



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès immédiat



Réserve Naturelle  
MASSIF DU GRAND VENTRON



# Qualification de l'aléa chute de blocs – Communes de Felling, Kruth, Oderen et Urbès (68)

Rapport final

BRGM/RP-73253-FR

Version 1 du 13 février 2024

Étude réalisée dans le cadre des projets d'appui aux politiques publiques

Loïc Grabenstaetter, Julien Baptiste, Schmitt Marie-Louise

Vérificateur :

Nom : Levy C.

Fonction : Ingénieure géotechnicienne

Date : 31/01/2024

Signature :

Approbateur :

Nom : Salquère D.

Fonction : Directeur Régional Délégué  
Grand Est

Date : Cliquez ou appuyez ici  
pour entrer une date

Signature :

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

Contact : [qualite@brgm.fr](mailto:qualite@brgm.fr)

Office National des Forêts



PRÉFET DU HAUT-RHIN

## Avertissement

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

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

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

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

## Votre avis nous intéresse

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

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



**Mots clés :** Risque Naturel, chute de blocs, carte d'aléa, altération, MEZAP, ELANA, granite, gneiss, grauwacke, schiste, Grand Est, Alsace, Haut-Rhin, Fellingering, Kruth, Oderen, Urbès, Thur

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

**Loïc Grabenstaetter, Julien Baptiste, Schmitt Marie-Louise** (2024) – Qualification de l'aléa chute de blocs – Communes de Fellingering, Kruth, Oderen et Urbès (68). Rapport final V1. BRGM/RP-73253-FR, 112 p.

© BRGM, 2024, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.  
IM003-MT008-P2-22/09/2022

## Synthèse

Le versant alsacien du Massif Vosgien a été le théâtre entre 2016 et 2018 de plusieurs chutes de blocs et de pierres dont certaines ont entraîné des désordres sur du bâti (Eschbourg, 2016) et la mise en place d'ouvrages de protection importants le long de routes départementales (Kaysersberg, 2018).

Sur la base de ce constat, le BRGM a réalisé, pour le compte de la Direction Départementale des Territoires du Haut-Rhin (DDT 68) une étude de caractérisation de l'aléa chute de blocs au 1/25 000 sur l'ensemble des communes haut-rhinoises du massif Vosgien et du Jura alsacien, soit 114 communes (Grabenstaetter, Equilbey, Van de Hel, & Krauffel, 2022). Cette étude a permis de hiérarchiser ces communes selon leur niveau d'exposition à l'aléa de chute de blocs et de pierres, notamment en comptabilisant la présence d'enjeux (bâti et réseau routier) dans les zones d'aléa. Les communes traitées dans ce document (Fellering, Kruth, Oderen et Urbès) ont été classées parmi les plus exposées à l'aléa de chute de blocs.

La cartographie de l'aléa rocheux sur ces communes a été réalisée selon les prescriptions de la méthodologie nationale MEZAP - Méthode d'Evaluation de Zonage Aléa chute de Pierres (Groupe de travail MEZAP, 2021) - sur la base de relevés de terrain (description de 129 escarpements et recensement de 66 blocs éboulés) et de modélisations des enveloppes de propagation à l'aide du logiciel ELANA, développé par le BRGM et qui utilise la méthode de la ligne d'énergie.

La modélisation de l'aléa a été réalisée à l'échelle 1/10 000, à l'exception des secteurs urbanisés qui ont fait l'objet d'une étude plus détaillée permettant d'utiliser les résultats à l'échelle cadastrale, soit au 1/5 000. Il est à noter que les phénomènes de glissement de terrain, de coulée de boue, de retrait-gonflement, les affaissements et effondrements liés à la présence de cavités naturelles ou anthropiques ne sont pas pris en compte dans cette étude.

Selon les principes de la méthodologie MEZAP, les zones de départ de chute de blocs identifiées ont été regroupées en zones homogènes de départ caractérisées par un ou plusieurs scénario(s) de référence permettant de définir le(s) volume(s) susceptible(s) de chuter et la fréquence de ces événements. Dans le cadre de cette étude, 6 scénarios de référence ont été définis en intégrant notamment le niveau d'altération des roches via une cartographie prédictive réalisée, à l'échelle de la zone d'étude, dans le cadre des opérations de recherches et développement du BRGM.

Sur la base de la cartographie de l'aléa, l'ensemble des enjeux exposés ont été comptabilisés (bâtiments et voies de communication):

- 308 bâtiments sont classés en aléa fort ;
- 268 bâtiments sont classés en aléa moyen ;
- 349 bâtiments sont classés en aléa faible ;
- 19,5 km de voies de communication sont classés en aléa fort ;
- 6,2 km de voies de communication sont classés en aléa moyen ;
- 7,9 km de voies de communication sont classés en aléa faible.

L'ensemble des secteurs croisant de l'aléa fort et des enjeux bâti (issus des données cadastrales) ont fait l'objet de propositions de solutions de gestion du risque, adaptées à chaque secteur selon un logigramme basé sur le contexte local.





# Sommaire

1. Introduction .....	9
1.1. Historique.....	9
1.2. Objectifs.....	9
2. Contexte.....	11
2.1. Contexte géographique et topographique.....	11
2.2. Géologie et lithologie.....	13
2.2.1. Contexte géologique .....	13
2.2.2. Regroupement lithologique .....	14
2.2.3. Altération des roches.....	16
2.3. Contexte climatique.....	21
2.4. Contexte hydrogéologique.....	22
3. Caractérisation de l'aléa chute de blocs .....	23
3.1. Fondements .....	23
3.2. Démarche .....	23
3.2.1. Carte informative des phénomènes.....	24
3.2.2. Définitions des scénarios de référence et des zones homogènes de départ .....	24
3.2.3. Intensité de l'aléa de référence .....	27
3.2.4. Indice d'activité de l'aléa de référence.....	27
3.2.5. Propagation.....	28
3.2.6. Atteinte.....	29
3.2.7. Aléa.....	29
3.3. Résultats .....	30
3.3.1. Carte informative des phénomènes.....	30
3.3.2. Cartographie des zones de départ homogène.....	41
3.3.3. Définition des scénarios de référence par zones de départ homogène .....	43
3.3.4. Propagation.....	50
3.3.5. Atteinte.....	52
3.3.6. Aléa.....	53
3.3.7. Limites de validité des documents cartographiques .....	57
4. Gestion du risque rocheux.....	59
4.1. Analyse des enjeux impactés - Identification des zones à risques.....	59
4.1.1. Bilan des risques à l'échelle communale .....	59
4.1.2. Logigramme de gestion des risques rocheux .....	60
4.1.3. Commune de Fellingring.....	62
4.1.4. Commune de Kruth.....	63
4.1.5. Commune d'Oderen .....	64
4.1.6. Commune d'Urbès .....	66
4.2. Synthèse des outils de gestion du risque rocheux proposés .....	67
5. Conclusion .....	69
6. Bibliographie .....	71

## Liste des illustrations

Illustration 1 : Contexte géographique de la zone d'étude .....	11
Illustration 2 : Contexte topographique et géographique de la zone d'étude .....	12
Illustration 3 : Carte géologique harmonisée des communes de Fellingring, Kruth, Oderen et Urbès (©BRGM et BD TOPO IGN) .....	14
Illustration 4 : Localisation des grands ensembles lithologiques de la zone d'étude .....	15
Illustration 5 : Définition des différents horizons d'un profil d'altération type (Thiery, Lacquement, & Marçot, 2019) .....	16
Illustration 6 : Cartographie prédictive de l'altération des roches sur la zone d'étude .....	18
Illustration 7 : Photographies des différents niveaux d'altération observés sur la zone d'étude (Photos BRGM) .....	19
Illustration 8 : Cartographie hydrologique de la zone d'étude .....	22
Illustration 9 : Schéma explicatif du fonctionnement de la méthode MEZAP .....	23
Illustration 10 : Différents scénarii de propagation de type 1 selon MEZAP 2021 (Groupe de travail MEZAP, 2021) .....	25
Illustration 11 : Scénario de propagation de type 2 selon MEZAP 2021 (Groupe de travail MEZAP, 2021) .....	26
Illustration 12 : Typologie des instabilités rocheuses retenues (Groupe de travail MEZAP, 2021) .....	26
Illustration 13 : Cartographie des zones de départs potentielles de chutes de blocs et éboulements modélisées à partir du MNT 1m de l'IGN (2021) .....	30
Illustration 14 : Cartographie des cheminements réalisés durant les opérations de terrain.....	31
Illustration 15 : Localisation des 129 zones de départs décrites après observations directes (121) ou à l'aide de jumelles (8) .....	33
Illustration 16 : Cartographie des blocs éboulés recensés.....	34
Illustration 17 : Exemple d'une zone de départ présentant une rupture de type glissement plan au sein des granites à deux micas sur la commune de Ribeauvillé (27/03/2023 – Fellingring - Photo BRGM).....	35
Illustration 18 : Surplomb et écaillles en paroi (13/04/2023 - Kruth – Photo BRGM).....	36
Illustration 19 : Photographie d'une colonne d'un volume supérieur à 1m <sup>3</sup> sur la commune de Fellingring (20/07/2023 – Photo BRGM) .....	37
Illustration 20 : Phénomènes autres que des chutes de blocs à l'origine de la mise en mouvement et/ou de la remobilisation de blocs .....	38
Illustration 21 : Carte de synthèse des données obtenues durant les phases d'inventaire et de terrain .....	39
Illustration 22 : Cartographie des zones de départ homogènes.....	42
Illustration 23 : Cartographie 'brute' des probabilités de propagation issue de la modélisation ELANA.....	52
Illustration 24 : Cartographie 'brute' des probabilités d'atteinte issue de la modélisation ELANA .....	53

Illustration 25 : Cartographie de l'aléa chute de blocs à l'échelle de la zone d'étude .....	55
Illustration 26 : Logigramme d'aide à la décision pour la définition de principes de sécurisation vis-à-vis de l'aléa rocheux .....	61
Illustration 27 : Zoom 1 – Zones de bâti soumis à l'aléa fort (carré rouge) sur la commune de Fellingring (carte zoomée, non contractuelle).....	62
Illustration 28 : Escarpement situé en amont de la rue des Pierres à Fellingring (Photo BRGM – Avril 2023) .....	62
Illustration 29 : Zoom 2 – Zone de bâti soumis à l'aléa fort (carré rouge) sur la commune de Kruth (carte zoomée, non contractuelle) .....	63
Illustration 30 : Escarpement situé en amont de la Grand rue à Kruth (Photo BRGM – Mai 2023) .....	64
Illustration 31 : Zoom 3 – Zones de bâti soumis à l'aléa fort (carré rouge) sur la commune d'Oderen (carte zoomée, non contractuelle).....	65
Illustration 32 : Escarpement situé en amont de la Grand rue (gauche) et rue Fosse des Etangs (droite) à Oderen (Photo BRGM – Avril 2023) .....	65
Illustration 33 : Zoom 4 – Zones de bâti soumis à l'aléa fort (carré rouge) sur la commune d'Urbès (carte zoomée, non contractuelle) .....	66
Illustration 34 : Escarpement situé en amont de la rue du Printemps à Urbès (Photo BRGM – Juillet 2023).....	67

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Evaluation de la cohérence de la cartographie prédictive de l'altération des roches via l'utilisation d'un indice $F_{mesure}$ .....	20
Tableau 2 : Indice d'intensité de l'aléa rocheux en fonction du volume (Groupe de travail MEZAP, 2021).....	27
Tableau 3 : Définition de l'indice d'activité (Groupe de travail MEZAP, 2021).....	27
Tableau 4 : Probabilité de propagation (Groupe de travail MEZAP, 2021).....	28
Tableau 5 : Définition de la probabilité d'atteinte de l'aléa de référence en un point (en rouge les probabilités associées à la qualification de l'activité et de la propagation) .....	29
Tableau 6 : Définition du niveau de l'aléa de référence par zone homogène .....	29
Tableau 7 : Couples activité/intensité observés au sein des formations granitiques saines durant les campagnes de terrain .....	44
Tableau 8 : Couples activité/intensité observés au sein des formations granitiques altérées durant les campagnes de terrain .....	44
Tableau 9 : Couples activité/intensité observés au sein des formations saines de la série volcano-sédimentaire du Markstein durant les campagnes de terrain .....	45
Tableau 10 : Couples activité/intensité observés au sein des formations altérées de la série volcano-sédimentaire du Markstein durant les campagnes de terrain.....	46
Tableau 11 : Couples activité/intensité observés au sein des formations saines de la série volcano-sédimentaire d'Oderen durant les campagnes de terrain .....	47

Tableau 12 : Couples activité/intensité observés au sein des formations altérées de la série volcano-sédimentaire d'Oderen durant les campagnes de terrain .....	48
Tableau 13 : Bilan des scénarios de référence retenus sur les communes de Fellingring, Kruth, Oderen et Urbès .....	49
Tableau 14 : Superficie des emprises des zonages d'aléa chute de blocs par commune.....	54
Tableau 15 : Bilan du bâti impacté par l'aléa chute de blocs sur les communes de la zone d'étude .....	59
Tableau 16 : Synthèse des solutions de gestion du risque rocheux proposées sur la zone d'étude .....	68

## Liste des annexes

Annexe 1	Fiches descriptives des zones de départ .....	73
Annexe 2	Tableau de synthèse des zones de départ décrites .....	75
Annexe 3	Inventaire des blocs éboulés.....	87
Annexe 4	Fonctionnement de la méthode de la ligne d'énergie .....	91
Annexe 5	Documents cartographiques intermédiaires .....	97
Annexe 6	Catégorisation des types de parades relatives à l'aléa rocheux .....	105
Annexe 7	Cartographie de l'aléa chute de blocs à l'échelle communale .....	109

# 1. Introduction

## 1.1. HISTORIQUE

Le versant alsacien du Massif Vosgien a été le théâtre entre 2016 et 2018 de plusieurs chutes de blocs et de pierres dont certaines ont entraîné des désordres sur du bâti (Eschbourg 2016) et la mise en place d'ouvrages de protections importants le long de routes départementales (Kaysersberg 2018).

Sur la base de ce constat, le BRGM a réalisé, pour le compte de la Direction Départementale des Territoires du Haut-Rhin (DDT 68) une étude de caractérisation de l'aléa chute de blocs au 1/25 000 sur l'ensemble des communes haut-rhinoises du massif Vosgien et du Jura Alsacien, soit 114 communes (Grabenstaetter, Equibey, Van de Hel, & Krauffel, 2022). Cette étude a permis de hiérarchiser ces communes selon leur niveau d'exposition à l'aléa de chute de blocs et de pierre, notamment comptabilisant la présence d'enjeux (bâti et réseau routier) dans les zones d'aléa. Les communes traitées dans ce document ont été classées parmi les plus exposées à l'aléa de chute de blocs.

Une première étude à l'échelle communale a été réalisée en 2022 sur les communes de Metzeral, Mittlach et Wildenstein (Grabenstaetter & Vandecapelle, 2023). Cette étude a permis de préciser la qualification de l'aléa à une échelle permettant d'intégrer les résultats à des documents d'urbanisme. Une analyse de risque a également permis de mettre en avant des secteurs urbanisés soumis à un aléa fort et de proposer des solutions de gestion de ce risque.

## 1.2. OBJECTIFS

Les documents cartographiques issus de l'étude départementale, réalisés au 1/25 000 (Grabenstaetter, Equibey, Van de Hel, & Krauffel, 2022) n'ont pas vocation à être intégrés dans des documents d'urbanisme. Aussi la DDT 68 a sollicité le BRGM pour réaliser une carte d'aléa chute de blocs sur les communes de Felling, Oderen, Kruth et Urbès à une échelle cartographique compatible avec leur intégration dans des documents d'urbanisme.

Ces documents cartographiques, pourront, si nécessaire, être intégrés aux documents d'urbanisme via un Porté à Connaissance (PAC) ou un PPRN (Plan de Prévention des Risques Naturels). Ils ont été réalisés à l'échelle 1/10 000, à l'exception des secteurs urbanisés qui ont fait l'objet d'une étude plus détaillée permettant d'utiliser les résultats à l'échelle cadastrale du 1/5 000.

La modélisation de l'aléa a été réalisée selon la méthodologie nationale MEZAP (Groupe de travail MEZAP, 2021).

Dans le cadre de cette étude, **l'aléa de recul de la tête de falaise n'est pas pris en compte**. L'aléa lié aux chutes de pierres qui pourraient provenir des murs délabrés de bâtiments ou d'ouvrages n'est pas cartographié.

De même les phénomènes de glissement de terrain, coulée de boue, ruissellement et effondrement de cavités souterraines ne sont pas abordés dans cette étude.

En complément, une analyse des zones présentant un risque sera menée et des propositions de solutions de gestion du risque seront fournies. Ces propositions pourront faire l'objet d'une étude

spécifique par un bureau d'étude compétent (par ex. : dimensionnement et chiffrage d'ouvrages de protection) pour le compte du propriétaire de la parcelle.

PROVISoire

## 2. Contexte

### 2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET TOPOGRAPHIQUE

Situé au cœur du Parc naturel régional des Ballons des Vosges (département du Haut-Rhin), dans les Hautes Vosges, les communes de Kruth, Fellingring, Oderen et Urbès se situent en moyenne montagne à des altitudes comprises entre 426 m et 1 265 m. Le Markstein est le point culminant à 1 265 m d'altitude. Les communes se situent au droit d'une ancienne vallée glaciaire orientée Nord-Sud.

Les communes se situent également partiellement dans la réserve naturelle du massif du Grand Ventron, sur le versant ouest de la vallée. En amont de la zone d'étude, également dans la vallée de Thann, se situe la commune de Wildenstein où une étude similaire a déjà été réalisée en 2022 (Grabestaetter & Vandecapelle, 2023).

La zone d'étude s'étend sur 75 km<sup>2</sup> comptant 4 257 habitants en 2020 (<https://fr.wikipedia.org/>) Les zones urbanisées se situent essentiellement dans le fond de la vallée parcourue par la Thur et le Seebach. La forêt est prédominante sur la zone d'étude.

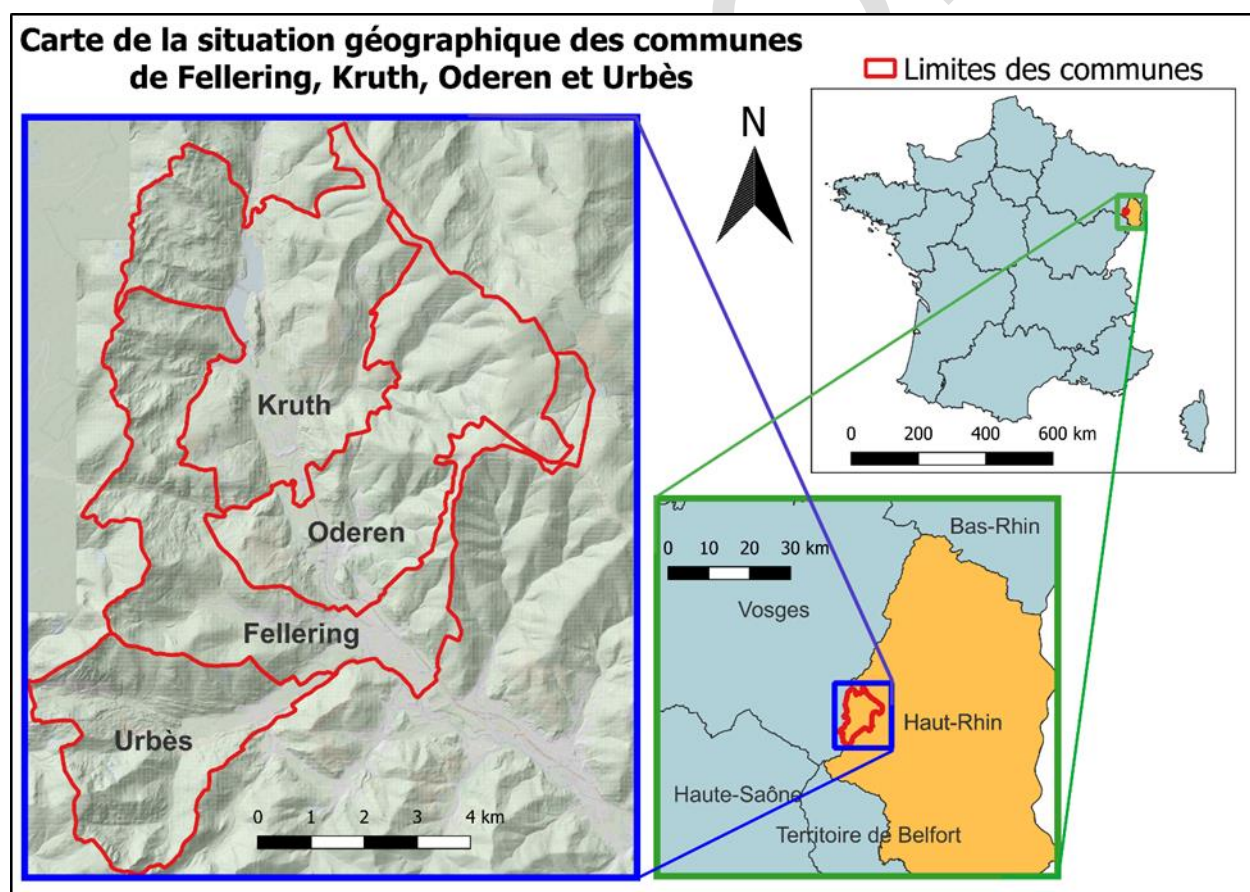


Illustration 1 : Contexte géographique de la zone d'étude



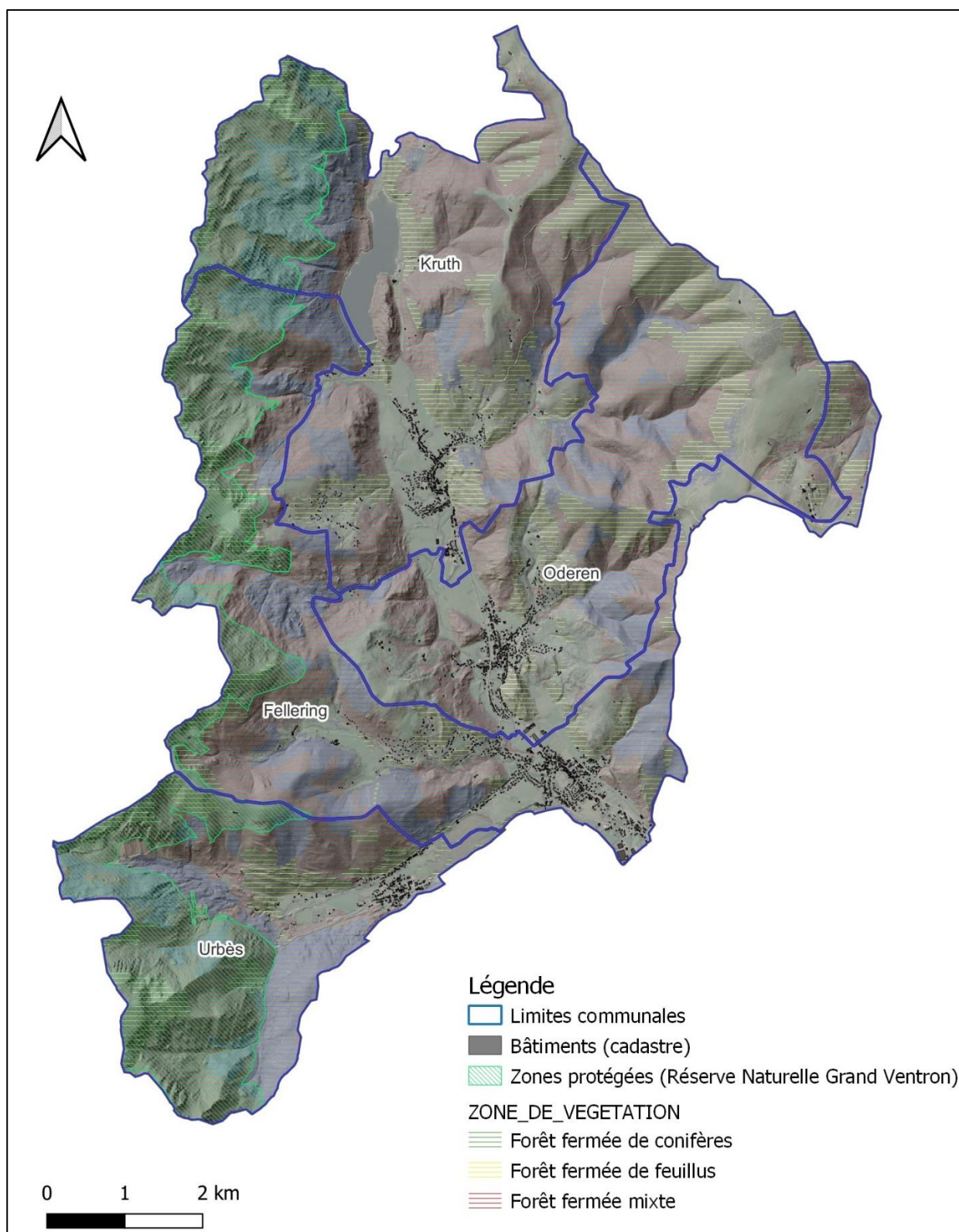


Illustration 2 : Contexte topographique et géographique de la zone d'étude



## **2.2. GEOLOGIE ET LITHOLOGIE**

### **2.2.1. Contexte géologique**

L'orogénèse hercynienne (-365 Ma) et la récente surrection due à l'orogénèse alpine (-50 Ma) sont les deux principaux épisodes qui ont formé les Vosges actuelles dont fait partie le site d'étude.

La zone d'étude est traversée par un jeu de failles orientées Nord - Sud, notamment une faille majeure, la faille de la Thur présente en fond de vallée et qui modèle les axes de circulation du cours d'eau de la Thur.

L'orogénèse hercynienne est illustrée sur la zone d'étude par les granites des Vosges présents sur le versant ouest de la vallée (h2-3 et h4-5 - Illustration 3)

Au sein de la zone d'étude, deux séries volcano-sédimentaires différentes sont observées. La série d'Oderen, la plus ancienne, correspond à des dépôts détritiques et volcaniques marins (h2O - Illustration 3) ; des grauwackes et des schistes se composent l'essentiel des formations de cette série. Les grauwackes sont une roche sédimentaire détritique massive et ancienne qui a été mise en place lors du Viséen inférieur. Le schiste est une roche métamorphique. Quelques tufs albitophyres (roches volcaniques) sont également présents. Enfin, il est également possible d'observer des inclusions de microgranite sous forme de filon dans cette série.

La série du Markstein (h2MK - Illustration 3), plus récente que la série d'Oderen, contient également des grauwackes et des schistes. Le grauwacke y est nettement plus présent que dans la série d'Oderen. La série du Markstein est fortement plissée. Des filons de microgranite y sont également présents mais en faible quantité.

Enfin, l'ouest de la zone d'étude inclue des formations plus récentes, traces des périodes glaciaires. Ces formations correspondent à d'anciens cirques glaciaires ou encore à des dépôts morainiques déposés lors du retrait du glacier. La forme de la vallée de la Thur, en U, est également le résultat du passage du glacier.

La carte géologique harmonisée de la zone d'étude est présentée en Illustration 3 avec une légende simplifiée. La carte géologique avec la légende complète est présentée en Annexe 5.

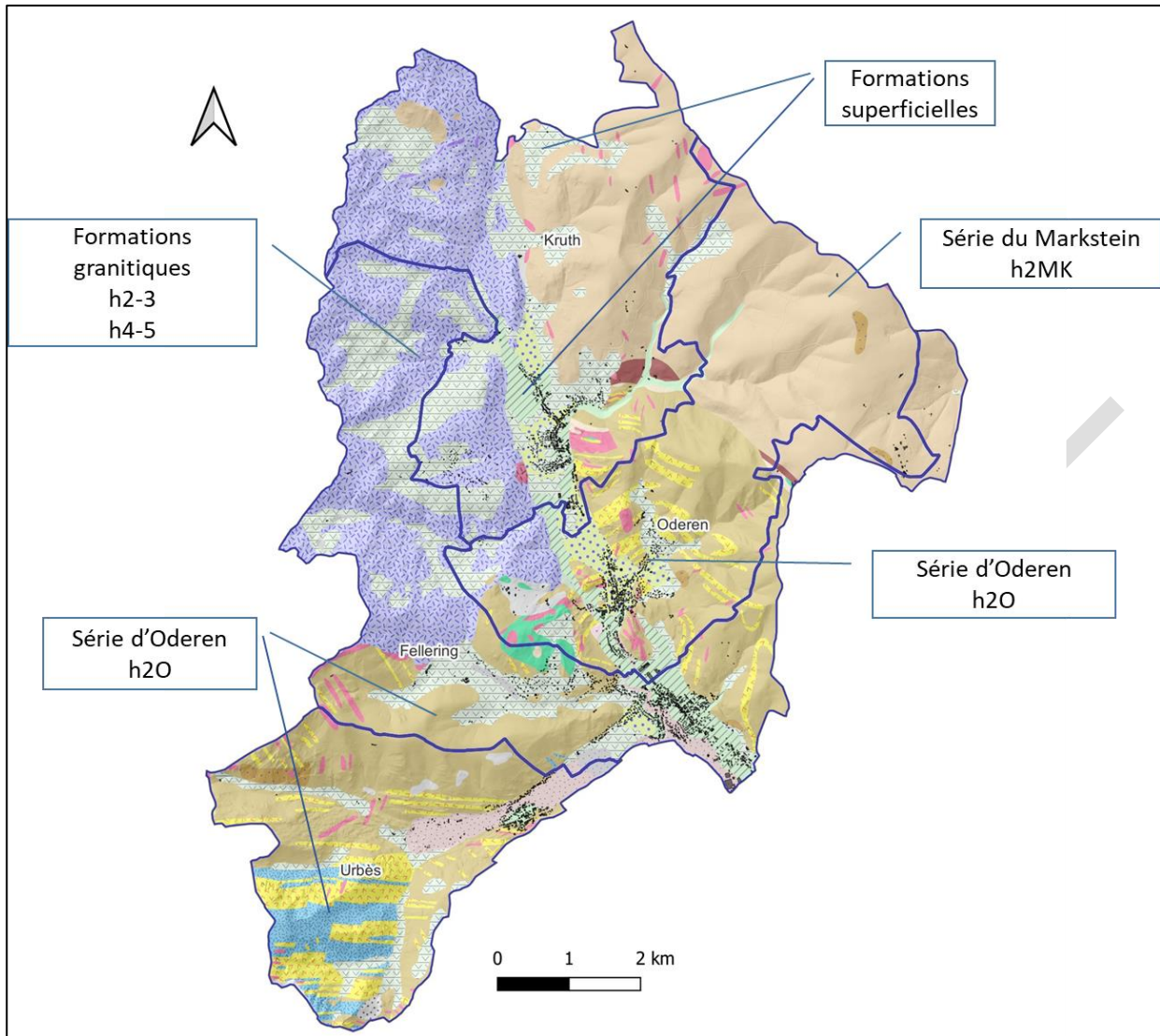


Illustration 3 : Carte géologique harmonisée des communes de Fellingring, Kruth, Oderen et Urbès (©BRGM et BD TOPO IGN)

### 2.2.2. Regroupement lithologique

Les reconnaissances de terrain réalisées dans le cadre de cette étude ont permis d'observer l'ensemble des formations géologiques de la zone d'étude qui forment des escarpements, soit les secteurs de départ de chutes de blocs. Ce travail de terrain a permis de regrouper ces formations par grands ensembles lithologiques. Ces ensembles sont regroupés, à dire d'expert, sur la base de comportements géotechniques similaires dans le cadre de l'aléa chute de blocs (type de rupture, fracturation, activité, intensité).

