



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès différé

Mise à jour de la cartographie de l'aléa rocheux – Commune de Wildenstein (68)

Rapport final

BRGM/RP-74022-FR

Version 1 du 16 décembre 2024

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

BRGM



Ce rapport a été vérifié le 10/12/2024 et approuvé le 15/01/2025 selon la procédure interne en vigueur au sein du BRGM, qui garantit le respect de ses engagements contractuels, de l'intégrité et de l'impartialité du contenu scientifique et technique du présent rapport, de l'éthique et de la déontologie du BRGM, ainsi que des dispositions réglementaires et législatives auquel il est soumis pour l'exercice de son activité.

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



PRÉFET DU HAUT-RHIN

Avertissement

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

Le demandeur assure lui-même la diffusion qu'il souhaite des exemplaires de ce tirage initial, dont il est seul propriétaire.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur, ainsi que par les termes de la convention.

Les justificatifs du contrôle qualité de ce rapport (auteur, vérificateur, approbateur) peuvent être communiqués à titre confidentiel au destinataire du rapport, à sa demande et dans le strict respect de la réglementation applicable au traitement des données à caractères personnels.

Le BRGM ne saurait être tenu responsable de la divulgation du contenu total ou partiel de ce rapport à un tiers non-autorisé 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, MEZAP, ELANA, Altération, Granite, Série du Markstein, Massif des Vosges, Grand Est, Alsace, Haut-Rhin, Vallée de la Thur, Wildenstein.

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

BRGM 2024. Mise à jour de la cartographie de l'aléa rocheux – Commune de Wildenstein (68). Rapport final V1. BRGM/RP-74022-FR, 95 p., 17 ill., 17 tab., 5 ann. dont 1 hors texte.

Synthèse

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. Cette étude a permis de les hiérarchiser 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 de Felling, Kruth, Oderen, Urbès et Wildenstein situées en partie amont de la vallée de la Thur ont été classées parmi les plus exposées à l'aléa chute de blocs.

Wildenstein a fait l'objet d'une caractérisation de l'aléa chute de blocs en 2022 en compagnie des communes de Metzeral et Mittlach, alors que les communes de Felling, Kruth, Oderen et Urbès ont été traitées en 2023.

Le BRGM, dans le cadre de ses actions de recherche et développement, a développé une méthode de spatialisation prédictive de l'altération des roches qui a été intégrée à la cartographie de l'aléa rocheux sur les communes de Felling, Kruth, Oderen et Urbès en 2023 et qui n'était pas disponible en 2022.

La DDT 68 souhaitant porter un Plan de Prévention des Risques (PPR) sur les 4 communes étudiées en 2023 et la commune de Wildenstein au sein d'une même procédure, le BRGM a proposé une mise à jour de l'aléa sur le périmètre de la commune de Wildenstein pour assurer, sur les 5 communes concernées par le PPR, l'utilisation de la même méthode.

Dans le cadre de cette étude, le BRGM a réalisé une cartographie prédictive de l'altération dont l'objectif était de discriminer plusieurs niveaux d'altération des roches au sein des 2 ensembles lithologiques présents sur la commune de Wildenstein, à savoir les granites et les formations de la série sédimentaire du Markstein.

La cartographie prédictive a été paramétrée à l'aide des observations de terrain réalisées lors de la campagne d'acquisition de données de 2022 (45 escarpements décrits). Un échantillon complémentaire de zones de départ a été acquis en 2024 afin de valider cette cartographie.

La cartographie prédictive a permis de discriminer sur les formations granitiques des niveaux d'altération H2 (peu altéré, peu fissuré), H3 (peu altéré, fissuré) et H4 (altéré) et pour la série sédimentaire du Markstein les niveaux d'altération H2 (peu altéré, peu fissuré) et H3 (peu altéré, fissuré).

La validation de la cartographie prédictive a été réalisée à l'aide d'un échantillon dédié (31 escarpements décrits en 2024). Il en ressort que pour des raisons de contexte topographique et géologique, l'utilisation de la cartographie prédictive de l'altération permettra de discriminer les niveaux très altérés H4 par rapport aux niveaux d'altération H3 et H2 au sein des formations granitiques. En revanche, aucune discrimination n'a été possible au sein des formations de la série du Markstein.

Sur la base de l'ensemble des données acquises (terrain, cartographie prédictive) 3 zones homogènes de départ ont été définies sur la commune de Wildenstein (1 au sein de la série du

Markstein, 2 au sein des formations granitiques) et 5 scénarios de référence ont été définis et modélisés en termes d'aléa à l'aide de l'outil de propagation ELANA (Levy, Colas, Rohmer, & Berger, 2021) développé par le BRGM et qui utilise les lois de propagation issue de la Méthode d'Évaluation et de Zonage de l'Aléa chute de Pierres (Note technique MEZAP - Méthodologie de caractérisation de l'aléa rocheux d'un le cadre d'un PPR ou d'un PAC, 2021).

La mise à jour de l'aléa dans le cadre de l'uniformisation méthodologique sur l'emprise du PPRn prescrit par la Préfecture du Haut-Rhin a permis d'affiner la qualification de l'aléa rocheux sur la commune de Wildenstein.

La superficie totale du territoire communal soumis à l'aléa reste identique mais l'impact des zones d'aléa fort (qui présentent les restrictions d'aménagement les plus importantes) est plus limité que sur la cartographie initiale réalisée en 2022. Le nombre de bâti en aléa « fort » diminue de près de 50 %, passant de 117 à 68.

Cela s'explique en partie par l'utilisation d'un inventaire qui exclut les escarpements situés sur les crêtes vosgiennes car non situés sur le territoire de la commune de Wildenstein (mais sur l'emprise des communes voisines traitées simultanément en 2022). Lors de la réalisation de la modélisation de l'aléa en 2018, les escarpements situés sur les crêtes vosgiennes présentaient les intensités les plus importantes. Ne pas tenir compte de cette partie de l'échantillon sur la modélisation 2024 a permis de limiter l'intensité des phénomènes de référence et donc l'aléa.

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| 1. Introduction et objectifs | 9 |
| 1.1. INTRODUCTION | 9 |
| 1.2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE | 9 |
| 2. Rappel du contexte et résultats de l'étude précédente | 11 |
| 2.1. RAPPEL DU CONTEXTE DE LA ZONE D'ÉTUDE – COMMUNE DE WILDENSTEIN.... | 11 |
| 2.1.1. Contexte géographique et topographique | 11 |
| 2.1.2. Contexte géologique et lithologique | 12 |
| 2.2. CARTOGRAPHIE INITIALE DE L'ALÉA ROCHEUX | 14 |
| 2.2.1. Discrimination des différentes zones de départ..... | 14 |
| 2.2.2. Scénarios de référence | 15 |
| 2.2.3. Paramètres de modélisation..... | 16 |
| 2.2.4. Résultats cartographiques..... | 16 |
| 3. Cartographie prédictive de l'altération des roches..... | 19 |
| 3.1. PRINCIPES DE LA CARTOGRAPHIE PRÉDICTIONNELLE DE L'ALTÉRATION | 19 |
| 3.2. RÉSULTATS DE LA CARTOGRAPHIE PRÉDICTIONNELLE DE L'ALTÉRATION | 20 |
| 3.3. VALIDATION DE LA CARTOGRAPHIE PRÉDICTIONNELLE | 21 |
| 3.4. LIMITES DE LA CARTOGRAPHIE PRÉDICTIONNELLE DE L'ALTÉRATION | 24 |
| 4. Mise à jour de la cartographie de l'aléa rocheux | 25 |
| 4.1. MÉTHODOLOGIE DE CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA CHUTE DE BLOCS..... | 25 |
| 4.1.1. Fondements..... | 25 |
| 4.1.2. Démarche | 25 |
| 4.2. RÉSULTATS DE L'INVENTAIRE DE TERRAIN SUR LA COMMUNE DE WILDENSTEIN | 32 |
| 4.3. DÉFINITION DES SCÉNARIOS DE RÉFÉRENCE | 34 |
| 4.3.1. Zone de départ homogène 1 : ZHD 1 – Série sédimentaire du Markstein | 34 |
| 4.3.2. Zone de départ homogène 2 : ZHD 2 – Formations granitiques peu altérées | 35 |
| 4.3.3. Zone de départ homogène 3 : ZHD 3 – Formations granitiques altérées | 36 |
| 4.3.4. Bilan des scénarios de référence retenus | 37 |
| 4.4. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA..... | 37 |
| 4.4.1. Cartographie de la probabilité de propagation | 37 |
| 4.4.2. Cartographie de la probabilité d'atteinte..... | 39 |
| 4.4.3. Cartographie de l'aléa | 40 |

| | |
|---|-----------|
| 5. Analyse des résultats et conclusion | 43 |
| 5.1. ANALYSE DE LA MISE À JOUR DE LA CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA | 43 |
| 5.1.1. Comparaison des scénarios de référence retenus | 43 |
| 5.1.2. Comparaison des superficies et enjeux impactés à l'échelle communale | 44 |
| 5.1.3. Comparaison cartographique (zoom sur la zone urbaine de Wildenstein) | 44 |
| 5.2. LIMITES DE VALIDITÉ DES DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES | 46 |
| 5.3. CONCLUSION | 46 |
| 6. Bibliographie | 49 |

Liste des illustrations

| | |
|--|----|
| Illustration 1 : Localisation de la zone d'étude (en rouge sur chacun des encarts) – Commune de Wildenstein (Source fonds de carte : IGN). | 11 |
| Illustration 2 : Profil topographique au droit de la zone urbaine de Wildenstein (coupe AB - Illustration 1) – Source : www.geoportail.gouv.fr | 12 |
| Illustration 3 : Carte géologique au 1/50 000 du BRGM sur la commune de Wildenstein (source : https://infoterre.brgm.fr/). | 12 |
| Illustration 4 : Cartographie des ensembles lithologiques sur la commune de Wildenstein d'après la carte géologique du BRGM au 1/50 000 (source : https://infoterre.brgm.fr/). | 13 |
| Illustration 5 : Localisation des zones homogènes de départ définies en 2022 (BRGM/RP-72290-FR). | 15 |
| Illustration 6 : Cartographie de l'aléa rocheux réalisée sur la commune de Wildenstein en 2022 (Grabenstaetter & Vandecapelle, 2023). | 16 |
| Illustration 7 : Cartographie prédictive de l'altération des roches sur la commune de Wildenstein. | 20 |
| Illustration 8 Localisation de l'ensemble des zones de départ décrites sur la commune de Wildenstein. | 22 |
| Illustration 9 : Schéma explicatif du fonctionnement de la méthode MEZAP. | 25 |
| Illustration 10 : Différents scénarii de propagation de type 1 selon MEZAP 2021 (Groupe de travail MEZAP, 2021). | 27 |
| Illustration 11 : Scénario de propagation de type 2 selon MEZAP 2021 (Groupe de travail MEZAP, 2021). | 28 |
| Illustration 12 : Typologie des instabilités rocheuses retenues (Groupe de travail MEZAP, 2021). | 29 |
| Illustration 13 : Carte de synthèse des observations de terrain réalisée en 2022 (mars – mai) et en juillet 2024. | 33 |
| Illustration 14 : Cartographie « brute » des probabilités de propagation issue de la modélisation ELANA. | 38 |
| Illustration 15 : Cartographies « brute » des probabilités d'atteinte issue de la modélisation ELANA selon probabilité de départ. | 39 |
| Illustration 16 : Cartographie de l'aléa chute de blocs et de pierres sur la commune de Wildenstein (fond cartographique : MNT ombré 2021 au pas de 1 m de l'IGN). | 41 |
| Illustration 17 : Comparaison des cartographies d'aléa au droit de la zone urbaine de Wildenstein. | 45 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Scénarios de référence retenus en 2022 (BRGM/RP-72290-FR)..... | 15 |
| Tableau 2 : Tableau récapitulatif de la surface concernée par chaque classe d'aléa sur la commune de Wildenstein (Grabenstaetter & Vandecapelle, 2023)..... | 17 |
| Tableau 3 : Évaluation de la cohérence de la cartographie prédictive de l'altération des roches via l'utilisation d'un indice F_{mesure} | 23 |
| Tableau 4 : Indice d'intensité de l'aléa rocheux en fonction du volume (Groupe de travail MEZAP, 2021)..... | 29 |
| Tableau 5 : Définition de l'indice d'activité (Groupe de travail MEZAP, 2021)..... | 30 |
| Tableau 6 : Probabilité de propagation (Groupe de travail MEZAP, 2021)..... | 30 |
| Tableau 7 : 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)..... | 31 |
| Tableau 8 : Définition du niveau de l'aléa de référence par zone homogène..... | 32 |
| Tableau 9 : Couples activité/intensité observés au sein des formations de la série sédimentaire du Markstein..... | 34 |
| Tableau 10 : Couples activité/intensité observés au sein des formations granitiques peu altérées..... | 35 |
| Tableau 11 : Couples activité/intensité observés au sein des formations granitiques altérées..... | 36 |
| Tableau 12 : Synthèse des scénarios de référence retenus..... | 37 |
| Tableau 13 : Superficie des emprises des différentes classes d'aléa chute de blocs..... | 40 |
| Tableau 14 : Rappel des scénarios de référence retenus en 2022..... | 43 |
| Tableau 15 : Rappel des scénarios de référence retenus en 2024..... | 43 |
| Tableau 16 : Comparaison des superficies impactées par l'aléa entre les modélisations 2022 et 2024... 44 | 44 |
| Tableau 17 : Comparaison des polygones « bâti » impactés par l'aléa entre les modélisations 2022 et 2024..... | 44 |

Liste des annexes

| | |
|---|----|
| Annexe 1 : Fiche descriptive des zones de départ décrites en 2024..... | 51 |
| Annexe 2 : Tableau de synthèse des zones départ décrites..... | 79 |
| Annexe 3 : Fonctionnement de la méthode de la ligne d'énergie..... | 83 |
| Annexe 4 : Documents cartographiques intermédiaires..... | 89 |
| Annexe 5 : Cartographie de l'aléa rocheux sur la commune de Wildenstein au 1/10 000 (carte jointe)... | 95 |

1. Introduction et objectifs

1.1. INTRODUCTION

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 (BRGM/RP-70991-FR, 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 de Felling, Kruth, Oderen, Urbès et Wildenstein situées en partie amont de la vallée de la Thur ont été classées parmi les plus exposées à l'aléa de chute de blocs.

