc peut aller d'une zone de départ A jusqu'à B, point d'intersection du relief avec une ligne imaginaire partant de la zone de départ et formant un angle β avec l'horizontal (Illustration 35). Cette ligne est appelée la ligne d'énergie et l'angle β , l'angle de la ligne d'énergie.

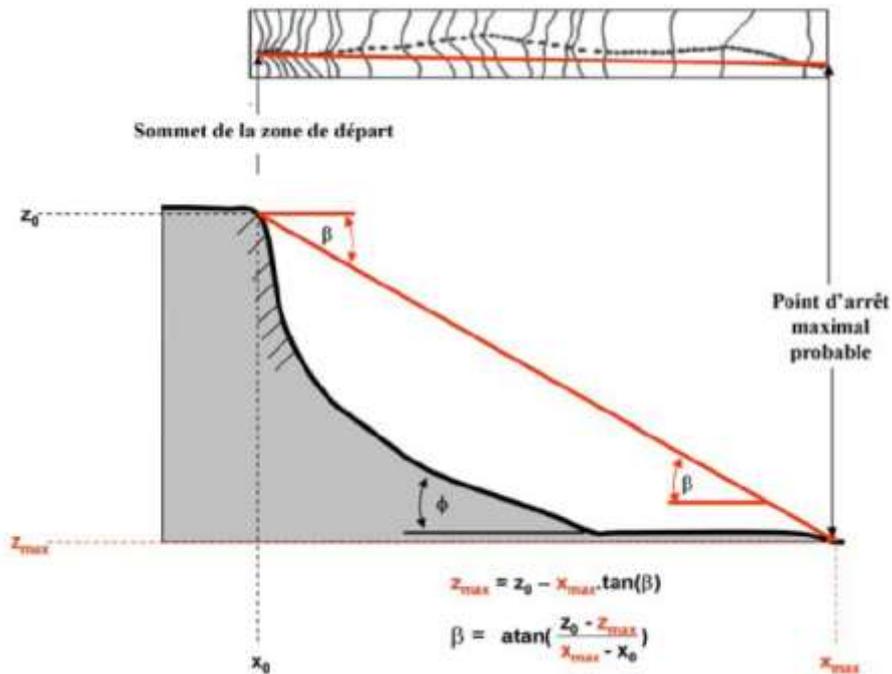


Illustration 35 : Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie et de la formule pour déterminer l'angle β

Cette méthode permet de définir l'extension prévisible de l'aléa rocheux par le choix de valeurs d'angle définies selon les particularités du relief de la zone d'étude. L'observation et les mesures d'angles réalisées sur le terrain permettent de présenter des plages statistiques de valeurs permettant une quantification de la probabilité d'atteinte.

D'après les observations réalisées sur le terrain ; les falaises situées sur la zone d'étude peuvent être réparties en 2 familles de profils topographiques différents qui nécessitent de définir des valeurs d'angles pour chacune de ces 2 familles.

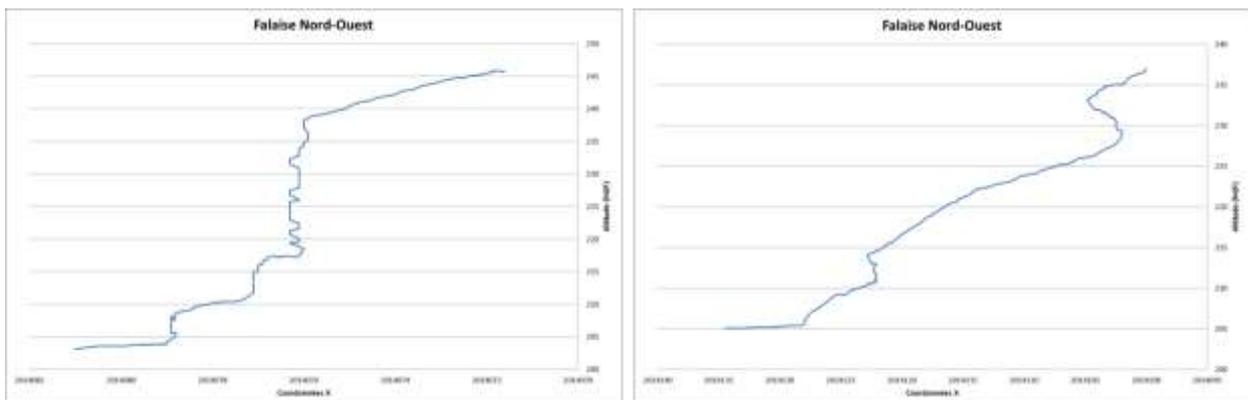


Illustration 36 : Illustrations des 2 familles de profils topographiques présents sur la zone d'étude

Selon les principaux types de pente décrits au sein de la méthodologie MEZAP (Cf. Annexe 3), les falaises de la zone d'étude s'apparentent à des falaises de type C (profil de pente irrégulier en pied de zone de départ - Illustration 36 droite) correspondant aux versants de conglomérat principal situés en partie supérieure de parois et D (falaise et replat marqué - Illustration 36 gauche) correspondant majoritairement aux parois de grès vosgiens situées en pied de versant.