Trois grands ensembles lithologiques potentiellement affectés par le phénomène de chute de blocs ont été définis (Illustration 4) :

- L'ensemble « Formations granitiques » regroupe les différents faciès de granite présents sur la zone d'étude, principalement représenté par les granites des crêtes et des filons au nord-ouest de la zone d'étude ;

- La formation volcano-sédimentaire du Markstein (série du Markstein) composée de différentes roches dont les limites sont mal connues et qui est située au nord-est de la zone d'étude ;
- La formation volcano-sédimentaire d'Oderen (série d'Oderen) composées de différentes roches dont les limites sont mal connues et qui est située au sud-ouest de la zone d'étude.

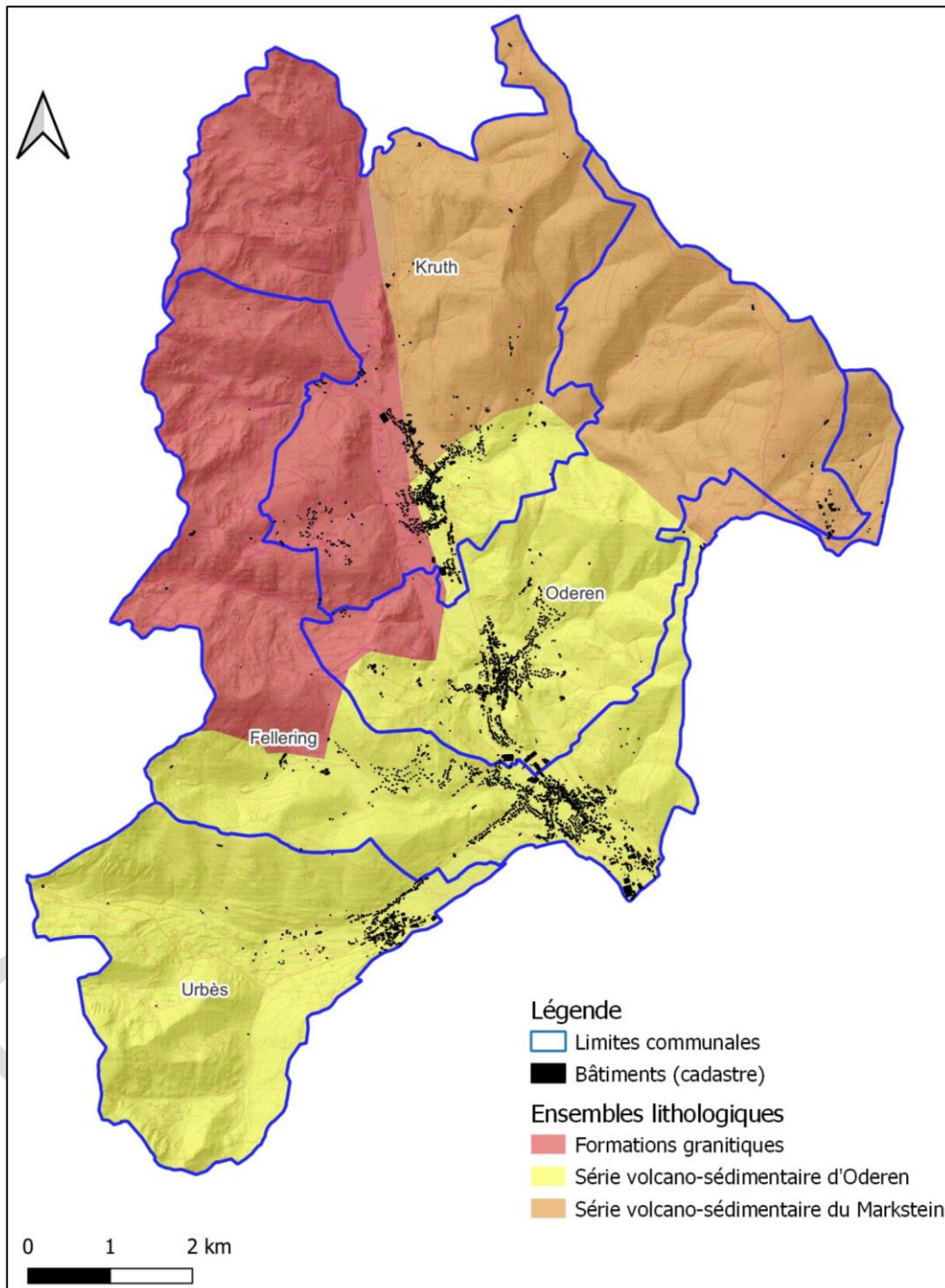


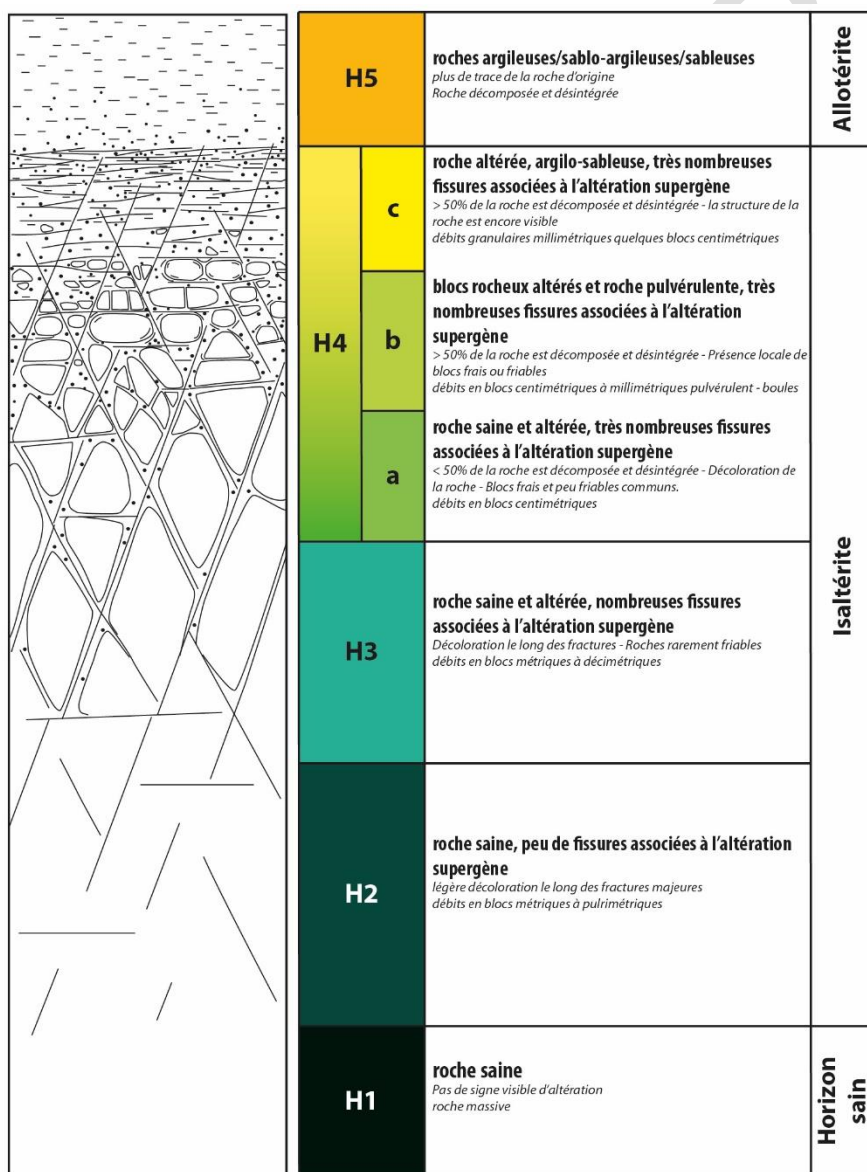
Illustration 4 : Localisation des grands ensembles lithologiques de la zone d'étude

### 2.2.3. Altération des roches

#### a) Généralités

L'altération d'une roche est « *une modification des propriétés physico-chimiques de la roche par des agents atmosphériques* » (Foucault & Raoult, 2001) et notamment par l'eau. Elle se traduit par une modification minéralogique de la roche mère ainsi que par l'apparition de fracturation à intervalles plus ou moins réguliers selon le degré d'altération. Ce phénomène naturel a un impact sur l'aléa chute de blocs.

Des travaux récents menés par le BRGM (Thiery, Lacquement, & Marçot, 2019), ont permis de définir un profil d'altération type compatible avec les problématiques de risques naturels mettant en avant les différents niveaux d'altération des roches allant de la roche saine (H1) à une roche désintégrée et totalement transformée par l'altération (H5) (Illustration 5).



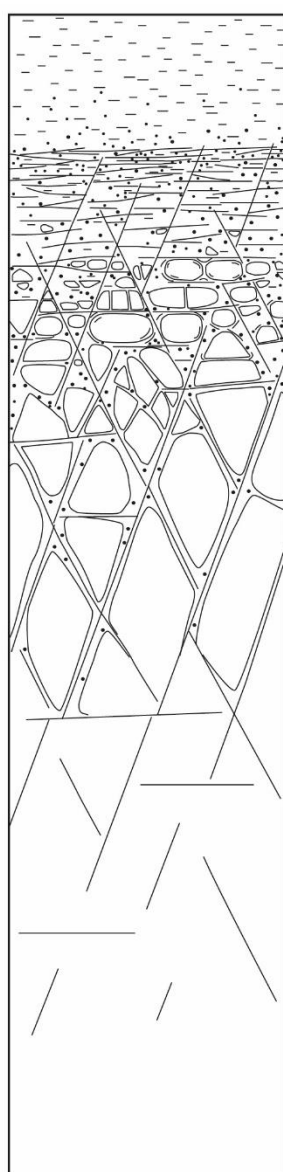
	<b>H5</b>	<b>roches argileuses/sablo-argileuses/sableuses</b> <i>plus de trace de la roche d'origine</i> <i>Roche décomposée et désintégrée</i>	<b>Allotérite</b>
	<b>H4</b>	<b>c</b> <b>roche altérée, argilo-sableuse, très nombreuses fissures associées à l'altération supergène</b> <i>&gt; 50% de la roche est décomposée et désintégrée - la structure de la roche est encore visible</i> <i>débîts granulaires millimétriques quelques blocs centimétriques</i>	<b>Isaltérite</b>
		<b>b</b> <b>blocs rocheux altérés et roche pulvérulente, très nombreuses fissures associées à l'altération supergène</b> <i>&gt; 50% de la roche est décomposée et désintégrée - Présence locale de blocs frais ou friables</i> <i>débîts en blocs centimétriques à millimétriques pulvérulent - boules</i>	
		<b>a</b> <b>roche saine et altérée, très nombreuses fissures associées à l'altération supergène</b> <i>&lt; 50% de la roche est décomposée et désintégrée - Décoloration de la roche - Blocs frais et peu friables communs.</i> <i>débîts en blocs centimétriques</i>	
	<b>H3</b>	<b>roche saine et altérée, nombreuses fissures associées à l'altération supergène</b> <i>Décoloration le long des fractures - Roches rarement friables</i> <i>débîts en blocs métriques à décimétriques</i>	
	<b>H2</b>	<b>roche saine, peu de fissures associées à l'altération supergène</b> <i>légère décoloration le long des fractures majeures</i> <i>débîts en blocs métriques à pulvimétriques</i>	<b>Horizon sain</b>
	<b>H1</b>	<b>roche saine</b> <i>Pas de signe visible d'altération</i> <i>roche massive</i>	

Illustration 5 : Définition des différents horizons d'un profil d'altération type (Thiery, Lacquement, & Marçot, 2019)

### *b) Méthodologie de cartographie prédictive*

La cartographie de ces formations est sous-représentée sur le territoire métropolitain. C'est pourquoi, dans le cadre de ses opérations de recherche, le BRGM a développé une méthodologie de cartographie prédictive du niveau d'altération des roches (sur terrains métamorphiques et plutoniques) sur la base d'une analyse du Modèle Numérique de Terrain (MNT) et de ses dérivées (Baptiste, Bessin, Lacquement, & Tissoux, 2021), soit les paramètres suivants :

- La pente qui correspond à la variation maximale entre la valeur d'une cellule du MNT et ces huit cellules voisines ;
- La courbure qui permet d'identifier la concavité et la convexité morphologique. Une forme concave correspondra plutôt à une vallée alors qu'une forme convexe signifierait plutôt la présence d'une ligne de crête ;
- La rugosité qui permet d'identifier les variations locales du relief. Ce paramètre apporte une information sur la texture du paysage ;
- La dénivelée qui est la différence entre un niveau de base défini (ici le niveau de base calculé à partir du fond des vallées) et le Modèle Numérique de Terrain (topographie). Ce paramètre permet de calculer le relief d'une zone. Il est utilisé dans le but de supprimer les replats des fonds de vallées ainsi que d'éventuelles terrasses alluviales.

La résolution du MNT est à adapter en fonction du contexte géomorphologique, de l'anthropisation et du cadre de l'étude. Dans le cadre de cette étude, un MNT au pas de 25 m a été utilisé. Cette résolution semble être le meilleur compromis pour avoir un modèle numérique de terrain homogène sur la zone d'étude et de pallier à la résolution des contours de la carte géologique à 1/50 000. A l'heure actuelle, aucune carte géologique à une résolution plus fine n'est disponible pour le secteur.

La méthodologie de cartographie prédictive se décline en plusieurs étapes :

- i) Calcul des paramètres évoqués ci-dessus. Ces paramètres ont été calculés à l'aide d'un logiciel de SIG (Système d'Information Géographique) ;
- ii) Analyses statistiques des paramètres pour chaque type de roche considéré **(450 affleurements décrits en contexte géomorphologique comparable** [Vosges, Massif Central, Massif des Maures] – dont 10 sur la zone d'étude durant les opérations de terrain). Les valeurs de chacun des paramètres ont été définies dans le cadre de projets de recherche du BRGM (PEPS<sup>1</sup> et RGF<sup>2</sup>) au travers de l'analyse d'observations de terrain réalisées notamment sur les granites et les gneiss présents dans les massifs des Vosges, Massif Central (Baptiste, Bessin, Lacquement, & Tissoux, 2021) et dans les Maures (Lacquement & Baptiste, 2023) ;
- iii) Application d'un test de « logique floue ». Cette méthode statistique, utilisée dans le cadre de cartographies morphologiques (Haider, Kropacek, Dunkl, Wagner, & von Eynatten, 2015) permet de combiner les différents paramètres tout en conservant une marge d'incertitude des valeurs seuils à utiliser pour chaque paramètre afin d'obtenir une classification raisonnable ;
- iv) Cartographie prédictive des horizons d'altération sur les lithologies du secteur ;
- v) Vérification sur le terrain. Cette phase est essentielle afin de pouvoir définir les incertitudes de la cartographie prédictive et se rendre compte de sa pertinence.

<sup>1</sup> PEPS : Projet Exploratoire Processus de Surface

<sup>2</sup> RGF : Référentiel Géologique de la France



Cette méthode de cartographie prédictive permet donc de spatialiser les différents horizons d'altération dans le but d'optimiser les travaux d'investigations sur le terrain et de cartographier des secteurs peu ou non accessibles.

*c) Résultats sur la zone d'étude*

Aussi, dans le cadre de cette étude, une cartographie prédictive du zonage d'altération a été réalisée et confrontée aux observations de terrain pour chaque lithologie concernée. Cette cartographie concerne les séries volcano-sédimentaires du Markstein et d'Oderen et les formations plutoniques (granites). Les résultats de cette cartographie sont présentés en Illustration 6.

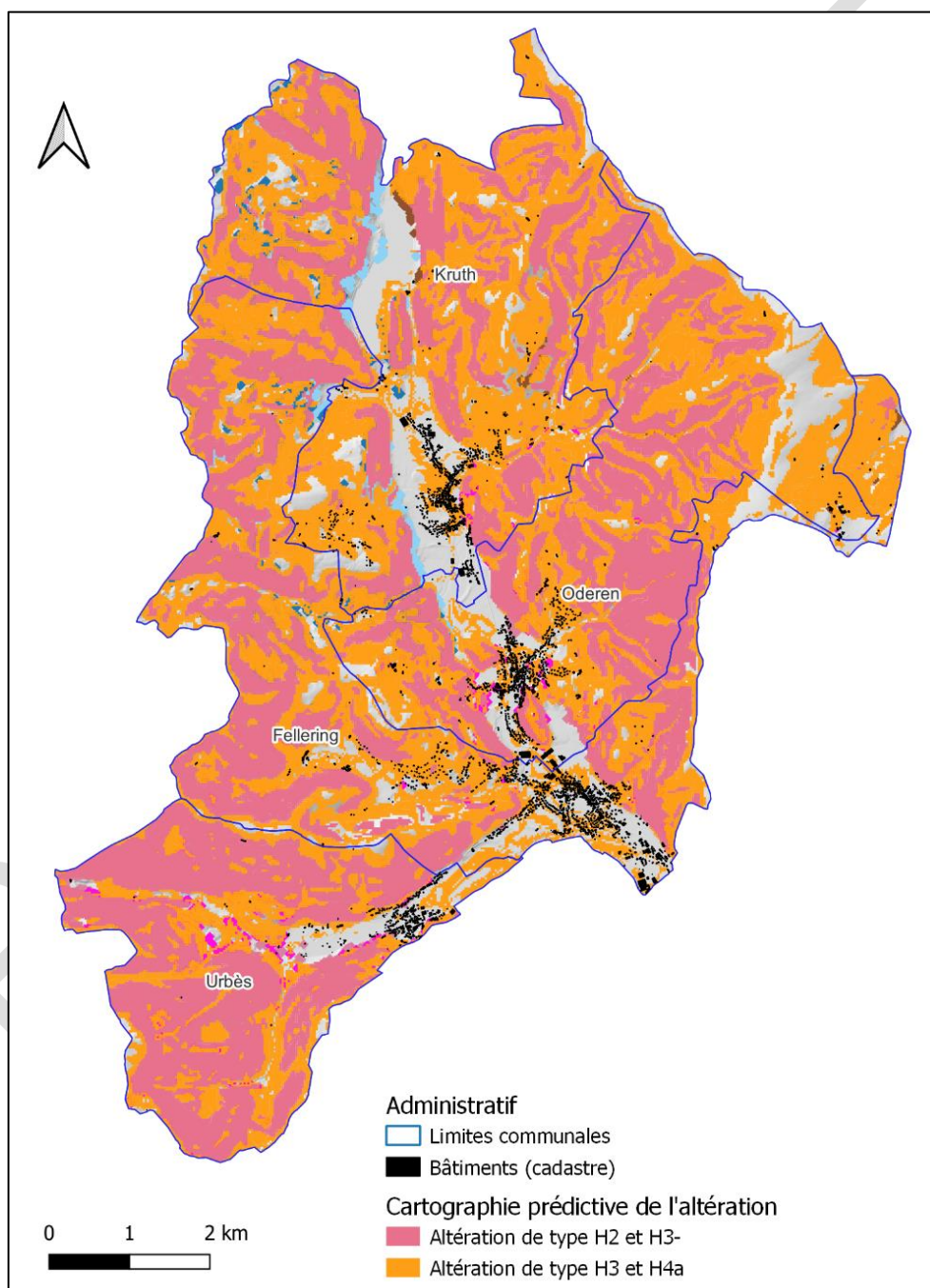


Illustration 6 : Cartographie prédictive de l'altération des roches sur la zone d'étude

La modélisation s'appuie sur la carte géologique au 1/50 000 et ne concerne pas les formations superficielles (colluvions, dépôts de pente...) qui ne présentent pas, dans la zone concernée, de niveau d'altération. Par défaut, la méthodologie de cartographie prédictive doit exclure ces formations superficielles. Néanmoins, il est possible que ces formations soient tout de même localement intégrées dans le modèle. En accord avec les services de l'état, l'aléa sur ces secteurs (dans le cas de zones de départ ponctuelles) sera qualifié à partir du scénario retenu le plus protecteur.

Ainsi, sur chaque zone de départ visitée, la lithologie ainsi que le niveau d'altération sont déterminés à dire d'expert. Le niveau d'altération a été décrit selon les degrés d'altération suivants :

- Le niveau H2 concerne des affleurements qui ne présentent que très peu de fracturation et aucun joints horizontaux (Illustration 7 – gauche)
- Le niveau H3- est un niveau d'altération qui tend vers le H2 mais évolue vers le niveau H3 ;
- Le niveau H3 présente une fissuration développée et des joints horizontaux à intervalles réguliers avec une fréquence supérieure à 1 m (Illustration 7 – centre) ;
- Le niveau H3+ présente une fissuration développée et de nombreux joints horizontaux et tend vers le H4a ;
- Le niveau H4a présente une fissuration développée, de nombreux joints horizontaux et des faciès en 'boule' (Illustration 7 – droite).

Les différents faciès sont présentés en Illustration 7.



*Illustration 7 : Photographies des différents niveaux d'altération observés sur la zone d'étude (Photos BRGM)*

Les niveaux H2 et H3-, peu fracturés, sont regroupés sous l'appellation H2 lors de la validation de la cartographie prédictive.

Les niveaux H3, H3+ et H4a, présentant une fracturation (très) développée, sont regroupés sous l'appellation H3 lors de la validation de la cartographie prédictive.

Afin de valider la cohérence de la cartographie prédictive de l'altération, une analyse statistique de la répartition des 2 sous-ensembles (H2 et H3) est réalisée sur la base des données issues de l'inventaire de terrain durant lequel le niveau d'altération a été décrit lors de la description de chaque zone de départ potentiel.

La cohérence de la cartographie est évaluée en utilisant l'indicateur  $F_{\text{mesure}}$  qui est un outil qui permet de mesurer la performance d'un modèle de classification. L'indicateur fournit une valeur comprise entre 0 et 1 (étant considéré que plus la valeur s'approche de 1, plus la classification est performante) :

$$F_{\text{mesure}} = \frac{2 * \text{Vrai positif}}{(2 * \text{entrées positives}) + \text{Faux positif} + \text{Faux négatif}}$$

Sur la zone d'étude, 123 zones de départ croisent les zonages prédictifs de l'altération (105 présentent une classification correcte). Les indices de  $F_{\text{mesure}}$  sont présentés au sein du Tableau 1.

Ensemble	Echantillon total	Vrai positif	Faux positif	Faux négatif	$F_{\text{mesure}}$
H3	50	46	4	22	0.73
H2	73	59	14	5	0.72

Tableau 1 : Evaluation de la cohérence de la cartographie prédictive de l'altération des roches via l'utilisation d'un indice  $F_{\text{mesure}}$

Les performances de la cartographie prédictive de l'altération, telle qu'établie à l'aide de l'indice  $F_{\text{mesure}}$  indique que la grande majorité des zones de départ sont classées de manière cohérente avec les observations de terrain.

En complément, les actions suivantes ont été réalisées afin de limiter les incertitudes et de rendre l'utilisation des cartes prédictives de l'altération possible dans le cadre de la qualification de l'aléa chute de blocs sur la zone d'étude :

- L'ensemble des zones de départ décrites en zone urbaine et à proximité des enjeux bâtis ont fait l'objet d'une vérification de la cohérence entre cartographie prédictive et observations de terrain. Sur ces territoires, la cartographie prédictive a été en accord de manière systématique avec les observations de terrain ;
- Les zones de départ qui sont identifiées en dehors des zonages de la cartographie prédictive de l'altération (non classification liée à la différence de résolution des données d'entrées) seront traitées avec le scénario le plus protecteur afin de ne pas sous-estimer le niveau d'aléa.

Sous réserve de la prise en compte de ces limites et de la réalisation des actions ci-dessus, le niveau d'altération des roches va être intégré lors de la définition des scénarios de référence de l'aléa chute de blocs pour chaque ensemble lithologique.

#### d) Limites de la méthodologie

L'utilisation de la cartographie prédictive des niveaux d'altération va être utilisée pour discriminer les niveaux d'altération lors de la définition des zones homogènes de départ afin d'affiner les scénarios de référence en terme de probabilités de départ et d'intensité. En effet, le niveau d'altération des roches et la fracturation étant liés, la définition des zones homogènes de départ pourra être affinée en intégrant les informations relatives au niveau d'altération des roches.

Néanmoins, s'agissant d'une approche expérimentale, certaines limites, liées à la précision des données d'entrées sont susceptibles d'impacter le résultat :



1. La cartographie prédictive de l'altération des roches est basée sur l'utilisation d'un modèle numérique de terrain (MNT). A ce jour, les outils utilisés sont paramétrés pour l'utilisation d'un modèle numérique à une résolution de 25 m. Cette résolution est en deçà des attentes de rendu (résolution de 5 à 10 m).

Afin de limiter cette imprécision, les opérations de terrain ont inclus, sur l'ensemble des zones de départ décrites, une évaluation du niveau d'altération afin d'obtenir un échantillon permettant de valider la robustesse du modèle de prédiction de l'altération.

De plus, l'utilisation de données MNT de résolution 25 mètres est classique dans le cadre des traitements SIG car elle permet de s'affranchir des artefacts liés à l'anthropisation des versants (notamment les voies forestières) et des éventuelles différences de qualités des MNT à l'échelle locale (le MNT 25 m couvrant l'intégralité du territoire). Une attention particulière a été portée sur les zones de départ situées à proximité des zones urbanisées afin de s'assurer de la justesse des résultats de prédiction de l'altération.

2. La cartographie prédictive de l'altération nécessite une cartographie des formations géologiques. Dans le cadre de la présente étude, les données géologiques utilisées correspondent à la carte géologique du BRGM au 1/50 000 établie dans le cadre du Programme national de la Carte géologique de la France portée par le BRGM. L'étude réalisée par le BRGM, dans le cadre de la caractérisation de l'aléa chute de blocs sur les communes de Felling, Kruth, Oderen et Urbès prévoit l'utilisation de la carte géologique au 1/50 000.

Afin de limiter les imprécisions liées à l'échelle de restitution des cartes géologiques nationales, une attention toute particulière a été portée, durant les opérations de terrain, à la nature des formations géologiques observées pour s'assurer de la cohérence, à l'échelle locale, des informations figurant sur la carte géologique au 1/50 000. Les observations réalisées durant les campagnes de terrain (mars – juin 2023) ont permis d'établir la cohérence entre la carte géologique au 1/50 000 et les observations de terrain, particulièrement au droit des zones de départ de chute de blocs.

## **2.3. CONTEXTE CLIMATIQUE**

Le contexte climatique des Hautes-Vosges est intimement lié à la topographie. En effet, l'orientation nord-sud du relief, conjugué à la forte emprise est-ouest entraîne l'existence d'un effet météorologique connu sous le nom de 'Foehn'. L'effet de Foehn est caractérisé par de fortes précipitations sur les sommets et des masses d'air chaud et sec en aval.

Le climat est de type semi-continentale à montagnard. Les températures en hiver sont basses jusqu'à -20°C et les étés sont chauds jusqu'à 40°C.

La zone d'étude englobant les points hauts du relief, elle est marquée par des précipitations importantes pouvant être localement supérieures à 2 000 mm.an<sup>-1</sup>.

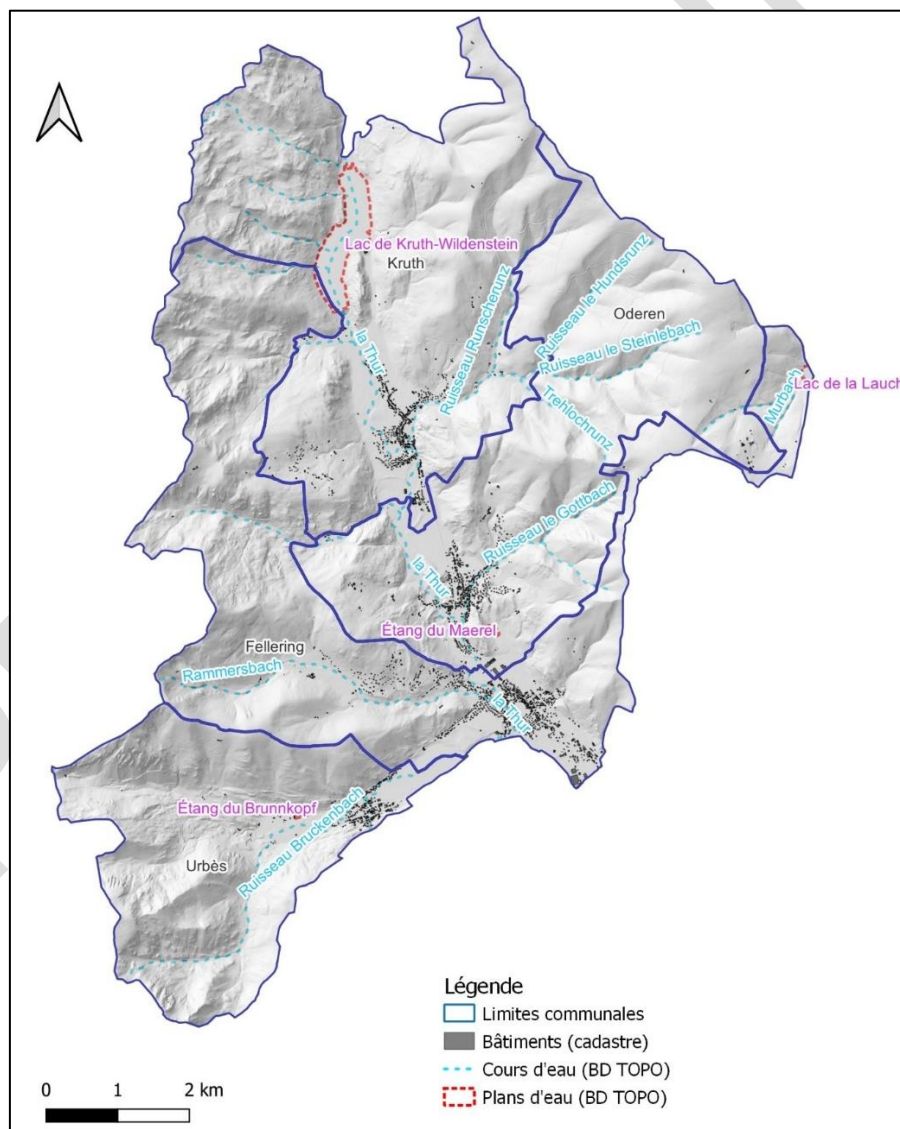
## 2.4. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

La zone d'étude est située sur des formations de socle (vosgien), pouvant être concernées des niveaux aquifères.