Wildenstein a fait l'objet d'une caractérisation de l'aléa chute de blocs en 2022 en compagnie des communes de Metzeral et Mittlach (BRGM/RP-72290-FR, 2023), alors que les communes de Felling, Kruth, Oderen et Urbès ont été traitées en 2023 (BRGM/RP-73253-FR, 2024).

1.2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'aléa rocheux a été qualifié sur la commune de Wildenstein en 2022 sur la base des méthodes et outils existants à cette date (BRGM/RP-72290-FR, 2023). Le BRGM, dans le cadre de ses missions de recherche et développement a pour objectif de développer des outils permettant d'améliorer et/ou de compléter les cartographies des risques.

En ce sens, le BRGM a développé une méthode de spatialisation prédictive de l'altération des roches qui a été intégrée à la cartographie de l'aléa rocheux sur les communes de Felling, Kruth, Oderen et Urbès en 2023. Cette méthode n'était pas disponible en 2022.

La DDT 68 souhaite porter un Plan de Prévention des Risques sur les 4 communes étudiées en 2023 et la commune de Wildenstein au sein d'une même procédure.

La méthode de travail utilisée sur la commune de Wildenstein pourrait avoir entraîné une approche plus conservatrice que sur les autres communes pour lesquelles le niveau d'altération a été intégré à la définition des scénarios de référence.

Le BRGM a indiqué à la DDT 68 que cette différence dans les méthodes de cartographie de l'aléa pourrait constituer un biais dans le cadre de la procédure PPR et propose, *via* cette étude, de mettre à jour la cartographie de l'aléa rocheux sur la commune de Wildenstein en y intégrant la cartographie prédictive de l'altération des roches.

Les communes de Metzeral et Mittlach, concernées par un PPR propre à ces 2 communes ne nécessitent pas de mise à jour de l'aléa établi en 2022.

Les actions suivantes seront réalisées dans le cadre de cette étude, avec pour objectif d'homogénéiser les résultats de la cartographie de l'aléa rocheux sur l'ensemble des communes soumises au projet de PPR :

- Cartographie prédictive de l'altération des roches sur la commune de Wildenstein et validation de terrain ;
- Mise à jour des zones homogènes de départ et des scénarios de référence sur la commune de Wildenstein en reprenant les ensembles lithologiques définis lors de la qualification de l'aléa rocheux sur les communes de Felling, Kruth, Oderen et Urbès ;
- Qualification de l'aléa rocheux sur la commune de Wildenstein ;
- dans le cadre de ses opérations de recherche et développement, le BRGM effectuera une évaluation de l'impact de l'utilisation de la cartographie prédictive de l'altération sur la qualification de l'aléa sur la commune de Wildenstein.

2. Rappel du contexte et résultats de l'étude précédente

Cette partie vise à synthétiser les résultats issus de l'étude menée en 2022 sur les communes de Metzeral, Mittlach et Wildenstein. Seule la commune de Wildenstein a fait l'objet de la mise à jour de l'aléa pour traiter de manière uniforme les communes de la vallée de la Thur au sein du même PPR.

2.1. RAPPEL DU CONTEXTE DE LA ZONE D'ÉTUDE – COMMUNE DE WILDENSTEIN

2.1.1. Contexte géographique et topographique

La zone d'étude est située au sein de la vallée de Thann à la limite entre les départements du Haut-Rhin (68) et des Vosges (88). La commune de Wildenstein, située à l'extrémité amont de la vallée de Thann parcourue par la rivière Thur, présente une altitude comprise entre 500 et 1 100 m NGF en amont du lac artificiel de Kruth (Illustration 1).

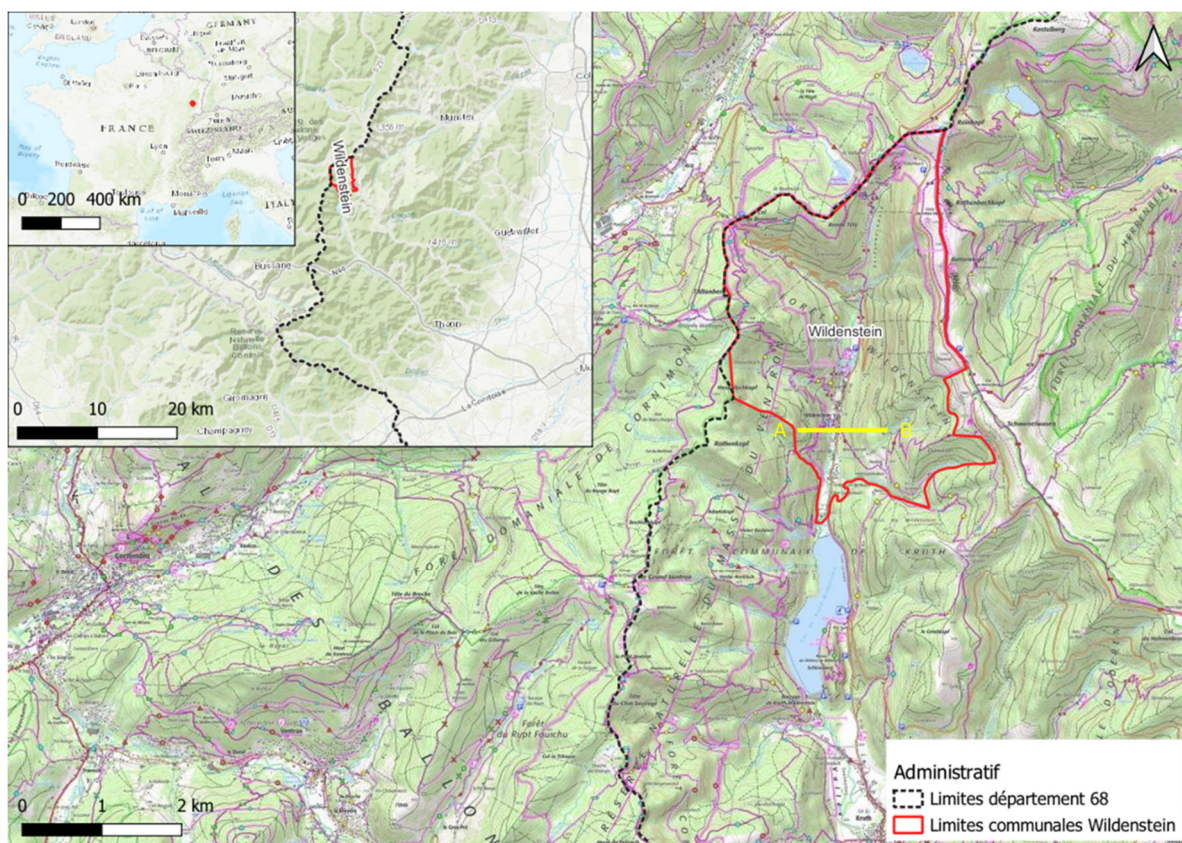


Illustration 1 : Localisation de la zone d'étude (en rouge sur chacun des encarts) – Commune de Wildenstein (Source fonds de carte : IGN).

D'un point de vue topographique la commune de Wildenstein présente une localisation en fond d'une vallée présentant un profil encaissé, notamment au droit de la zone urbanisée (Profil AB – Illustration 2).

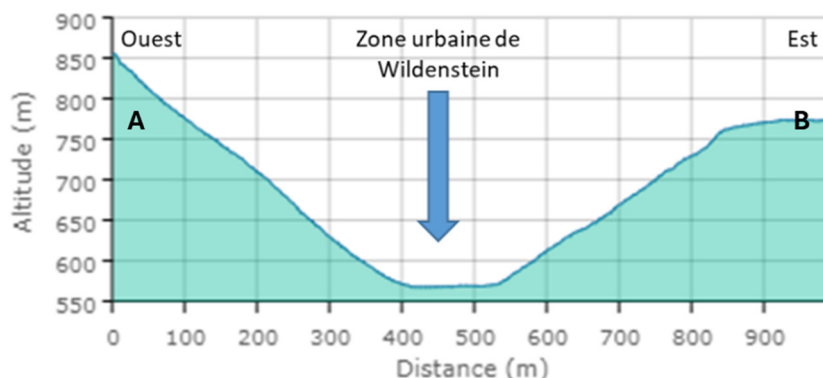


Illustration 2 : Profil topographique au droit de la zone urbaine de Wildenstein (coupe AB - Illustration 1) – Source : www.geoportail.gouv.fr.

2.1.2. Contexte géologique et lithologique

D'un point de vue géologique, le massif des Vosges est ancien (-365 Ma) mais la surrection récente du massif (-50 Ma) fait qu'il possède toutes les caractéristiques des jeunes montagnes (Flageollet, 2008) avec des vallées encaissées et des lignes de crêtes bien marquées. La zone d'étude est située au sud du massif dans un secteur appelé « Vosges cristallines » car majoritairement composé de formations plutoniques et métamorphiques.

Les Vosges cristallines représentent les plus hauts reliefs du Haut-Rhin ; cela est dû à la surrection du massif vosgien à la fin du Quaternaire. Cette élévation a par ailleurs entraîné l'érosion intensive de la couverture sédimentaire affleurante datant du Secondaire et du Permien, laissant apparaître aujourd'hui le socle plutonique daté de l'orogénèse hercynienne.

D'après la carte géologique au 1/50 000 du BRGM la vallée qui traverse la commune de Wildenstein est orientée selon une faille géologique, orientée nord-sud, qui délimite deux ensembles lithologiques (Illustration 3).

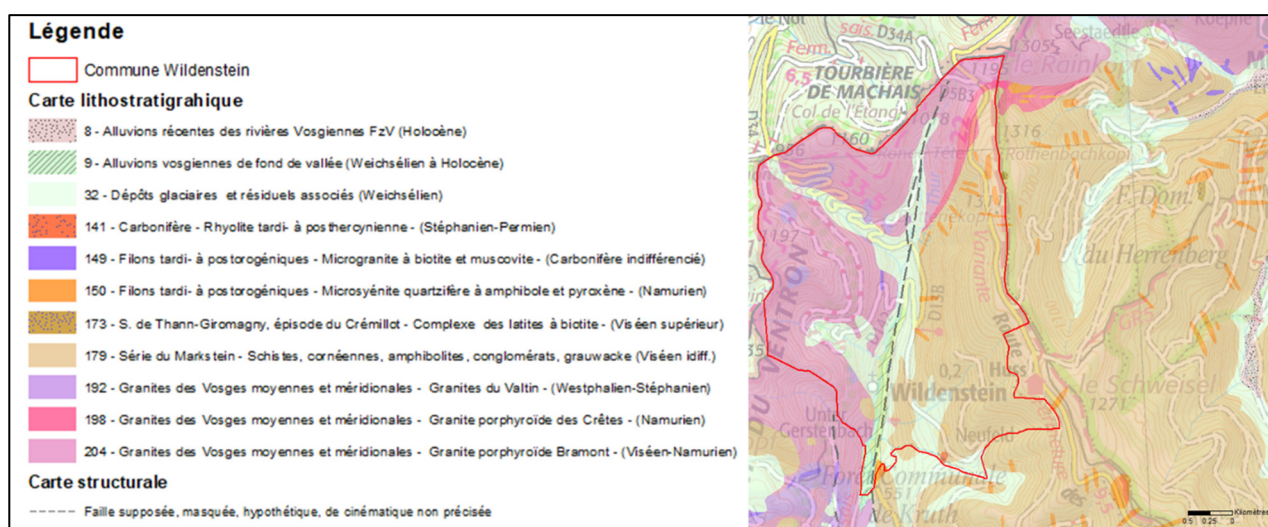


Illustration 3 : Carte géologique au 1/50 000 du BRGM sur la commune de Wildenstein (source : <https://infoterre.brgm.fr/>).