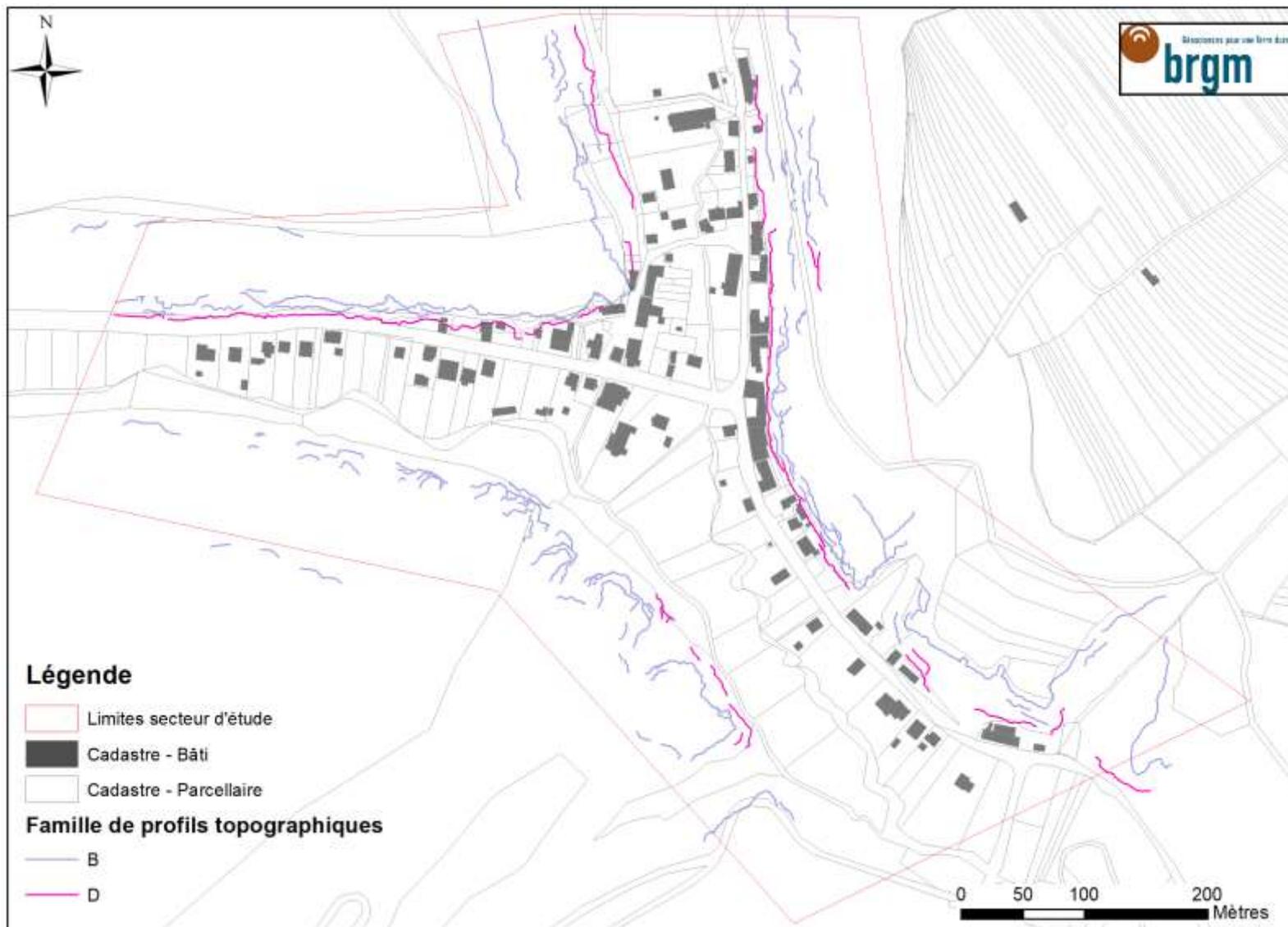


Illustration 37 : Carte de localisation des différentes familles de profils topographiques

L'utilisation de la méthode de la ligne d'énergie a permis de définir les valeurs d'angle suivantes pour caractériser les enveloppes de propagation (Tableau 8). Les valeurs d'angle de propagation relatives à chaque profils modélisés sont présentée sur l'illustration 38.

Dans le cas de figure où la valeur d'angle de propagation de la ligne d'énergie est plus pénalisante que la valeur moyenne, le contour de l'enveloppe de propagation est défini de la manière la plus large afin de ne pas sous-estimer l'aléa.

Typologie falaise selon méthodologie MEZAP	Angle Probabilité d'atteinte faible	Angle Probabilité d'atteinte moyenne	Angle Probabilité d'atteinte fort
B	32°	37°	44°
D	48°	52°	55°

Tableau 8 : Présentation des valeurs d'angle β utilisées pour déterminer l'aléa de propagation

Les simulations ont été opérées à l'aide du logiciel CONEFALL[®] permettant une représentation en 3 dimensions des intersections des cônes issus des zones de départ et de la topographie.

La carte de l'aléa de propagation est présentée en Illustration 38.

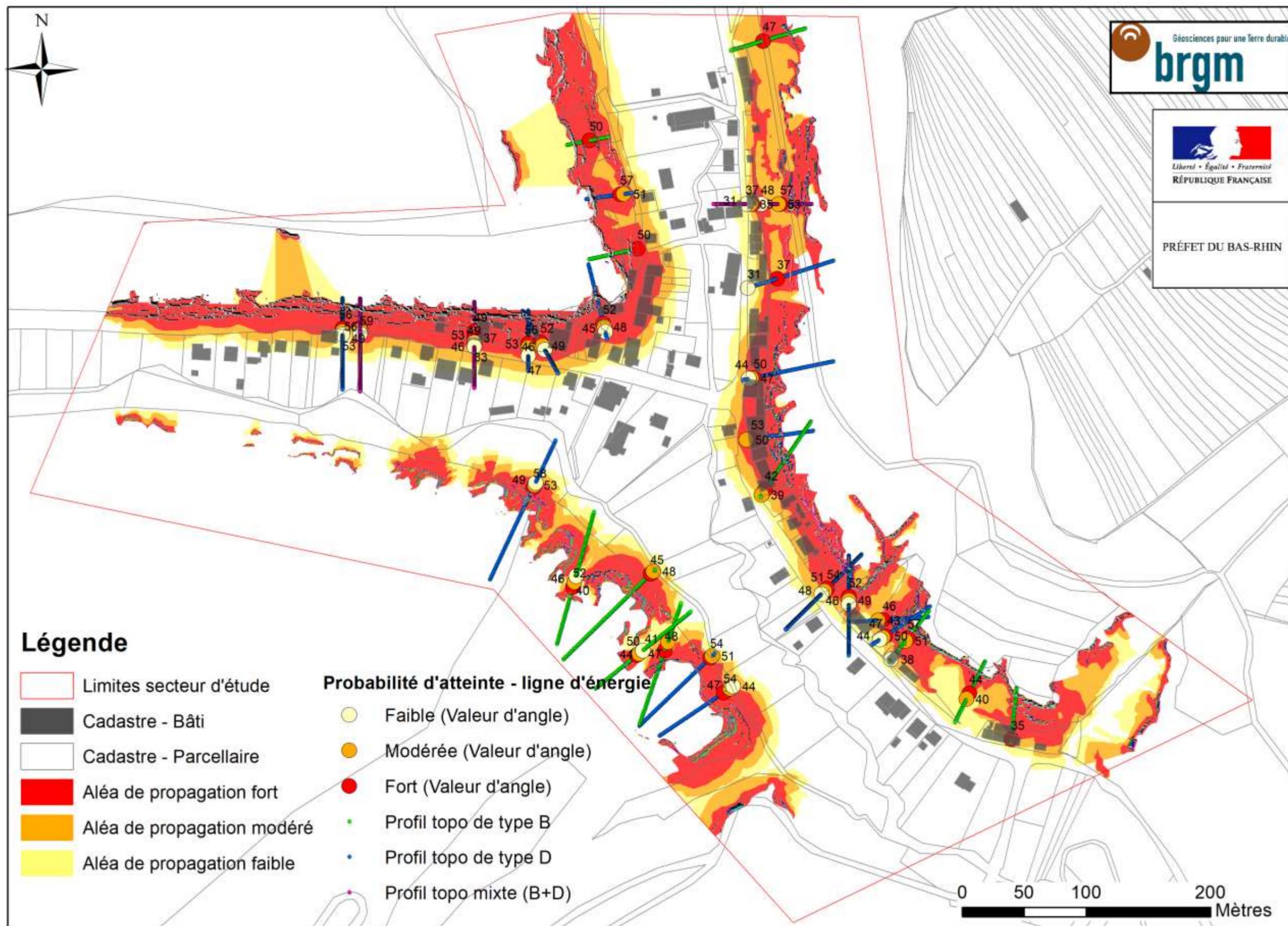


Illustration 38 : Cartographie de l'aléa de propagation depuis les zones de départ identifiées

4.3. PROBABILITE D'OCCURRENCE DES CHUTES DE BLOCS

La probabilité d'occurrence est définie en croisant la probabilité d'atteinte en un point et la probabilité de départ qualifiée par l'indice d'activité selon la matrice présentée en Illustration 39.

		Probabilité d'atteinte			
		Faible	Moyenne	Forte	Très Forte
Indice d'activité	Type 2 et 3 Faible	Faible	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Type 1 Moyen	Modérée	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Fort	Modérée	Elevée	Elevée	Très Elevée

Illustration 39 : Matrice de définition de la probabilité d'occurrence selon la méthodologie MEZAP

Pour rappel, l'indice d'activité est qualifié de faible à moyen sur l'ensemble des zones de départ identifiées.

La carte de la probabilité d'occurrence est présentée en Illustration 40.