Les aquifères de socle sont formés d'un système complexe de nappes libres, en lien avec le développement d'une zone fissurée au sein du socle altéré ainsi que les zones de fracturation, ou de discontinuités géologiques non colmatées.

La recharge de ces aquifères est contrôlée par les conditions géologiques locales (altération, foliation, fracturation) entraînant une forte hétérogénéité du milieu. De manière générale, les débits d'exploitation au droit de forages ne dépassent pas les 3 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> sauf en cas de forte épaisseur de socle (Giuglaris & Baierer, 2017).

Les différentes communes sont traversées par la rivière de La Thur qui comporte de nombreux affluents (Illustration 8). En amont de La Thur se situe le lac de Kruth-Wildenstein. Ce lac possède un barrage qui régule les eaux de la Thur. Le barrage peut cumuler 12 millions de m<sup>3</sup>.



*Illustration 8 : Cartographie hydrologique de la zone d'étude*

### 3. Caractérisation de l'aléa chute de blocs

#### 3.1. FONDEMENTS

Selon le guide PPRn « Risques de mouvement de terrain », afin de prévoir au mieux le phénomène qui pourrait se produire et dont il faut protéger les populations et les biens concernés, il convient de déterminer l'aléa de référence dans un secteur homogène donné.

L'aléa de référence est défini comme le phénomène naturel servant de référence pour définir la réglementation du Plan de Prévention des Risques naturels (PPRn). Pour la cartographie de l'aléa rocheux il s'agit du phénomène d'**occurrence** et d'**intensité** données, susceptible de se propager vers les enjeux, sur la période de référence. Dans le cadre de PPRn, la période de référence est le siècle (100 ans).

Il est retenu d'approcher l'aléa de référence au travers de scénarios dits « de référence ». Un scénario de référence correspond au phénomène ou à l'évènement retenu pour qualifier l'aléa de référence d'un PPRn. Plusieurs scénarios de référence peuvent être proposés pour construire l'aléa de référence qui est déterminé pour chaque grande zone de départ jugée homogène.

La méthode valorisée dans le cadre de la présente étude est issue des résultats d'un groupe de travail (Ministère de la Transition Ecologique, 2021) sur l'évaluation de l'« aléa rocheux » dans le cadre de la mise en œuvre d'un PPRn.

#### 3.2. DEMARCHE

La caractérisation de l'aléa rocheux dans la MEZAP est basée sur le croisement d'une **intensité** de phénomène et d'une probabilité d'atteinte de cette masse rocheuse en tout point du territoire à cartographier. L'atteinte se définit comme la résultante d'une **probabilité de départ** (aussi qualifiée d'activité) et d'une **probabilité de propagation**. Les étapes de la MEZAP sont les suivantes (Illustration 9) :

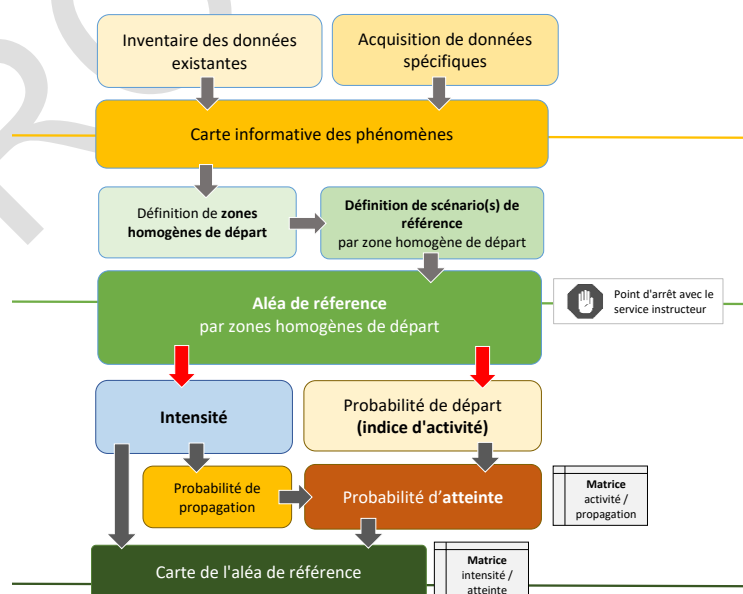


Illustration 9 : Schéma explicatif du fonctionnement de la méthode MEZAP

### 3.2.1. Carte informative des phénomènes

La carte informative des phénomènes repose sur l'inventaire des données existantes et sur une acquisition de terrain spécifique. Aussi sont attendues :

- Une collecte et un examen des données existantes (archives notamment) avec une analyse du besoin en données complémentaires ;
- Une analyse des données numériques disponibles (LIDAR<sup>3</sup> et produits dérivés de type Modèle Numérique de Terrain - MNT, cartes des pentes...) ;
- Une acquisition de données complémentaires : i) par expertise de terrain, à caractère technique : données géologiques, géomorphologiques, blocs témoins, zones de rupture, etc... ; ii) par enquêtes auprès des riverains et des élus notamment : recueil de témoignages.

Cette phase aboutit à une carte regroupant :

- Des **phénomènes observés** décrits et documentés : date, volume, mécanismes de rupture, dommages, ... consolidés en une base de données cartographique ;
- Des **indices morphologiques** nécessaires à la qualification de l'aléa rocheux :
  - o Sources potentielles d'éboulements : barres, ressauts, escarpements, falaises, talus le cas échéant ;
  - o Eléments caractérisant les conditions de propagation : couloirs naturels de propagation ; zones anthropisées : terrasses agricoles, pistes, routes, etc. ; nature des terrains de surface en les distinguant selon leur rôle sur la propagation : colluvions meubles / compactes, prairies, éboulis vifs ou anciens, roche altérée ou couvert fin meuble sur substratum rocheux, roche, etc.
- La présence d'obstacles à la propagation qu'ils soient naturels (forêt, gros bloc, ...) ou anthropiques (ouvrages de protection).

### 3.2.2. Définitions des scénarios de référence et des zones homogènes de départ

La MEZAP définit 6 scénarios de chute de blocs répartis en 2 types :

- Type n°1 – l'intensité du phénomène est dépendante du volume unitaire se propageant vers les enjeux. Il peut s'agir de :
  - o Scénario A : chute de bloc isolé depuis une zone de versant. Propagation sur des distances longues ;
  - o Scénario B : chute d'un compartiment isolé depuis une zone de versant. Propagation sur des distances longues. Fragmentation du compartiment à l'impact et individualisation de trajectoires indépendantes ;
  - o Scénario C : chute de bloc isolé ou d'un compartiment avec fragmentation depuis une zone de talus ou de petite falaise. Propagation sur des distances courtes. Individualisation de trajectoires indépendantes ;
  - o Scénario D : éboulement en masse depuis une zone de versant. Propagation sur des distances longues et individualisation de trajectoires en fin de parcours.

Ces scénarii sont présentés en Illustration 10.

---

<sup>3</sup> LIDAR est un [acronyme](#) de l'expression en [langue anglaise](#) « *laser imaging detection and ranging* » (soit en français « détection et estimation de la distance par laser »)

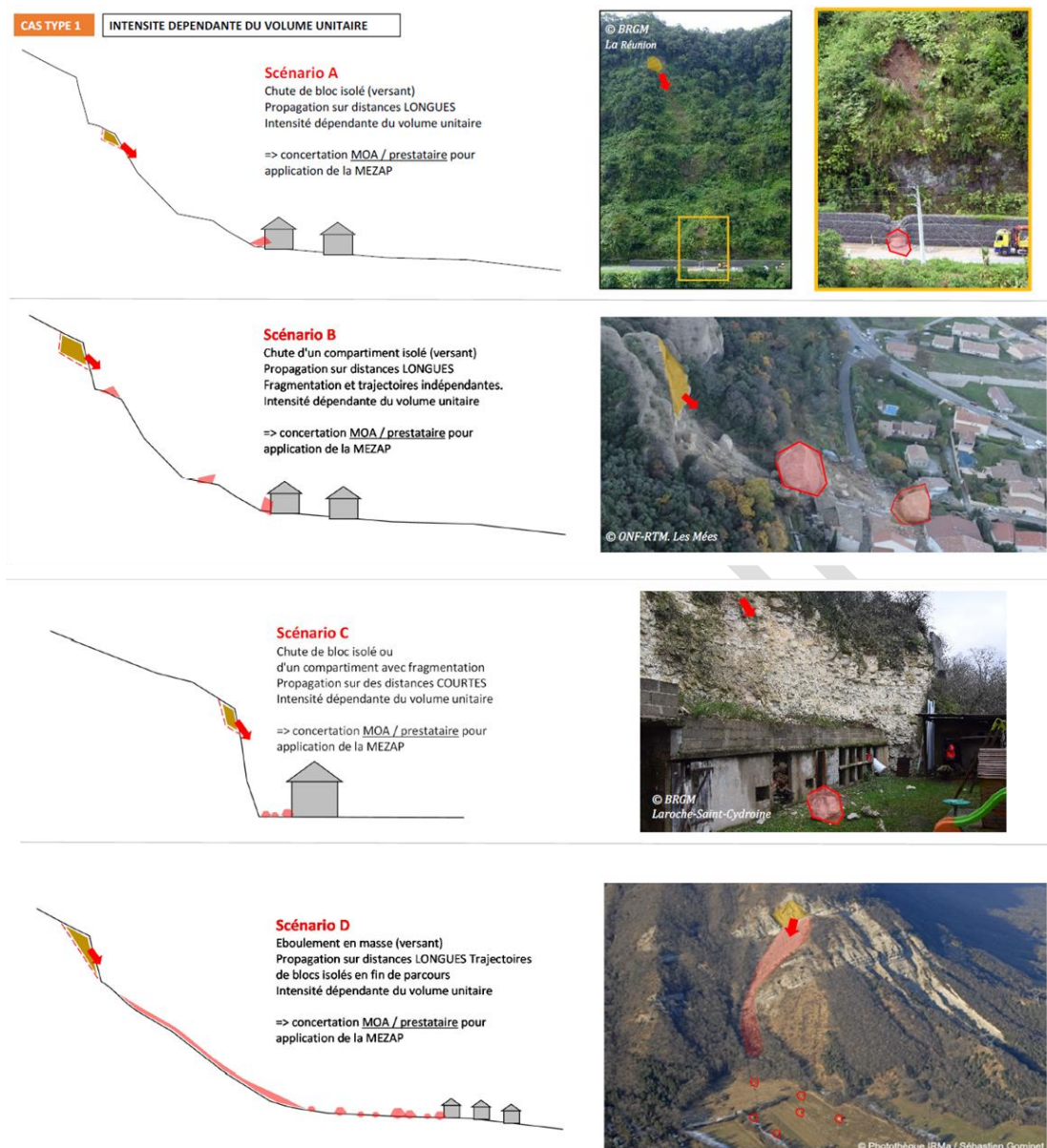


Illustration 10 : Différents scénarii de propagation de type 1 selon MEZAP 2021 (Groupe de travail MEZAP, 2021)

- Type n°2 – l'intensité du phénomène est fortement dépendante du volume total éboulé. Il peut s'agir de :
  - Scénario E : chute d'un compartiment rocheux depuis un talus ou une petite falaise, avec fragmentation pendant la propagation. Propagation sur des distances courtes avec interactions probables entre les éléments rocheux. Peu ou pas d'individualisation des trajectoires (Illustration 11).
  - Scénario F : éboulement en masse depuis une zone de versant. Propagation sur des distances longues avec interactions entre éléments potentiellement importantes. Peu ou pas d'individualisation des trajectoires dans les zones à enjeux.



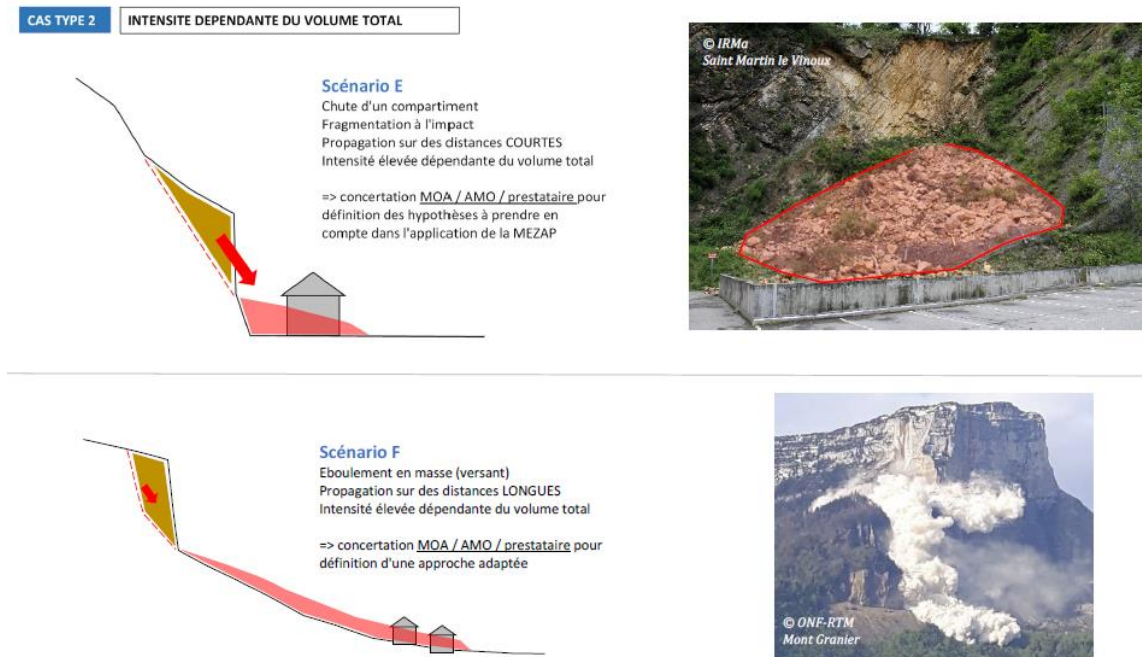


Illustration 11 : Scénario de propagation de type 2 selon MEZAP 2021 (Groupe de travail MEZAP, 2021)

Les scénarii décrivent quels types de phénomène sont redoutés sur la période de référence et selon les zones homogènes de départ. Leur description comprend notamment :

- ✓ Les mécanismes de départ (Illustration 12) mis en jeu (basculement de colonne, rupture dièdre, surplomb, glissement plan, etc.) ;

Mécanisme d'instabilité	Configuration	Mécanisme d'instabilité	Configuration
Glissement plan (fig. 6a et 6b)		Rupture d'écaillage en paroi (fig. 6g)	
Glissement plan composé		Basculement de bloc, de panneau ou colonne	
Glissement de dièdre (fig. 6c et 6d)		Rupture de pied de colonne (fig. 6h)	
Rupture de surplomb ou de dalle en toit (fig. 6e et 6f)			

Illustration 12 : Typologie des instabilités rocheuses retenues (Groupe de travail MEZAP, 2021)

- ✓ Les contextes de développement des ruptures : facteurs permanents (géologie, morphologie, contexte structural et lithologique) et facteurs de déclenchement voire facteurs aggravants (pluviométrie, gel-dégel, contraste thermique journalier ou saisonnier, végétation, etc.) ;
- ✓ Les volumes globaux potentiellement impliqués et les géométries de bloc unitaire (forme, élancement, volume, etc.) susceptibles de se propager vers les enjeux ;

- ✓ Les conditions de propagation redoutées. Cette phase d'analyse essentielle devra décrire en particulier les phénomènes de fragmentation qui définissent in-fine le volume susceptible de se propager vers les enjeux.

*La définition des zones homogènes de départ intègre des parois, secteurs, affleurements présentant des configurations similaires susceptibles de produire des phénomènes du même type. Au sein d'un même versant, plusieurs zones homogènes sont susceptibles d'être définies.*

### 3.2.3. Intensité de l'aléa de référence

La MEZAP définit l'intensité d'un phénomène par le volume de bloc retenu pour l'aléa de référence (Tableau 2) :

Indice d'intensité	Description	Indications sur les dommages
Très faible	Le volume unitaire pouvant se propager est inférieur ou égal à 0,05 m <sup>3</sup>	Peu ou pas de dommage au gros œuvre. Dommages aux éléments décoratifs.
Faible	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur à 0,05 m <sup>3</sup> mais inférieur ou égal à 0,25 m <sup>3</sup>	Peu de dommage au gros œuvre. Fissuration.
Moyen	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 0,25 m <sup>3</sup> mais inférieur ou égal à 1 m <sup>3</sup>	Dommage au gros œuvre sans ruine. Intégrité structurelle sollicitée partiellement.
Fort	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur à 1 m <sup>3</sup> mais inférieur ou égal à 10 m <sup>3</sup>	Dommage important au gros œuvre. Ruine probable. Intégrité structurelle remise en cause.
Très fort	Le volume unitaire pouvant se propager dépasse 10 m <sup>3</sup>	Destruction du gros œuvre. Ruine certaine. Perte de toute intégrité structurelle

Tableau 2 : Indice d'intensité de l'aléa rocheux en fonction du volume (Groupe de travail MEZAP, 2021)

### 3.2.4. Indice d'activité de l'aléa de référence

La MEZAP définit l'activité comme la probabilité de départ sur une période de référence de 100 ans (Tableau 3) :

Indice d'activité par zone d'homogène	Description (pour un linéaire de 100 m de zone de départ)	Probabilité de départ annuelle
Faible	De l'ordre d'un bloc correspondant à l'aléa de référence tous les 100 ans	10 <sup>-2</sup>
Moyen	De l'ordre d'un bloc correspondant à l'aléa de référence tous les 10 ans	10 <sup>-1</sup>
Fort	De l'ordre d'un bloc correspondant à l'aléa de référence tous les ans	1

Tableau 3 : Définition de l'indice d'activité (Groupe de travail MEZAP, 2021)

*La caractérisation des indices d'intensité et d'activité d'une zone homogène de départ s'effectue à partir de l'examen, au sein de ce secteur homogène, des zones de départ individuelles, des zones de dépôts, des événements historiques recensés, du contexte géologique et morphologique.*

### 3.2.5. Propagation

La zone de propagation représente la zone parcourue potentiellement par des éléments rocheux lors d'un éboulement : il s'agit de la zone dans laquelle les éléments rocheux passent et s'arrêtent. La probabilité de propagation est la probabilité qu'un phénomène atteigne une zone donnée en considérant les zones de départs susceptibles de l'atteindre. Cette grandeur est indépendante de toute période d'observation. La cartographie de la probabilité de propagation permet de représenter la distribution spatiale des points d'arrêts potentiels d'une chute de blocs. Afin d'objectiver l'évaluation de la propagation, la MEZAP propose de relier qualification / quantification de la propagation (Tableau 4) :

Qualification de la propagation	Quantification
Extrêmement forte	$> 10^{-2}$
Très forte	$10^{-3}$ à $10^{-2}$
Fort	$10^{-4}$ à $10^{-3}$
Moyen	$10^{-5}$ à $10^{-4}$
Faible	$10^{-6}$ à $10^{-5}$
Très faible	$< 10^{-6}$

Tableau 4 : Probabilité de propagation (Groupe de travail MEZAP, 2021)

*Cette propagation dépend des caractéristiques du versant étudié (pente, obstacles éventuels, nature et état du sol, etc.) et du projectile (forme, dimensions, etc.). La combinaison des nombreux paramètres régissant la propagation la rend aléatoire. Pour mémoire, la forêt et les obstacles « anthropiques » ne sont pas pris en considération dans l'évaluation de l'aléa de propagation : les obstacles sont considérés comme « transparents ». Plusieurs méthodes peuvent être mises en œuvre pour déterminer les probabilités de propagation (empiriques ou prospectives).*

L'approche retenue pour l'évaluation dépend des données disponibles et des enjeux concernés. Les approches suivantes sont distinguées :

- Géomorphologique, naturaliste : comprenant l'analyse de photos anciennes / photos aériennes, l'analyse du fonctionnement géomorphologique du site, adaptée aux phénomènes, l'analyse des effets des phénomènes passés avec une qualification de l'intensité par les impacts observés (carte des impacts / intensité) ;
- Statistique : consistant en l'ajustement de loi statistique à des phénomènes observés et selon des « variables » assez documentées (distance de propagation, profil de pente). Cette approche intègre les modèles empiriques (ligne d'énergie, Annexe 4) ou un traitement statistique lorsque les chroniques événementielles sont suffisantes. Cette approche sera utilisée dans la suite de cette étude ;
- A base physique : décrivant la propagation par des lois mécaniques (rhéologie de l'écoulement, interactions avec le sol, ...). C'est le domaine de la trajectographie en 2D ou en 3D.



### 3.2.6. Atteinte

La MEZAP définit l'atteinte comme le croisement de la probabilité de propagation et probabilité de départ (qualifiée par l'indice d'activité - Tableau 5) :

		Probabilité de propagation					
		Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte	Extrêmement forte
Probabilité de départ (Indice d'activité)	Faible (1 / 100 ans)	10 <sup>-2</sup>	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
	Moyen (1 / 10 ans)	10 <sup>-1</sup>	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
	Fort (1 / an)	1	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte

Tableau 5 : Définition de la probabilité d'atteinte de l'aléa de référence en un point (en rouge les probabilités associées à la qualification de l'activité et de la propagation)

Il est important de préciser qu'il y a des zones indemnes de probabilité d'atteinte résultantes soit d'une absence de zone de départ, soit d'un éloignement suffisant de ces dernières. Dans ces deux cas l'expert qualifiera l'atteinte comme nulle ou très faible.

### 3.2.7. Aléa

La MEZAP qualifie le niveau d'aléa en tout point de la zone d'étude comme le croisement de l'atteinte et de l'intensité du phénomène de référence (Tableau 6) :

		Indice d'intensité				
		$V \leq 0.05 \text{ m}^3$	$V \leq 0.25 \text{ m}^3$	$0.25 < V \leq 1 \text{ m}^3$	$1 < V \leq 10 \text{ m}^3$	$V > 10 \text{ m}^3$
		Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Probabilité d'atteinte	Très faible	Nul à négligeable	Nul à négligeable	Nul à négligeable	Nul à négligeable	Nul à négligeable
	Faible	Faible	Faible	Moyen	Fort	Fort
	Moyenne	Faible	Faible	Moyen	Fort	Fort
	Forte	Faible	Moyen	Fort	Fort	Très fort
	Très forte	Moyen	Fort	Fort	Très fort	Très fort

Tableau 6 : Définition du niveau de l'aléa de référence par zone homogène

Si plusieurs scénarii sont superposés, l'aléa final est retenu comme étant de niveau le plus élevé évalué.

### 3.3. RESULTATS

#### 3.3.1. Carte informative des phénomènes

##### a) Traitement SIG

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. C'est pourquoi la valorisation des données du MNT<sup>4</sup> de l'IGN de 2021 d'une résolution de 1 m a été engagée afin de localiser l'ensemble des zones de départs potentiels. 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. Sur cette base, un modèle permettant de calculer la valeur du seuil de pente de susceptibilité à la chute de blocs,  $\alpha$  en fonction de la résolution du MNT (avec RES la résolution du MNT) est proposé :

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

La résolution du MNT utilisée étant de 1 m, une pente supérieure ou égale à 55° est considérée comme zone de départ potentielle. Cette carte a été validée lors des campagnes de terrain notamment afin d'éliminer les ouvrages anthropiques (murs de soutènements) et de valider l'exhaustivité des zones de départ recensées par traitement informatique *a minima* au droit des zones urbanisées (Illustration 13).

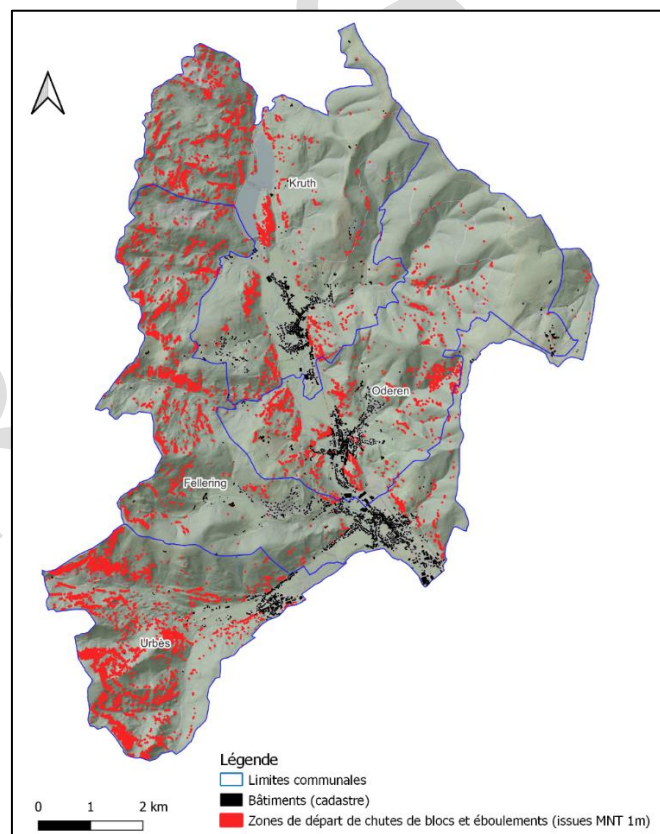


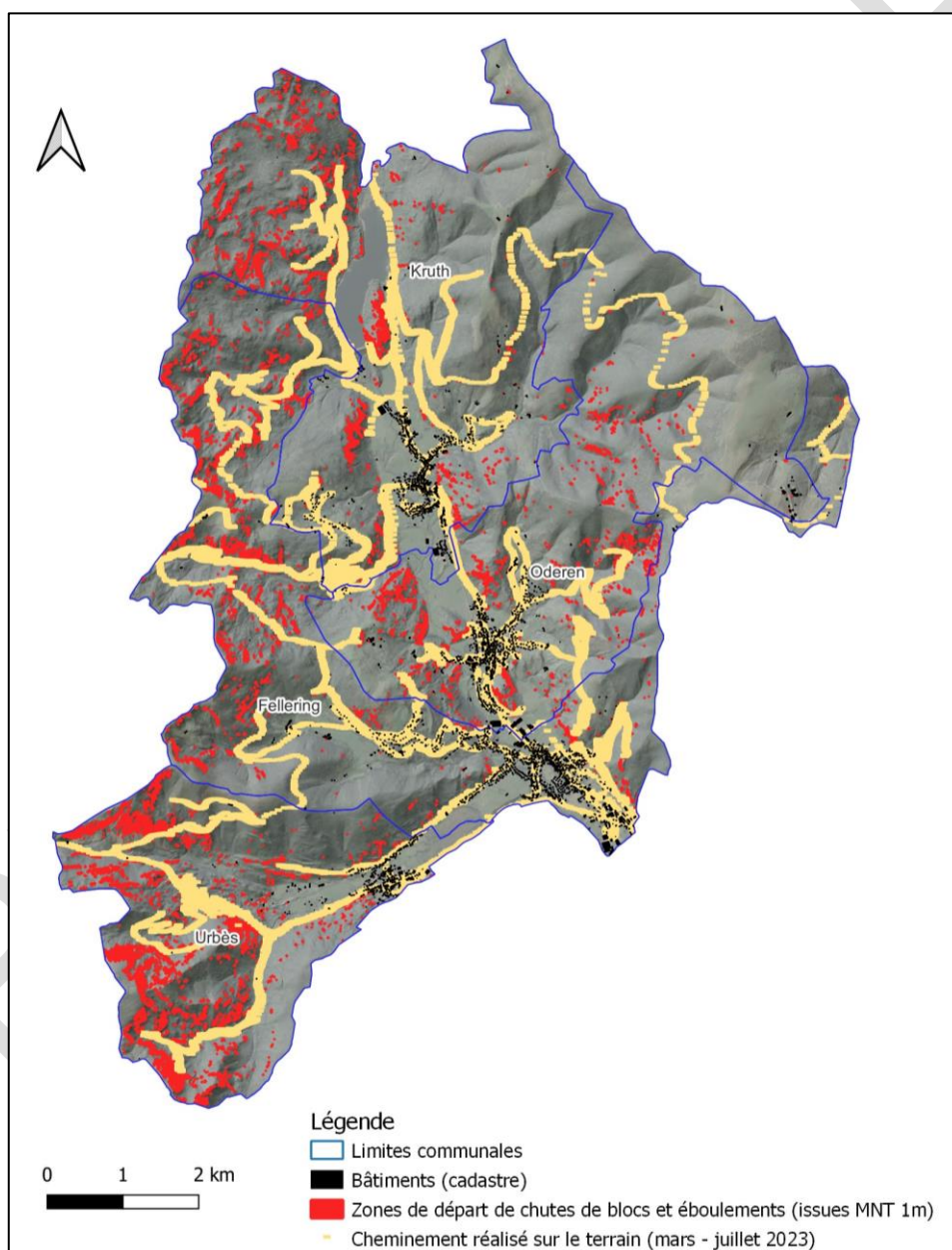
Illustration 13 : Cartographie des zones de départs potentielles de chutes de blocs et éboulements modélisées à partir du MNT 1m de l'IGN (2021)

<sup>4</sup> MNT : Modèle Numérique de Terrain

De fait, l'intégralité des zones de départ ne pourront pas être décrites mais seront regroupées au sein de zones homogènes présentant des caractéristiques similaires (lithologie, niveau d'altération, localisation, comportement).