La partie occidentale de la zone d'étude est donc principalement constituée de roches plutoniques (granitoïdes). À l'est en revanche, en plus des granites plutoniques, se trouvent des roches volcaniques et détritiques dont les résidus constituent les affleurements de roches volcano-sédimentaires détritiques des séries du dévono-dinantien de la série du Markstein (Illustration 4).

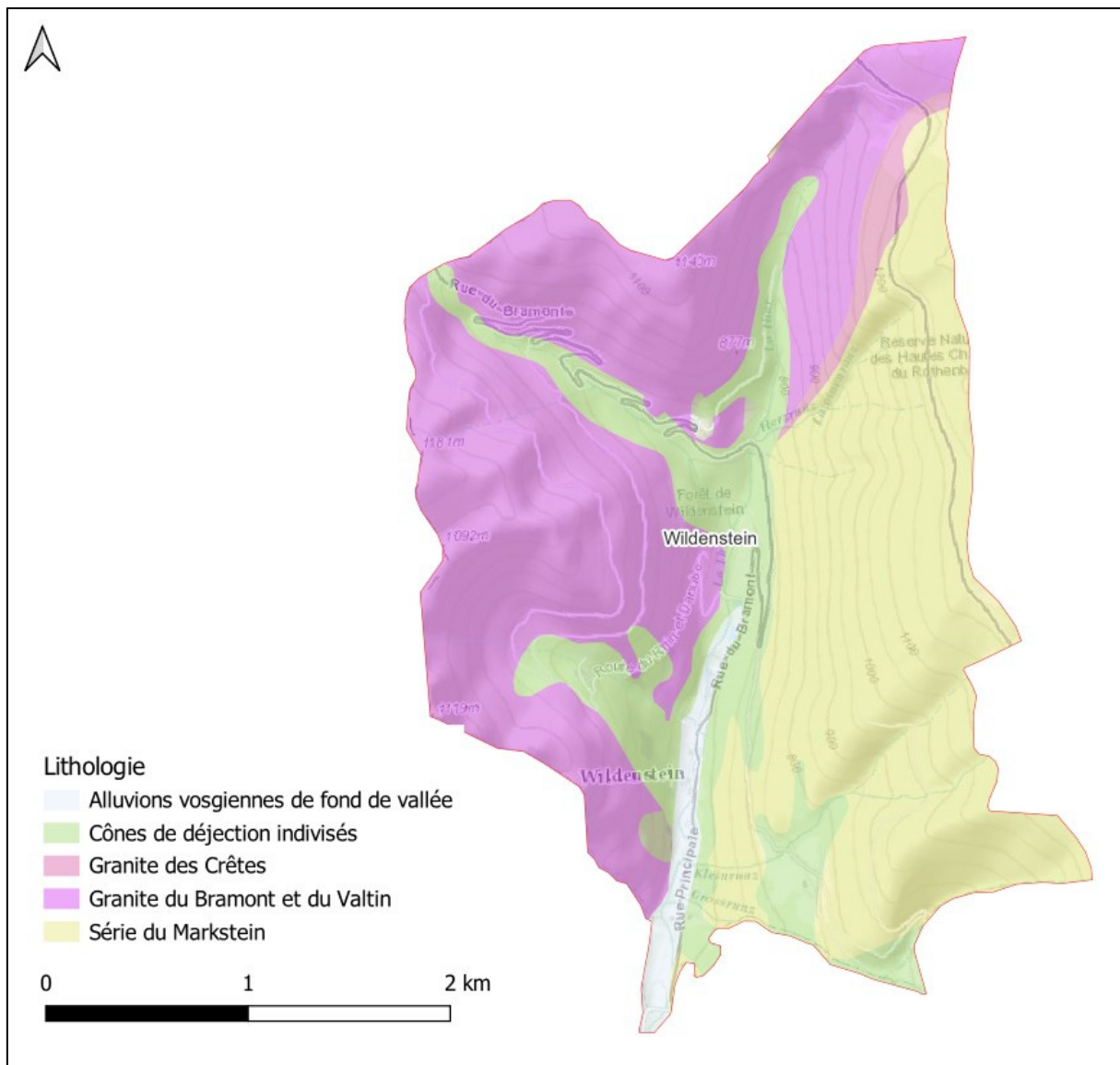


Illustration 4 : Cartographie des ensembles lithologiques sur la commune de Wildenstein d'après la carte géologique du BRGM au 1/50 000 (source : <https://infoterre.brgm.fr/>).

2.2. CARTOGRAPHIE INITIALE DE L'ALÉA ROCHEUX

2.2.1. Discrimination des différentes zones de départ

Sur la base des observations de terrain, quatre (4) zones homogènes de départ avaient été définies à dire d'expert, sur la commune de Wildenstein, lors de la qualification de l'aléa en 2022. Ces zones homogènes de départ sont définies par des caractères lithologiques et géomorphologiques comparables qui permettent de caractériser ces zones avec des scénarii de référence identiques.

La série du Markstein est le seul ensemble lithologique qui semble avoir un comportement statistique uniforme sur l'ensemble de son emprise. Les formations de type granitoïdes avaient été regroupées au sein de 4 zones homogènes de départ.

- L'ensemble lithologique de la série du Markstein composé de roche volcano-sédimentaires et métamorphiques présentant majoritairement des éperons rocheux disséminés dans les versants qui présentent une fracturation très développée :
 - Zone homogène de départ 1 : La première zone de départ homogène comporte d'un côté l'ensemble des quelques crêtes rocheuses qui présentent des éperons rocheux de grande taille et de l'autre l'ensemble des chicots rocheux parsemés dans les versants forestiers composés par les roches volcano-sédimentaires de la série du Markstein (principalement des lutites et des calcarénites sur la zone d'étude) ;
- l'ensemble lithologique formé par les granites du Bramont et du Valtin a été divisé en deux zones homogènes de départ :
 - Zone homogène de départ 2 : les granites du Bramont et du Valtin qui se présentent dans les versants sous la forme de chicots rocheux et d'escarpements linéaires anthropiques le long des chemins forestiers ;
 - Zone homogène de départ 3 : la seconde zone de départ homogène au sein des granites du Bramont et Valtin est composée des versants les plus hauts, matérialisés sur SIG à l'aide d'un seuil de pente fixé à 65°, à dire d'expert, sur la base d'un MNT de résolution 5 m confronté aux observations de terrain afin de recenser les escarpements massifs de granite de grande hauteur présentant une altération moindre et une fracturation moins développée ce qui impacte l'activité et l'intensité des événements de chute de blocs attendus pour ces affleurements ;
- le Granite des crêtes forme également une zone de départ homogène sur la commune de Wildenstein :
 - Zone homogène de départ 4 : La zone de départ homogène des granites des crêtes est composée des chicots rocheux parsemés dans les versants forestiers.

Les zones de départ homogènes 1 et 2 représentent la quasi-totalité des zones de départ décrites sur le territoire de la commune de Wildenstein.

La localisation des différentes zones de départ homogène, telle que définies en 2022, est présentée en Illustration 5.

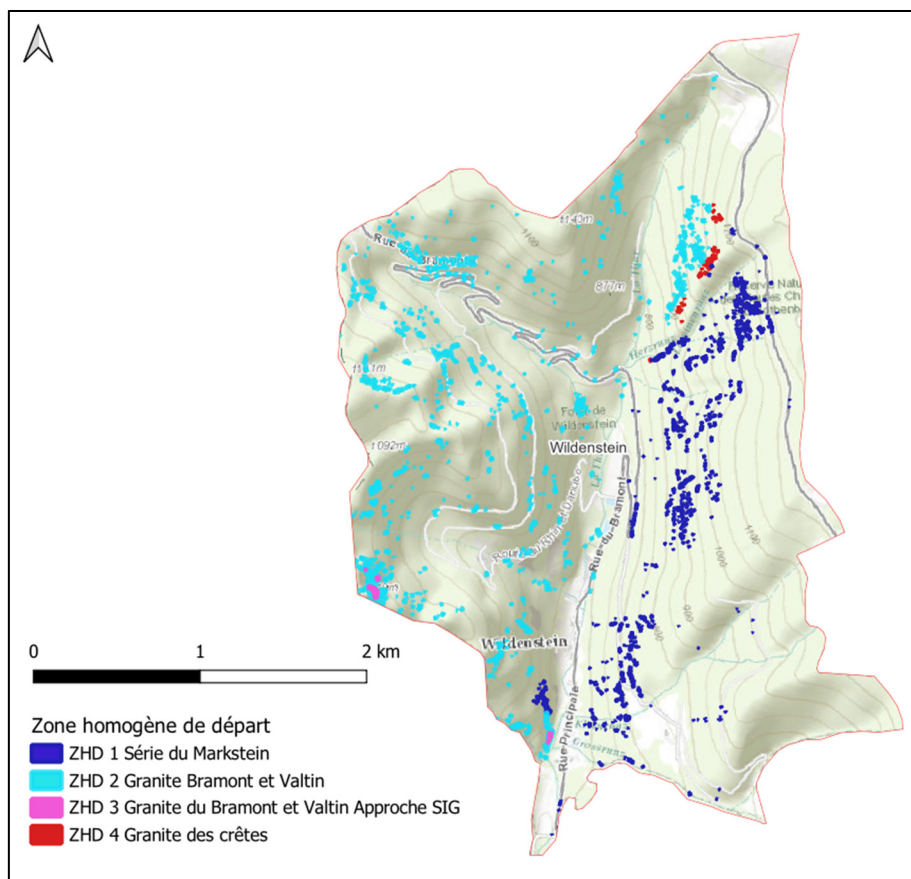


Illustration 5 : Localisation des zones homogènes de départ définies en 2022 (BRGM/RP-72290-FR).

2.2.2. Scénarios de référence

À l'aide des données d'inventaire des blocs éboulés et les descriptions des zones de départ, des scénarios type 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) ont été définis.

Les statistiques détaillées ont été présentées dans le rapport de caractérisation de l'aléa sur les communes de Metzerl, Mittlach et Wildenstein (BRGM/RP-72290-FR). Les scénarios de référence retenus sont présentés en Tableau 1.

| Zone homogène de départ | Lithologie | Scénario de référence | |
|-------------------------|---|-----------------------|----------|
| | | Intensité | Activité |
| 1 | Série du Markstein | Faible | Forte |
| 2 | Granite du Bramont et Valtin | Moyenne | Moyenne |
| 3 | Granite du Bramont et Valtin (approche SIG) | Forte | Faible |
| 4 | Granite des crêtes | Moyenne | Faible |

Tableau 1 : Scénarios de référence retenus en 2022 (BRGM/RP-72290-FR).

À noter que lors de la définition des scénarios de référence en 2022, le choix avait été fait, en accord avec les services de la DDT 68 de ne modéliser qu'un seul scénario par zone homogène de départ.

2.2.3. Paramètres de modélisation

Sur la base de l'inventaire de blocs éboulés et du retour d'expérience terrain, il semble que les enveloppes de propagation modélisées avec un angle de 30°, valeur classiquement utilisée dans la méthodologie MEZAP, surestiment l'emprise des probabilités de propagation « très forte » et « extrêmement forte ». En effet, la grande majorité des blocs éboulés recensés ont vu leur propagation stoppée à proximité immédiate de la zone de départ ou le long de la ligne de plus grande pente.

Sur la base de ces observations de terrain et en accord avec la DDT 68, les enveloppes des zones de propagation « très forte » et « extrêmement forte » avaient été contraintes le long de la ligne de plus grande pente pour les zones de départ homogène présentant une activité moyenne à forte.