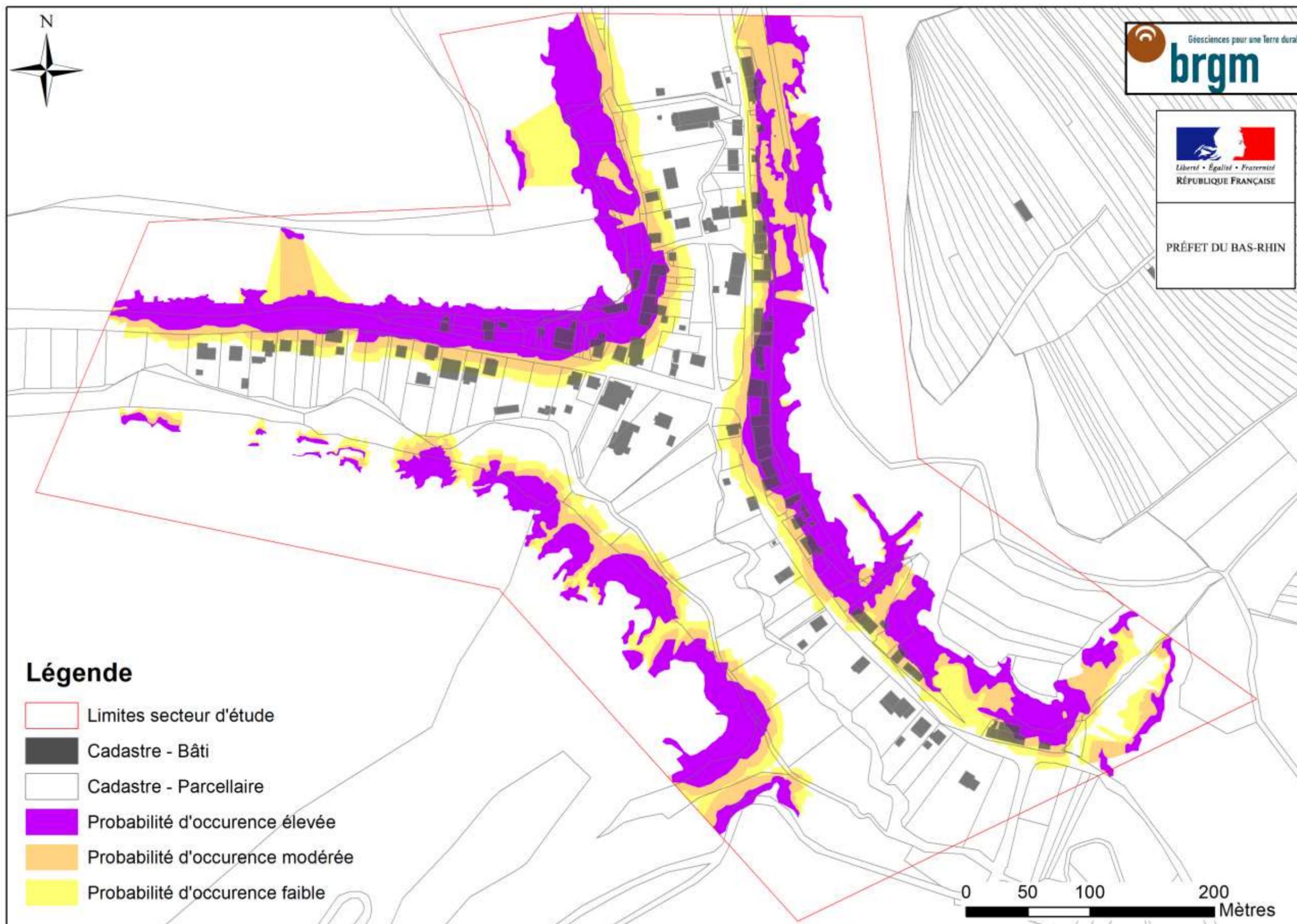


Illustration 40 : Cartographie de la probabilité d'occurrence

4.4. PRISE EN COMPTE DES EVENEMENTS EXCEPTIONNELS

Au droit de la zone d'étude, 3 phénomènes potentiels ont été observés, susceptibles de générer des dommages bien supérieurs aux scénarii de références retenus, mais caractérisée par une occurrence de départ supérieure à 100 ans.

Le premier de ces phénomènes a été observé au droit des maisons troglodytiques sur le versant nord-ouest. Il s'agit d'une colonne rocheuse qui apparaît désolidarisée des versants rocheux adjacents mais qui possède toujours un pont rocheux en arrière. Le volume total de cette colonne rocheuse est supérieur à 1.000 m³ (Illustration 41).



Illustration 41 : Photographie de la colonne rocheuse présentant une intensité exceptionnelle (carré rouge)

Le second compartiment rocheux dont l'intensité est supérieure au scénarii de référence se situe sur le versant est. Il s'agit d'un empilement de blocs dont le volume total est supérieur à 50 m³. Si l'assise est légèrement sous-cavée coté amont, elle ne présente pas de signe de fragilité coté aval Cet empilement est connu dans le village d'Eschbourg et est appelé « le champignon ». Un suivi a été préconisé en place par l'ONF en 2012, à l'aide de témoins nécessitant une prise de mesure manuelle, sans qu'aucune conclusion n'ait été tirée depuis (Illustration 42).

Le dernier phénomène présentant une intensité exceptionnelle se situe sur certains affleurements de type 1 (falaise droite de grès vosgien), notamment au nord de la Rue du Vieux Moulin. De manière locale, des zones de surplomb sont présentes en pied de falaise. Les masses rocheuses sont compactes et semblent bénéficier de pont rocheux en arrière. En cas de rupture de surplomb, les volumes mis en jeu peuvent atteindre les 300 m³ (Cf. évènement de juin 2016 & Illustration 43).

L'aléa lié à ces évènements a été carté également même si l'occurrence de départ est supérieure à 100 ans (Illustration 45).



Illustration 42 : Photographie du bloc appelé « le champignon »



Illustration 43 : Photographie d'un surplomb sur une falaise de type 1

4.5. QUALIFICATION DE L'ALEA « CHUTE DE BLOCS »

Le niveau d'aléa est défini en croisant la probabilité d'occurrence en un point et l'intensité selon la matrice présentée en Illustration 44.

		Intensité				Phénomène de grande ampleur (écoulement turbulent)
		$V \leq 0,25 \text{ m}^3$	$0,25 < V \leq 1 \text{ m}^3$	$1 < V \leq 10 \text{ m}^3$	$V > 10 \text{ m}^3$	
Probabilité d'occurrence	Faible	Faible	Modérée	Elevée	Très élevée	Cartographie avec un niveau d'aléa unique: très élevé (Cf. 3.1)
	Modérée	Faible	Modéré	Elevé	Elevé	
	Elevée	Modéré	Elevé	Elevé	Très élevé	
	Très élevée	Elevé	Elevé	Très élevé	Très élevé	

Illustration 44 : Matrice de qualification de l'aléa chute de bloc selon la méthodologie MEZAP

La carte d'aléa résultante est présentée en Illustration 45.

L'enveloppe de propagation des zones de départ de type 2 et 3 est la plus importante du fait des valeurs d'angle plus ouverte et de la position de zones de départ en sommet de falaise. Ceci entraîne une classification en aléa élevé sur la quasi-totalité de la zone d'étude.