*b) Acquisition des données sur le terrain – Description des zones de départ*

La zone d'étude a été parcourue afin de décrire un échantillon représentatif de zones de départ. Une attention particulière a été portée sur les zones urbaines. L'ensemble des zones de départ identifiées y ont été visitées. L'Illustration 14 présente les cheminements réalisés lors des campagnes de terrain qui ont pris place entre mars et juillet 2023. Ils ont été acquis à l'aide d'un GPS de randonnée. A noter que la réserve naturelle du Grand Ventron n'a pu être explorée qu'au mois de juillet pour des raisons de protection de la faune et la flore.



*Illustration 14 : Cartographie des cheminements réalisés durant les opérations de terrain*

Les zones de départ ont été décrites de différentes manières :

- Description classique : les affleurements font l'objet d'une description précise réalisée depuis le pied de l'escarpement qui permet de définir la lithologie, le niveau d'altération, la typologie de rupture, de mesurer les fracturations, d'établir les facteurs de prédisposition et aggravants ainsi que les volumes susceptibles d'être mis en mouvement (121 zones de départs ont pu être décrites de cette manière).
- Description à distance à l'aide de jumelles : les affleurements font l'objet d'une description, à distance car ils sont difficilement accessibles dans le cadre de l'étude (absence de chemin ou de route à proximité). Les facteurs de prédisposition et aggravants sont définis d'après les caractéristiques observables). La lithologie est définie à partir de la carte géologique au 1/50 000. Aucune mesure de fracturation n'est réalisée (8 zones de départs ont été décrites de cette manière).

*c) Bilan de l'inventaire des zones de départ*

Durant les campagnes de terrain, **129 zones de départ** (dont 3 sur les communes adjacentes) ont été décrites (Illustration 15). Ces descriptions ont permis de déterminer la lithologie, les niveaux d'altération, les facteurs déclenchant et aggravant servant à définir les indices d'activité et d'intensité. Sur certaines zones des départs, plusieurs couples activité-intensité ont été décrits. Au total **208 couples activités-intensités** ont été retenus.

Les numéros d'identification des zones de départ ne sont pas compris entre 1 et 129 car l'étude menée sur les 4 communes de la vallée de la Thur a été menée conjointement à une étude chute de blocs sur la commune de Ribeauvillé (Grabenstaetter, Baptiste, & Schmitt, 2023) également pour le compte de la DDT 68. Les campagnes de terrain ont été menées en parallèle et les numéros des zones de départ décrites incrémentées indépendamment de leur secteur géographique.

L'ensemble des fiches descriptives des zones de départ sont présentées en Annexe 1, le tableau de synthèse est présenté en Annexe 2.

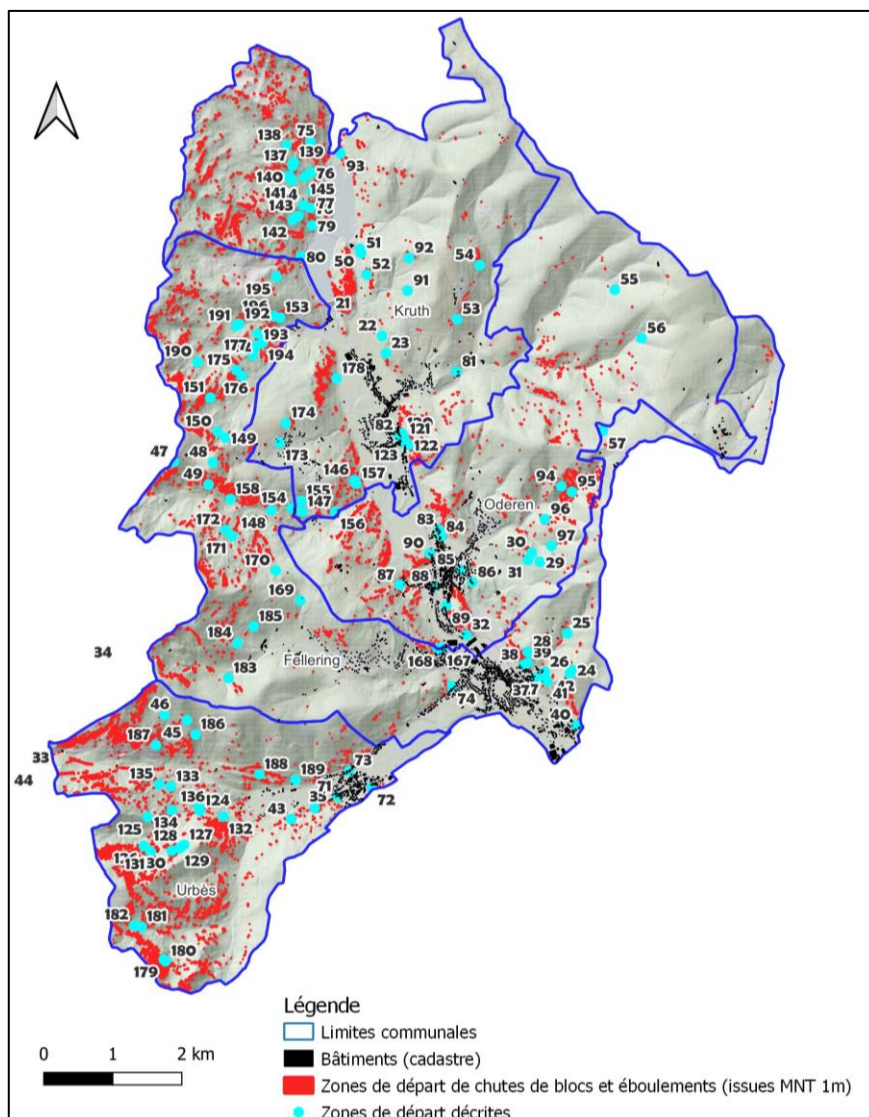


Illustration 15 : Localisation des 129 zones de départ décrites après observations directes (121) ou à l'aide de jumelles (8)

#### d) L'inventaire des chutes de blocs

L'aléa lié aux chutes de pierres qui pourraient provenir des murs délabrés de bâtiments ou d'ouvrages n'est pas cartographié.

Le recensement de blocs éboulés est réalisé sur la base de recherches bibliographiques, des témoignages recueillis et des opérations de terrain réalisées (66 blocs recensés durant les campagnes de terrain de mars à juillet 2023 dont 6 sur les communes limitrophes). Les données issues de la BD MVT (4 entrées existantes sur [www.georisques.gouv.fr](http://www.georisques.gouv.fr) uniquement sur les communes adjacentes en contexte similaire) et des opérations de terrain réalisées sur le secteur dans le cadre de l'étude départementale (Grabensstaetter, Equilbey, Van de Hel, & Krauffel, 2022).

L'enquête réalisée auprès des services communaux et autres organismes (Parc naturel, ONF, CEA...) a permis d'obtenir des informations concernant l'occurrence de plusieurs éboulements qui ont été validées durant les campagnes de terrain.



L'ensemble de ces éléments sont listés en Annexe 3. La localisation de l'ensemble de ces évènements est présentée en Illustration 16.

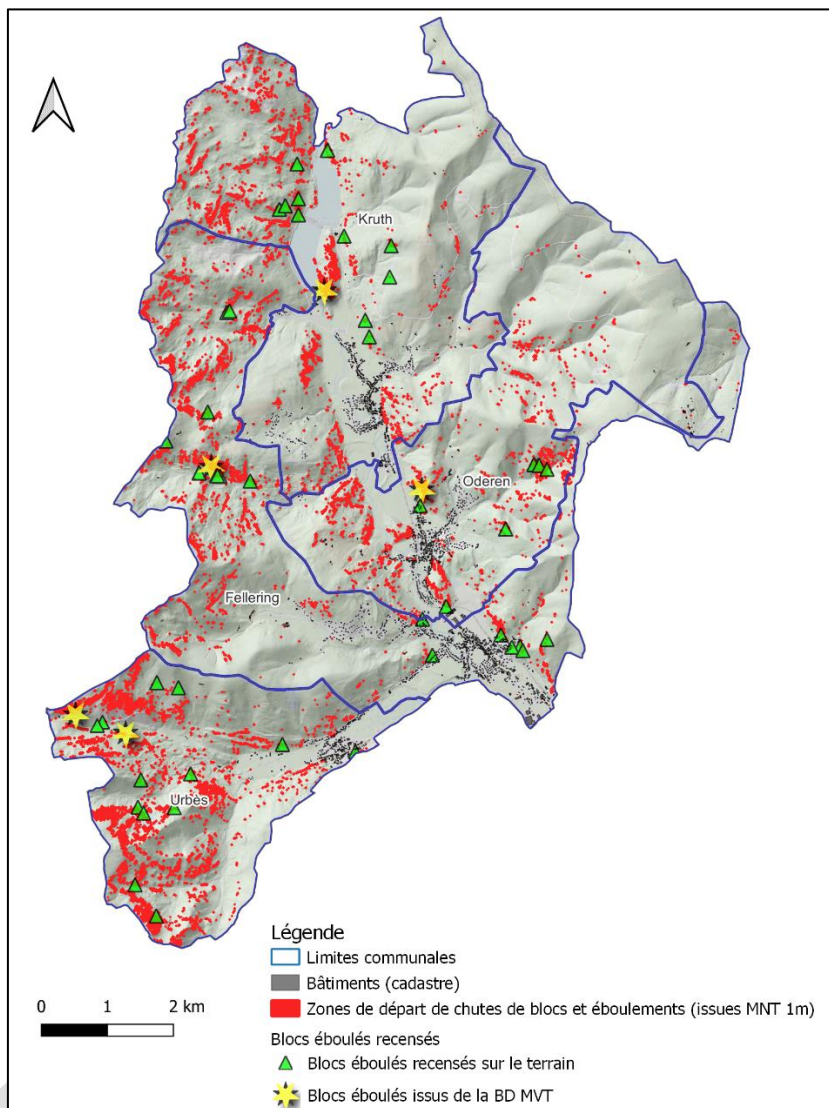


Illustration 16 : Cartographie des blocs éboulés recensés

L'inventaire des blocs éboulés et les descriptions des zones de départ permettent d'identifier les typologies de ruptures présentes sur la zone d'étude. Elles sont présentées ci-dessous :

- Glissement plan / dièdre

Ce mécanisme se retrouve sur l'ensemble des escarpements rocheux quelle que soit leur lithologie.

- Facteurs de prédisposition :
  - Les discontinuités des formations géologiques (fracturation, litage, joints horizontaux d'altération...) et les directions de fracturation régionale liée à la mise en place des plutons granitiques qui découpent les versants rocheux (N60E, N120E, N140E).

- Facteurs aggravants et de déclenchement :
  - La présence de fractures et de joints de stratifications ouverts ;
  - Les précipitations et la fonte des neiges entraînant des écoulements et ruissellements au sein des formations. Ces écoulements diminuent la résistance au cisaillement au niveau des joints, participent à l'altération des faciès et augmentent localement la pression interstitielle au sein des fracturations ;
  - Les escarpements étant majoritairement situés en milieu forestier, la chute d'un arbre peut entraîner la déstabilisation d'une colonne rocheuse et l'action des racines contribue également à agrandir les discontinuités ;
  - Les épisodes de gel/dégel, avec des températures pouvant atteindre les -20°C qui contribuent également à l'agrandissement des discontinuités.

L'inventaire réalisé sur le terrain a permis d'identifier les caractéristiques de masses rocheuses (volume et géométrie - Illustration 17) associées à ces ruptures en glissement plan et dièdre. Les masses rocheuses concernées présentent des volumes compris entre 50 et 500 litres.



*Illustration 17 : Exemple d'une zone de départ présentant une rupture de type glissement plan au sein des granites à deux micas sur la commune de Ribeauvillé (27/03/2023 – Felling - Photo BRGM)*

- Rupture de surplomb ou d'écaille en paroi

Cette typologie de rupture est susceptible d'affecter l'ensemble des lithologies de la zone d'étude. La fracturation importante héritée des contraintes tectoniques favorise l'apparition de ces zones de surplomb (Illustration 18).

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

- Facteurs de prédisposition :
  - La fracturation liée à la tectonique locale et régionale liée à la mise en place des plutons granitiques (N60E, N120E, N140E) ;
  - La structure des terrains, notamment les litages observés.



- Facteurs aggravants et de déclenchement :
  - Les précipitations et la fonte des neiges entraînent des écoulements et ruissellements au sein des formations. Ces écoulements diminuent la résistance au cisaillement des joints et érodent les formations les plus altérées ;
  - Les escarpements étant majoritairement situés en milieu forestier, la chute d'un arbre peut entraîner la déstabilisation d'une colonne rocheuse et l'action des racines contribue également à agrandir les discontinuités ;
  - Les épisodes de gel/dégel, avec des températures pouvant atteindre les -20°C qui contribuent également à l'agrandissement des 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. Les volumes associés peuvent être localement importants (supérieur à 500 litres).



*Illustration 18 : Surplomb et écaïlles en paroi (13/04/2023 - Kruth – Photo BRGM)*

- Basculement de colonne

Ce mécanisme de rupture est observé pour l'ensemble des lithologies de la zone d'étude, mais il n'y est pas prépondérant (Illustration 19). Ce mécanisme de rupture semble plus fréquent au sein des granites (h2-3 et h4-5). Les conditions de rupture sont liées à des :

- Facteurs de prédisposition :
  - Présence de discontinuités verticales découpant le massif parallèlement à l'orientation de l'escarpement ;
  - Fragilité en pied de colonne liée à un contraste lithologique ou une fatigue des matériaux d'assise (fracturation mécanique et altération plus développées) liée par exemple à des circulations d'eau préférentielles.



- Facteurs aggravants et de déclenchement :
  - Les escarpements étant majoritairement situés en milieu forestier, la chute d'un arbre peut entraîner la déstabilisation d'une colonne rocheuse et l'action des racines contribue également à agrandir les discontinuités ;
  - Les cycles de gel/dégel, et des circulations d'eaux locales, constituent les principaux facteurs d'évolution vers la rupture des masses instables.



*Illustration 19 : Photographie d'une colonne d'un volume supérieur à 1m<sup>3</sup> sur la commune de Fellingring (20/07/2023 – Photo BRGM)*

- Autres phénomènes observés non intégrés à la qualification de l'aléa

Les typologies de rupture définies dans la méthodologie nationale ne permettent pas d'expliquer la localisation de l'ensemble des blocs éboulés recensés sur le terrain (absence de zone de départ ou propagation 'inattendue'). En effet, des phénomènes autres que des chutes de blocs peuvent être à l'origine de la mise en mouvement et/ou de la remobilisation de blocs (Illustration 20).

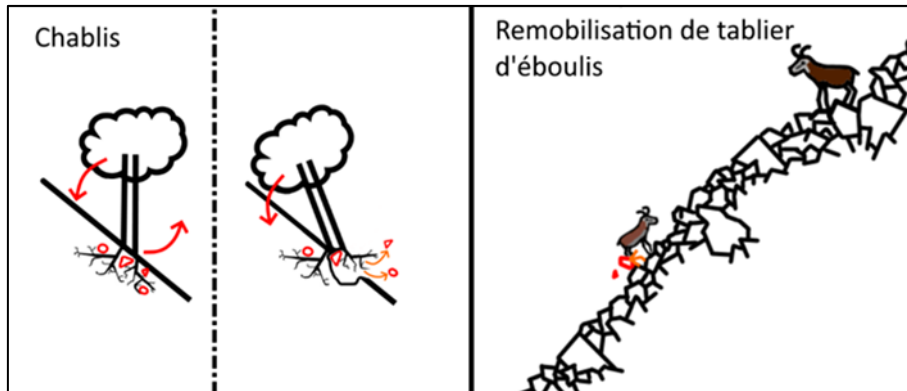


Illustration 20 : Phénomènes autres que des chutes de blocs à l'origine de la mise en mouvement et/ou de la remobilisation de blocs

Les volumes mis en mouvement (ou remobilisés) peuvent être variables notamment lors de remobilisation au sein des tabliers d'éboulis.

La cartographie d'aléa présentée dans le cadre de cette étude s'intéresse uniquement au phénomène de chute de blocs. La mise en mouvement et la propagation de blocs relevant des processus présentés sur l'illustration 20 ne sont pas pris en compte.

*e) Bilan de l'inventaire des blocs éboulés*

Au final, 66 événements ont été répertoriés au droit des 129 zones de départ décrites dans les différentes lithologies de la zone d'étude. La carte issue de cet inventaire des zones de départ et des blocs éboulés est présentée en Illustration 21, un tableau de synthèse est présenté en Annexe 3.



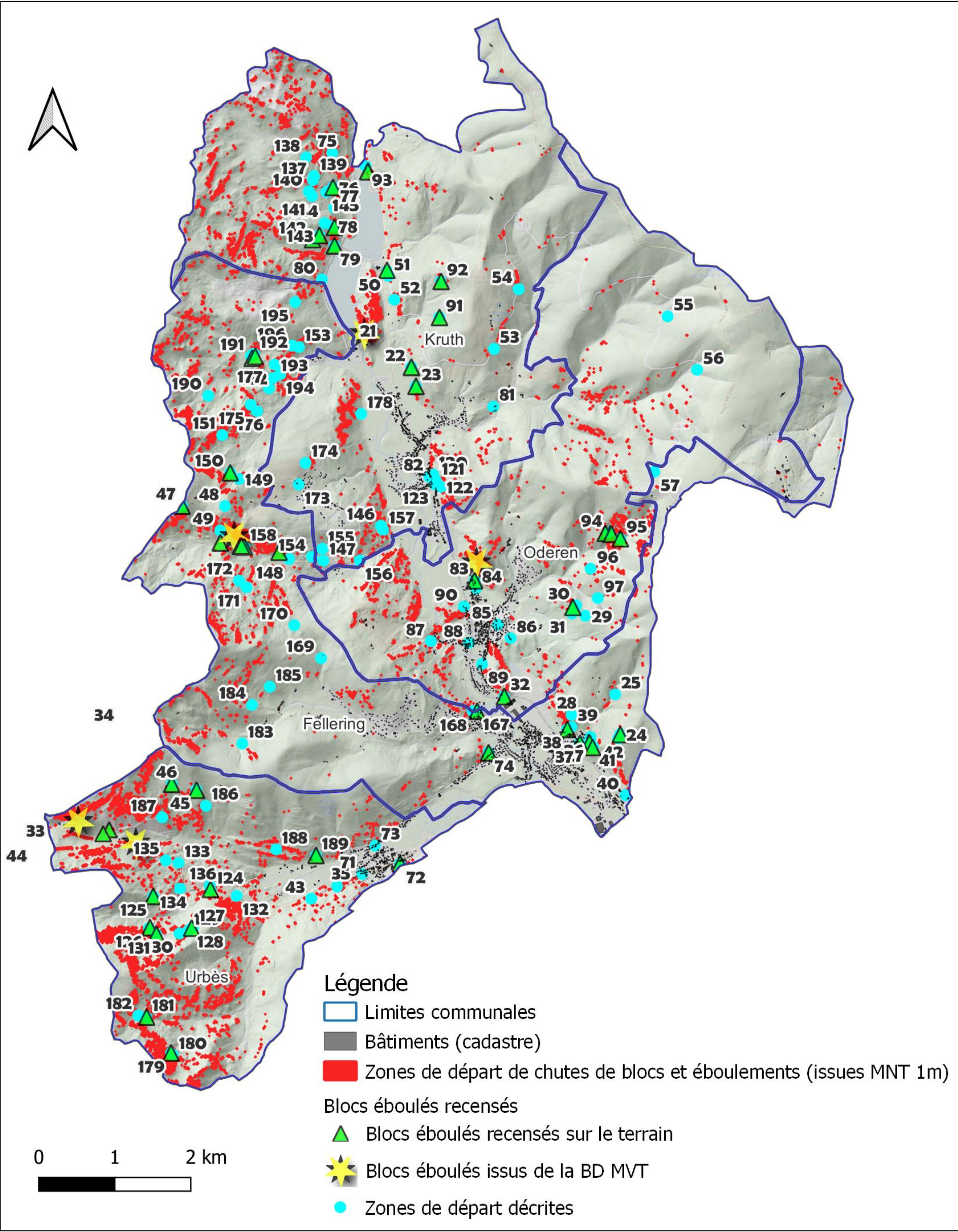


Illustration 21 : Carte de synthèse des données obtenues durant les phases d'inventaire et de terrain



### 3.3.2. Cartographie des zones de départ homogène

Sur la base des observations de terrain, plusieurs zones homogènes de départ ont été définies à dire d'expert sur la base de caractères lithologiques et géomorphologiques comparables qui permettent de caractériser ces zones avec des scénarios de référence identiques (le scénario de référence est composé d'une probabilité de départ et d'une intensité).

Pour rappel, l'ensemble des formations géologiques de la zone d'étude susceptibles d'être impactées par le phénomène de chute de bloc ont été regroupées, à dire d'expert, en 3 ensembles lithologiques (granites, série du Markstein, série d'Oderen) pour lesquels différents niveaux d'altération ont été décrits.

Six (6) zones homogènes de départ ont été décrites sur la zone d'étude à partir des zones de départ identifiées lors de l'analyse du MNT et décrites durant les opérations de terrain :

- La première zone homogène de départ (ZHD 1) décrite regroupe l'ensemble des formations granitiques saines (niveaux d'altération H2 et base du niveau H3 tels qu'identifiés sur la carte prédictive de l'altération des roches) ;
- La seconde zone homogène de départ (ZHD 2) décrite regroupe l'ensemble des formations granitiques altérées (niveaux d'altération H2 et base du niveau H3 tels qu'identifiés sur la carte prédictive de l'altération des roches) ;
- La troisième zone homogène de départ (ZHD 3) décrite regroupe l'ensemble des formations saines de la Série volcano-sédimentaire du Markstein (niveaux d'altération H3 et H4a tels qu'identifiés sur la carte prédictive de l'altération des roches) ;
- La quatrième zone homogène de départ (ZHD 4) décrite regroupe l'ensemble des formations altérées de la Série volcano-sédimentaire du Markstein (niveaux d'altération H3 et H4a tels qu'identifiés sur la carte prédictive de l'altération des roches) ;
- La cinquième zone homogène de départ (ZHD 5) décrite regroupe l'ensemble des formations saines de la Série volcano-sédimentaire d'Oderen (niveaux d'altération H3 et H4a tels qu'identifiés sur la carte prédictive de l'altération des roches) ;
- La sixième zone homogène de départ (ZHD 6) décrite regroupe l'ensemble des formations altérées de la Série volcano-sédimentaire d'Oderen (niveaux d'altération H3 et H4a tels qu'identifiés sur la carte prédictive de l'altération des roches).

La répartition géographique des différentes zones homogènes de départ est présentée en Illustration 22.

La cartographie des zones de départ homogènes (Illustration 22) est issue du croisement entre l'exploitation du MNT (localisation des zones de départs potentiels - Illustration 13), de la cartographie des ensembles lithologiques (Illustration 4) et de la carte prédictive de l'altération (Illustration 6).

L'ensemble des observations réalisées lors des campagnes de terrain va être analysé pour définir pour chaque zone de départ homogène le(s) couple(s) intensité / activité qui sera(ont) utilisé(s) pour qualifier le niveau d'aléa.



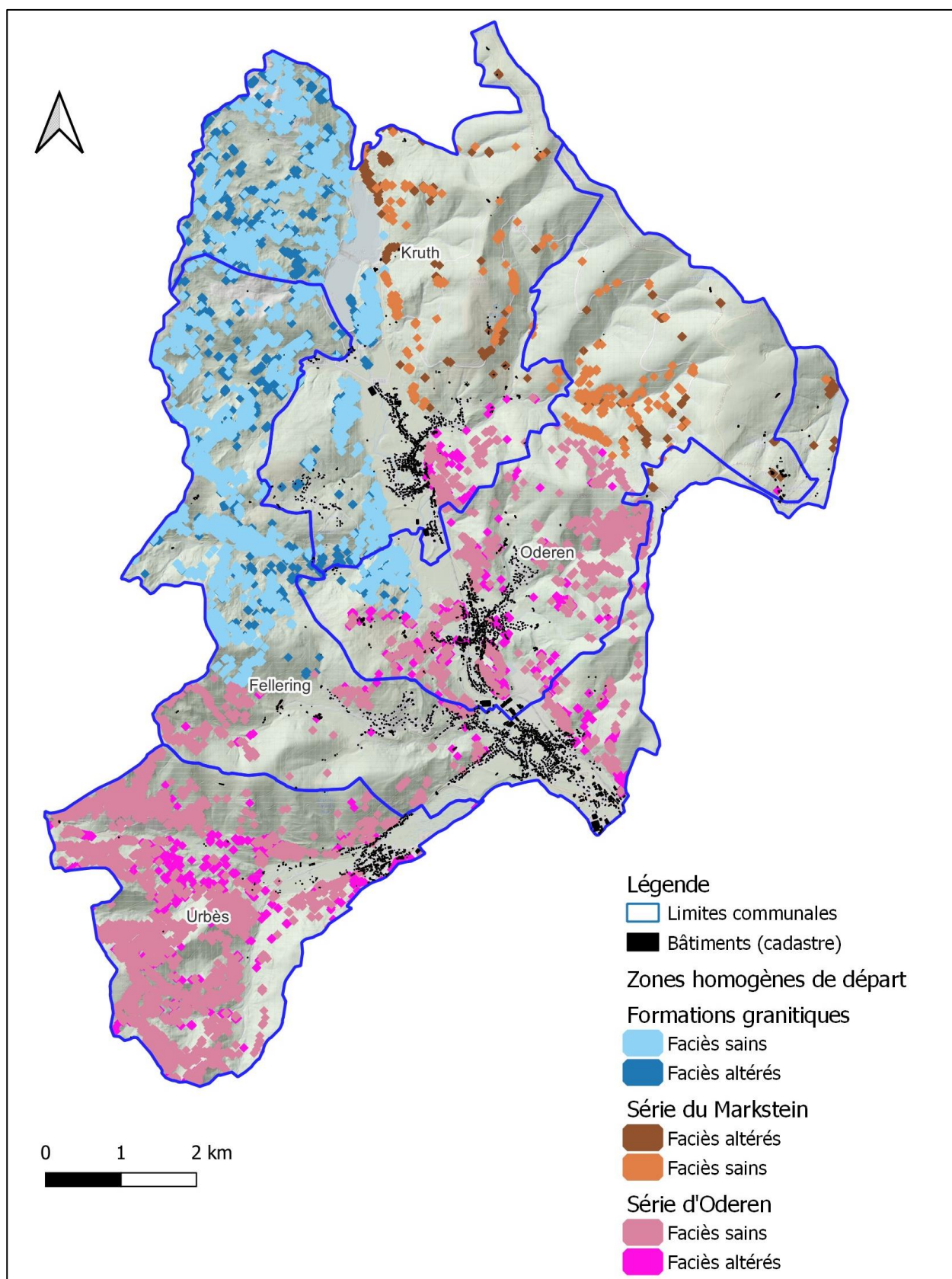


Illustration 22 : Cartographie des zones de départ homogènes

### 3.3.3. Définition des scénarios de référence par zones de départ homogène

A l'aide des données d'inventaire des blocs éboulés et les descriptions des zones de départ, il est possible de définir des scénarios types qui permettent de définir l'activité et l'intensité les plus probables (ou pénalisantes) à l'échelle de la zone d'étude pour une configuration d'escarpement donnée et la période de référence choisie (100 ans).

Sur la zone d'étude et compte tenu des observations réalisées lors de l'inventaire des zones de départ et des blocs éboulés, les scénarios A, B et C (Illustration 10) ont très majoritairement été rencontrés et sont susceptibles de se reproduire dans l'avenir. Les scénarios D et F (Illustration 11) n'ont pas été rencontrés et paraissent peu probables compte tenu de la configuration des zones de départ et de la topographie. Le scénario E, non rencontré ne peut pas être écarté notamment sur les faciès schisteux de la série d'Oderen, néanmoins la nature de ces roches très litées laisse à penser que seuls des volumes très faibles (inférieur à 10 litres) résulteraient de la fragmentation à l'impact.

- Les scénarios A et B ont été observés et sont attendus sur l'ensemble de la zone d'étude et représentent la majorité des zones de départ sur les chicots rocheux et les escarpements plus linéaires ;
- Le scénario C a été observé et est attendu le long des routes et chemins forestiers sur des escarpements dont l'origine est principalement anthropique ;
- Le scénario E n'a pas été observé mais ne peut être exclu. Le risque pour les zones urbaines est non négligeable, notamment sur la commune de Fellingring.

La définition de l'intensité de l'aléa de référence par zone de départ homogène est réalisée à l'aide d'une analyse statistique des données obtenues lors de l'inventaire de terrain (Annexe 2).

Un tableau de synthèse a été réalisé pour chaque zone homogène de départ afin d'identifier quel couple intensité/activité est le plus probable ou pénalisant sur la zone d'étude. Le choix du scénario de référence a été réalisé en concertation avec le maître d'ouvrage (DDT 68) lors du comité technique du 22 juillet 2023.

#### a) Zone homogène de départ 1 : Formations granitiques saines

Durant les campagnes d'acquisition sur le terrain, un total de 34 zones de départ, rattachées à la zone homogène de départ 1, ont été décrites. Le Tableau 7 présente les couples intensité/activité observés.

L'échantillon obtenu lors des opérations de terrain est suffisamment représentatif pour déterminer les scénarios de référence sur ce faciès.

**En accord avec les services de la DDT 68**, 3 scénarios de référence ont été retenus pour la zone de départ homogène 1 :

- Pour une **activité faible** (un départ attendu tous les 100 ans), une **intensité moyenne** (volume attendu compris entre 250L et 1m<sup>3</sup>) est retenue ;
- Pour une **activité moyenne** (un départ attendu tous les 10 ans), une **intensité faible** (volume attendu compris entre 50L et 250L) est retenue ;
- Pour une **activité forte** (un départ attendu tous les ans), une **intensité très faible** (volume attendu inférieur à 50L) est retenue.