2.2.4. Résultats cartographiques

Le niveau d'aléa en tout point de la commune de Wildenstein a été défini selon les paramètres décrits précédemment et d'après les recommandations de la méthodologie MEZAP (Groupe de travail MEZAP, 2021). Le résultat cartographique est présenté en Illustration 6.

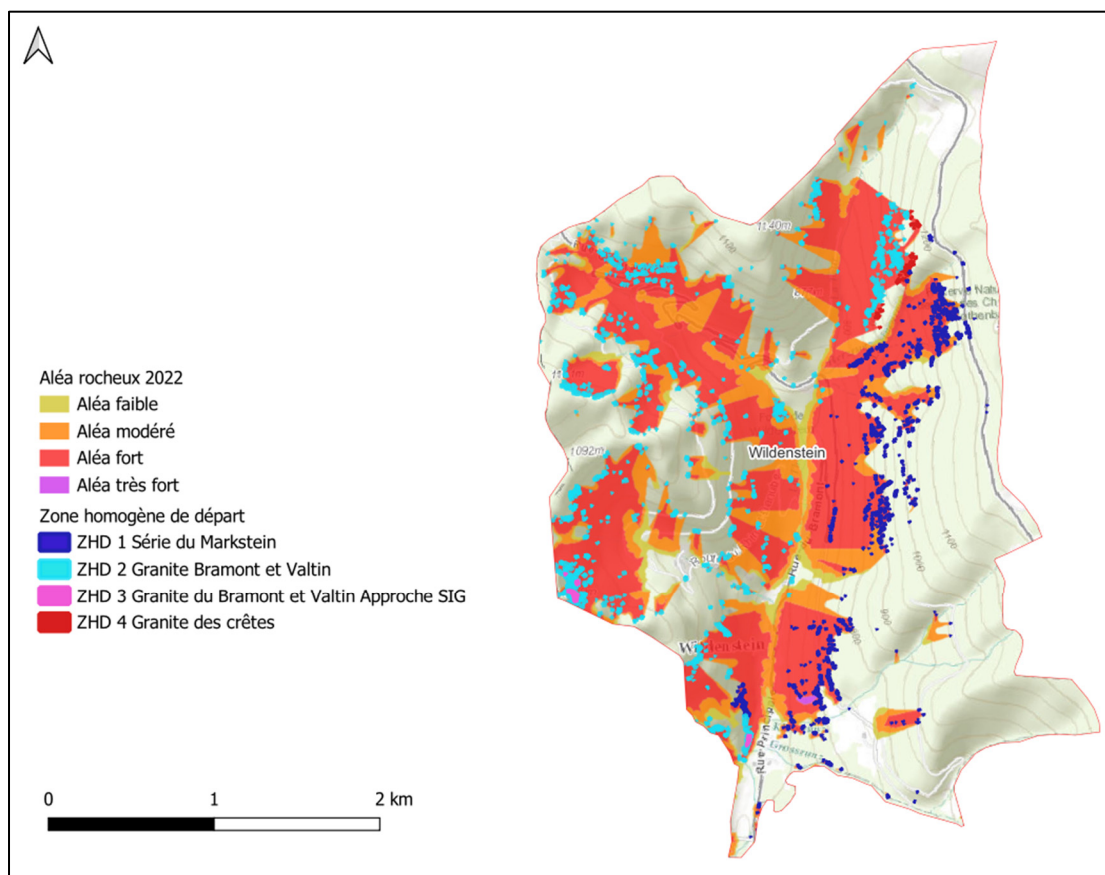


Illustration 6 : Cartographie de l'aléa rocheux réalisée sur la commune de Wildenstein en 2022 (Grabenstaetter & Vandecapelle, 2023).

Le Tableau 2 présente un bilan des résultats de la caractérisation de l'aléa chute de blocs pour la commune de Wildenstein selon les paramètres utilisés en 2022.

| Commune | Surface concernée par l'aléa chute de blocs (ha) | | | | Superficie communale (ha) | Pourcentage de superficie communale concernée par l'aléa rocheux |
|-------------|--|-------------|-----------|----------------|---------------------------|--|
| | Aléa faible | Aléa modéré | Aléa fort | Aléa très fort | | |
| Wildenstein | 24.10 | 101.89 | 282.81 | 0.48 | 978.84 | 42% |

Tableau 2 : Tableau récapitulatif de la surface concernée par chaque classe d'aléa sur la commune de Wildenstein (Grabenstaetter & Vandecapelle, 2023).

3. Cartographie prédictive de l'altération des roches

3.1. PRINCIPES DE LA CARTOGRAPHIE PRÉDICTIONNELLE DE L'ALTÉRATION

La cartographie des formations d'altération 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 ;
- 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 pallier la résolution des contours de la carte géologique à 1/50 000.

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 les communes limitrophes). Les valeurs de chacun des paramètres ont été définies dans le cadre de projets de recherche du BRGM (PEPS1 et RGF2) 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.

¹ PEPS : Projet Exploratoire Processus de Surface

² 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.

3.2. RÉSULTATS DE LA CARTOGRAPHIE PRÉDICTIVE DE L'ALTÉRATION

Une carte prédictive de l'altération des roches sur la commune de Wildenstein a été produite dans le cadre de cette étude en discriminant les formations granitiques et les formations issues de la série du Markstein.

La modélisation a été paramétrée sur la base des descriptions et photographies acquises lors des campagnes de terrain réalisées en 2022 (47 zones de départ décrites sur la commune de Wildenstein). Cette cartographie est présentée en Illustration 7.

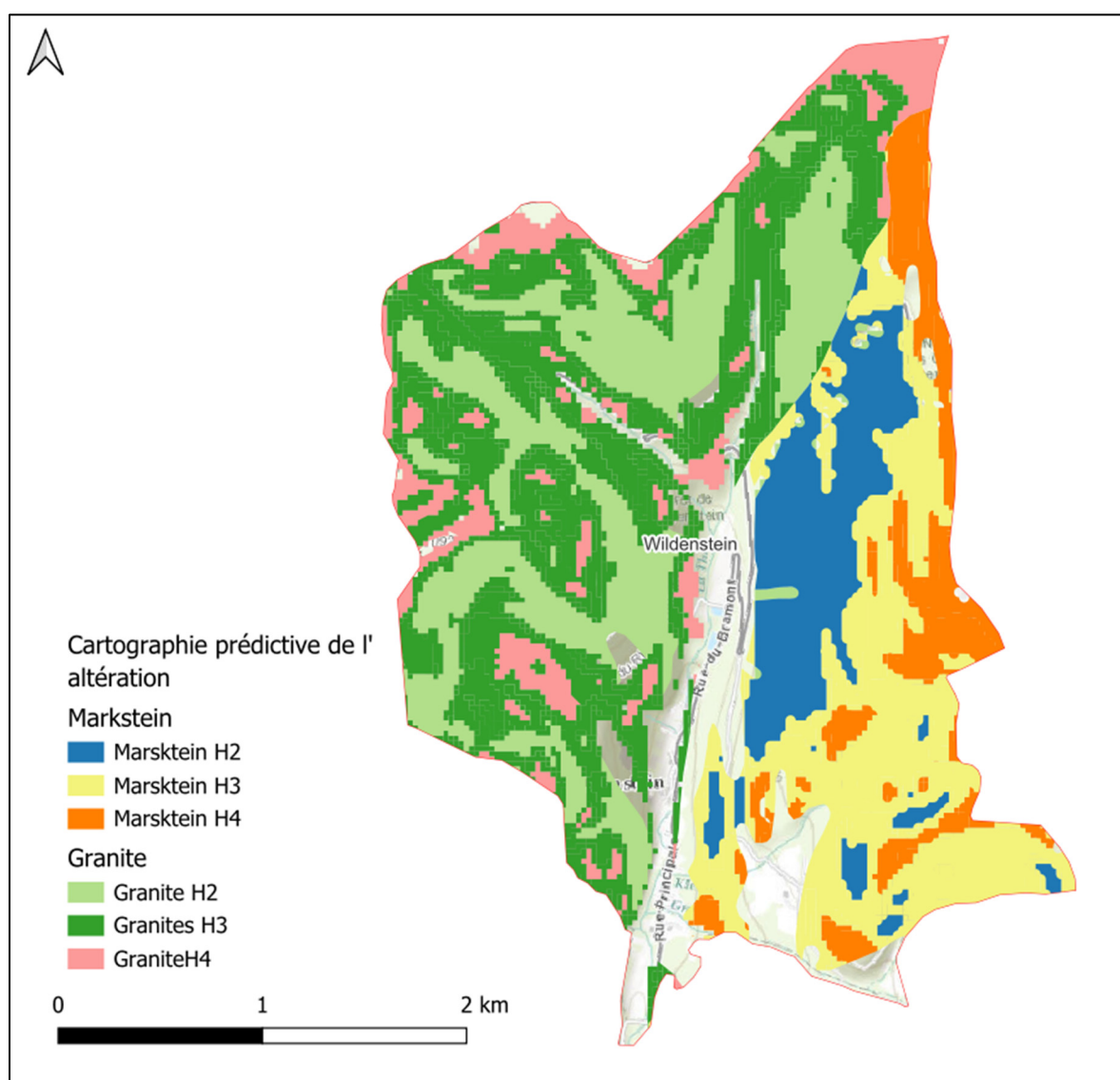


Illustration 7 : Cartographie prédictive de l'altération des roches sur la commune de Wildenstein.

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 la Direction Départementale des Territoires du Haut-Rhin (DDT68), l'aléa sur ces secteurs (dans le cas de zones de départ ponctuelles) sera qualifié à partir du scénario retenu le plus protecteur.

3.3. VALIDATION DE LA CARTOGRAPHIE PRÉDICTIVE

a) Présentation des échantillonnages

Dans le cadre de la mise à jour de l'aléa, une campagne de terrain complémentaire a pris place au mois de juillet 2024 afin d'établir un second échantillon qui a servi à valider la cartographie prédictive de l'altération.

La cartographie de l'altération est basée sur l'utilisation des zones de départ décrites lors de la première phase de terrain réalisée entre mars et juin 2022.

Au total, en conjuguant les 2 campagnes de terrain, 76 zones de départ ont été décrites sur le territoire de la commune de Wildenstein (Illustration 8).

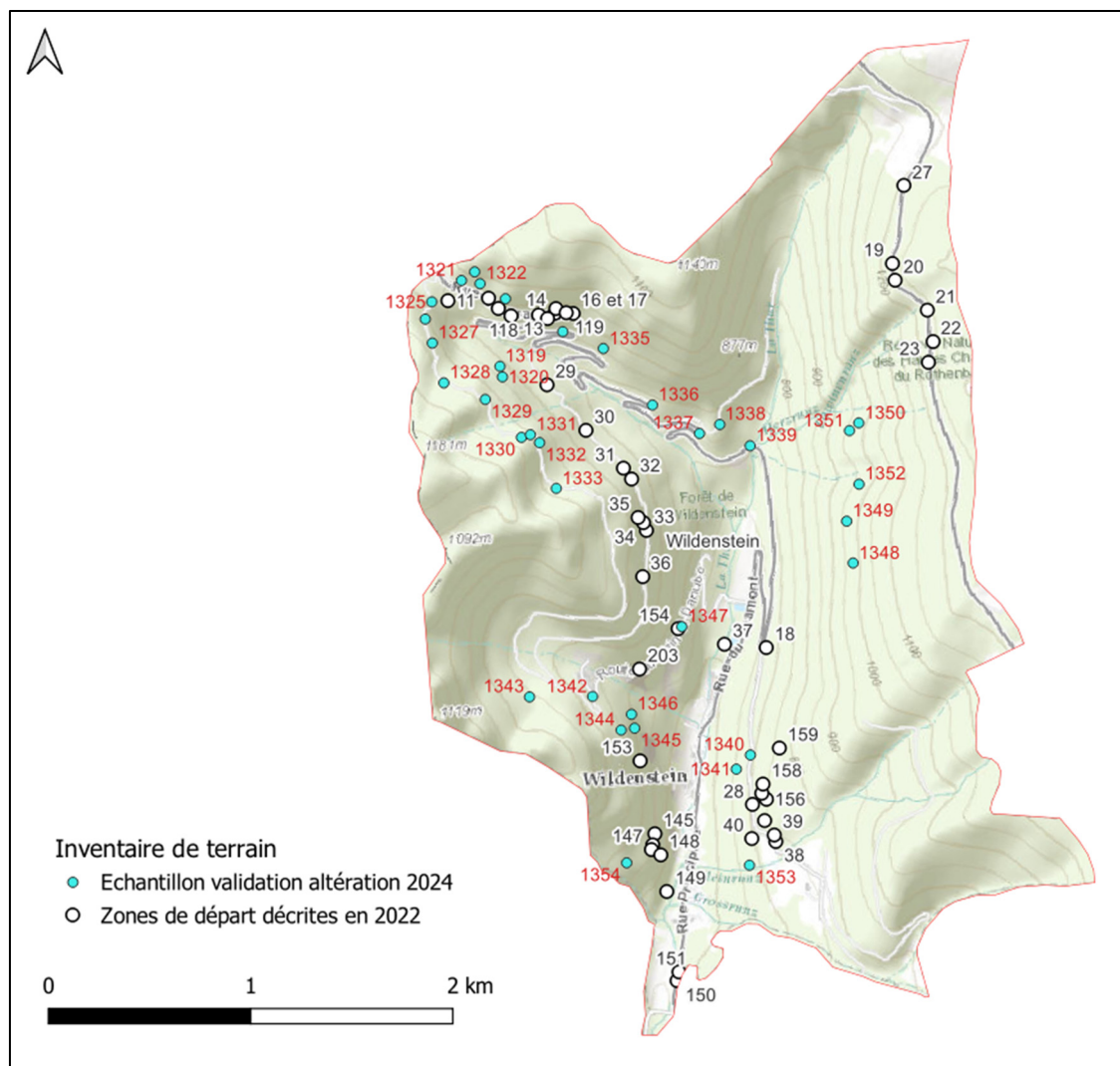


Illustration 8 : Localisation de l'ensemble des zones de départ décrites sur la commune de Wildenstein.