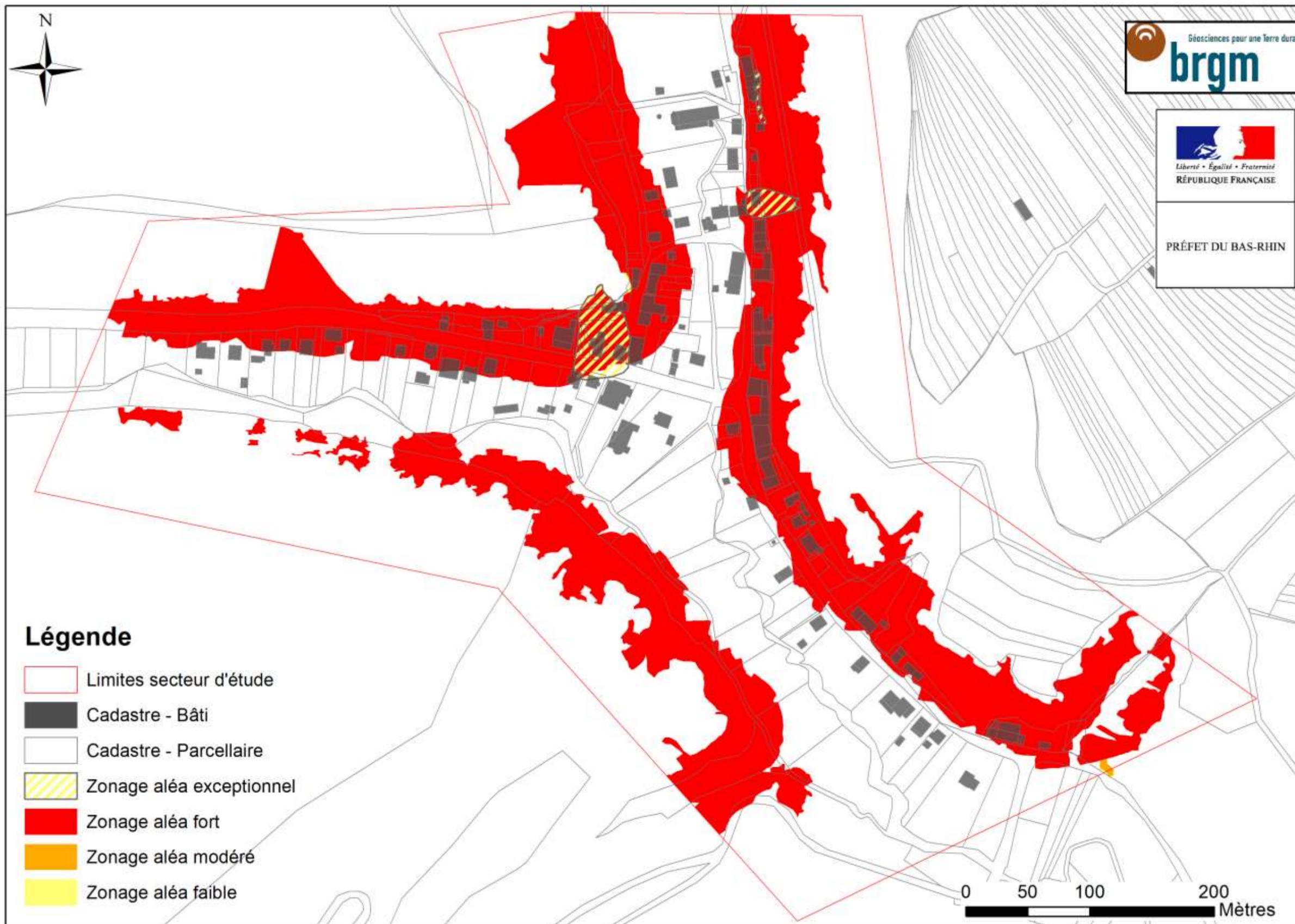


Illustration 45 : Cartographie de l'aléa chute de blocs et de pierres au droit du lieu-dit Graufthal sur la commune d'Eschbourg

5. Gestion du risque rocheux

5.1. IDENTIFICATION DES ENJEUX EXPOSES

Les zones exposées à l'aléa chute de de blocs, si elles présentent des enjeux, sont considérées comme des zones à risques. Le croisement entre les enjeux présents sur la zone d'étude et l'aléa (hors aléa « exceptionnel » car probabilité d'occurrence très faible) a été réalisé sur la base de données fournies par la DDT 67 (Illustration 46).

Ce croisement permet de mettre en évidence que les enjeux exposés à un aléa fort sont nombreux, il s'agit de :

- 101 bâtiments (granges, remises, maison d'habitation, patrimoine touristique) ;
- 1 axe routier principal (D122) sur un linéaire de 400 m ;
- 2 rues (Rues des Fontaines et du Vieux Moulin).

5.2. IDENTIFICATION DU RISQUE ASSOCIE

Compte-tenu des volumes susceptibles d'être mis en mouvement, le risque est élevé en cas d'atteinte au bâti. La circulation sur la route départementale pourrait également être impactée dans le cas d'un éboulement qui bloquerait la circulation. Les enjeux touristiques (maisons troglodytes et ancien presbytère) caractérisés par une fréquentation touristique importante au sein d'une zone directement exposée à un aléa fort constituent également une zone à risque élevé.

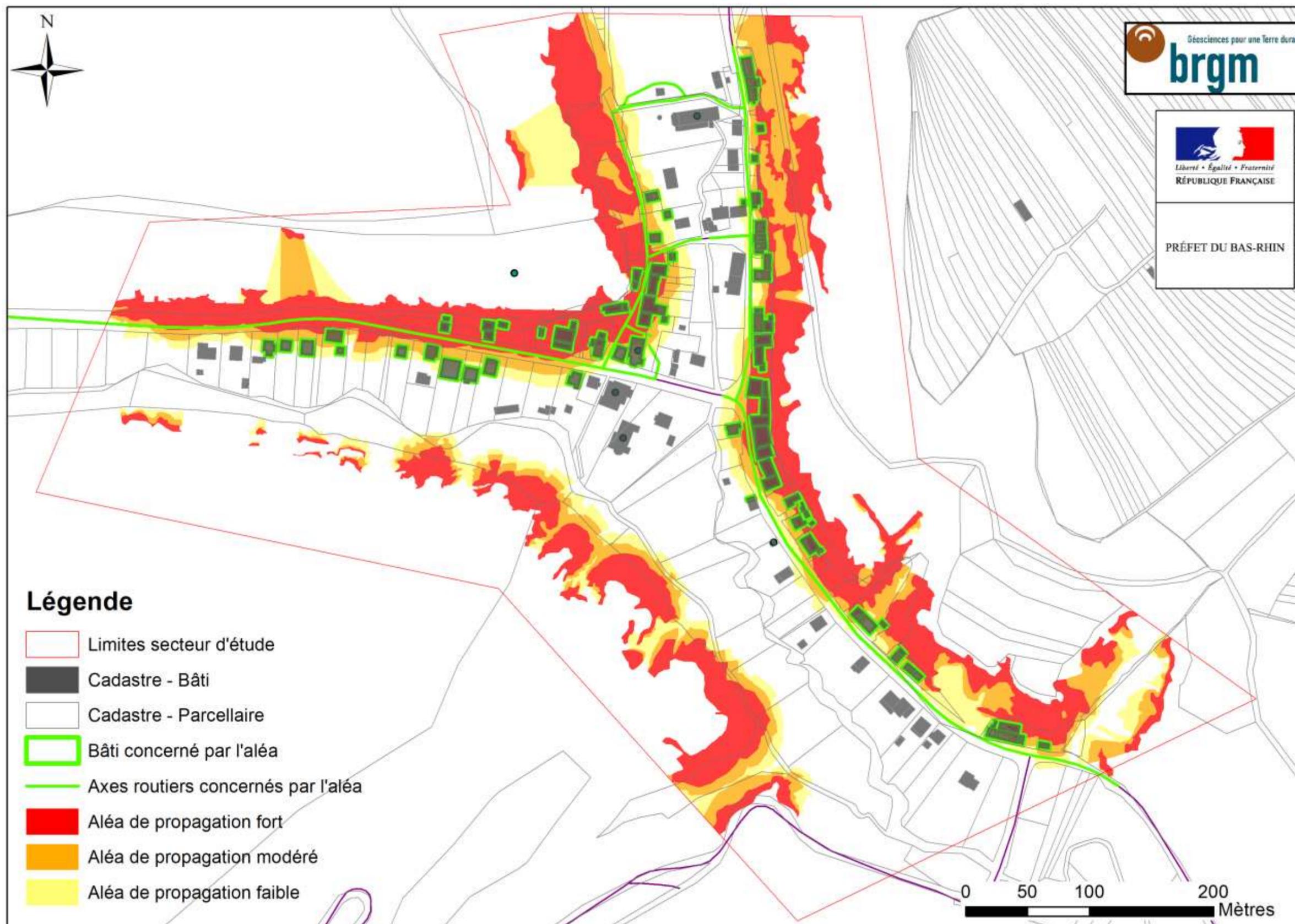


Illustration 46 : Carte de localisation des enjeux affectés par l'aléa chute de blocs