Zone homogène de départ 1 : Formations granitiques saines (34 zones de départ observées)			
Activité	Intensité	Observations unitaires	Pourcentage
Faible	Très Faible	0	0%
	Faible	3	9%
	Moyenne	8	24%
	Forte	3	9%
Moyenne	Très Faible	1	3%
	Faible	10	29%
	Moyenne	4	12%
	Forte	0	0%
Forte	Très Faible	28	82%
	Faible	7	21%
	Moyenne	0	0%
	Forte	0	0%
Total de scénarios identifiés		64	

Tableau 7 : Couples activité/intensité observés au sein des formations granitiques saines durant les campagnes de terrain

*b) Zone homogène de départ 2 : Formations granitiques altérées*

Durant les campagnes d'acquisition sur le terrain, un total de 21 zones de départ, rattachées à la zone homogène de départ 2, ont été décrites. Le Tableau 8 présente les couples intensité/activité observés.

L'échantillon obtenu lors des opérations de terrain est suffisamment représentatif pour déterminer les scénarios de référence sur ce faciès.

Zone homogène de départ 2 : Formations granitiques altérées (21 zones de départ observées)			
Activité	Intensité	Observations unitaires	Pourcentage
Faible	Très Faible	0	0%
	Faible	1	5%
	Moyenne	2	10%
	Forte	2	10%
Moyenne	Très Faible	1	5%
	Faible	5	24%
	Moyenne	2	10%
	Forte	0	0%
Forte	Très Faible	15	71%
	Faible	4	19%
	Moyenne	0	0%
	Forte	0	0%
Total de scénarios identifiés		32	

Tableau 8 : Couples activité/intensité observés au sein des formations granitiques altérées durant les campagnes de terrain

**En accord avec les services de la DDT 68**, 2 scénarios de référence ont été retenus pour la zone de départ homogène 2 :

- Pour une **activité moyenne** (un départ attendu tous les 10 ans), une **intensité faible** (volume attendu compris entre 50L et 250L) est retenue ;
- Pour une **activité forte** (un départ attendu tous les ans), une **intensité très faible** (volume attendu inférieur à 50L) est retenue.

c) *Zone homogène de départ 3 : Formations volcano-sédimentaires du Markstein saines*

Durant les campagnes d'acquisition sur le terrain, un total de 8 zones de départ, rattachées à la zone homogène de départ 3, ont été décrites. Le Tableau 9 présente les couples intensité/activité observés.

Zone homogène de départ 3 : Formations volcano-sédimentaires du Markstein saines (8 zones de départ observées)			
Activité	Intensité	Observations unitaires	Pourcentage
Faible	Très Faible	0	0%
	Faible	1	13%
	Moyenne	0	0%
	Forte	0	0%
Moyenne	Très Faible	0	0%
	Faible	0	0%
	Moyenne	1	13%
	Forte	0	0%
Forte	Très Faible	8	100%
	Faible	0	0%
	Moyenne	0	0%
	Forte	0	0%
Total de scénarios identifiés		10	

Tableau 9 : Couples activité/intensité observés au sein des formations saines de la série volcano-sédimentaire du Markstein durant les campagnes de terrain

**En accord avec les services de la DDT 68**, 1 scénario de référence a été retenu pour la zone de départ homogène 3 :

- Pour une **activité forte** (un départ attendu tous les ans), une **intensité très faible** (volume attendu inférieur à 50L) est retenue.

Le faible échantillon de zones de départ décrites au sein des formations de la Série du Markstein s'explique par leur localisation géographique et l'absence d'enjeux sur l'emprise de cette formation géologique. En effet, étant situées sur les crêtes, peu accessibles et éloignées de l'ensemble des enjeux, l'échantillon est jugé satisfaisant.

## d) Zone homogène de départ 4 : Formations volcano-sédimentaires du Markstein altérées

Durant les campagnes d'acquisition sur le terrain, un total de 4 zones de départ, rattachées à la zone homogène de départ 4, ont été décrites. Le Tableau 10 présente les couples intensité/activité observés.

Zone homogène de départ 4 : Formations volcano-sédimentaires du Markstein altérées (4 zones de départ observées)			
Activité	Intensité	Observations unitaires	Pourcentage
Faible	Très Faible	0	0%
	Faible	0	0%
	Moyenne	0	0%
	Forte	0	0%
Moyenne	Très Faible	0	0%
	Faible	1	25%
	Moyenne	0	0%
	Forte	0	0%
Forte	Très Faible	4	100%
	Faible	0	0%
	Moyenne	0	0%
	Forte	0	0%
Total de scénarios identifiés		5	

Tableau 10 : Couples activité/intensité observés au sein des formations altérées de la série volcano-sédimentaire du Markstein durant les campagnes de terrain

**En accord avec les services de la DDT 68**, 2 scénarios de référence ont été retenus pour la zone de départ homogène 4 :

- Pour une **activité moyenne** (un départ attendu tous les 10 ans), une **intensité faible** (volume attendu compris entre 50L et 250L) est retenue ;
- Pour une **activité forte** (un départ attendu tous les ans), une **intensité très faible** (volume attendu inférieur à 50L) est retenue.

Le faible échantillon de zones de départ décrites au sein des formations de la Série du Markstein s'explique par leur localisation géographique et l'absence d'enjeux sur l'emprise de cette formation géologique. En effet, les zones de départ étant situées sur les crêtes, peu accessibles et éloignées de l'ensemble des enjeux, l'échantillon est jugé satisfaisant.

## e) Zone homogène de départ 5 : Formations volcano-sédimentaires d'Oderen saines

Durant les campagnes d'acquisition sur le terrain, un total de 37 zones de départ, rattachées à la zone homogène de départ 5, ont été décrites. Le Tableau 11 présente les couples intensité/activité observés.

Zone homogène de départ 5 : Formations volcano-sédimentaires d'Oderen saines (37 zones de départ observées)			
Activité	Intensité	Observations unitaires	Pourcentage
Faible	Très Faible	0	0%
	Faible	5	14%
	Moyenne	1	3%
	Forte	1	3%
Moyenne	Très Faible	1	3%
	Faible	12	32%
	Moyenne	2	5%
	Forte	0	0%
Forte	Très Faible	36	97%
	Faible	3	8%
	Moyenne	0	0%
	Forte	0	0%
Total de scénarios identifiés		61	

Tableau 11 : Couples activité/intensité observés au sein des formations saines de la série volcano-sédimentaire d'Oderen durant les campagnes de terrain

**En accord avec les services de la DDT 68**, 2 scénarios de référence ont été retenus pour la zone de départ homogène 4 :

- Pour une **activité moyenne** (un départ attendu tous les 10 ans), une **intensité faible** (volume attendu compris entre 50L et 250L) est retenue ;
- Pour une **activité forte** (un départ attendu tous les ans), une **intensité très faible** (volume attendu inférieur à 50L) est retenue.

## f) Zone homogène de départ 6 : Formations volcano-sédimentaires d'Oderen altérées

Durant les campagnes d'acquisition sur le terrain, un total de 28 zones de départ, rattachées à la zone homogène de départ 6, ont été décrites. Le Tableau 12 présente les couples intensité/activité observés.

Zone homogène de départ 6 : Formations volcano-sédimentaires d'Oderen altérées (28 zones de départ observées)			
Activité	Intensité	Observations unitaires	Pourcentage
Faible	Très Faible	0	0%
	Faible	2	7%
	Moyenne	1	4%
	Forte	0	0%
Moyenne	Très Faible	1	4%
	Faible	5	18%
	Moyenne	0	0%
	Forte	1	4%
Forte	Très Faible	26	93%
	Faible	0	0%
	Moyenne	0	0%
	Forte	0	0%
Total de scénarios identifiés		36	

Tableau 12 : Couples activité/intensité observés au sein des formations altérées de la série volcano-sédimentaire d'Oderen durant les campagnes de terrain

**En accord avec les services de la DDT 68**, 1 scénario de référence a été retenu pour la zone de départ homogène 3 :

- Pour une **activité forte** (un départ attendu tous les ans), une **intensité très faible** (volume attendu inférieur à 50L) est retenue.



g) *Bilan des scénarios de référence retenus par zones homogènes de départ*

Le Tableau 13 reprend l'ensemble des scénarios de référence retenus sur la zone d'étude.

Lithologie	Zone Homogène de départ	Niveau d'altération	Scénarios de référence	
			Activité	Intensité
Formations granitiques	1	H2	Faible	Moyenne
			Moyenne	Faible
			Forte	Très Faible
	2	H3	Moyenne	Faible
			Forte	Très Faible
Série volcano-sédimentaire du Markstein	3	H2	Forte	Très Faible
	4	H3	Moyenne	Faible
			Forte	Très Faible
Série volcano-sédimentaire d'Oderen	5	H2	Moyenne	Faible
			Forte	Très Faible
	6	H3	Forte	Très Faible

Tableau 13 : *Bilan des scénarios de référence retenus sur les communes de Fellingering, Kruth, Oderen et Urbès*

En complément, il est rappelé que lors de la cartographie prédictive de l'altération, certains secteurs n'ont pas été cartographiés. Les zones de départ concernées ont été rattachées à la lithologie correspondante (sur la base des relevés de terrain ou de la carte géologique au 1/50 000). Le scénario de référence le plus impactant de la lithologie concernée leur sera appliqué lors de la qualification de l'aléa. Aussi :

- Pour les formations granitiques, les zones de départ concernées ont été rattachées à la zone homogène de départ 1 afin de conserver les phénomènes présentant une activité faible et une intensité moyenne ;
- Pour les formations de la série volcano-sédimentaire du Markstein, les zones de départ concernées ont été rattachées à la zone homogène de départ 4 afin de conserver les phénomènes présentant une activité moyenne et une intensité faible ;
- Pour les formations de la série volcano-sédimentaire d'Oderen, les zones de départ concernées ont été rattachées à la zone homogène de départ 5 afin de conserver les phénomènes présentant une activité moyenne et une intensité faible.

h) *Comparaison avec les scénarios retenus lors de la qualification départementale de l'aléa rocheux*

Lors de la qualification de l'aléa chute de blocs à l'échelle départementale sur le département du Haut-Rhin (Grabensstaetter, Equilbey, Van de Hel, & Krauffel, 2022), via l'utilisation de la MEZAP 2015, les zones homogènes de départ ont été décrites sur la base du seul critère lithologique, sans prise en compte de l'altération des roches et un scénario de référence unique se voulant protecteur avait été considéré. Ainsi, les formations observées lors de l'étude sur les communes de Fellingering, Kruth, Oderen et Urbès avaient été regroupées comme suit :

- Les formations granitiques avaient été regroupées dans un ensemble nommé 'faciès plutoniques' caractérisé par une activité forte et une intensité faible ;
- Les séries volcano-sédimentaires du Markstein et d'Oderen avait été regroupées dans un ensemble nommé 'faciès volcaniques' caractérisé par une activité forte et une intensité faible.

Compte tenu de l'absence de l'intensité 'très faible' dans la version de la méthode MEZAP utilisée, les scénarios retenus lors de la qualification de l'aléa de l'étude communale en cours sont globalement cohérents avec les résultats de l'étude départementale. La prise en compte de scénarios complémentaires et des matrices d'aléas de la version MEZAP 2021 (Groupe de travail MEZAP, 2021) entraîne le rehaussement local du niveau d'aléa par rapport aux résultats de l'étude départementale.

Lors de la qualification de l'aléa chute de blocs sur la commune limitrophe de Wildenstein, les zones homogènes de départ ont été décrites sur la base du seul critère lithologique, sans prise en compte de l'altération des roches. Ainsi, les formations observées lors de l'étude sur les communes de Wildenstein, Metzeral et Mittlach (Grabenstaetter & Vandecapelle, 2023) avaient été regroupées comme suit :

- Les granites de crêtes sont présents sur les 2 zones d'études ; sur la commune de Wildenstein, le scénario de référence les concernant a défini une activité moyenne et une intensité moyenne ;
- La série volcano-sédimentaire du Markstein est présente sur les 2 zones d'études ; sur la commune de Wildenstein, le scénario de référence les concernant a défini une activité forte et une intensité faible ;
- La série volcano-sédimentaire d'Oderen n'est pas présente sur la commune de Wildenstein.

L'étude menée sur la commune de Wildenstein s'est appuyée sur la définition d'un seul scénario de référence par zone homogène de départ. Le scénario sélectionné visait à couvrir la grande majorité des cas de figure observés lors des opérations de terrain.

L'étude menée en 2023 sur les communes de Fellingering, Kruth, Oderen et Urbès a opté pour une approche différente en intégrant le niveau d'altération des roches (méthode non existante lors de l'étude chute de blocs sur la commune de Wildenstein). De fait, des différences de scénarios sont observées sans remettre en cause la base scientifique des différentes cartes d'aléas.

#### **3.3.4. Propagation**

La propagation des éléments rocheux le long des versants a été modélisée, dans le cadre de cette étude, à l'aide d'une approche utilisant la méthode de la ligne d'énergie.

L'application en 3D (méthode des cônes) de la méthode de la ligne d'énergie est réalisée en considérant que la propagation se réalise au sein d'un cône depuis le sommet de la zone de départ et d'ouverture d'un angle dit de « dispersion » variable entre 10° à 20° pour des versants réglés homogènes à près de 30° pour des topographies irrégulières. Cette approche utilise des lois empiriques pour estimer les distances de propagation (voir la description de la méthode de la ligne d'énergie en Annexe 4).

Les propagations ont été modélisées à l'aide du logiciel ELANA développé par le BRGM qui utilise une loi empirique déduite de l'analyse statistique d'un inventaire de plusieurs milliers de chutes de blocs recensées et décrites. La modélisation des enveloppes de propagation a été réalisée

sur un MNT à la résolution de 5 m qui est cohérente avec une cartographie de l'aléa à une résolution de 10 m (localement 5 m à proximité des zones urbaines).

Les limites des enveloppes de propagation ont fait l'objet d'une validation à dire d'expert ayant entraîné localement des modifications des enveloppes, notamment à proximité des cours d'eau en fond de vallée.

Il est rappelé pour mémoire que la forêt et les obstacles anthropiques ne sont pas considérés dans l'évaluation de la propagation. Ces obstacles sont considérés comme transparents car leur efficacité ne peut pas être garantie sur le long terme.

Sur les 59 blocs éboulés recensés en archives et durant les opérations de terrain, 58 sont situés dans les enveloppes de propagation (Illustration 23 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Le dernier bloc est situé à proximité immédiate des enveloppes de propagation, le décalage étant probablement dû à l'imprécision du GPS utilisé sur le terrain ; l'ensemble des blocs éboulés recensés sont considérés comme situés au sein des enveloppes de propagation.

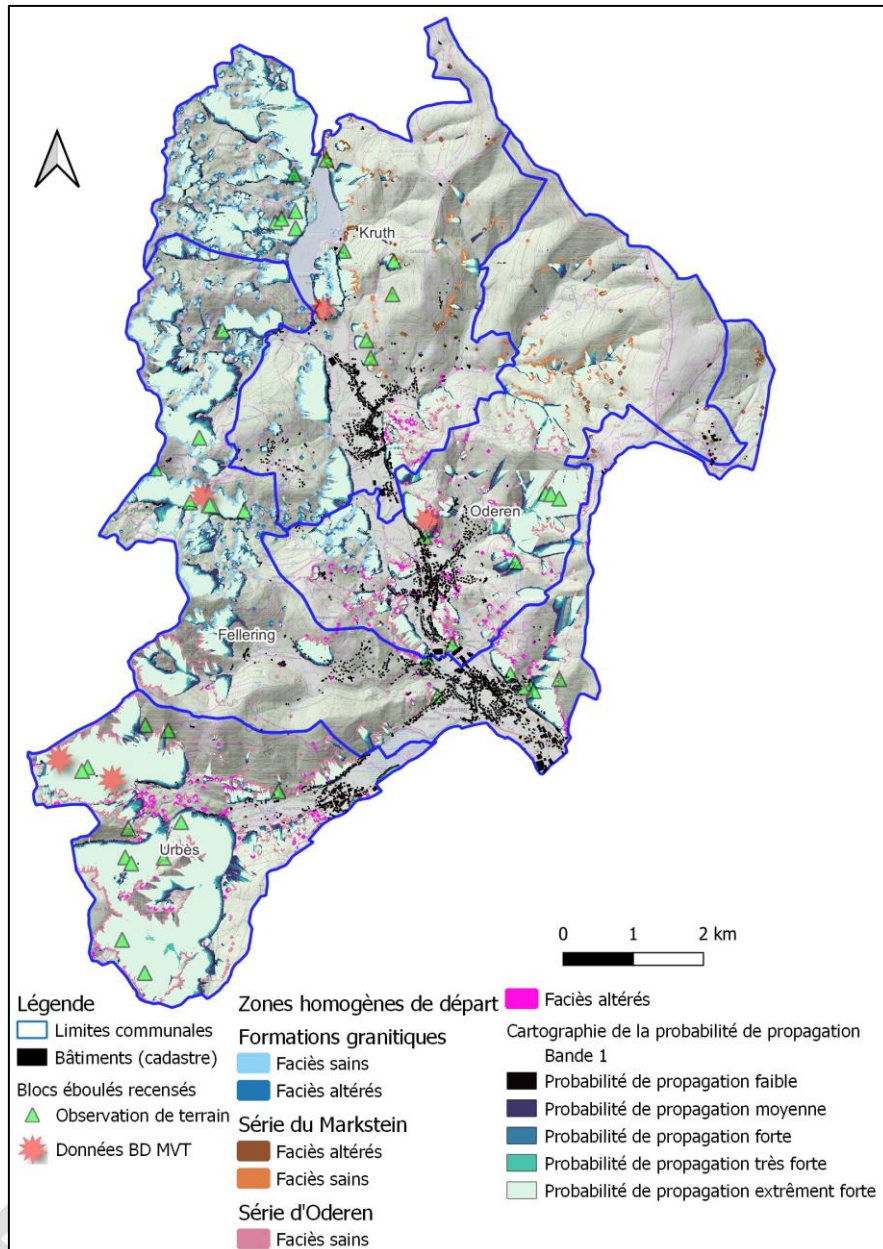


Illustration 23 : Cartographie 'brute' des probabilités de propagation issue de la modélisation ELANA

La cartographie est également disponible à plus grand format en Annexe 5.

### 3.3.5. Atteinte

La probabilité d'atteinte est définie par le croisement de la probabilité de départ (activité de la zone de départ homogène) et la probabilité de propagation. La matrice de croisement a été présentée en Tableau 5. Le résultat cartographique est présenté en Illustration 24 et Annexe 5.

La cohérence de la cartographie de la probabilité d'atteinte peut être évaluée à l'aide de l'inventaire des blocs éboulés. En effet, la majorité des blocs éboulés recensés devraient être situés dans les zones de probabilité d'atteinte forte à très forte.

Ainsi sur la zone d'étude 75% des blocs recensés (44/59) sont situés en zone de probabilité d'atteinte 'très forte'. En conjuguant les blocs recensés en probabilité d'atteinte 'très forte' et 'forte', 95% (56/59) des blocs sont situés sur ces emprises attestant de la cohérence entre la modélisation et les observations de terrain.

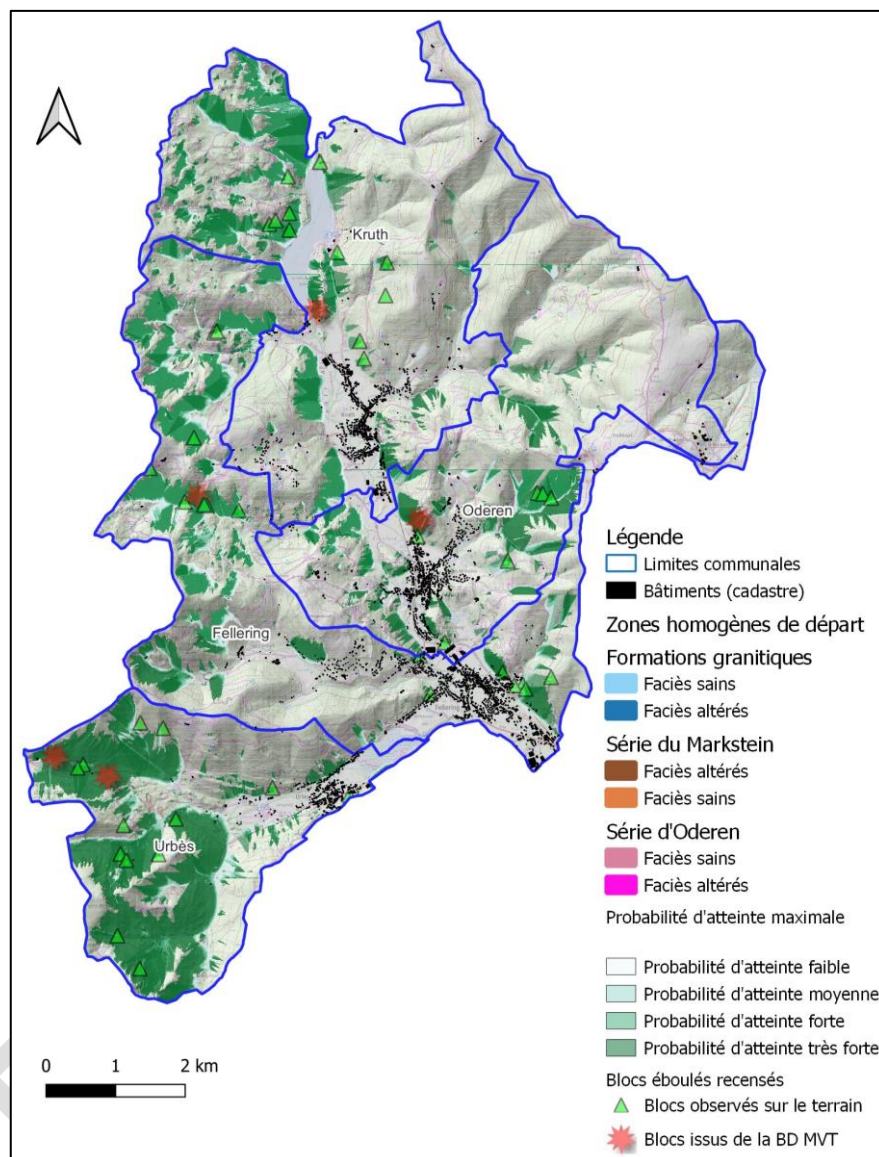


Illustration 24 : Cartographie 'brute' des probabilités d'atteinte issue de la modélisation ELANA

### 3.3.6. Aléa

L'aléa est défini par le croisement, pour chaque zone homogène de départ et selon l'ensemble des scénarios de référence, de la probabilité d'atteinte et l'intensité attendue sur la zone de départ homogène (volume maximal sur une période de temps donnée). La matrice de croisement a été présentée en Tableau 6. Chaque scénario de référence fournit une carte d'aléa qui lui est propre. Pour caractériser l'aléa à l'échelle communale, l'aléa le plus élevé est conservé en chaque point de la zone d'étude.

Le résultat cartographique à l'échelle de la zone d'étude est présenté en Illustration 25. Les cartes communales à l'échelle 1/10 000 (ou format A0) sont présentées en Annexe 7.



La répartition des emprises d'aléa ainsi que leur superficie sont présentées dans le Tableau 14.

	Superficie Commune (m <sup>2</sup> )	Superficie Aléa Faible (m <sup>2</sup> )	Superficie Aléa Moyen (m <sup>2</sup> )	Superficie Aléa Fort (m <sup>2</sup> )	% Surface en Aléa Faible	% Surface en Aléa Moyen	% Surface en Aléa Fort
Fellingring	21 074 257	778 790	699 505	3 777 715	3.70%	3.32%	17.93%
Kruth	22 050 861	587 073	714 343	3 280 100	2.66%	3.24%	14.88%
Oderen	19 221 168	482 610	649 196	1 934 093	2.51%	3.38%	10.06%
Urbès	12 687 700	669 098	406 234	5 153 976	5.27%	3.20%	40.62%
TOTAL	75 033 986	2 517 572	2 469 279	14 145 885	3.36%	3.29%	18.85%

Tableau 14 : Superficie des emprises des zonages d'aléa chute de blocs par commune



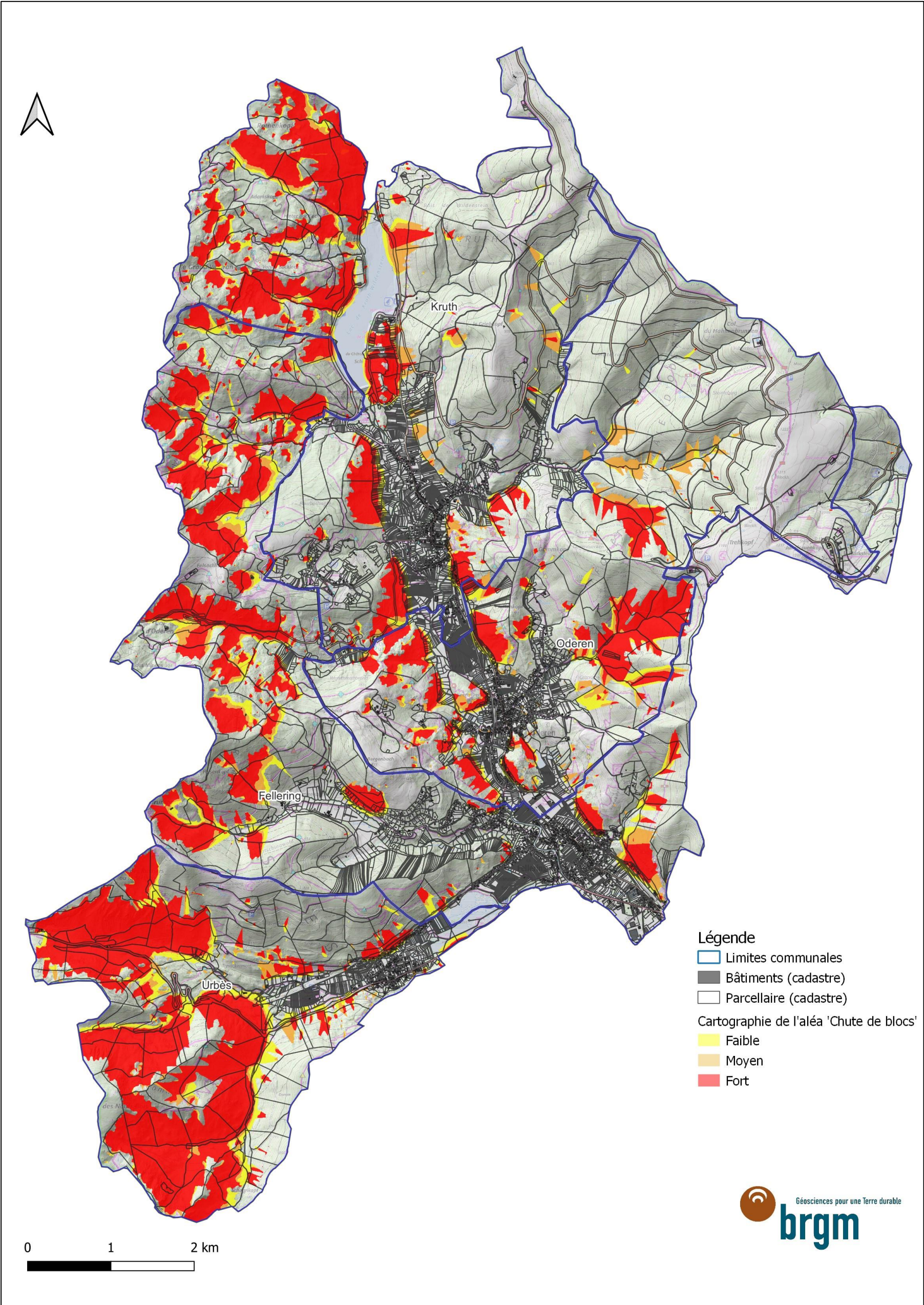


Illustration 25 : Cartographie de l'aléa chute de blocs à l'échelle de la zone d'étude





### 3.3.7. Limites de validité des documents cartographiques

La présente étude a été menée en 2023. Elle est fondée sur l'analyse des sources documentaires disponibles à cette date et sur l'exploitation des événements connus. Les campagnes de terrain ont été réalisées entre mars et juillet 2023. Elle est donc le reflet des connaissances du moment. La prise en compte ultérieure de données non connues ou non disponibles en 2023 (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 événement climatique de période de retour supérieure à 100 ans (qui pourrait générer des événements qualifiés d'exceptionnels) n'a pas été pris en compte dans la caractérisation de l'aléa, comme recommandé au niveau national (les aléas gravitaires n'intègrent pas les phénomènes exceptionnels). Il convient ainsi de garder en mémoire qu'une zone d'aléa faible peut se révéler sujette à une chute de blocs d'un volume plus important lors de tels événements.

Il faut également rappeler que la révision périodique des cartes d'aléa est nécessaire en cas de survenance d'événements remettant partiellement en cause le zonage (et ce particulièrement en période de changement climatique).

Enfin, il est rappelé que la protection conférée par les massifs forestiers, aux zones de bâti situées en pied de versant, n'est pas prise en compte dans la modélisation de l'aléa. En effet, la pérennité de la forêt n'est pas assurée, particulièrement dans un contexte de changement climatique (feux de forêt plus fréquents).

La carte d'aléa est restituée sur les fonds cadastraux à l'échelle du 1/10 000 (ou 1/5 000 pour les secteurs urbanisés). La précision des limites des zones cartographiées au 1/10 000 est de 10 m auxquels il faut associer l'épaisseur du trait de report des limites cartographiées qui correspond, par exemple, pour 1 mm d'épaisseur à 10 m.

**De fait, les différents extraits de cartes produits dans la suite du présent rapport (§4.1.2 à 4.1.5) ne servent qu'à illustrer les propos dudit rapport et ne peuvent en être extraits.**

**Seule la carte d'aléa livrée en carte hors texte au 1/10 000 peut avoir une valeur contractuelle.** La carte d'aléa est restituée sur les fonds cadastraux et inclue les zones d'incertitudes cartographiques liées aux supports utilisés. La précision des cartes au 1/10 000 est de 10 m, toute opération de zoom pour en agrandir l'échelle est à proscrire.