b) Évaluation de la cohérence de la cartographie prédictive

La cohérence de la cartographie est évaluée en utilisant l'indicateur F_{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) :

$$F_{\text{mesure}} = \frac{2 * \text{Vrais positifs}}{(2 * \text{Vrais positifs}) + \text{Faux positifs} + \text{Faux négatifs}}$$

Concernant la Série sédimentaire du Markstein :

- l'échantillon de paramétrage du modèle d'altération s'appuie sur la description de terrain de 19 escarpements ;
- en complément, 7 escarpements ont été décrits dans le cadre d'une campagne de terrain complémentaire réalisée en juillet 2024. Cet échantillon complémentaire va permettre l'évaluation de la pertinence de la cartographie prédictive.

Concernant les formations granitiques :

- L'échantillon de paramétrage du modèle d'altération s'appuie sur la description de terrain de 26 escarpements ;
- En complément, 24 escarpements ont été décrits dans le cadre d'une campagne de terrain complémentaire réalisée en juillet 2024. Cet échantillon complémentaire va permettre l'évaluation de la pertinence de la cartographie prédictive.

| Markstein | Echantillon total | Vrai positif | Faux positif | Faux négatif | Vrai négatif | F _{mesure} |
|-----------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| H2 | 4 | 2 | 2 | 0 | 3 | 0.4 |
| H3 | 3 | 3 | 0 | 2 | 2 | 0.75 |
| H4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0.00 |

| Granite | Echantillon total | Vrai positif | Faux positif | Faux négatif | Vrai négatif | F _{mesure} |
|---------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| H2 | 4 | 2 | 2 | 0 | 20 | 0.4 |
| H3 | 18 | 18 | 0 | 2 | 4 | 0.95 |
| H4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 22 | 1 |

Tableau 3 : Évaluation de la cohérence de la cartographie prédictive de l'altération des roches via l'utilisation d'un indice F_{mesure}.

Les performances de la cartographie prédictive de l'altération, telle qu'établie à l'aide de l'indice F_{mesure} indique une grande disparité des valeurs de F_{mesure} :

- de manière générale les niveaux d'altération H3 sont bien classés (les pixels cartés en H3 correspondent bien à des escarpements H3 sur le terrain ;
- les escarpements modélisés en H2 sont moins bien classés et correspondent la moitié du temps à des observations de terrain en H2 et l'autre moitié à des observations de H3 ;
- le niveau d'altération H4, générateur de blocs uniquement dans les granites d'après l'exploitation du MNT 1m est bien classé ; l'ensemble des zones de départ observés sur le terrain sont situées dans les zones modélisées en H4.

Sur la base de ces éléments et en accord avec les services de la DDT 68 :

- **la cartographie prédictive de l'altération ne sera pas prise en compte lors de la modélisation de l'aléa rocheux sur la Série sédimentaire du Markstein ;**
- **la cartographie prédictive de l'altération sera utilisée lors de la modélisation de l'aléa rocheux sur les formations granitiques** afin de **discriminer** les niveaux d'altération **H4 des niveaux H2 et H3** (ces 2 derniers étant traités ensemble).

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'entrée) seront traitées avec le scénario le plus protecteur afin de ne pas sous-estimer le niveau d'aléa.

3.4. LIMITES DE LA CARTOGRAPHIE PRÉDICTIVE DE L'ALTÉRATION

La cartographie prédictive des niveaux d'altération va être partiellement utilisée pour définir des zones homogènes de départ et notamment leurs scénarios de référence en termes 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.

Cette approche étant expérimentale, certaines limites, liées à la précision des données d'entrée 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). À 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 pallier ces différences de résolution spatiale, 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 la commune de Wildenstein 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 la campagne de terrain de juillet 2024 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.

4. Mise à jour de la cartographie de l'aléa rocheux

4.1. MÉTHODOLOGIE DE CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA CHUTE DE BLOCS

4.1.1. 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 du guide MEZAP (Ministère de la Transition Ecologique, 2021) sur l'évaluation de l'« aléa rocheux » dans le cadre de la mise en œuvre d'un PPRn.

4.1.2. Démarche

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) :

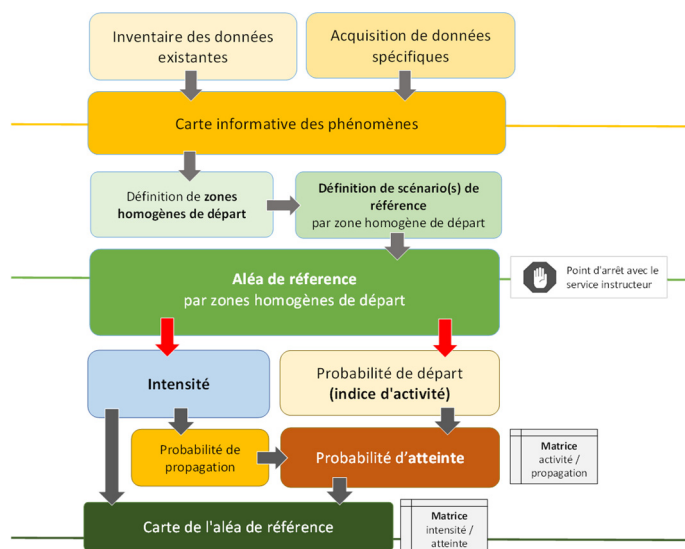


Illustration 9 : Schéma explicatif du fonctionnement de la méthode MEZAP.

a) 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 (LIDAR³ 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 de chutes de blocs : 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 éléments 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 ou 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).

b) 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.

³ 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 »).

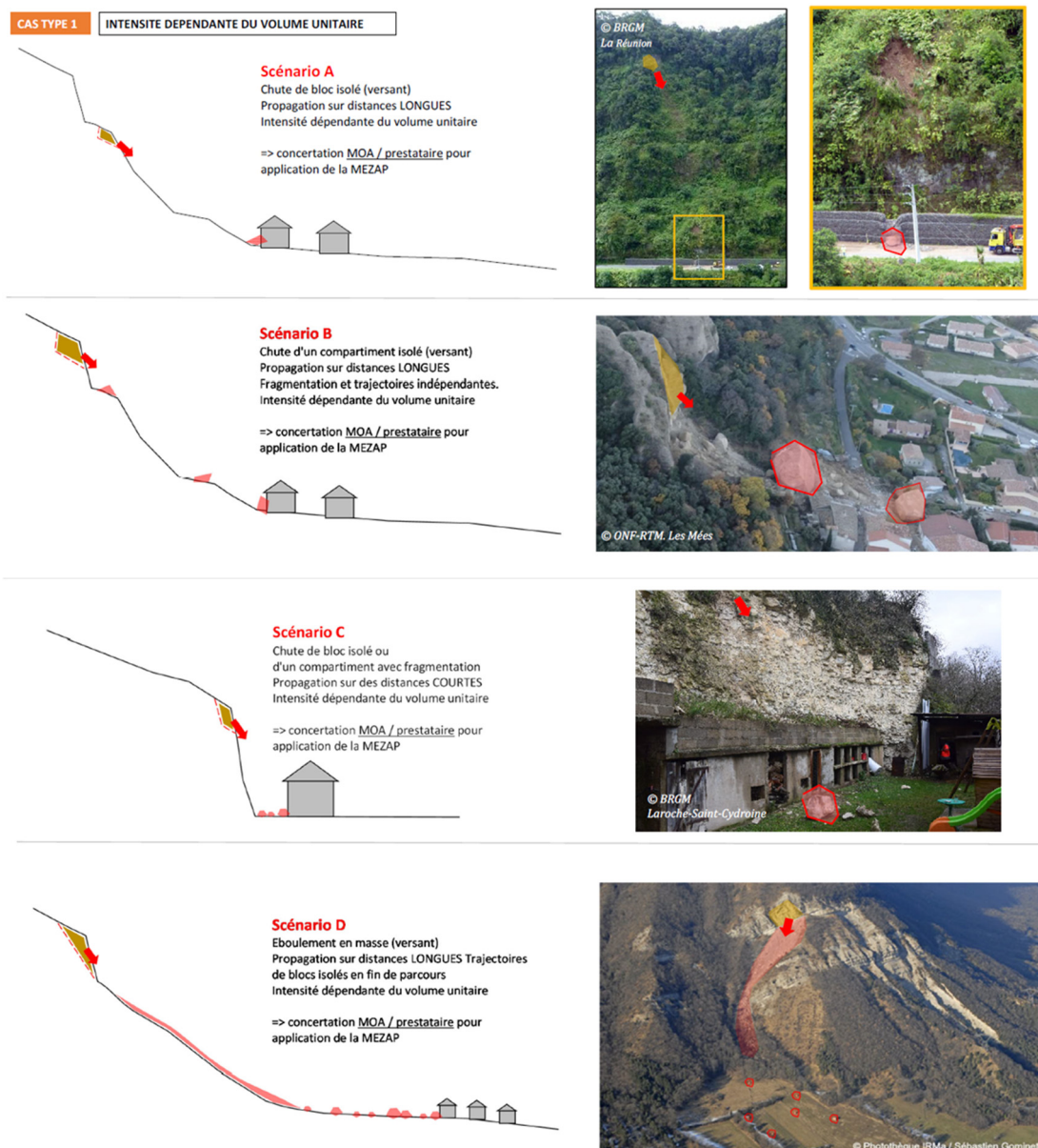


Illustration 10 : Différents scénarii de propagation de type 1 selon MEZAP 2021 (Groupe de travail MEZAP, 2021).

- 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.

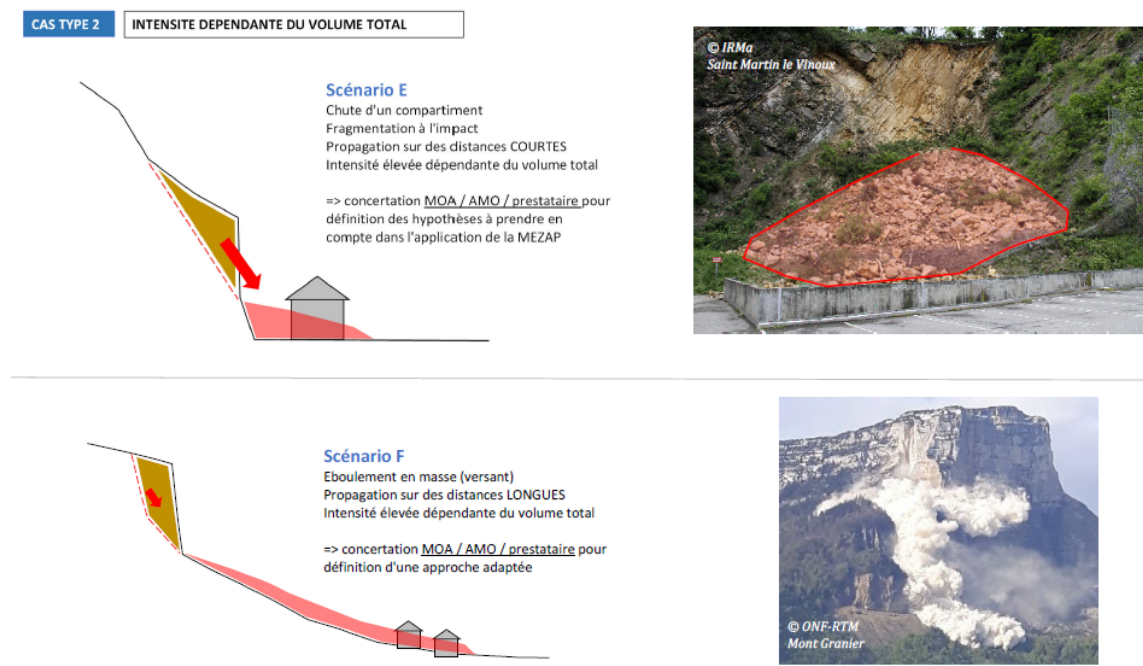


Illustration 11 : Scénario de propagation de type 2 selon MEZAP 2021 (Groupe de travail MEZAP, 2021).