5.3. HIERARCHISATION DES ZONES A RISQUES ET PROPOSITION DE TRAVAUX

En terme de hiérarchisation des zones à risques, les paramètres suivants vont être pris en compte :

- Présence d'ERP (Etablissement Recevant du Publique) dans les zones d'aléa de propagation fort ;
- Présence de bâtiments d'habitation dans les zones d'aléa de propagation fort ;
- Présence de voies de communication (RD122) dans les zones d'aléa de propagation fort ;
- Présence de bâtiments ni ERP ni d'habitation dans les zones d'aléa de propagation fort.

L'illustration 47 localise les différents secteurs de risque issus de cette hiérarchisation. La quasi-totalité de la zone d'étude étant située en zone d'aléa fort, la discrimination sur les secteurs à traiter en priorité s'effectue selon les probabilités d'atteinte (aléa de propagation).

- Le secteur 1 comprend des enjeux touristiques (ERP), des maisons d'habitation et des voies de communication (Illustration 48).
- Le secteur 2 comprend des maisons d'habitation et une voie de communication principale (Illustration 49).
- Le secteur 3 comprend de maisons d'habitation (Illustration 50).
- Le secteur 4 concerne une voie de communication principale (Illustration 51).

Des propositions de mise en sécurité (dont la faisabilité et le dimensionnement nécessite d'être confirmés par des études spécifiques) peuvent être proposées pour les zones résidentielles et touristiques. La solution jugée adaptée à ce stade pour protéger ces zones exposées consiste en des solutions souvent mixtes et principalement passives (avec pour objectif d'empêcher le décrochement) :

- Ancrages ponctuels associés à du grillage pendu ;
- Ou grillages / filets plaqués.

sur plusieurs linéaires pour un total d'environ 700 m. Les ouvrages seront réalisés en respect de la norme ETAG 27.

Ponctuellement des masses isolées pourront être emmaillotées (filet plaqué). Les zones de surplombs en pied en falaise (type 1 notamment) pourront faire l'objet de confortements par contreforts béton. En complément à ces recommandations, des dispositifs de surveillance seraient à mettre en place sur la colonne rocheuse au droit des maisons troglodytiques ou à pérenniser sur la zone dite du « champignon » avec en particulier l'installation de fissuromètres / extensomètres, le cas échéant télétransmis, au niveau des secteurs particulièrement exposés (secteur touristique).