## 4. Gestion du risque rocheux

### 4.1. ANALYSE DES ENJEUX IMPACTES - IDENTIFICATION DES ZONES A RISQUES

#### 4.1.1. Bilan des risques à l'échelle communale

Un croisement entre les différents zonages d'aléa et les enjeux (bâti indifférencié et voirie départementale) a été réalisé, ce qui conduit aux résultats exposés au sein du Tableau 15 :

Fellingring						
Total de bâtiments sur la commune (données cadastrales)	Nombre de bâtiments concernés par l'aléa chute de blocs			Pourcentage de bâtiments concernés par l'aléa rocheux		
	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa fort	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa fort
4593	75	41	93	1.63%	0.89%	2.02%
Kruth						
Total de bâtiments sur la commune (données cadastrales)	Nombre de bâtiments concernés par l'aléa chute de blocs			Pourcentage de bâtiments concernés par l'aléa rocheux		
	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa fort	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa fort
3128	54	60	46	1.73%	1.92%	1.47%
Oderen						
Total de bâtiments sur la commune (données cadastrales)	Nombre de bâtiments concernés par l'aléa chute de blocs			Pourcentage de bâtiments concernés par l'aléa rocheux		
	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa fort	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa fort
3076	107	102	121	3.48%	3.32%	3.93%
Urbès						
Total de bâtiments sur la commune (données cadastrales)	Nombre de bâtiments concernés par l'aléa chute de blocs			Pourcentage de bâtiments concernés par l'aléa rocheux		
	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa fort	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa fort
1326	113	65	48	8.52%	4.90%	3.62%

Tableau 15 : Bilan du bâti impacté par l'aléa chute de blocs sur les communes de la zone d'étude

Le croisement des zonages d'aléa et du bâti cadastral (données issues de la BD Topo en 2023 représentant les bâtiments d'une superficie au sol supérieure à 20 m<sup>2</sup>) a été réalisé pour chaque commune. Les secteurs croisant une concentration importante d'enjeux bâtis et le zonage d'aléa fort ont été identifiés et sont présentés aux paragraphes 4.1.2 à 4.1.5. Des propositions de principe de gestion des risques sont proposés pour chaque secteur identifié. L'Annexe 6 décrit les grands principes de sécurisation liés au risque rocheux.

En complément, à l'échelle de la zone d'étude, les chaussées sont également impactées par le risque rocheux :

- 19,5 km de voies de communication sont classés en aléa fort (y compris la RD 13B1 du col d'Oderen où la Collectivité Européenne Alsace a lancé des travaux de sécurisation) ;
- 6,2 km de voies de communication sont classés en aléa moyen ;
- 7,9 km de voies de communication sont classés en aléa faible.

#### **4.1.2. Logigramme de gestion des risques rocheux**

Plusieurs paramètres vont influencer dans la définition des principes de gestion du risque rocheux. Certains sont intrinsèques aux escarpements (activité, intensité), d'autres sont liés au contexte (distance escarpement-enjeux, topographie, accès...). Un logigramme d'aide à la décision est proposé en Illustration 26.

Ce logigramme a été appliqué sur l'ensemble des zones urbaines impactées par de l'aléa fort présentées au sein des paragraphes 4.1.3 à 4.1.6. Le Tableau 16 présente les solutions techniques envisagées sur chacun de ces secteurs.

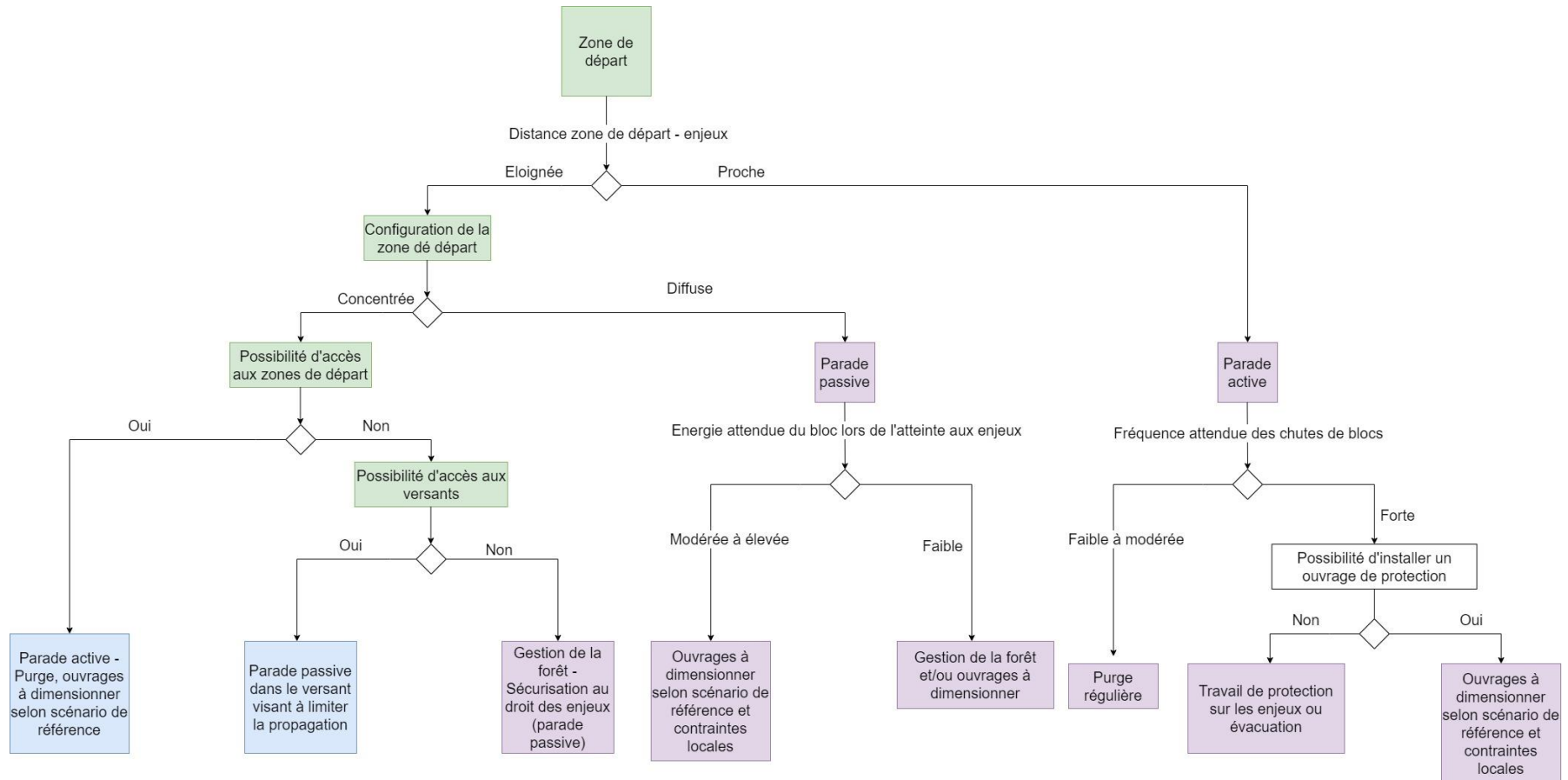


Illustration 26 : Logigramme d'aide à la décision pour la définition de principes de sécurisation vis-à-vis de l'aléa rocheux

#### 4.1.3. Commune de Fellingering

La zone urbaine de Fellingering est concernée par 2 zones d'aléa fort dont les emprises croisent des enjeux de bâti résidentiel. Il s'agit des rues du Baechel et des Pierres (Illustration 27 et Illustration 28).

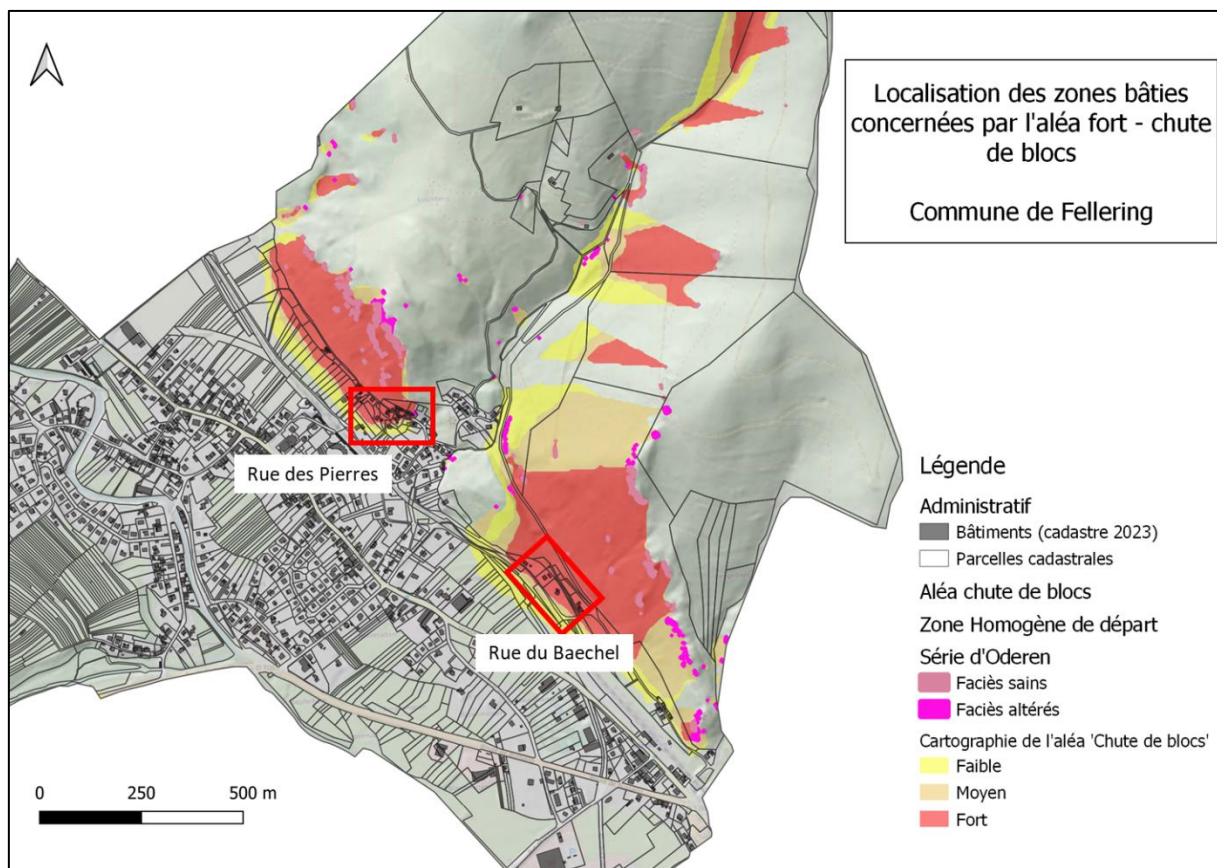


Illustration 27 : Zoom 1 – Zones de bâti soumis à l'aléa fort (carré rouge) sur la commune de Fellingering (carte zoomée, non contractuelle)



Illustration 28 : Escarpement situé en amont de la rue des Pierres à Fellingering (Photo BRGM – Avril 2023)

Les secteurs sont impactés par la présence d'escarpements rocheux de la série d'Oderen qui sont caractérisés par une intensité maximale attendue 'moyenne' soit des blocs rocheux compris entre 250 litres et 1 m<sup>3</sup>.

Pour rappel : dans le cadre d'un évènement exceptionnel, l'intensité peut être plus importante.

Les enjeux impactés sont majoritairement de l'habitat individuel et des dépendances (garage, grange...).

#### 4.1.4. Commune de Kruth

La zone urbaine de Kruth est concernée par une zone d'aléa fort à l'extrémité sud de la commune, le long de la 'Grand rue' (également RD13B). La zone d'aléa fort croise de l'habitat résidentiel et la route départementale 138 (Illustration 29).

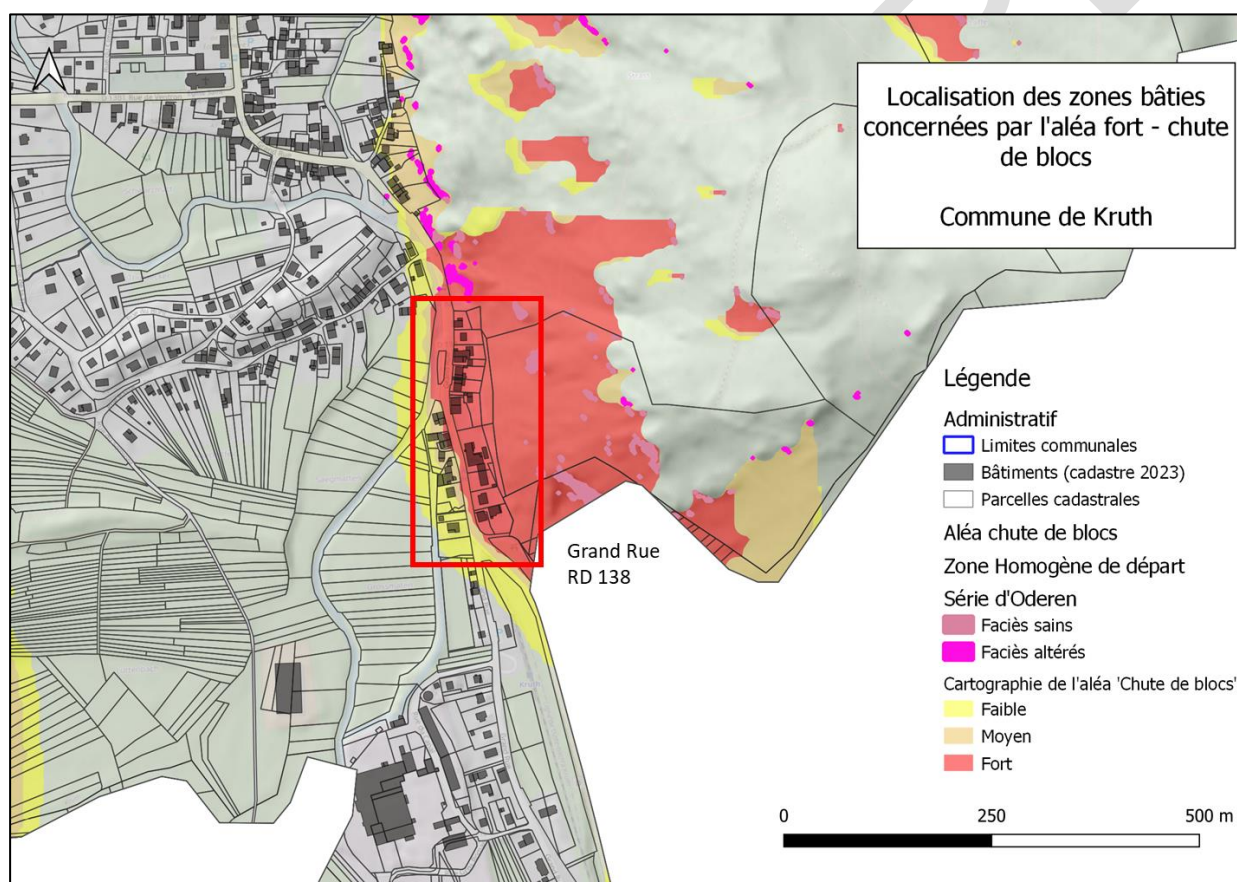


Illustration 29 : Zoom 2 – Zone de bâti soumise à l'aléa fort (carré rouge) sur la commune de Kruth (carte zoomée, non contractuelle)

Les secteurs sont impactés par la présence d'escarpements rocheux de la série d'Oderen qui sont caractérisés par une intensité maximale attendue 'moyenne' soit des blocs rocheux compris entre 250 litres et 1 m<sup>3</sup> (Illustration 30).

Pour rappel : dans le cadre d'un évènement exceptionnel, l'intensité peut être plus importante.





*Illustration 30 : Escarpement situé en amont de la Grand rue à Kruth (Photo BRGM – Mai 2023)*

Les secteurs sont impactés par la présence d'escarpements rocheux de la série d'Oderen qui sont caractérisés par une intensité maximale attendue 'moyenne' soit des blocs rocheux compris entre 250 litres et 1 m<sup>3</sup>.

Les enjeux impactés sont majoritairement de l'habitat individuel et des dépendances (garage, grange...).

#### **4.1.5. Commune d'Oderen**

La zone urbaine d'Oderen est concernée par 2 zones d'aléa fort dont les emprises croisent des enjeux de bâti résidentiel. Il s'agit de la Grand Rue (RD13B) et de la rue Fosse de l'Étang (Illustration 31 et Illustration 32).

Les secteurs sont impactés par la présence d'escarpements rocheux de la série d'Oderen qui sont caractérisés par une intensité maximale attendue 'moyenne' soit des blocs rocheux compris entre 250 litres et 1 m<sup>3</sup>.

Pour rappel : dans le cadre d'un événement exceptionnel, l'intensité peut être plus importante.

Les enjeux impactés sont majoritairement de l'habitat individuel, des dépendances (garage, grange...) et jardins ainsi que la route départementale RD13B.



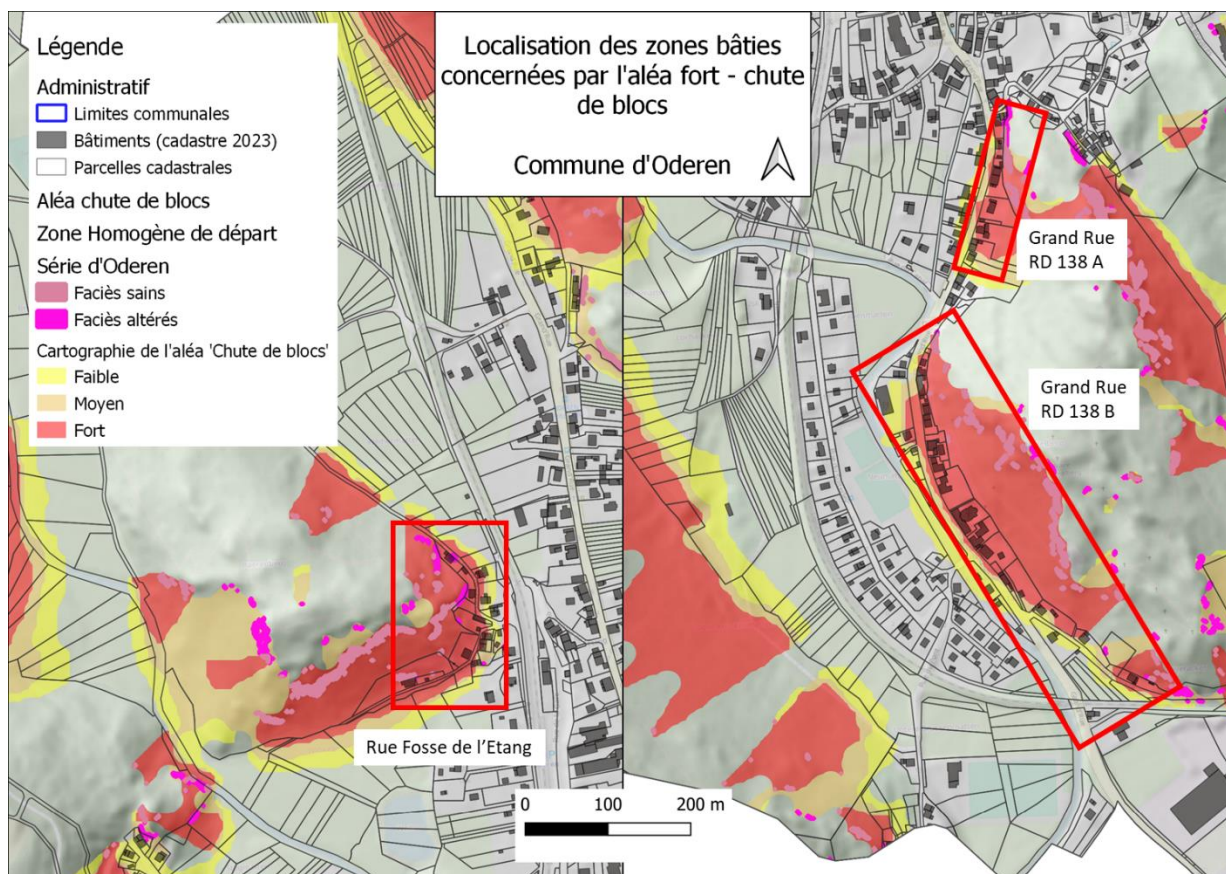


Illustration 31 : Zoom 3 – Zones de bâti soumis à l'aléa fort (carré rouge) sur la commune d'Oderen (carte zoomée, non contractuelle)



Illustration 32 : Escarpement situé en amont de la Grand rue (gauche) et rue Fosse des Etangs (droite) à Oderen (Photo BRGM – Avril 2023)

Les escarpements situés directement en arrière des enjeux (Illustration 32) pourront faire l'objet d'une étude détaillée concernant la mise en place de mesures de protection actives (ancrages, filets plaqués...).

Concernant les escarpements situés plus hauts sur les versants, compte tenu de l'éloignement entre les zones de départ et les enjeux ainsi que la nature forestière de la zone de propagation,

la mise en place de parades passives pourra être étudiée (filet pendu, barrière fixe, déviateur latéraux...).

#### 4.1.6. Commune d'Urbès

La zone urbaine d'Urbès est concernée par 2 zones d'aléa fort dont les emprises croisent des enjeux de bâti résidentiel. Il s'agit des rues du Printemps et du Brisgau (Illustration 33 et Illustration 34).

Les secteurs sont impactés par la présence d'escarpements rocheux de la série d'Oderen qui sont caractérisés par une intensité maximale attendue 'moyenne' soit des blocs rocheux compris entre 250 litres et 1 m<sup>3</sup>.

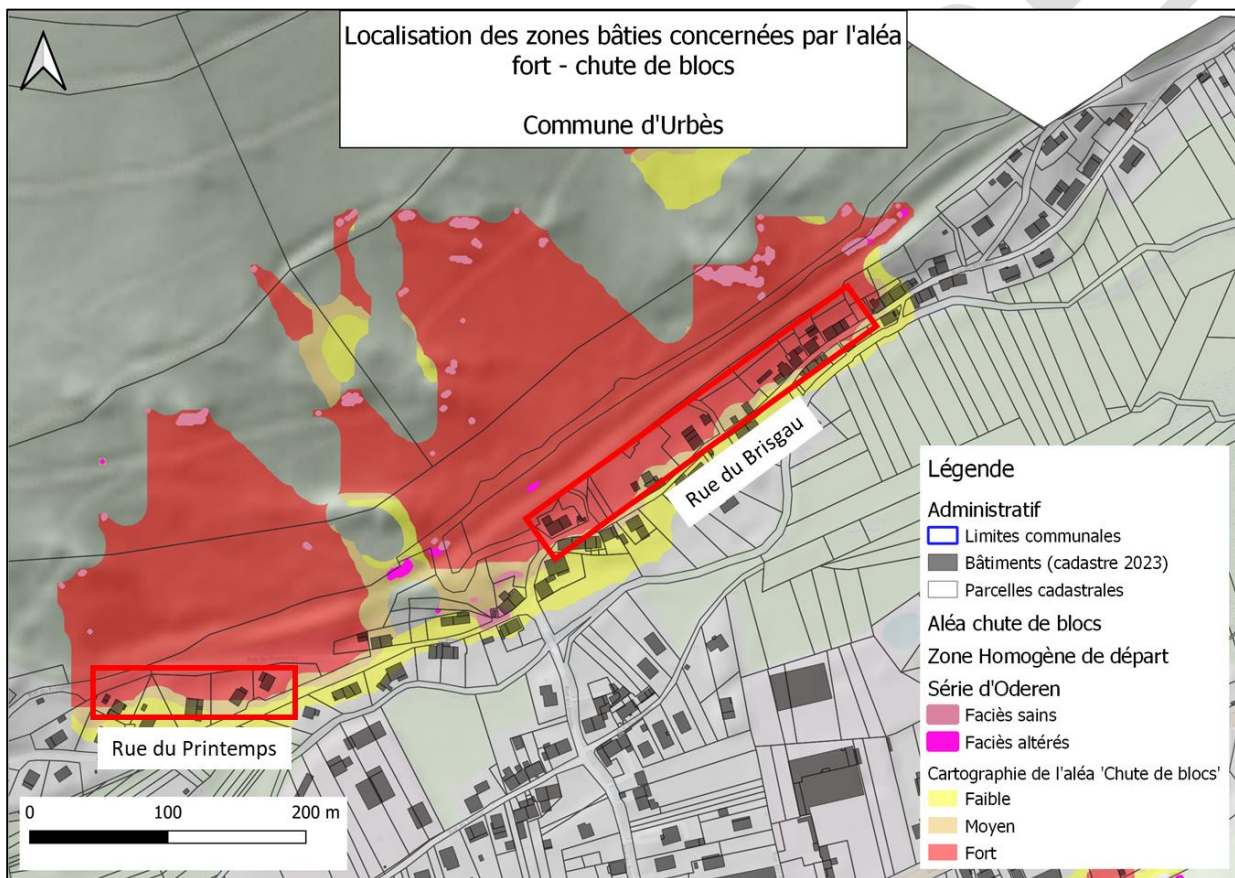


Illustration 33 : Zoom 4 – Zones de bâti soumis à l'aléa fort (carré rouge) sur la commune d'Urbès (carte zoomée, non contractuelle)

Pour rappel : dans le cadre d'un événement exceptionnel, l'intensité peut être plus importante.

Les enjeux impactés sont majoritairement de l'habitat individuel, des dépendances (garage, grange...) et jardins.





Illustration 34 : Escarpement situé en amont de la rue du Printemps à Urbès (Photo BRGM – Juillet 2023)

#### 4.2. SYNTHÈSE DES OUTILS DE GESTION DU RISQUE ROCHEUX PROPOSÉS

La cartographie de l'aléa rocheux sur les 4 communes objet de cette étude a entraîné la discrimination de l'ensemble des escarpements rocheux en 6 zones de départ homogènes basées sur la lithologie et le niveau d'altération des roches. D'après l'analyse des zones de croisement entre zonages d'aléa fort et zones de bâti, seule les zones homogènes de départ liées à la Série volcano-sédimentaire d'Oderen sont susceptibles d'impacter les zones urbaines. Le volume maximal attendu d'après les scénarios de référence retenus correspond à une intensité faible (volume compris entre 50 litres et 250 litres) pour une probabilité de départ moyenne (1 départ attendu une année sur 10).

Une fiche de catégorisation des différents types de parade est proposée en Annexe 6.

*NB : L'ensemble des actions proposées devra être validé avant réalisation via la réalisation d'une étude géotechnique de type G2 AVP selon la norme NF P 94-500 de novembre 2013 à l'exception des opérations de purge et/ou dévégétalisation qui devront néanmoins être menées par des opérateurs qualifiés pour la réalisation de travaux acrobatiques.*

Le Tableau 16 présente les principes de gestion proposés pour chacun de ces secteurs.

Commune	Zone concernée	ZD proche ou éloignée	ZD diffuse ou concentrée	Zone homogène de départ	Scénario de référence pénalisant	Type de parade recommandée
Fellingring	Rue des Pierres	Proche	Diffuse	Série Oderen - faciès altéré	Activité : Forte Intensité : Très faible	Renforcement des enjeux à envisager ou ouvrages à dimensionner
Fellingring	Rue du Baechel	Eloignée	Diffuse	Série Oderen - faciès sain	Activité : Moyenne Intensité : Faible	Réflexion sur l'installation d'ouvrage de protection
Kruth	Grand Rue	Eloignée	Diffuse	Série Oderen - faciès sain	Activité : Moyenne Intensité : Faible	Réflexion sur l'installation d'ouvrage de protection
Kruth	Grand Rue	Proche	Concentrée	Série Oderen - faciès altéré	Activité : Forte Intensité : Très faible	Renforcement des enjeux à envisager ou ouvrages à dimensionner
Oderen	Grand Rue A	Proche	Concentrée	Série Oderen - faciès sain	Activité : Moyenne Intensité : Faible	Purge régulière
Oderen	Grand Rue A	Proche	Concentrée	Série Oderen - faciès altéré	Activité : Forte Intensité : Très faible	Renforcement des enjeux à envisager ou ouvrages à dimensionner
Oderen	Grand Rue B	Eloignée	Concentrée	Série Oderen - faciès sain	Activité : Moyenne Intensité : Faible	En l'absence de chemin d'accès - gestion forestière pour protection des enjeux
Oderen	Rue du Fossé de l'Etang	Proche	Concentrée	Série Oderen - faciès altéré	Activité : Forte Intensité : Très faible	Renforcement des enjeux à envisager ou ouvrages à dimensionner
Oderen	Rue du Fossé de l'Etang	Eloignée	Concentrée	Série Oderen - faciès sain	Activité : Moyenne Intensité : Faible	En l'absence de chemin d'accès - gestion forestière pour protection des enjeux
Urbès	Rue du Brisgau	Eloignée	Diffuse	Série Oderen - faciès sain	Activité : Moyenne Intensité : Faible	En l'absence de chemin d'accès - gestion forestière pour protection des enjeux
Urbès	Rue du Brisgau	Eloignée	Concentrée	Série Oderen - faciès sain	Activité : Moyenne Intensité : Faible	Ouvrage de protection type merlon et gestion forestière pour protection des enjeux
Urbès	Rue du Printemps	Eloignée	Diffuse	Série Oderen - faciès sain	Activité : Moyenne Intensité : Faible	En l'absence de chemin d'accès - gestion forestière pour protection des enjeux

Tableau 16 : Synthèse des solutions de gestion du risque rocheux proposées sur la zone d'étude



## 5. Conclusion

La cartographie de l'aléa rocheux sur les communes de Fellingring, Kruth, Oderen et Urbès a été réalisée selon les prescriptions de la méthodologie nationale MEZAP sur la base de relevés de terrain (description de 129 escarpements et recensement de 66 blocs éboulés) et de modélisations des enveloppes de propagation à l'aide du logiciel ELANA, développé par le BRGM qui utilise la méthode de la ligne d'énergie.

La modélisation de l'aléa a été réalisée à l'échelle 1/10 000, à l'exception des secteurs urbanisés qui ont fait l'objet d'une étude plus détaillée permettant d'utiliser les résultats à l'échelle cadastrale, soit au 1/5 000. Il est à noter que les phénomènes de glissement de terrain, de coulée de boue, de retrait-gonflement, les affaissements et effondrements liés à la présence de cavités naturelles ou anthropiques ne sont pas pris en compte dans cette étude.