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.) ;
- 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, élanement, 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.

| 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).

c) 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 4) :

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

Tableau 4 : Indice d'intensité de l'aléa rocheux en fonction du volume (Groupe de travail MEZAP, 2021).

d) **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 5) :

| 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^{-2} |
| Moyen | De l'ordre d'un bloc correspondant à l'aléa de référence tous les 10 ans | 10^{-1} |
| Fort | De l'ordre d'un bloc correspondant à l'aléa de référence tous les ans | 1 |

Tableau 5 : 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.

e) **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 6) :

| 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 6 : 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 lois statistiques 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 3 ou un traitement statistique lorsque les chroniques événementielles sont suffisantes. Cette approche sera utilisée dans la suite de cette étude ;
- à 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.

f) 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 7) :

| | | Probabilité de propagation | | | | | |
|---|----------------------|----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| | | Très faible | Faible | Moyenne | Forte | Très forte | Extrêmement forte |
| Probabilité de départ (Indice d'activité) | Faible (1 / 100 ans) | 10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁴ | 10 ⁻³ | 10 ⁻² | |
| | Moyen (1 / 10 ans) | 10 ⁻⁴ | | | | | |
| | Fort (1 / an) | 1 | | | | | |

Tableau 7 : 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.

g) 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 8) :

| | | 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 10^{-6} | Nul à négligeable | Nul à négligeable | Nul à négligeable | Nul à négligeable | Nul à négligeable |
| | Faible 10^{-5} | Faible | Faible | Moyen | Fort | Fort |
| | Moyenne 10^{-4} | Faible | Faible | Moyen | Fort | Fort |
| | Forte 10^{-3} | Faible | Moyen | Fort | Fort | Très fort |
| | Très forte | Moyen | Fort | Fort | Très fort | Très fort |

Tableau 8 : 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.

4.2. RÉSULTATS DE L'INVENTAIRE DE TERRAIN SUR LA COMMUNE DE WILDENSTEIN

Durant les campagnes de terrain réalisées entre mars et avril 2022, 45 zones de départ avaient été décrites sur le territoire de la commune de Wildenstein pour 60 couples activité/intensité décrits.

Durant la campagne complémentaire de juillet 2024, 31 zones de départ complémentaires ont été décrites pour 44 couples activité/intensité décrits.

L'ensemble des données acquises est présenté en Illustration 13. Les fiches descriptives des escarpements décrits en 2024 sont présentées en Annexe 1 et un tableau de synthèse des descriptions est proposé en Annexe 2.

Les données acquises en 2022 sont présentées dans le rapport *Ad hoc* (BRGM/RP-72290-FR).

Au final, les scénarios de référence seront définis à partir de l'analyse des données de terrain issues de l'observation de terrain de 76 zones de départ ayant permis la description de 104 couples activité/intensité.

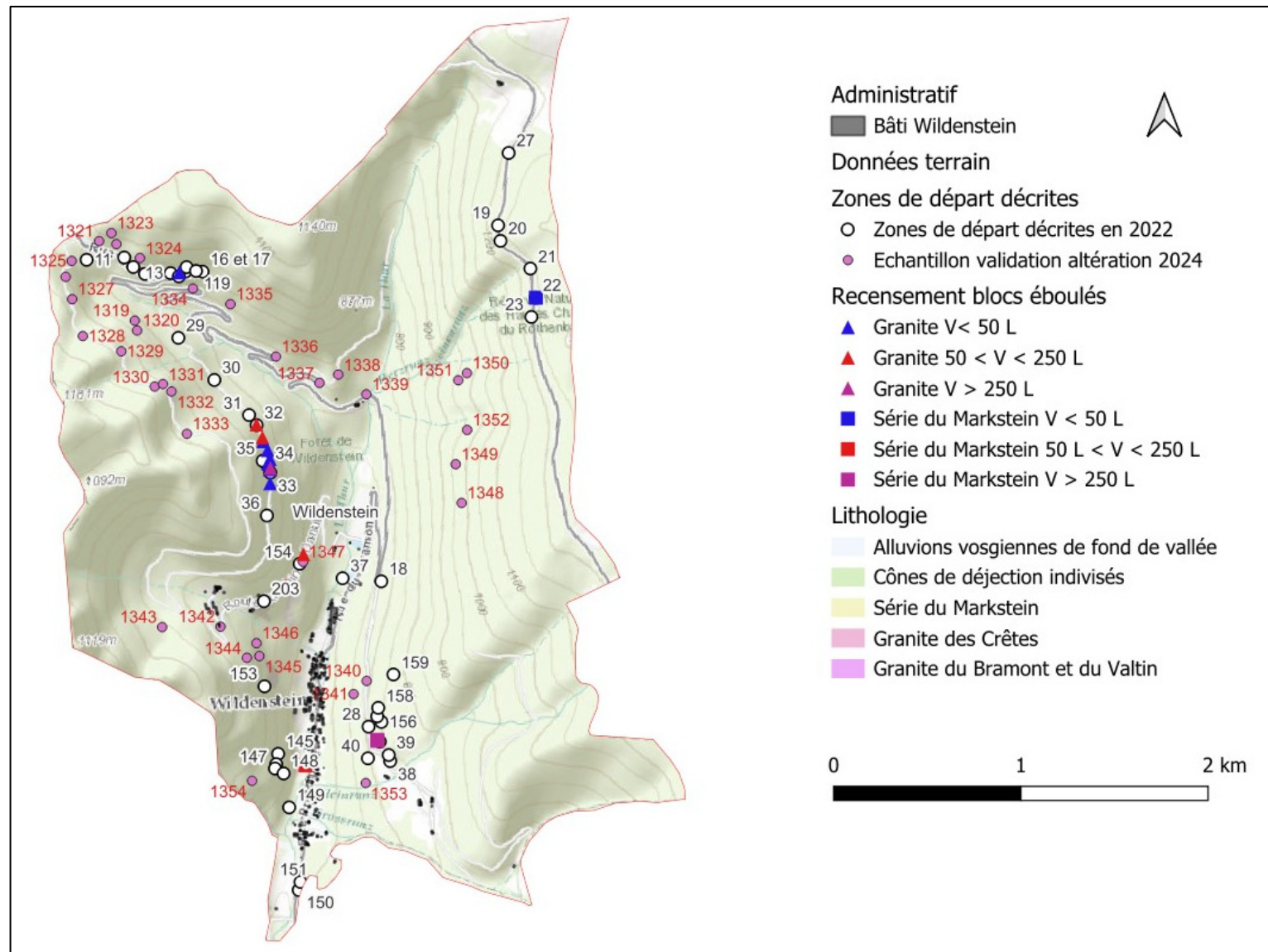


Illustration 13 : Carte de synthèse des observations de terrain réalisée en 2022 (mars – mai) et en juillet 2024.

4.3. DÉFINITION DES SCÉNARIOS DE RÉFÉRENCE

Sur la base des observations de terrain, et de l'analyse des données issues de la cartographie prédictive de l'altération des roches, trois zones homogènes de départ sont proposées sur la commune de Wildenstein :

- ZHD 1 : Série sédimentaire du Markstein : les niveaux d'altération ne sont pas pris en compte dans le cadre de cette zone homogène de départ car le modèle de cartographie prédictive ne permet pas de discriminer les niveaux d'altération H2 et H3 sur la base des connaissances disponibles et qu'aucune zone de départ n'a été localisée au sein du niveau d'altération H4 ;
- ZHD 2 : Formations granitique peu altérées : cette zone homogène de départ regroupe les formations granitiques compactes (niveaux d'altération H2 et H3) caractérisées par des éperons rocheux massifs dans le paysage ;
- ZHD 3 : Formations granitiques altérées : cette zone homogène de départ regroupe les zones de départ qui croisent les niveaux d'altération H4 au sein des formations granitiques.

Les scénarios de référence relatifs à chaque zone homogène de départ ont été établis sur la base de l'ensemble des observations de terrain (campagnes 2022 et 2024).

4.3.1. Zone de départ homogène 1 : ZHD 1 – Série sédimentaire du Markstein

Durant les campagnes d'acquisition sur le terrain, un total de 26 zones de départ, rattachées à la zone homogène de départ 1, ont été décrites. Le Tableau 9 présente les 39 couples intensité/activité observés.

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

| Série du Markstein sans altération | | | | |
|------------------------------------|----------|-------------|----------|-------------------|
| Scénario | | | | |
| Code | Activité | Intensité | Comptage | % de ZD concernée |
| 12 | Faible | Faible | 1 | 4% |
| 13 | Faible | Moyenne | 2 | 8% |
| 14 | Faible | Forte | 1 | 4% |
| 21 | Moyenne | Très faible | 0 | 0% |
| 22 | Moyenne | Faible | 8 | 31% |
| 23 | Moyenne | Moyenne | 3 | 12% |
| 31 | Forte | Très faible | 21 | 81% |
| 32 | Forte | Faible | 3 | 12% |
| 33 | Forte | Moyenne | 0 | 0% |

Tableau 9 : Couples activité/intensité observés au sein des formations de la série sédimentaire du Markstein.

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

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

4.3.2. Zone de départ homogène 2 : ZHD 2 – Formations granitiques peu altérées

Durant les campagnes d'acquisition sur le terrain, un total de 48 zones de départ, rattachées à la zone homogène de départ 2, ont été décrites. Le Tableau 10 présente les 62 couples intensité/activité observés.

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

| Granite H2-H3 | | | | |
|---------------|----------|-------------|----------|-------------------|
| | Scénario | | | |
| Code | Activité | Intensité | Comptage | % de ZD concernée |
| 12 | Faible | Faible | 0 | 0% |
| 13 | Faible | Moyenne | 4 | 8% |
| 14 | Faible | Forte | 1 | 2% |
| 21 | Moyenne | Très faible | 1 | 2% |
| 22 | Moyenne | Faible | 6 | 13% |
| 23 | Moyenne | Moyenne | 4 | 8% |
| 31 | Forte | Très faible | 38 | 79% |
| 32 | Forte | Faible | 6 | 13% |
| 33 | Forte | Moyenne | 2 | 4% |

Tableau 10 : Couples activité/intensité observés au sein des formations granitiques peu altérées.

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

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

4.3.3. Zone de départ homogène 3 : ZHD 3 – Formations granitiques altérées

Durant les campagnes d'acquisition sur le terrain, un total de deux zones de départ, rattachées à la zone homogène de départ 3, ont été décrites. Le Tableau 11 présente les trois couples intensité/activité observés.

| Granite H4 | | | | |
|------------|----------|-------------|----------|-------------------|
| Scénario | | | | |
| Code | Activité | Intensité | Comptage | % de ZD concernée |
| 12 | Faible | Faible | 0 | 0% |
| 13 | Faible | Moyenne | 0 | 0% |
| 14 | Faible | Forte | 0 | 0% |
| 21 | Moyenne | Très faible | 0 | 0% |
| 22 | Moyenne | Faible | 1 | 50% |
| 23 | Moyenne | Moyenne | 0 | 0% |
| 31 | Forte | Très faible | 2 | 100% |
| 32 | Forte | Faible | 0 | 0% |
| 33 | Forte | Moyenne | 0 | 0% |

Tableau 11 : Couples activité/intensité observés au sein des formations granitiques altérées.

Le faible échantillon s'explique par la faible représentation de ce niveau d'altération sur le terrain dans un contexte de chute de bloc. En effet, le niveau d'altération H4 présente généralement un profil topographique « doux » qui ne forme pas d'escarpement rocheux. Les seuls escarpements rocheux observés sont situés au droit de zones excavées (en arrière de bâtiment ou le long de chemins forestier). Leur faible hauteur, conjuguée à la présence systématique d'un replat (chemin) limite fortement les probabilités de propagation et donc le niveau d'aléa.