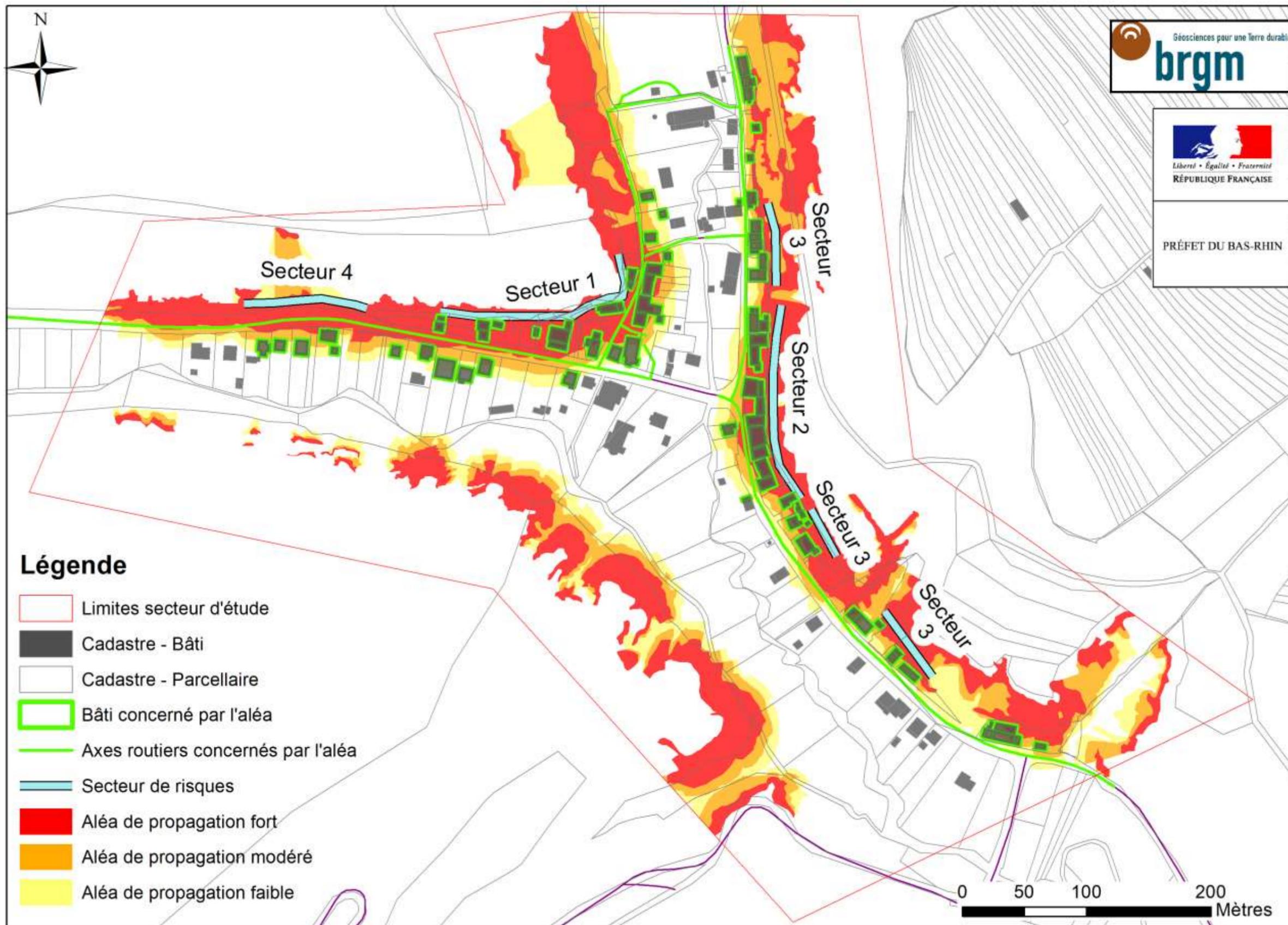


Illustration 47 : Localisation des secteurs de risque



Illustration 48 : Localisation du secteur 1

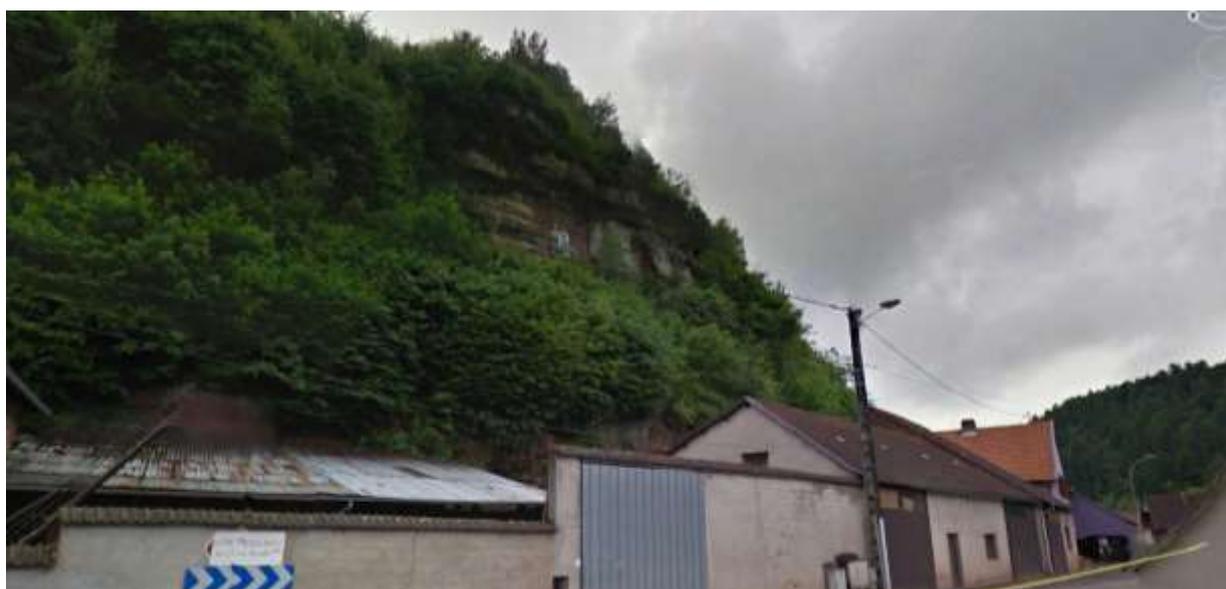


Illustration 49 : Vue d'ensemble du secteur 2 (© Google Earth)



Illustration 50 : Exemple de blocs présents sur le secteur 3



Illustration 51 : Photographie du secteur 4

6. Conclusion

La cartographie de l'aléa chute de blocs et de pierres au lieu-dit Graufthal sur la commune d'Eschbourg a été menée à partir :

- D'un inventaire bibliographique et d'observations réalisées sur le terrain ;
- De la définition de 2 géométries de versant selon la méthodologie MEZAP ;
- De la définition de 3 typologies de versant fonction de la lithologie et de la fracturation ;
- De l'identification et de la sectorisation des zones de départ potentiel de chutes de blocs à partir d'un jeu de données 3D des falaises spécialement réalisé ;
- De l'évaluation des aléas de rupture pour chaque zone de départ et de l'établissement d'un scénario de référence pour chaque typologie de versant ;
- De la détermination des propagations potentielles de blocs en utilisant la méthode dite « des cônes ».

La cartographie de l'aléa réalisée permet d'établir qu'une forte proportion de la zone urbanisée du lieu-dit Graufthal est exposée à un risque élevé. De nombreuses habitations ainsi que des voies de communication sont exposées, tout comme des enjeux touristiques.

La majorité des zones exposées peuvent être protégées par la mise en œuvre de protections dont le rôle est d'empêcher le décrochement et la mise en mouvement des masses rocheuses. Localement des dispositifs de surveillance de masses rocheuses sont également préconisés.

7. Bibliographie

Berger, F. (2009). Expertise trajectographique en 3 dimensions, de l'aléa chute de pierre et de blocs rocheux, pour aide à la révision du PPR de la commune de Veyrier-de-Lac.

Cruz Mermy, D. (2012). Avis sur un pan de falaise à Graufthal. Orléans: BRGM.

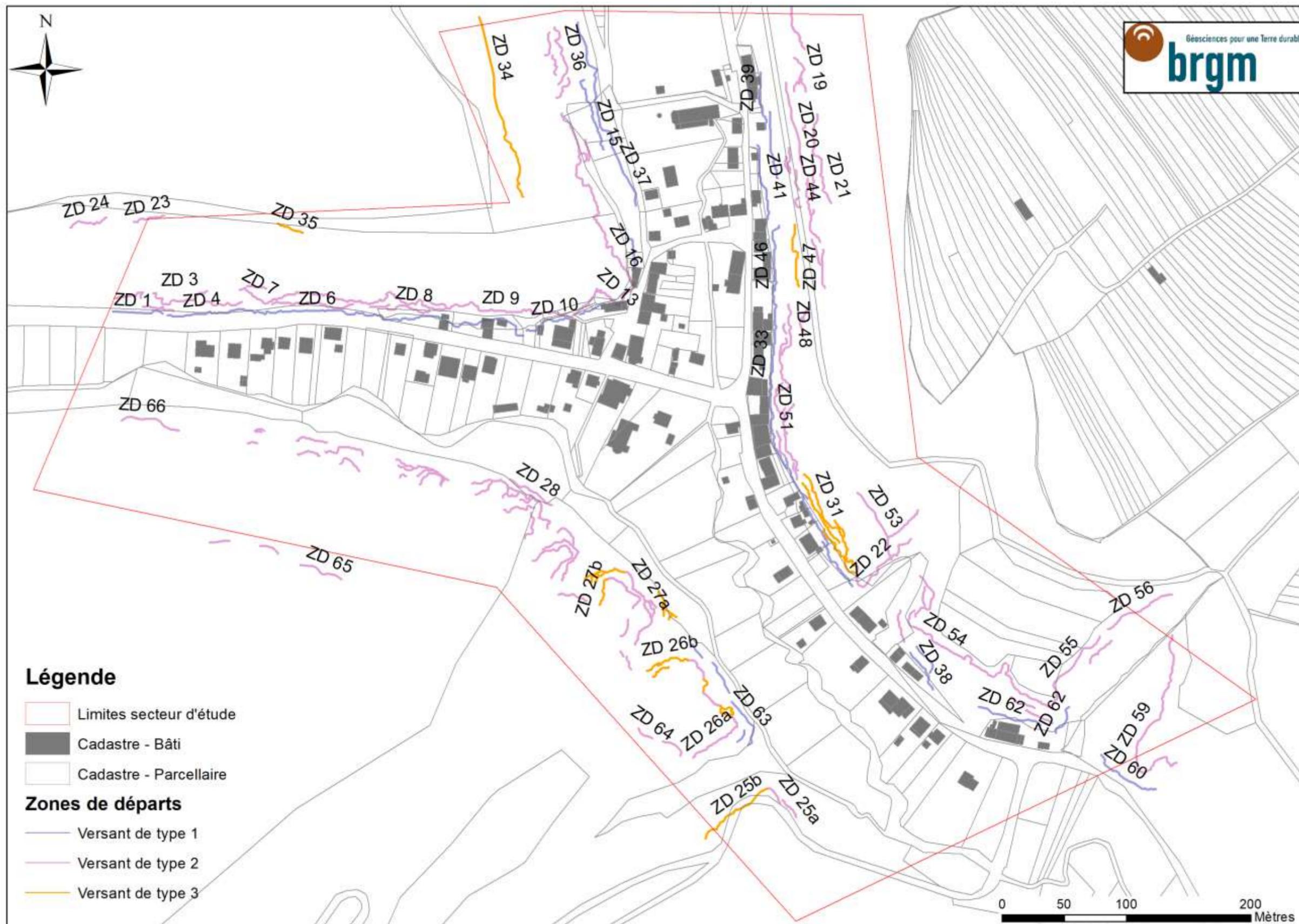
Grabenstaetter, L. (2016). Chute de blocs de juin 2016 à Eschbourg - Graufthal. Orléans: BRGM.