Selon les principes de la méthodologie MEZAP, les zones de départ de chute de blocs identifiées ont été regroupées en zones homogènes de départ caractérisées par un ou plusieurs scénario(s) de référence permettant de définir le(s) volume(s) susceptible(s) de chuter et la fréquence de ces événements. Dans le cadre de cette étude, 6 scénarios de référence ont été définis en intégrant notamment le niveau d'altération des roches via une cartographie prédictive réalisée, à l'échelle de la zone d'étude, dans le cadre des opérations de recherches et développement du BRGM.

Sur la base de la cartographie de l'aléa, l'ensemble des enjeux exposés a été comptabilisé (bâtiments et voies de communication):

- 308 bâtiments sont classés en aléa fort ;
- 268 bâtiments sont classés en aléa moyen ;
- 349 bâtiments sont classés en aléa faible ;
- 19,5 km de voie de communication sont classés en aléa fort ;
- 6,2 km de voie de communication sont classés en aléa moyen ;
- 7,9 km de voie de communication sont classés en aléa faible.

L'ensemble des secteurs croisant de l'aléa fort et des zones urbaines bâties (issues des données cadastrales de l'IGN) ont fait l'objet d'une proposition de gestion du risque, adaptée à chaque secteur.

Le BRGM rappelle que l'ensemble des actions proposées devra être validé avant réalisation via la réalisation d'une étude géotechnique de type G2 AVP selon la norme NF P 94-500 de novembre 2013 à l'exception des opérations de purge et/ou dévégétalisation qui devront néanmoins être menées par des opérateurs qualifiés pour la réalisation de travaux acrobatiques.



## 6. Bibliographie

- Baptiste, J., Bessin, P., Lacquement, F., & Tissoux, H. (2021). Cartographie prédictive semi-automatique des horizons d'altération au sein des roches plutoniques. *RST-27e édition de la Réunion des Sciences de la Terre*.
- 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*.
- Foucault, A., & Raoult, J. (2001). *Dictionnaire de géologie*. DUNOD.
- Giuglaris, E., & Baierer, C. (2017). *Étude de la sensibilité à la sécheresse des ressources en eau dans les Vosges (versant alsacien)*. Rapport final.
- Grabenstaetter, L., & Vandecapelle, G. (2023). – *Qualification de l'aléa chute de blocs sur les communes de Metzeral, Mittlach et Wildenstein*. BRGM/RP-72290-FR.
- Grabenstaetter, L., Baptiste, J., & Schmitt, M. (2023). *Qualification de l'aléa chute de blocs – Commune de Ribeauvillé (68)*.
- Grabenstaetter, L., Baptiste, J., & Schmitt, M. (2024). – *Qualification de l'aléa chute de blocs – Communes de Felling, Kruth, Oderen et Urbès (68)*.
- Grabenstaetter, L., Equilbey, E., Van de Hel, C., & Krauffel, T. (2022). *Qualification de l'aléa chute de blocs et de pierres sur les Vosges haut-rhinoises*. BRGM/RP-70991-FR.
- Groupe de travail MEZAP. (2021). *Guide technique MEZAP. Caractérisation de l'aléa rocheux dans le cadre d'un Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRn) ou d'un Porter à Connaissance (PAC)*. BRGM Collection scientifique et technique.
- Haider, V., Kropacek, J., Dunkl, I., Wagner, B., & von Eynatten, H. (2015). Identification of peneplains by multi-parameter assessment of digital elevation models: IDENTIFICATION OF PENEPLAINS BY MULTI-PARAMETER ASSESSMENT. *Earth Surface Processes and Landforms* 40, 1477–1492. Récupéré sur <https://doi.org/10.1002/esp.3729>
- Lacquement, F., & Baptiste, J. (2023). *Compte-rendu de mission, Maures - RGF Alpes et Bassins Périphériques*.
- Ministère de la Transition Ecologique. (2021). *Note technique MEZAP - Méthodologie de caractérisation de l'aléa rocheux d'un le cadre d'un PPR ou d'un PAC*.
- Thiery, Y., Lacquement, F., & Marçot, N. (2019). Landslides triggered in weathered crystalline rocks of moderate latitudes : A cas study in Mediterranean environment (The Maures Massif, France). *Engineering Geology* 248, pp. 164-184. Récupéré sur <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.12.002>



## **Annexe 1   Fiches descriptives des zones de départ**

PROVISoire





## **Annexe 2 Tableau de synthèse des zones de départ décrites**

PROVISoire



## Qualification de l'aléa chute de blocs – Communes de Fellingring, Kruth, Oderen et Urbès (68)

Localisation				Description escarpement							Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3	
ZD	Commune	X WGS84	Y WGS84	Description escarpement	Lithologie	Niveau d'altération	Typologie(s) rupture	Facteurs de prédisposition	Facteurs aggravants	Fracturations mesurées	Activité	Intensité	Activité	Intensité	Activité	Intensité
21	Kruth	47N 56' 761"	6E 57' 429"	Granite Porphyroïde	Granite	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
22	Kruth	47N 56' 505"	6E 57' 909"	Grauwacke, série du Markstein	Grauwacke	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	N125 - 60NE, N90 - 80	Forte	Très Faible	Faible	Faible		
23	Kruth	47N 56' 370"	6E 57' 947"	Grauwacke, série du Markstein	Grauwacke	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	N126 - 72SW, N15 - 62NW	Forte	Très Faible				
24	Fellingring	47N 53' 840"	6E 59' 910"	Grauwacke, série d'Oderen	Grauwacke	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	N82 - 80N	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
25	Fellingring	47N 54' 111"	6E 59' 887"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3+	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
26	Fellingring	47N 53' 818"	6E 59' 598"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3+	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
27	Fellingring	47N 53' 779"	6E 59' 588"	Microgranite	Granite	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Morphologie	Gel/Dégel	/	Moyenne	Faible				
28	Fellingring	47N 53' 981"	6E 59' 415"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Moyenne	Très Faible				
29	Oderen	47N 54' 681"	6E 59' 612"	Tuff	Tuff	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Nature des Terrains	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	N140 - 45NW	Forte	Très Faible				
30	Oderen	47N 54' 755"	6E 59' 524"	Grauwacke, série d'Oderen	Grauwacke	H3	Glissement Dièdre, Colonne	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Moyenne	Faible	Faible	Moyenne	Forte	Très Faible
31	Oderen	47N 54' 694"	6E 59' 476"	Tuff	Tuff	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Eau (source), Fracturation	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	N140 - 30NW	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
32	Oderen	47N 54' 316"	6E 58' 714"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Eau, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	N50 - 90	Moyenne	Faible	Forte	Très Faible		
33	Urbès	47N 53' 344"	6E 53' 634"	Grauwacke Bréchique, série d'Oderen	Grauwacke	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines, Actions	N62 - 42S, N90 - 60N, N33 - 62N	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
34	Urbès	47N 54' 069"	6E 54' 310"	Microgranite	Granite	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Eau, Fracturation	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
35	Urbès	47N 52' 834"	6E 56' 778"	Tuff	Tuff	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines, Actions	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
36	Ventron	47N 56' 079"	6E 53' 388"	Granite de Ventron	Granite	H3+	Glissement Dièdre	Pesanteur, Eau, Fracturation, Nature des Terrains	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	N120 - 40NE	Forte	Très Faible				

## Qualification de l'aléa chute de blocs – Communes de Fellingering, Kruth, Oderen et Urbès (68)

Localisation				Description escarpement							Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3	
ZD	Commune	X WGS84	Y WGS84	Description escarpement	Lithologie	Niveau d'altération	Typologie(s) rupture	Facteurs de prédisposition	Facteurs aggravants	Fracturations mesurées	Activité	Intensité	Activité	Intensité	Activité	Intensité
37	Fellering	47N 53' 777"	6E 59' 487"	Contact filon Tuff et Schiste	Tuff	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Morphologie	Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
38	Fellering	47N 53' 881"	6E 59' 362"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H2	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Nature des Terrains (léger litage)	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
39	Fellering	47N 53' 895"	6E 59' 407"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Nature des Terrains (litage)	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Forte	Très Faible				
40	Fellering	47N 53' 393"	6E 59' 938"	Granitoïde	Granite	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Moyenne	Très Faible				
41	Fellering	47N 53' 744"	6E 59' 618"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Faible	Faible		
42	Fellering	47N 53' 794"	6E 59' 893"	Grauwacke Arénite, série d'Oderen	Grauwacke	H3+	Glissement Dièdre	Pesanteur, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Forte	Très Faible				
43	Urbès	47N 52' 771"	6E 56' 571"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Gel/Dégel, Actions Humaines (route)	/	Forte	Très Faible				
44	Bussang	47N 53' 278"	6E 53' 346"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H4a	Glissement Dièdre	Pesanteur, Eau, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
45	Urbès	47N 53' 582"	6E 55' 420"	Granite	Granite	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
46	Urbès	47N 53' 633"	6E 55' 161"	Grauwacke, série d'Oderen	Grauwacke	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Eau, Morphologie, Structure des	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Faible	Moyenne	Forte	Très Faible		
47	Fellering	47N 55' 602"	6E 55' 416"	Granite Porphyroïde	Granite	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Actions Humaines	/	Forte	Très Faible	Faible	Moyenne		
48	Fellering	47N 55' 568"	6E 55' 865"	Granite Porphyroïde	Granite	H4a	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Forte	Très Faible				
49	Fellering	47N 55' 327"	6E 55' 800"	Granite Porphyroïde	Granite	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Fracturation Aval	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Moyenne	Faible	Forte	Très Faible		
50	Kruth	47N 57' 190"	6E 57' 708"	Filon de Granite, série du Markstein	Granite	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
51	Kruth	47N 57' 159"	6E 57' 714"	Schiste, série du Markstein	Schiste	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Morphologie, Nature des Terrains	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
52	Kruth	47N 56' 989"	6E 57' 765"	Schiste, série du Markstein	Schiste	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Morphologie, Nature des Terrains	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				



## Qualification de l'aléa chute de blocs – Communes de Fellingring, Kruth, Oderen et Urbès (68)

Localisation				Description escarpement							Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3	
ZD	Commune	X WGS84	Y WGS84	Description escarpement	Lithologie	Niveau d'altération	Typologie(s) rupture	Facteurs de prédisposition	Facteurs aggravants	Fracturations mesurées	Activité	Intensité	Activité	Intensité	Activité	Intensité
53	Kruth	47N 56' 605"	6E 58' 793"	Grauwacke, série du Markstein	Grauwacke	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
54	Kruth	47N 57' 019"	6E 59' 085"	Grauwacke, série du Markstein	Grauwacke	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Moyenne		
55	Oderen	47N 56' 773"	7E 00' 642"	Grauwacke, série du Markstein	Grauwacke	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
56	Oderen	47N 56' 383"	7E 00' 924"	Grauwacke, série du Markstein	Grauwacke	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Morphologie, Nature des Terrains	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Forte	Très Faible				
57	Fellingring	47N 55' 676"	7E 00' 419"	Grauwacke, série du Markstein	Grauwacke	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Morphologie, Nature des Terrains	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
71	Urbès	47N 52' 934"	6E 57' 121"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation (faible), Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Moyenne	Très Faible				
72	Urbès	47N 52' 984"	6E 57' 527"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
73	Urbès	47N 53' 123"	6E 57' 274"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
74	Fellingring	47N 53' 744"	6E 58' 519"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
75	Kruth	47N 58' 052"	6E 57' 186"	Granite Porphyroïde	Granite	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Forte	Faible	Faible	Moyenne
76	Kruth	47N 57' 808"	6E 57' 177"	Granite Porphyroïde	Granite	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Eau, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
77	Kruth	47N 57' 662"	6E 57' 179"	Granite Porphyroïde	Granite	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Eau, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Forte	Très Faible				
78	Kruth	47N 57' 524"	6E 57' 172"	Granite Porphyroïde	Granite	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Forte	Très Faible	Forte	Faible		
79	Kruth	47N 57' 394"	6E 57' 162"	Granite Porphyroïde	Granite	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Moyenne	Moyenne	Forte	Très Faible	Forte	Faible
80	Kruth	47N 57' 158"	6E 57' 012"	Granite Porphyroïde	Granite	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
81	Kruth	57N 56' 195"	6E 58' 754"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Nature des terrain (litage)	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Forte	Très Faible				

## Qualification de l'aléa chute de blocs – Communes de Fellingring, Kruth, Oderen et Urbès (68)

Localisation				Description escarpement							Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3	
ZD	Commune	X WGS84	Y WGS84	Description escarpement	Lithologie	Niveau d'altération	Typologie(s) rupture	Facteurs de prédisposition	Facteurs aggravants	Fracturations mesurées	Activité	Intensité	Activité	Intensité	Activité	Intensité
82	Kruth	57N 55' 721"	6E 58' 039"	Série d'Oderen	Oderen	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
83	Oderen	47N 54' 969"	6E 58' 460"	Série d'Oderen	Oderen	H4a	Glissement Dièdre	Pesanteur, Eau, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Faible	Forte		
84	Oderen	47N 54' 912"	6E 58' 476"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H2	Glissement Dièdre	Pesanteur	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
85	Oderen	47N 54' 647"	6E 58' 685"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
86	Oderen	47N 54' 546"	6E 58' 813"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
87	Oderen	47N 54' 553"	6E 57' 973"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H2	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation (faible), Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
88	Oderen	47N 54' 529"	6E 58' 371"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
89	Oderen	47N 54' 373"	6E 58' 496"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation Aval, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
90	Oderen	47N 54' 787"	6E 58' 337"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H2	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
91	Kruth	47N 56' 848"	6E 58' 232"	Grauwacke, série du Markstein	Grauwacke	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
92	Kruth	47N 57' 105"	6E 58' 267"	Grauwacke, série du Markstein	Grauwacke	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
93	Kruth	47N 57' 946"	6E 57' 534"	Grauwacke, série du Markstein	Grauwacke	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
94	Oderen	47N 55' 257"	6E 59' 902"	Série d'Oderen	Oderen	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Moyenne	Moyenne	Forte	Très Faible	Forte	Faible
95	Oderen	47N 55' 214"	7E 00' 023"	Grauwacke, série d'Oderen	Grauwacke	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Forte	Faible		
96	Oderen	47N 55' 012"	6E 59' 689"	Grauwacke, série d'Oderen	Grauwacke	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
97	Oderen	47N 54' 799"	6E 59' 748"	Série d'Oderen	Oderen	H2	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Moyenne	Moyenne	Forte	Très Faible		

## Qualification de l'aléa chute de blocs – Communes de Fellingring, Kruth, Oderen et Urbès (68)

Localisation				Description escarpement							Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3	
ZD	Commune	X WGS84	Y WGS84	Description escarpement	Lithologie	Niveau d'altération	Typologie(s) rupture	Facteurs de prédisposition	Facteurs aggravants	Fracturations mesurées	Activité	Intensité	Activité	Intensité	Activité	Intensité
120	Oderen	47N 55' 735"	6E 58' 083"	Grauwacke, série d'Oderen	Grauwacke	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
121	Kruth	47N 55' 689"	6E 58' 106"	Grauwacke, série d'Oderen	Grauwacke	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
122	Kruth	47N 55' 644"	6E 58' 154"	Grauwacke, série d'Oderen	Grauwacke	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Fracturation Aval	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Faible	Forte	Moyenne	Faible
123	Kruth	47N 55' 664"	6E 58' 096"	Série d'Oderen	Oderen	H2	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
124	Urbès	47N 52' 870"	6E 55' 515"	Série d'Oderen	Oderen	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
125	Urbès	47N 52' 841"	6E 54' 908"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
126	Urbès	47N 52' 620"	6E 54' 857"	Série d'Oderen	Schiste	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Forte	Faible		
127	Urbès	47N 52' 610"	6E 55' 316"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation Aval, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
128	Urbès	47N 52' 602"	6E 55' 296"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Faible	Faible		
129	Urbès	47N 52' 586"	6E 55' 255"	Schiste, Série d'Oderen	Schiste	H2	Glissement Dièdre	Pesanteur, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
130	Urbès	47N 42' 569"	6E 55' 166"	Série d'Oderen	Oderen	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation Aval, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
131	Urbès	47N 52' 570"	6E 54' 922"	Série d'Oderen	Oderen	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible	Faible	Moyenne
132	Urbès	47N 52' 809"	6E 55' 788"	Série d'Oderen	Oderen	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Actions Humaines	/	Forte	Très Faible				
133	Urbès	47N 53' 070"	6E 55' 193"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
134	Urbès	47N 52' 887"	6E 55' 195"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
135	Urbès	47N 53' 093"	6E 55' 060"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				

## Qualification de l'aléa chute de blocs – Communes de Fellingring, Kruth, Oderen et Urbès (68)

Localisation				Description escarpement							Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3	
ZD	Commune	X WGS84	Y WGS84	Description escarpement	Lithologie	Niveau d'altération	Typologie(s) rupture	Facteurs de prédisposition	Facteurs aggravants	Fracturations mesurées	Activité	Intensité	Activité	Intensité	Activité	Intensité
136	Urbès	47N 52' 900"	6E 55' 509"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
137	Kruth	47N 57' 866"	6E 59' 979"	Granite	Granite	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Faible	Moyenne	Moyenne	Faible
138	Kruth	47N 58' 022"	6E 56' 900"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
139	Kruth	47N 57' 895"	6E 56' 985"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Faible	Faible		
140	Kruth	47N 57' 787"	6E 59' 921"	Granite	Granite	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Moyenne	Très Faible				
141	Kruth	47N 57' 753"	6E 56' 947"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Faible	Faible		
142	Kruth	47N 57' 445"	6E 56' 934"	Granite	Granite	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Faible				
143	Kruth	47N 57' 472"	6E 57' 008"	Granite	Granite	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Moyenne	Moyenne	Forte	Très Faible		
144	Kruth	47N 57' 557"	6E 57' 072"	Granite	Granite	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
145	Kruth	47N 57' 777"	6E 57' 105"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Moyenne	Faible	Faible	Forte	Forte	Très Faible
146	Kruth	47N 55' 391"	6E 57' 513"	Granite	Granite	H2	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Faible	Moyenne	Forte	Très Faible		
147	Kruth	47N 55' 162"	6E 56' 879"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
148	Fellingring	47N 55' 187"	6E 56' 517"	Granite	Granite	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
149	Fellingring	47N 55' 772"	6E 56' 035"	Granite	Granite	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Faible	Moyenne	Moyenne	Faible
150	Fellingring	47N 55' 821"	6E 55' 942"	Granite	Granite	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Faible	Moyenne	Moyenne		
151	Fellingring	47N 56' 089"	6E 55' 878"	Granite	Granite	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Faible	Faible	Forte		



## Qualification de l'aléa chute de blocs – Communes de Fellingring, Kruth, Oderen et Urbès (68)

Localisation				Description escarpement							Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3	
ZD	Commune	X WGS84	Y WGS84	Description escarpement	Lithologie	Niveau d'altération	Typologie(s) rupture	Facteurs de prédisposition	Facteurs aggravants	Fracturations mesurées	Activité	Intensité	Activité	Intensité	Activité	Intensité
152	Fellingring	47N 56' 478"	6E 56' 448"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
153	Fellingring	47N 56' 686"	6E 56' 732"	Granite	Granite	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Moyenne	Faible	Forte	Très Faible		
154	Fellingring	47N 55' 196"	6E 56' 758"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines, Actions	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Moyenne		
155	Kruth	47N 55' 247"	6E 56' 880"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Eau, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines, Actions	/	Faible	Faible	Forte	Très Faible		
156	Kruth	47N 55' 153"	6E 57' 303"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Forte	Très Faible				
157	Kruth	47N 55' 362"	6E 57' 525"	Granite	Granite	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible	Faible	Moyenne
158	Fellingring	47N 55' 291"	6E 56' 052"	Granite	Granite	H3-	Glissement Dièdre, Colonne	Pesanteur, Fracturation	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Faible	Forte	Forte	Très Faible	Moyenne	Moyenne
167	Fellingring	47N 54' 024"	6E 58' 428"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Fort	Très Faible				
168	Fellingring	47N 54' 038"	6E 58' 380"	Schiste, série d'Oderen	Schiste	H3-	Glissement Dièdre, Banc sur banc	Pesanteur, Fracturation	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Faible	Forte	Forte	Très Faible	Faible	Faible
169	Fellingring	47N 54' 500"	6E 56' 778"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
170	Fellingring	47N 54' 711"	6E 56' 564"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Moyenne	Faible	Forte	Très Faible		
171	Fellingring	47N 54' 985"	6E 56' 040"	Granite	Granite	H2	Glissement Dièdre	Pesanteur, Eau, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Moyenne	Faible				
172	Fellingring	47N 55' 050"	6E 55' 940"	Granite	Granite	H2	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation Aval, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Faible	Forte	Forte	Très Faible		
173	Kruth	47N 55' 426"	6E 56' 388'	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
174	Kruth	47N 55' 862"	6E 56' 741"	Granite	Granite	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	N160 - 80, N70 - 70	Forte	Très Faible	Faible	Faible		
175	Fellingring	47N 56' 281"	6E 56' 197"	Granite	Granite	H3-	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				



## Qualification de l'aléa chute de blocs – Communes de Fellingring, Kruth, Oderen et Urbès (68)

Localisation				Description escarpement							Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3	
ZD	Commune	X WGS84	Y WGS84	Description escarpement	Lithologie	Niveau d'altération	Typologie(s) rupture	Facteurs de prédisposition	Facteurs aggravants	Fracturations mesurées	Activité	Intensité	Activité	Intensité	Activité	Intensité
176	Fellingring	47N 56' 258"	6E 56' 280"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre, Surplomb,	Pesanteur, Fracturation	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Faible	Moyenne		
177	Fellingring	47N 56' 405"	6E 56' 392"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre, Colonne	Pesanteur, Fracturation	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
178	Kruth	47N 56' 186"	6E 57' 370"	Granite	Granite	H2	Glissement Dièdre, Colonne	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Faible	Forte	Faible	Moyenne
179	Urbès	47N 51' 724"	6E 55' 016"	Grauwacke, série d'Oderen	Grauwacke	H2	Glissement Dièdre, Surplomb,	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines (peu)	/	Forte	Très Faible				
180	Urbès	47N 51' 715"	6E 55' 037"	Série d'Oderen	Oderen	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb,	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Faible	Faible	Faible	Forte
181	Urbès	47N 51' 976"	6E 54' 759"	Grauwacke, série d'Oderen	Grauwacke	H2	Glissement Dièdre, Surplomb,	Pesanteur, Fracturation (faible)	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Forte	Faible	Faible
182	Urbès	47N 52' 012"	6E 54' 410"	Grauwacke, série d'Oderen	Grauwacke	H2	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation (faible)	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible	Faible	Forte
183	Fellingring	47N 53' 890"	6E 55' 924"	Grauwacke, série d'Oderen	Grauwacke	H3-	Glissement Dièdre, Surplomb,	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Faible	Moyenne	Moyenne	Faible
184	Fellingring	47N 54' 168"	6E 56' 070"	Série d'Oderen	Oderen	H2	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Faible	Faible		
185	Fellingring	47N 54' 285"	6E 56' 256"	Granite	Granite	H2	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Moyenne		
186	Urbès	47N 53' 465"	6E 55' 515"	Série d'Oderen	Oderen	H2	Glissement Dièdre, Surplomb,	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
187	Urbès	47N 53' 396"	6E 55' 047"	Série d'Oderen	Oderen	H2	Glissement Dièdre, Surplomb,	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Faible	Moyenne		
188	Urbès	47N 53' 128"	6E 56' 233"	Série d'Oderen	Oderen	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible		
189	Urbès	47N 53' 072"	6E 56' 645"	Série d'Oderen	Oderen	H2	Glissement Dièdre, Surplomb,	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Moyenne	Faible	Forte	Très Faible		
190	Fellingring	47N 56' 370"	6E 55' 774"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation (faible)	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible	Moyenne	Faible	Faible	Moyenne
191	Fellingring	47N 56' 634"	6E 56' 217"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Faible	Moyenne	Moyenne		

## Qualification de l'aléa chute de blocs – Communes de Fellingring, Kruth, Oderen et Urbès (68)

Localisation				Description escarpement							Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3	
ZD	Commune	X WGS84	Y WGS84	Description escarpement	Lithologie	Niveau d'altération	Typologie(s) rupture	Facteurs de prédisposition	Facteurs aggravants	Fracturations mesurées	Activité	Intensité	Activité	Intensité	Activité	Intensité
192	Fellingring	47N 56' 645"	6E 56' 250"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre, Surplomb,	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Faible	Moyenne	Moyenne	Faible	Forte
193	Fellingring	47N 56' 559"	6E 56' 529"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre, Surplomb	Pesanteur, Fracturation	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Très Faible				
194	Fellingring	47N 56' 561"	6E 56' 524"	Granite	Granite	H2	Glissement Dièdre, Surplomb,	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel, Racines	/	Forte	Faible	Faible	Moyenne		
195	Fellingring	47N 57' 018"	6E 56' 685"	Granite	Granite	H3	Glissement Dièdre	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Forte	Faible	Moyenne	Moyenne	Faible	Forte
196	Fellingring	47N 56' 690"	6E 56' 677"	Granite	Granite	H2	Glissement Dièdre, Surplomb,	Pesanteur, Fracturation, Morphologie	Précipitations et Fonte des neiges, Gel/Dégel	/	Forte	Faible	Faible	Moyenne	Faible	Forte



## **Annexe 3 Inventaire des blocs éboulés**

PROVISoire





## Qualification de l'aléa chute de blocs – Communes de Fellingring, Kruth, Oderen et Urbès (68)

ID Bloc	ID BD MVT	Commune	ID ZD	Lithologie	Volume blocs	Intensité	Propagation	Date	Précision Date
CDB_34	/	Kruth	21	Granite	2 - 5L	Très Faible	/	/	/
CDB_35	/	Kruth	22	Grauwacke	10L	Très Faible	35°	/	/
CDB_36	/	Kruth	22	Grauwacke	100L	Faible	34°	/	/
CDB_37	/	Kruth	23	Grauwacke	2 - 5L	Très Faible	/	/	/
CDB_38	/	Fellingring	24	Grauwacke	2 - 5L	Très Faible	/	/	/
CDB_39	/	Fellingring	27	Microgranite	>50L	Faible	/	/	/
CDB_40	/	Oderen	30	Grauwacke	500L	Moyenne	37°	/	/
CDB_41	/	Oderen	30	Grauwacke	975L	Moyenne	35°	/	/
CDB_42	/	Oderen	32	Schiste	75L	Faible	50°	2020	Année
CDB_43	/	Urbès	34	Microgranite	2 - 5L	Très Faible	40°	/	/
CDB_44	/	Ventron	36	Granite	80L	Faible	/	/	/
CDB_45	/	Fellingring	37	Tuff	10 - 20L	Très Faible	/	/	/
CDB_46	/	Fellingring	38	Schiste	<1L	Très Faible	/	/	/
CDB_47	/	Fellingring	41	Schiste	20L	Très Faible	52°	/	/
CDB_48	/	Bussang	44	Schiste	60L	Faible	/	/	/
CDB_49	/	Urbès	45	Granite	150L	Faible	/	/	/
CDB_50	/	Urbès	46	Grauwacke	500L	Moyenne	/	/	/
CDB_51	/	Fellingring	47	Granite	5 - 10L	Très Faible	/	/	/
CDB_52	/	Fellingring	49	Granite	5L	Très Faible	37°	/	/
CDB_53	/	Fellingring	49	Granite	75L	Faible	42°	/	/
CDB_54	/	Kruth	50	Granite	100L	Faible	/	/	/
CDB_56	/	Urbès	/	/	/	/	Eboulis	/	/
CDB_57	/	Urbès	72	Schiste	36L	Très Faible	/	/	/
CDB_58	/	Fellingring	74	Schiste	20L	Très Faible	/	/	/
CDB_59	/	Kruth	76	Granite	36L	Très Faible	36°	/	/
CDB_60	/	Kruth	78	Granite	60L	Faible	/	/	/
CDB_61	/	Kruth	79	Granite	90L	Faible	/	/	/
CDB_62	/	Kruth	79	Granite	60L	Faible	/	/	/
CDB_63	/	Kruth	91	Grauwacke	36L	Très Faible	45°	/	/
CDB_64	/	Kruth	92	Grauwacke	30L	Très Faible	/	/	/
CDB_65	/	Kruth	93	Grauwacke	50L	Faible	/	/	/
CDB_66	/	Kruth	93	Grauwacke	120L	Faible	/	/	/
CDB_67	/	Oderen	94	Grauwacke	400L	Moyenne	38°	févr-23	2 mois

## Qualification de l'aléa chute de blocs – Communes de Fellingring, Kruth, Oderen et Urbès (68)

ID Bloc	ID BD MVT	Commune	ID ZD	Lithologie	Volume blocs	Intensité	Propagation	Date	Précision Date
CDB_68	/	Oderen	94	Schiste	28L	Très Faible	/	/	/
CDB_69	/	Oderen	94	Schiste	110L	Faible	/	/	/
CDB_70	/	Oderen	95	Grauwacke	100L	Faible	/	/	/
CDB_75	66800114	Wildenstein	/	Schiste/Granite	1m³	Forte	/	1999	Année
CDB_77	66800115	Wildenstein	/	Granite	/	/	/	1978	Année
CDB_78	66800116	Wildenstein	/	Granite	2m³	Forte	/	1999	Année
CDB_79	66800090	Oderen	/	Schiste/Trachyte	1m³	Forte	40°	1970	Décennie
CDB_80	10100078	Urbès	/	Granite	/	Faible	/	22/05/2013	Jour
CDB_81	66800170	Urbès	/	Schiste	/	/	/	1950	Récurrent
CDB_82	66800547	Fellingring	/	Granite	1m³	Forte	/	21/12/2003	Saison
CDB_84	/	Oderen	83	Oderen	>1m³	Forte	/	/	/
CDB_85	/	Urbès	125	SchisteO	45L	Très Faible	/	/	/
CDB_86	/	Urbès	126	Oderen	60L	Faible	/	/	/
CDB_87	/	Urbès	128	SchisteO	144L	Faible	/	/	/
CDB_88	/	Urbès	131	Oderen	80L	Faible	/	/	/
CDB_89	/	Urbès	124	Oderen	1-5L	Très Faible	/	/	/
CDB_90	/	Fellingring	158	Granite	>250L	Moyenne	/	06/05/2023	Horaire
CDB_91	/	Kruth	142	Granite	86L	Faible	45°	/	/
CDB_92	/	Kruth	143	Granite	253L	Moyenne	60°	/	/
CDB_93	/	Fellingring	150	Granite	80L	Faible	/	/	/
CDB_94	/	Fellingring	/	Granite	1-10L	Très Faible	/	10/05/2023	Horaire
CDB_95	/	Urbès	33	GrauwackeO	/	/	/	01/01/2023	Mois
CDB_97	/	Fellingring	167	Série Oderen	2L	Très Faible	/	/	/
CDB_98	/	Fellingring	/	Granite	>50L	Faible	/	18/07/2023	Jour
CDB_99	/	Fellingring	/	Granite	<50L	Très Faible	/	18/07/2023	Jour
CDB_100	/	Urbès	179	Grauwacke	5L	Très Faible	40°	/	/
CDB_101	/	Urbès	181	Grauwacke	10L	Très Faible	30°	/	/
CDB_102	/	Urbès	E6	Grauwacke	20L	Très Faible	40°	/	/
CDB_103	/	Urbès	189	Grauwacke	50L	Faible	/	/	/
CDB_104	/	Fellingring	191	Granite	36L	Très Faible	35°	/	/
CDB_105	/	Fellingring	192	Granite	600L	Moyenne	60°	/	/

## **Annexe 4    Fonctionnement de la méthode de la ligne d'énergie**

PROVISoire



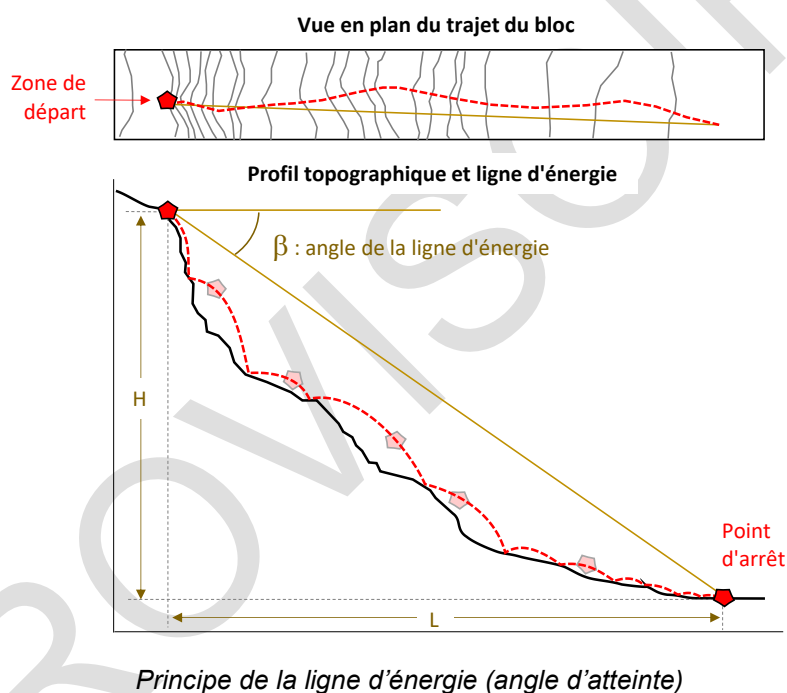
## Méthode de la ligne d'énergie

### Aide à la cartographie de la propagation des chutes de blocs

Le groupe MEZAP (Méthode d'Evaluation du Zonage de l'Aléa chute de Pierres), pour le compte du Ministère de l'Ecologie propose une évolution des méthodes d'évaluation de l'aléa rocheux dans le cadre de PPR (Plan de Prévention des Risques) ou de PAC (Porté à connaissance). Dans ce cadre, une importante base de données (BdD) d'événements documentés a été créée afin d'identifier l'impact de la morphologie de versant sur la valeur d'angle de la ligne d'énergie  $\beta$  (Heim, 1932, BRGM/RP-66589-FR).