Dans cette configuration, **en accord avec les services de la DDT 68** et malgré le faible échantillon, un 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.

4.3.4. Bilan des scénarios de référence retenus

Le Tableau 12 reprend l'ensemble des scénarios de référence retenus sur la zone d'étude.

| Lithologie | Zone Homogène de Départ | Niveau d'altération | Scénario de référence | |
|--------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------|
| | | | Activité | Intensité |
| Série du Markstein | 1 | Non considéré | Forte | Très Faible |
| | | | Moyenne | Faible |
| Granite | 2 | H2-H3 | Forte | Très Faible |
| | | | Moyenne | Faible |
| | 3 | H4 | Moyenne | Faible |

Tableau 12 : Synthèse des scénarios de référence retenus.

Il est rappelé que lors de la cartographie prédictive de l'altération, certains secteurs n'ont pas pu être cartographiés en raison d'une lithologie non concernée par l'altération (formations superficielles). Les zones de départ concernées ont été rattachées à la lithologie sous-jacente (sur la base des relevés de terrain ou de la carte géologique au 1/50 000).

Dans le cas des zones de départ identifiées au sein des formations alluviales, le scénario de référence le plus impactant de la zone d'étude leur a été appliqué lors de la qualification de l'aléa.

4.4. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA

4.4.1. Cartographie de la probabilité de 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 3).

Les propagations ont été modélisées à l'aide du logiciel ELANA (Levy, Colas, Rohmer, & Berger, 2021) 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 16 blocs éboulés recensés en archives et durant les opérations de terrain, 13 sont situés dans les enveloppes de propagation (Illustration 14). Les 3 autres blocs sont situés 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.**

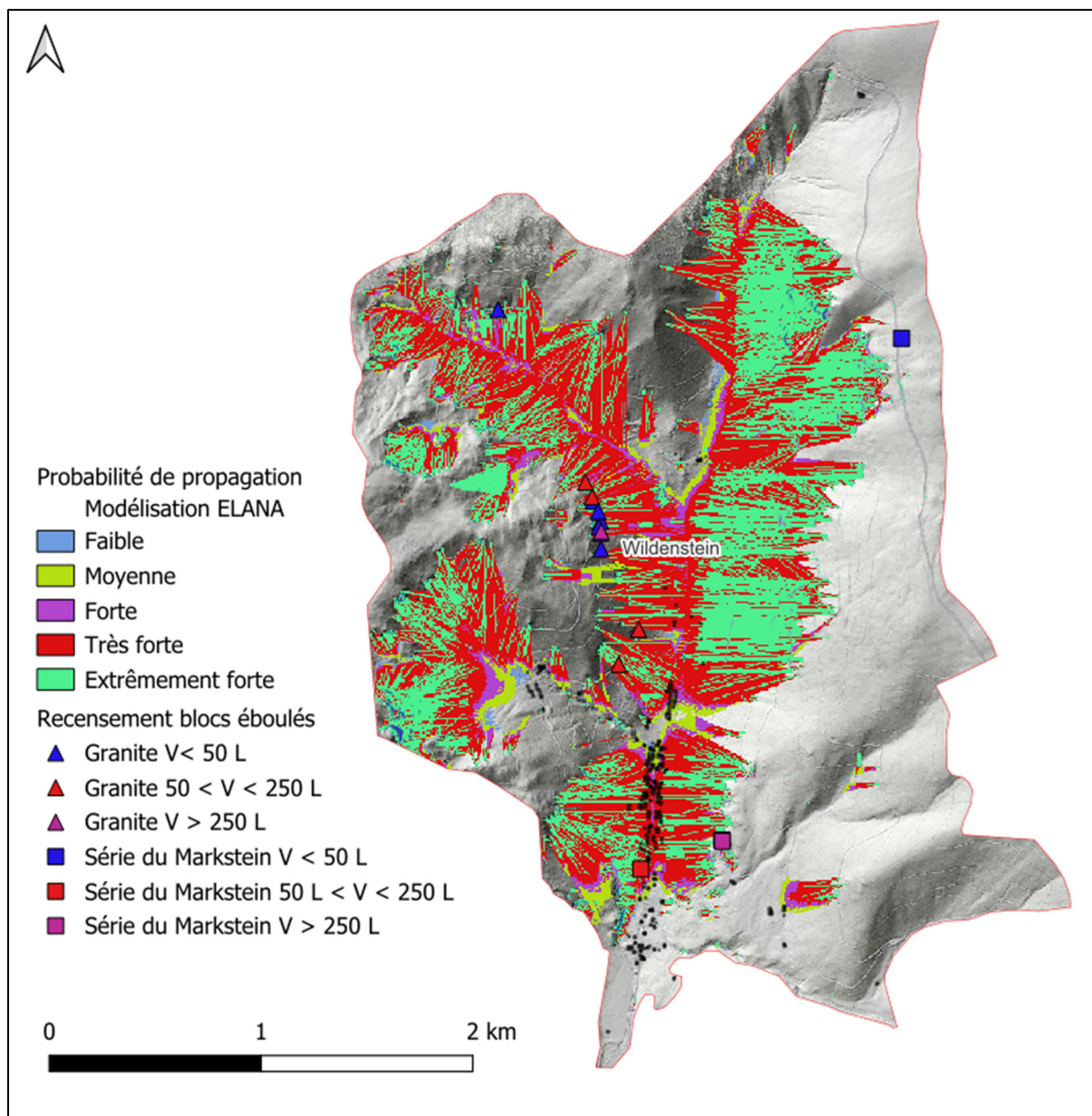


Illustration 14 : Cartographie « brute » des probabilités de propagation issue de la modélisation ELANA.

La cartographie est également disponible à plus grand format en Annexe 4.

4.4.2. Cartographie de la probabilité d'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 7. Le résultat cartographique est présenté en Illustration 15.

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, pour une probabilité de départ « forte », sur la zone d'étude l'ensemble des blocs inventoriés sont situés en zone de probabilité d'atteinte « très forte » et « forte ».

Dans le cas d'une probabilité de départ « moyenne » sur la zone d'étude 94 % des blocs inventoriés (15/16) sont situés en zone de probabilité d'atteinte « très forte » et « forte ». Le bloc restant est situé en probabilité d'atteinte « moyenne ».

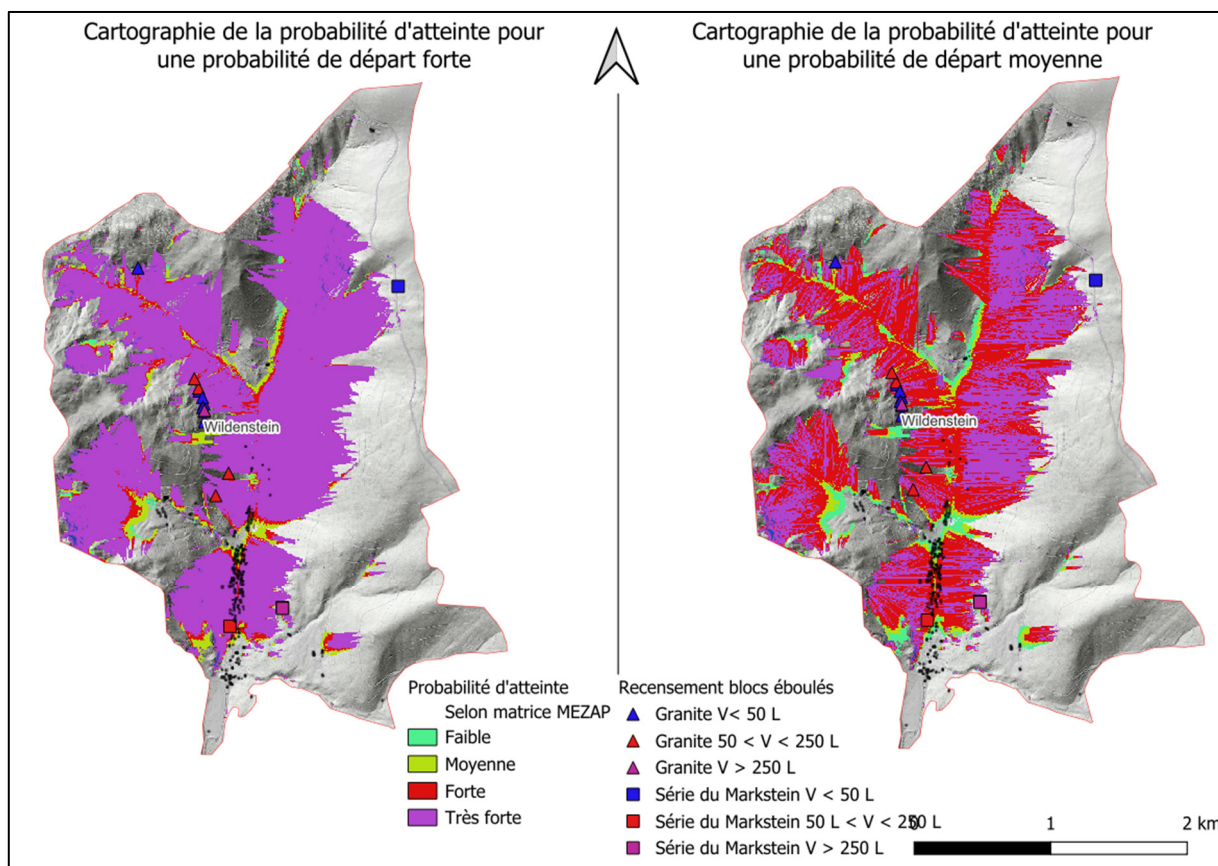


Illustration 15 : Cartographies « brute » des probabilités d'atteinte issue de la modélisation ELANA selon probabilité de départ.

Les cartographies sont également disponibles à plus grand format en Annexe 4.

4.4.3. Cartographie de l'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 donnée). La matrice de croisement a été présentée en Tableau 8. 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 16 et en Annexe 5.

La répartition des emprises des différentes classes d'aléa ainsi que leur superficie sont présentées dans le Tableau 13.

| Superficie commune de Wildenstein (m ²) | Superficie aléa faible (m ²) | Superficie aléa moyen (m ²) | Superficie aléa fort (m ²) | Superficie aléa très fort (m ²) | % surface en aléa faible | % surface en aléa moyen | % surface en aléa fort | % surface en aléa très fort |
|---|--|---|--|---|--------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 9 788 440 | 356 316 | 2 328 117 | 1 374 232 | 18 131 | 4% | 24% | 14% | 0.2% |

Tableau 13 : Superficie des emprises des différentes classes d'aléa chute de blocs.