Ménillet, F., Vogt, H., Boudot, J.-P., Geissert, F., Thévenin, A., Schwoerer, P., & Petry, F. (1979). Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000). Feuille Bouxwiller (197). 60 p. Orléans: BRGM.

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. (2014). Proposition d'une note technique à l'attention des Services Déconcentrés de l'Etat en charge des procédures PPRn - Méthodologie de l'élaboration du volet "aléa rocheux" d'un PPRn.

Annexe 1

Fiches descriptives et carte de localisation des zones de départ



N° de fiche de site	Volume total estimé en m ³	Volume unitaire en m ³	Indice d'intensité	Indice d'activité	Type de profil de falaise	Type de profil topo	Présence de surplomb	Rupture en pied de colonne ou basculement de colonne	Glissement plan et/ou dièdre
ZD 1	< 1	< 0,25	Faible	Moyenne	1	D	OUI	NON	OUI
ZD 2	< 1	0,27	Faible	Moyenne	2	B	OUI	NON	NON
ZD 3	< 10	2,34	Elevée	Moyenne	2	B	OUI	NON	NON
ZD 4	< 0,25	< 0,25	Faible	Moyenne	1	D	OUI	NON	NON
ZD 5	< 1	< 1	Modérée	Moyenne	2	B	NON	NON	OUI
ZD 6	< 0,25	< 0,25	Faible	Faible	1	D	OUI	NON	NON
ZD 7	> 1	< 0,25	Faible	Moyenne	2	B	OUI	NON	NON
ZD 8	< 0,25	< 0,25	Faible	Faible	2	B	OUI	NON	NON
ZD 9	< 1	< 0,25	Faible	Faible	2	B	OUI	NON	OUI
ZD 10	> 1	< 0,25	Faible	Faible	1	D	OUI	NON	OUI
ZD 11	< 10	< 1	Elevée	Moyenne	1	D	OUI	NON	OUI
ZD 12	> 100	< 1	Elevée	Faible	2	B	OUI	OUI	NON
ZD 13	< 60	< 10	Elevée	Moyenne	2	B	OUI	NON	NON
ZD 14	< 1	< 0,25	Faible	Faible	1	D	NON	NON	NON
ZD 15	> 1	< 1	Modérée	Faible	1	B	OUI	NON	OUI
ZD 16	> 10	< 10	Elevée	Faible	2	B	OUI	NON	NON
ZD 17	> 10	< 10	Elevée	Moyenne	2	B	OUI	OUI	NON
ZD 18	> 10	< 10	Elevée	Moyenne	2	B	OUI	OUI	NON
ZD 19	> 1	< 1	Modérée	Faible	2	B	OUI	OUI	NON
ZD 20	0,33	< 0,25	Faible	Faible	2	B	OUI	NON	NON
ZD 21	> 100	> 10	Très élevée	Faible	2	B,D	OUI	NON	NON
ZD 22	> 100	> 10	Elevée	Faible	3	B,D	OUI	OUI	NON
ZD 23	< 1	< 1	Modérée	Faible	2	B	OUI	NON	NON
ZD 24	< 0,25	< 0,25	Faible	Faible	2	B	OUI	NON	NON
ZD 25a	> 10	< 1	Modérée	Moyenne	2	B	OUI	NON	NON
ZD 25b	> 10	< 1	Modérée	Moyenne	3	B	OUI	NON	NON
ZD 26a	> 10	< 1	Modérée	Faible	2	B	OUI	NON	NON
ZD 26b	> 10	< 1	Modérée	Faible	3	B	NON	NON	NON
ZD 27a	> 10	< 1	Modérée	Faible	2	B	OUI	NON	NON
ZD 27b	> 10	< 1	Modérée	Faible	3	B	OUI	NON	NON
ZD 28	> 10	< 1	Modérée	Faible	2	B	OUI	NON	NON
ZD 29	> 10	< 10	Elevée	Elevée	3	B	NON	OUI	NON
ZD 30	400	> 10	Très élevée	Faible	1	D	OUI	OUI	NON
ZD 31	> 50	> 1	Elevée	Moyenne	2	B	OUI	OUI	NON

N° de fiche de site	Volume total estimé en m³	Volume unitaire en m³	Indice d'intensité	Indice d'activité	Type de profil de faille	Type de profil topo	Présence de surplomb	Rupture en pied de colonne ou basculement de colonne	Glissement plan et/ou dièdre
ZD 32	< 1	< 1	Modérée	Moyenne	1	D	OUI	NON	OUI
ZD 33	> 1	< 0,25	Faible	Moyenne	1	D	OUI	OUI	OUI
ZD 34	< 1	< 0,25	Faible	Faible	3	B	OUI	NON	NON
ZD 35	< 1	< 0,25	Faible	Faible	3	B	NON	NON	NON
ZD 36	< 1	< 1	Modérée	Faible	2	B	OUI	NON	OUI
ZD 37	< 0,25	< 0,25	Faible	Faible	1	D	NON	NON	OUI
ZD38	< 0,25	< 0,25	Faible	Moyenne	1	D	NON	NON	OUI
ZD 39	> 10	> 1	Elevée	Faible	1	D	OUI	OUI	OUI
ZD 40	> 10	> 1	Elevée	Faible	1	B	OUI	NON	OUI
ZD 41	< 0,25	< 0,25	Faible	Moyenne	1	D	OUI	NON	OUI
ZD 42	> 1	> 1	Elevée	Faible	2	B	OUI	NON	OUI
ZD 43	> 10	> 1	Elevée	Faible	2	B	NON	NON	OUI
ZD 44	> 1	> 1	Elevée	Faible	2	B	NON	NON	OUI
ZD 45	> 1	> 1	Elevée	Faible	2	B	NON	NON	OUI
ZD 46	< 0,25	< 0,25	Faible	Moyenne	1	D	OUI	NON	OUI
ZD 47	> 1	> 1	Elevée	Faible	2	D	OUI	NON	OUI
ZD 48	< 1	< 0,25	Modérée	Moyenne	2	B	NON	NON	OUI
ZD 49	Rattachée à ZD 48								
ZD 50	> 1	> 1	Elevée	Faible	2	B	NON	NON	OUI
ZD 51	< 0,25	< 0,25	Faible	Moyenne	1	D	NON	NON	OUI
ZD 52	> 10	> 1	Elevée	Faible	2	B	OUI	NON	OUI
ZD 53	> 1	> 1	Elevée	Faible	2	B	NON	NON	OUI
ZD 54	> 10	> 1	Elevée	Faible	2	B	OUI	NON	OUI
ZD 55	> 10	> 1	Elevée	Faible	2	B	OUI	NON	OUI
ZD 56	Rattachées à ZD 55								
ZD 57									
ZD 58									
ZD 59		< 1	Modérée	Faible	2	B	OUI	NON	NON
ZD 60		< 0,25	Faible	Faible	1	D	OUI	NON	NON
ZD 61	< 0,25	< 0,25	Faible	Faible	1	D	NON	NON	OUI
ZD 62	< 0,25	< 0,25	Faible	Faible	1	D	NON	NON	OUI
ZD 63	< 0,25	< 0,25	Faible	Faible	1	D	NON	NON	OUI
ZD 64					2	B	Non Observé sur le terrain		
ZD 65	< 1	< 1	Modérée	Faible	2	B	NON	NON	OUI
ZD 66	> 1	> 1	Elevée	Faible	2	B	NON	NON	OUI