### Méthode de la ligne d'énergie

La méthode de la ligne d'énergie repose sur un principe simple et trivial qu'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  $\beta$ , il accélère. Si elle est inférieure à  $\beta$ , il ralentit. Le point d'intersection du relief avec une ligne imaginaire partant de la zone de départ et formant un angle  $\beta$  avec l'horizontal (illustration) fournit le point d'arrêt. Cette ligne est appelée la ligne d'énergie et l'angle  $\beta$ , l'angle de la ligne d'énergie.



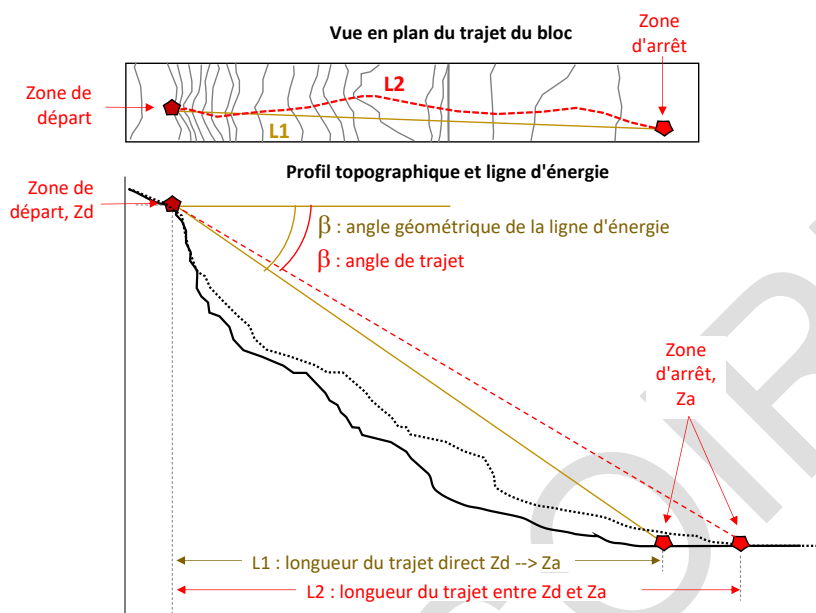
Compte tenu de la possibilité de déviation des trajectoires des blocs que ce soit à cause de leur forme ou des obstacles rencontrés, ils peuvent donc progresser dans un cône, appelé cône de propagation. Ce cône a une pente  $\beta$  et son sommet est placé au niveau de la zone de départ.

Depuis sa formalisation, ce principe a fait l'objet de nombreuses études. Différents auteurs se sont, entre autre, intéressés à l'adaptation de cette méthode en fonction de la localisation du point de départ et du type de profil en long à utiliser pour les calculs. En ce qui concerne le choix d'implantation du profil en long, il existe deux grandes écoles de pensée :

- ✓ Utilisation de la ligne de plus grande pente qui définit l'angle géométrique (aussi dénommé « reach angle ») ;
- ✓ Utilisation du profil en long correspondant au trajet réel du bloc (qui peut s'appréhender par le principe d'écoulement d'une goutte d'eau) qui définit « l'angle de trajet » (« travel angle »).

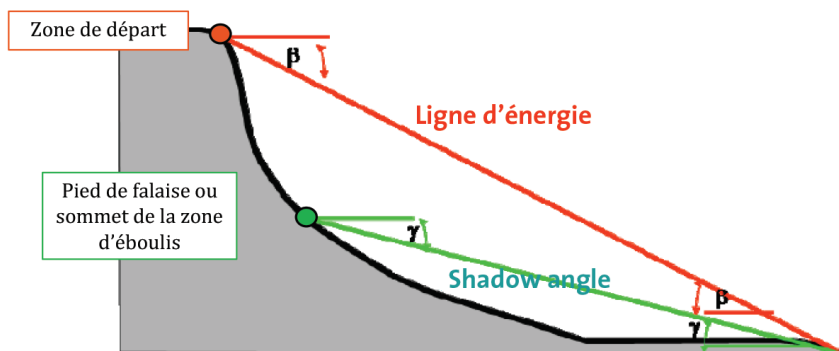


L'illustration ci-dessous présente ces deux concepts. Dans les deux cas le point d'arrêt et les dénivelés parcourus sont les mêmes mais les distances sont différentes. Sur ce principe, l'angle de trajet est plus faible que l'angle géométrique. La différence entre les deux angles est de l'ordre du degré mais dépend naturellement des contextes.



*Principe de calcul de la ligne d'énergie selon l'angle géométrique (reach angle) ou l'angle de trajet (travel angle)*

En ce qui concerne le choix de la localisation du point de départ, des auteurs tels que Lied (1977), et Evans and Hungr (1993) proposent d'utiliser non le point sommital des falaises mais le pied de falaise ou le sommet du talus d'éboulis. Ils ont ainsi élaboré le principe « d'angle d'ombrage » de l'anglais Shadow angle (illustration). La valeur de l'angle d'ombrage étant pour chacun de ces auteurs de respectivement de : 28°, 22° et 27,5°. L'utilisation du shadow angle nécessite de déterminer le sommet des « talus » ce qui n'est toujours aisé. Cette approche peut être utilisée lorsque le profil de pente contient une rupture de pente nette engendrant une dissipation importante de l'énergie cinétique au premier impact.



*Principe de la ligne d'énergie selon Heim (1932) et principe du shadow angle selon Lied (1977)*

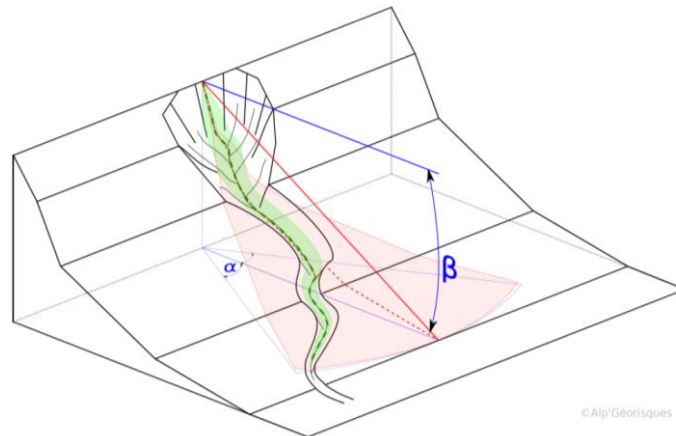
Plusieurs auteurs ont travaillé sur la détermination de l'angle  $\beta$  de la ligne d'énergie selon le principe de Heim (angle géométrique) :

Auteurs	Angle géométrique	
	Min.	Max
Shreve (1968)	26.6°	38.7°
Hsü (1975)	32.0°	32.0°
Onofri & Candian (1979)	28.8°	41.7°
Grunder (1984)	33.1°	34.4°
Moser (1986)	34.0°	43.0°
Domaas (1985 in Toppe 1987)	33.0°	33.0°
Mac ewen (1989)	31.0°	31.0°
Gerber (1994)	33.5°	38.0°
Meissl (1998)	29.5°	48.5°
Heinimann <i>et al.</i> (1998)	33.5°	38.0°
Focardi & lotti (2001)	27.5°	30.0°
Ayala-carcedo <i>et al.</i> (2001)	29.1°	38.9°
Jaboyedoff & Labouise (2003)	33.0°	33.0°
Jaboyedoff & Labouise (2011)	32.6°	35.6°
Corominas <i>et al.</i> (2003)	27.6°	55.0°
Dorren & Berger (2005, 2006)	31.9°	38.0°
Copons <i>et al.</i> (2009) site a	36.9°	56.3°
Copons <i>et al.</i> (2009) site b	28.8°	42.0°
Hutter <i>et al.</i> (2005) modèle réduit	30.0°	37.0°
Scheidegger (1973)	29.7°	39.7°
Marquinez <i>et al.</i> (2002) cas 1	32.5°	40.9°
Marquinez <i>et al.</i> (2002) cas 2	29.4°	38.5°
Antoniou & Lekkas (2009)	35.0°	35.0°
Deparis <i>et al.</i> (2008)	31.6°	47.2°
Hyndman & Hyndman (2009)	33.0°	33.0°
Berger <i>et al.</i> (2009) sans forêt	27.7°	33.9°
Berger <i>et al.</i> (2009) avec forêt	31.3°	37.9°
BRGM (données MEZAP - 2758 valeurs)	25.0°	79.7°
RTM (données 2011-2013 - 192 cas)	24.7°	58.4°

*Valeurs de l'angle d'énergie (géométrique) suivant différents auteurs (en blanc valeurs min. inférieures à 30°)*

L'application en 3D (méthode des cônes) de la méthode de la ligne d'énergie est réalisée en considérant que la propagation se réalise au sein d'un cône de sommet la zone de départ, de pente la valeur de la ligne d'énergie et d'ouverture un angle dit de « dispersion » variable entre 10° à 20° pour des versants réguliers homogènes à près de 30° pour des topographies irrégulières.

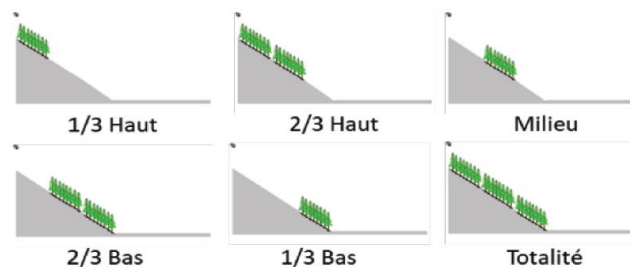
Il convient de rappeler que l'application en 3D de la méthode de la ligne d'énergie a des limites d'utilisation et ce notamment lorsque la topographie locale du versant peut influencer fortement sur la propagation. Le schéma ci-dessous illustre ce point : si un bloc sort du talweg en sommet de pente il pourrait se propager plus loin en versant que s'il reste dans le talweg. En conséquence ces configurations spécifiques de chenalisation doivent faire l'objet d'une attention particulière dans la cartographie des propagations.



© Alp'Géorisques

*Exemple de cas pour lequel l'application de la méthode des cônes peut conduire à un zonage excessif (zone d'arrêt pertinente dans l'axe du chenal uniquement)  
(en vert zone de propagation ; en rouge zone simulée par la méthode des cônes)*

Pour mémoire le couvert forestier joue un rôle reconnu vis-à-vis de l'aléa rocheux. Les analyses menées par INRAE mettent en évidence augmentation des valeurs d'angles de ligne d'énergie de l'ordre de 3 à 4° en moyenne en prenant en compte la forêt comme protection. La position de la bande boisée sur un profil topographique a un impact sur cet écart (Quarteroni, 2017). Ces résultats peuvent être utiles pour juger de la représentativité de blocs témoins dans des contextes d'occupation variables au cours du temps.



Position de la bande boisée sur le profil	Différence d'angle d'énergie (°)	
	Moyenne	Ecart-type
1/3 Haut	1	± 1
2/3 Haut	2	± 1
Milieu	2	± 1
2/3 Bas	6	± 2
1/3 Bas	6	± 2
Totalité	6	± 2

*Effet de la position de la bande boisée sur l'angle de ligne d'énergie (écart vs sans végétation)*

## Références

Colas B., Faure P., J. Rohmer (2017) – Valorisation des travaux réalisés dans le cadre du GT MEZAP (Année 1). Rapport d'avancement. BRGM/RP-66589-FR

Collectif (groupe de travail MEZAP). Guide technique MEZAP. Caractérisation de l'aléa rocheux dans le cadre d'un Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRn) ou d'un Porter à connaissance (PAC). BRGM, 2021. Collection scientifique et technique. ISBN : 978-2-7159-2760-5

Quarteroni, A. (2017). Modélisation statistique pour l'aide à la cartographie de l'aléa chute de blocs : Influence de la topographie du versant et du couvert forestier (Mémoire). Nancy: AgroParisTech.

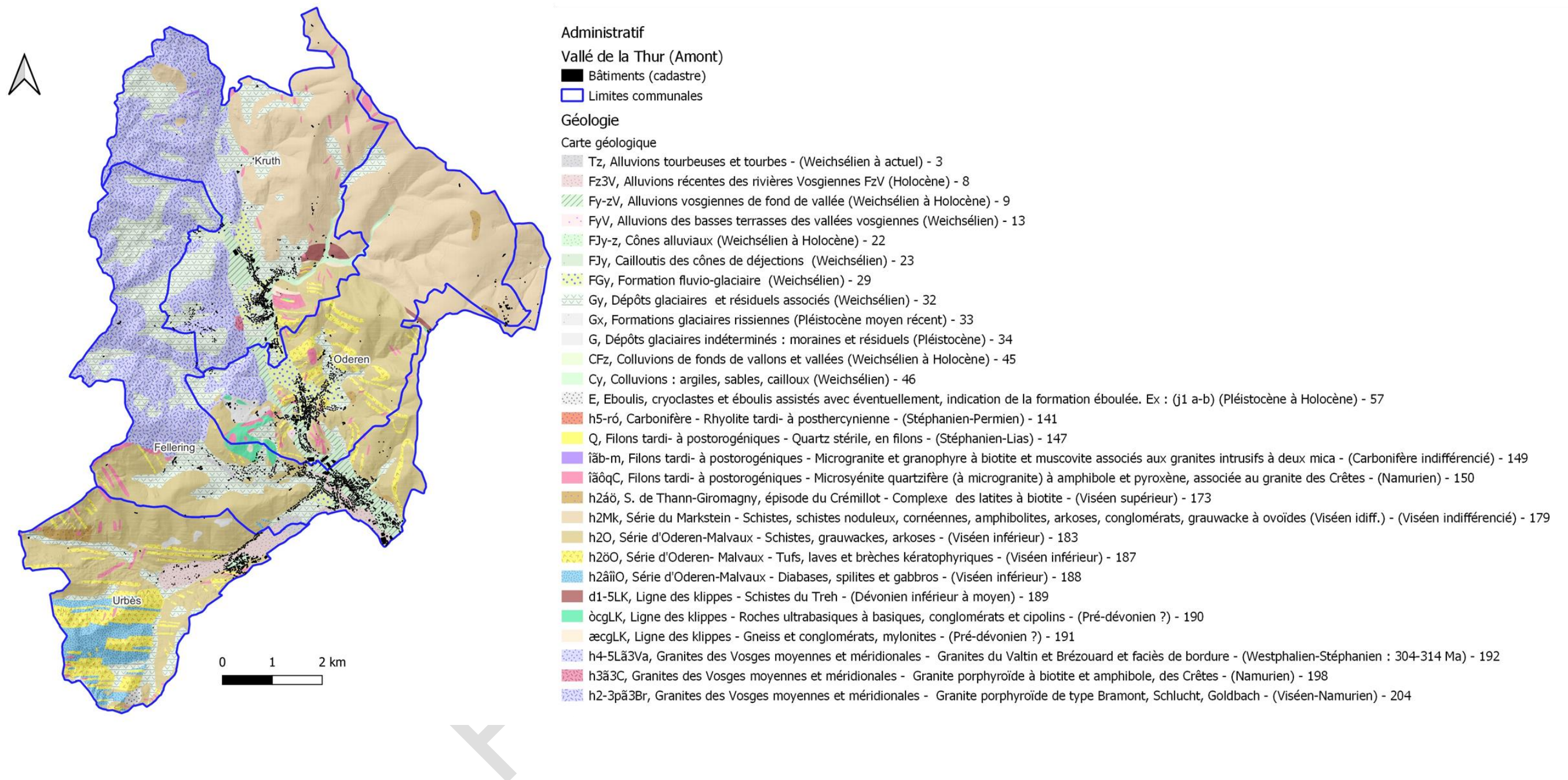
## **Annexe 5 Documents cartographiques intermédiaires**

PROVISoire





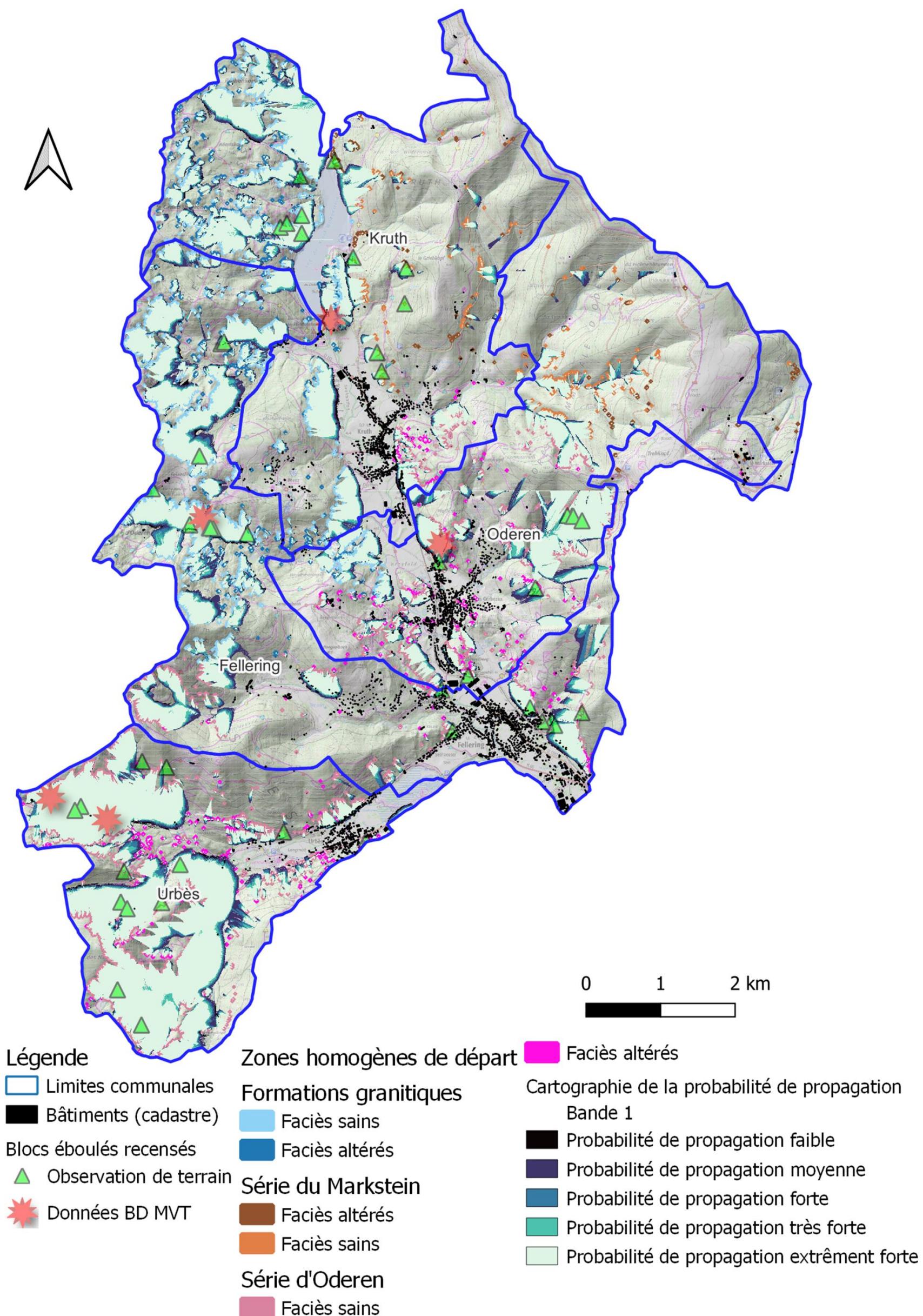
## CARTOGRAPHIE GEOLOGIQUE HARMONISEE AU 1/50 000







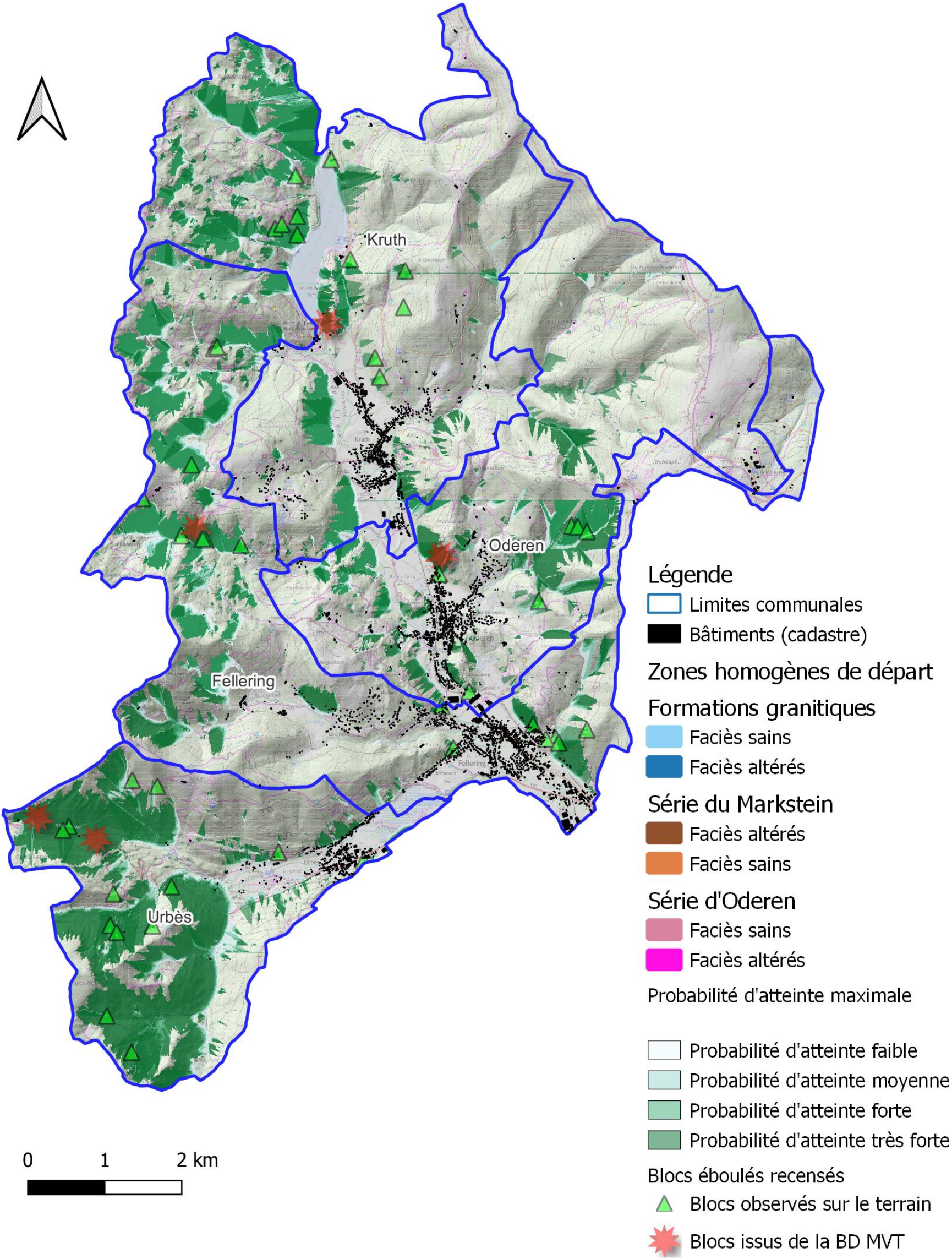
# CARTOGRAPHIE BRUTE DES PROBABILITES DE PROPAGATION SUR LES COMMUNES DE FELLERING, KRUTH, ODEREN ET URBES (IDENTIFICATION DES ZONES DE DEPART SUR MNT 1M ET PROPAGATION ELANA® SUR MNT 5M) SELON MEZAP 2021







CARTOGRAPHIE BRUTE DES PROBABILITES D'ATTEINTE SUR LES COMMUNES DE FELLERING, KRUTH, ODEREN ET URBES (IDENTIFICATION DES ZONES DE DEPART SUR MNT 1M ET PROPAGATION ELANA® SUR MNT 5M) SELON MEZAP 2021







## **Annexe 6   Catégorisation des types de parades relatives à l'aléa rocheux**

PROVISoire



Parades actives (s'oppose à la manifestation du phénomène)		Capacité
Purge	purges douces (manuelles)	Purges d'éléments du dm <sup>3</sup> à qqs m <sup>3</sup>
	purges à l'explosif (exceptionnelle)	
Reprofilage et abattage		Variable, en fonction du volume rocheux instable à abattre
soutènement	contrefort	Dépend du volume rocheux instable
	buton en béton	
	buton métallique	
	pilier	
Ancrage	passif (barre scellée sur toute la longueur dans le trou de forage, plaque d'appui et écrou de serrage à l'extrémité libre), exemple : cloutage	Type d'ancrage (actif ou passif) déterminé par les essais de convenance. Masse de blocs retenus en fonction de la profondeur et du type d'ancrage
	actif (barres ou câbles scellés en fond de trou, mise en tension, réglage de la surface d'appui), exemple : tirant	
Béton projeté		technique de protection et non de soutien
Filets et grillages plaqués		Aucune capacité à supporter les éboulements de masse
végétalisation	Peut dans certain cas destabiliser la zone de départ et provoquer le phénomène	
Drainage	de surface ou profond	

Parades passives (une fois le phénomène déclenché)				Capacité
Merlon				jusqu'à 100 000 kJ
BARRIERE = ECRAN	FIXE / STATIQUE	écran à structure rigide	échelle de perroquet	100 kJ pour les structures légères, jusqu'à 100 000kJ pour les écrans très massifs
			blocs bétons liaisonnés empilés	
			gabions	
			palplanches	
		barrière fixe (ou écran statique) de grillage ou de filet	grillage double nappe, double torsion	10 kJ
			grillage simple nappe, double torsion	
			filets en cable métallique	qq's 100 kJ (classe 1 à 3 : norme NF P 95-308)
			filets métalliques type ASM	qq's 1000 kJ
	dyna	écran déformable (dynamique) de filet	filets en cable métallique	qq's 1000 kJ
			filets métalliques type ASM	
grillage ou filet pendu			grillage simple simple ou double torsion	Chute fréquente d'éléments < à quelque 100 dm³. Peut être associé avec un filet.
		filets métalliques type ASM	Pour des blocs entre quelque 0,1 et 1 m³	
Fosse de réception		Variable selon les dimensions de l'ouvrage, elles mêmes dépendantes de la configuration topographique du site d'implantation (pente, hauteur du talus)		
Déviateur latéral		N'arrête pas les blocs mais les détourne des enjeux à protéger		





## **Annexe 7    Cartographie de l'aléa chute de blocs à l'échelle communale**

PROVISoire



PROVISOIRE

PROVISoire



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**Centre scientifique et technique**

3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

**Direction Régionale Grand Est**

**Délégation de Strasbourg**

Parc d'Activité Porte Sud – Bât H1

Rue du Pont du Péage

67118 – Geispolsheim- France

Tél. : 03 88 77 48 90

**[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)**



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**