Annexe 2

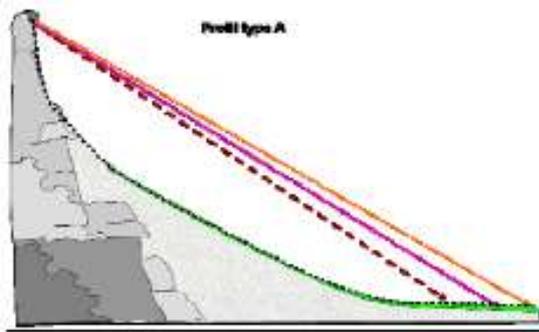
Tableau de synthèse des blocs éboulés recensés sur la zone d'étude

Identifiant	Volume (m ³)	Remarques
0	1 < x < 10	Volume total 10m ³ dans les années 1940/1950
1	1 < x < 10	Présence d'une fissure en marche d'escalier inversé, vol estimé 9m ³
2	0,25 < x < 1	Zone de rupture (glissement diédre), volume total < 1m ³ , bloc enlevé par l'habitant
3	< 0,25	2 blocs présents avec un volume < 0,25m ³
4	1 < x < 10	Bloc effondré, distance de propagation 2,5m, bloc provenant d'un surplomb
5	< 0,25	Rupture d'un surplomb
6	< 0,25	Présence d'une pierre d'un volume d'environ 0,125 m ³ et d'une seconde pierre d'un volume de quelques litres
7	> 10	Bloc basculé avec fragmentation bloc principale et délitement
8	< 0,25	Pierre de 4 litres provenant de ZD7 avec une distance de propagation de 2m
9	> 10	Un bloc supposé d'environ 20m ³ décrocher lors de travaux
10	< 0,25	Bloc éboulé d'un volume estimé de 0,2m ³
11	< 0,25	Bloc éboulé
12	< 0,25	Bloc éboulé avec un volume estimé à 0,15m ³
13	< 0,25	Bloc éboulé avec un volume estimé à 0,12m ³
14	0,25 < x < 1	Bloc éboulé avec un volume estimé à 0,4m ³
15	1 < x < 10	Bloc en pied de falaise, rupture de surplomb avec un volume potentiel < 10m ³
16	< 0,25	Bloc en pied de versant avec un volume estimé à 0,25m ³
17	1 < x < 10	Bloc éboulé
18	1 < x < 10	Bloc éboulé d'un volume < 10m ³
19	1 < x < 10	Bloc éboule avec un volume important
20	1 < x < 10	Deux blocs éboulés de volumes importants 13,5m ³ minimum
21	1 < x < 10	Bloc éboulé
22	< 0,25	Présence de pierre sous une zone de surplomb

Identifiant	Volume (m ³)	Remarques
23	> 10	Bloc éboulé d'un volume > 10m ³
24	1 < x < 10	Blocs éboulé pour un volume total <10m ³
25	1 < x < 10	Bloc éboulé
26	< 0,25	Bloc éboulé d'un volume estimé de 0,05m ³
27	1 < x < 10	Bloc éboulé
28	1 < x < 10	Blocs susceptibles de s'ébouler
29	> 10	Bloc éboulé d'un volume > 10m ³
30	0,25 < x < 1	Bloc éboulé d'un volume > 0,25m ³
31	< 0,25	Bloc éboulé en groupe pour un volume unitaire proche de 0,25m ³
32	< 0,25	Bloc éboulé
33	0,25 < x < 1	Bloc éboulé
34	< 0,25	Bloc éboulé d'un volume estimé de 0,25m ³
35	< 0,25	Groupe de blocs éboulé d'un volume unitaire proche de 0,25m ³
36	1 < x < 10	Bloc éboulé d'un volume < 10m ³
37	0,25 < x < 1	Bloc éboulé d'un volume < 1m ³ et un groupe de blocs de volume unitaire > 0,25m ³
38	< 0,25	Bloc éboulé d'un volume < 0,25m ³
39	1 < x < 10	Bloc éboulé depuis une zone de surplomb
40	0,25 < x < 1	Bloc éboulé volume < 1m ³
41	> 10	Blocs éboulés, volume total supérieur à 200m ³

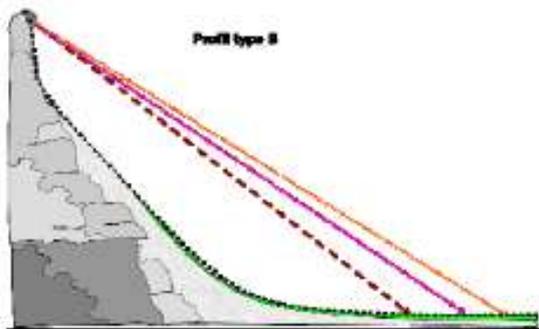
Annexe 3

Principaux types de profils de pente utilisés dans le cadre de la méthode des cônes selon la méthodologie MEZAP



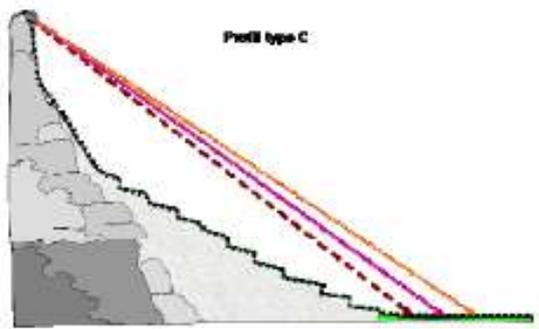
A) Description : Profil de pente régulière en pied de zone de départ.

Qualification des niveaux de probabilités : répartition statistique des blocs régulières selon des valeurs d'angle usuelles (A titre indicatif :Fort de l'ordre de 34°, Moyen de l'ordre de 32°, Faible de l'ordre de 30°)



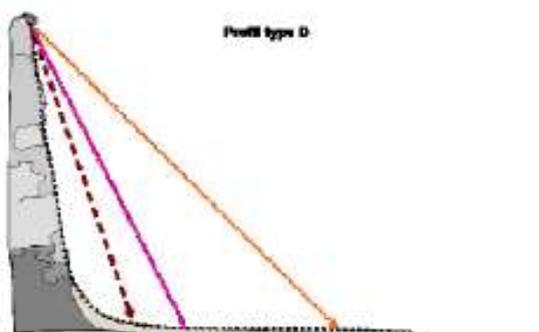
B) Description : Profil de pente régulière en pied de zone de départ avec replat marqué en fin de trajectoire.

Qualification des niveaux de probabilités : répartition statistique des blocs resserrée, valeurs d'angle plus fortes (A titre indicatif :Fort de l'ordre de 34-38°, Moyen de l'ordre de 33-37°, Faible de l'ordre de 31-36°)



C) Description : Profil de pente irrégulière en pied de zone de départ (terrasses agricoles...).

Qualification des niveaux de probabilités : répartition statistique des blocs régulières selon des valeurs fortes (A titre indicatif : Fort de l'ordre de 34-38°, Moyen de l'ordre de 32-36°, Faible de l'ordre de 30-34°)



D) Description : Falaise et replat marqué

Qualification des niveaux de probabilités : répartition statistique des blocs très resserrée valeurs d'angle très fortes (la méthode des cônes ne s'applique dans ce cas qu'au sens d'une méthode géométrique permettant par un rapport de distance d'apprécier les distances de propagation. A titre indicatif il n'est pas impossible de retenir des valeurs supérieures à 40°)

FIGURE 4 : ILLUSTRATIONS D'EXEMPLES DE MODULATIONS (DONNEES A TITRE INDICATIF) APPOORTEES SUR LES INTERVALLES D'ANGLES DE LA METHODE DES CONES EN FONCTION DES PRINCIPAUX TYPES DE PROFILS DE PENTE

Annexe 4

Cartographie de l'aléa chute de pierres et de blocs au droit du lieu-dit Graufthal sur la commune d'Eschbourg au 1/2.500^{ème}



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