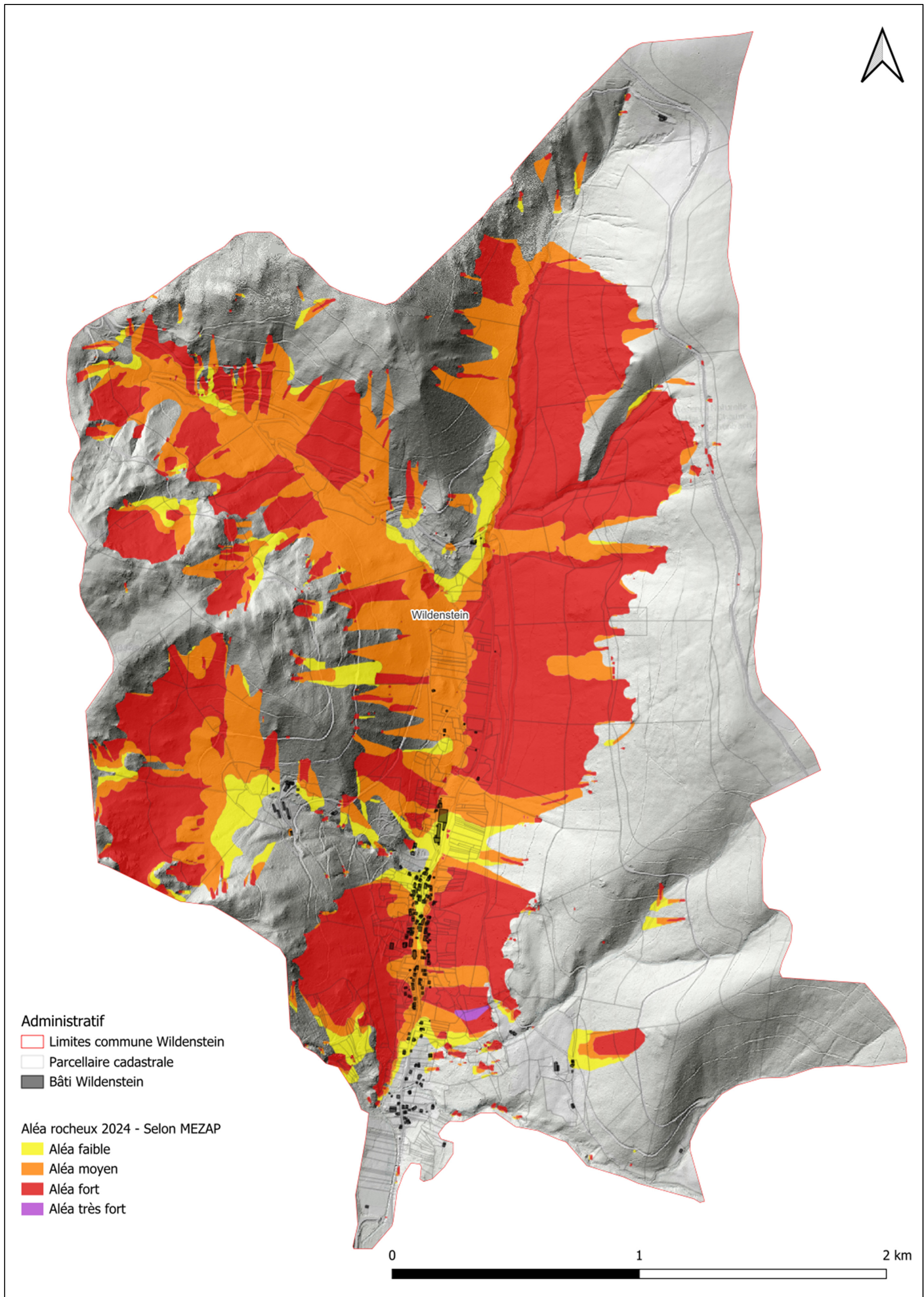


Illustration 16 : Cartographie de l'aléa chute de blocs et de pierres sur la commune de Wildenstein (fond cartographique : MNT ombré 2021 au pas de 1 m de l'IGN).

5. Analyse des résultats et conclusion

5.1. ANALYSE DE LA MISE À JOUR DE LA CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA

5.1.1. Comparaison des scénarios de référence retenus

Lors de la qualification de l'aléa rocheux sur les communes de Metzeral, Mittlach et Wildenstein, les scénarios de référence retenus avaient été établis sur la base d'un inventaire de terrain réalisé indifféremment sur les trois communes concernées (Grabenstaetter & Vandecapelle, 2023). En accord avec la DDT 68, un seul scénario de référence avait été retenu pour chaque zone homogène de départ. De fait, les scénarios retenus se sont avérés conservateur afin de coupler une intensité et une activité visant à couvrir l'ensemble des scénarios majoritaires (Tableau 14).

| Zone homogène de départ | Lithologie | Scénario de référence | |
|-------------------------|------------------------------|-----------------------|----------|
| | | Intensité | Activité |
| 1 | Série du Markstein | Faible | Forte |
| 2 | Granite du Bramont et Valtin | Moyenne | Moyenne |

Tableau 14 : Rappel des scénarios de référence retenus en 2022.

Lors de la qualification de l'aléa rocheux sur les communes de Felling, Kruth, Oderen et Urbès, plusieurs scénarios de référence avaient été retenus pour chaque zone homogène de départ si cela s'avérait nécessaire. La présente étude visant à reproduire la méthodologie déployée sur les communes précédentes, deux scénarios de référence ont été retenus pour les zones homogènes 1 et 2 (Tableau 15).

| Lithologie | Zone Homogène de Départ | Niveau d'altération | Scénario de référence | |
|--------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------|
| | | | Activité | Intensité |
| Série du Markstein | 1 | Non considéré | Forte | Très Faible |
| | | | Moyenne | Faible |
| Granite | 2 | H2-H3 | Forte | Très Faible |
| | | | Moyenne | Faible |
| | 3 | H4 | Moyenne | Faible |

Tableau 15 : Rappel des scénarios de référence retenus en 2024.

La modélisation des scénarios multiples pour les zones homogènes de départ 1 et 2 permet de limiter l'influence du scénario à intensité « faible » qui produit localement de l'aléa fort à l'inverse des phénomènes d'intensité « très faible » qui ne produisent pas d'aléa fort (Cf. Tableau 8).

5.1.2. Comparaison des superficies et enjeux impactés à l'échelle communale

Les superficies des emprises des différentes classes d'aléa ont été calculées (Tableau 16). La mise à jour de l'aléa n'a pas entraîné de modifications de la superficie totale du zonage d'aléa, mais a pour résultat une diminution de l'emprise de la classe d'aléa « fort » – classe la plus impactante en termes de restrictions d'urbanisme.

| Modélisation de l'aléa 2024 | | | | | | | | |
|--|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Superficie commune de Wildenstein (ha) | Superficie aléa faible (ha) | Superficie aléa moyen (ha) | Superficie aléa fort (ha) | Superficie aléa très fort (ha) | % surface en aléa faible | % surface en aléa moyen | % surface en aléa fort | % surface en aléa très fort |
| 979 | 36 | 233 | 137 | 0.48 | 4% | 24% | 14% | 0.05% |
| Modélisation de l'aléa 2022 | | | | | | | | |
| Superficie commune de Wildenstein (ha) | Superficie aléa faible (ha) | Superficie aléa moyen (ha) | Superficie aléa fort (ha) | Superficie aléa très fort (ha) | % surface en aléa faible | % surface en aléa moyen | % surface en aléa fort | % surface en aléa très fort |
| 979 | 24 | 101 | 282 | 0.48 | 2% | 10% | 29% | 0.05% |

Tableau 16 : Comparaison des superficies impactées par l'aléa entre les modélisations 2022 et 2024.

L'impact de la mise à jour de l'aléa a également été évalué sur le bâti. Le nombre de polygones, issus de la BD Topo, dans chaque classe d'aléa a été comptabilisé (Tableau 17). Le nombre de polygones présents au sein des classes d'aléa « fort » et « moyen » (classes qui présentent des restrictions d'urbanisme) est en baisse. À l'inverse, le nombre de polygones présents au sein de la classe d'aléa « faible » est plus important.

| Modélisation de l'aléa 2024 | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Polygones bâti Wildenstein | Polygones en aléa faible | Polygones en aléa moyen | Polygones en aléa fort | Polygones en aléa très fort | % polygone en aléa faible | % polygone en aléa moyen | % polygone en aléa fort | % polygone en aléa très fort |
| 413 | 142 | 127 | 68 | 0 | 34% | 31% | 16% | 0% |
| Modélisation de l'aléa 2022 | | | | | | | | |
| Polygones bâti Wildenstein | Polygones en aléa faible | Polygones en aléa moyen | Polygones en aléa fort | Polygones en aléa très fort | % polygone en aléa faible | % polygone en aléa moyen | % polygone en aléa fort | % polygone en aléa très fort |
| 413 | 87 | 134 | 117 | 0 | 21% | 32% | 28% | 0% |

Tableau 17 : Comparaison des polygones « bâti » impactés par l'aléa entre les modélisations 2022 et 2024.

5.1.3. Comparaison cartographique (zoom sur la zone urbaine de Wildenstein)

La comparaison des cartographies d'aléa rocheux (Illustration 17) au droit de la zone urbaine de Wildenstein illustre :

- le peu de modification globale de la cartographie qui justifie la qualité du travail mené en 2022 ;
- la mise à jour a néanmoins permis de diminuer le niveau d'aléa au droit de plusieurs bâtiments, notamment au nord de la zone urbaine.

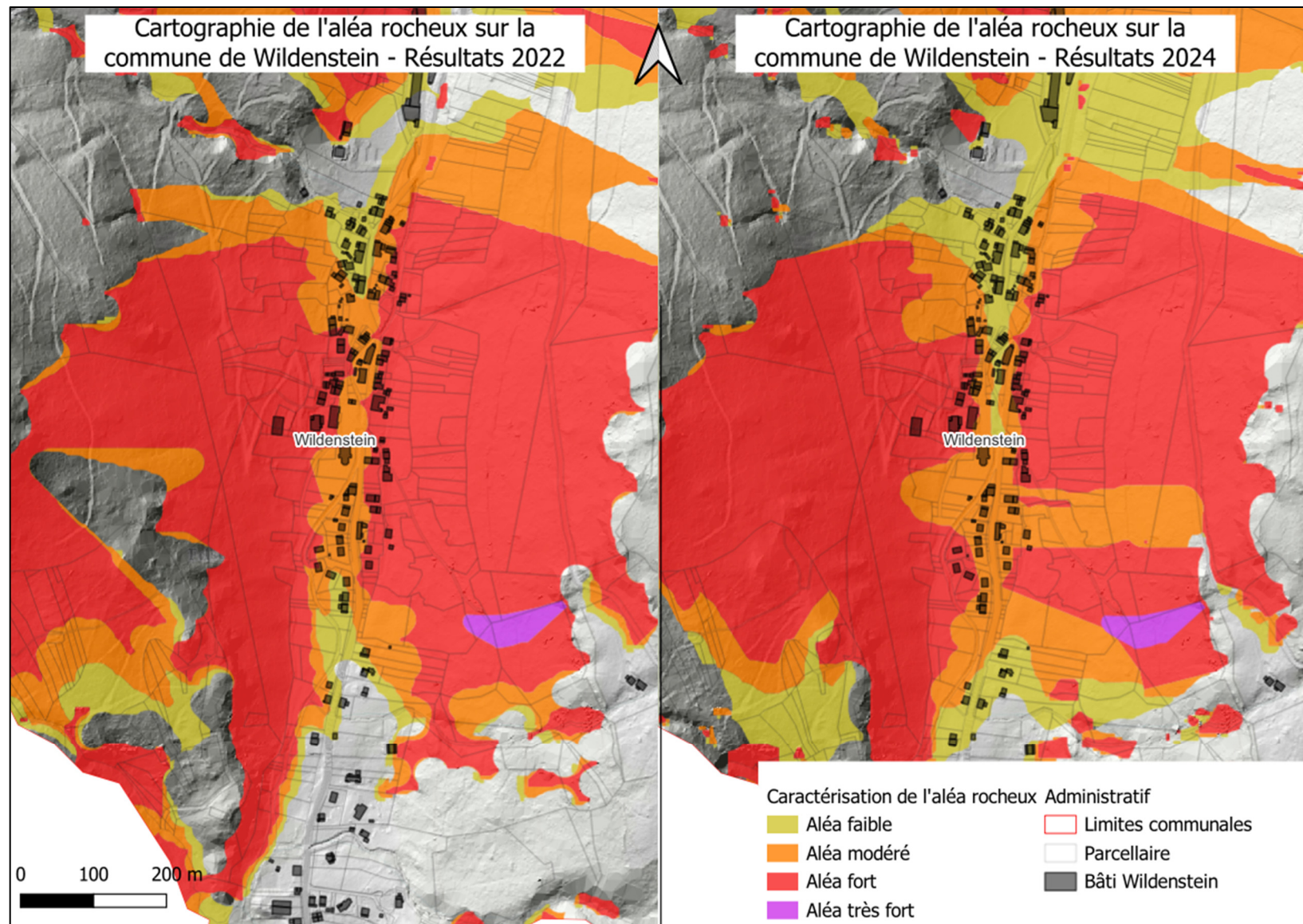


Illustration 17 : Comparaison des cartographies d'aléa au droit de la zone urbaine de Wildenstein.

5.2. LIMITES DE VALIDITÉ DES DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES

La présente étude a été menée en 2024. 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 juin 2022 puis juillet 2024. Elle est donc le reflet des connaissances du moment. La prise en compte ultérieure de données non connues ou non disponibles en 2024 (investigations, phénomènes, archives, témoignages, etc.) peut conduire à une révision des critères d'analyse 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 par exemple).

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.

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 inclut 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.

5.3. CONCLUSION

La mise à jour de l'aléa rocheux sur la commune de Wildenstein a été réalisée selon la méthodologie nationale MEZAP sur la base de levés de terrain (description de 76 affleurements et recensement de 16 blocs éboulés) et de modélisations d'enveloppes de propagation à l'aide du logiciel ELANA, développé par le BRGM.

L'intégration de la cartographie prédictive de l'altération a permis une discrimination partielle au sein des formations granitiques.

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 coulées 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 secteurs homogènes caractérisés 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, trois scénarios de référence ont été définis.

Sur la base de la cartographie de l'aléa, le niveau d'exposition des enjeux bâtis sur la commune de Wildenstein est le suivant :

- 68 polygones bâtis sont classés en priorité forte ;
- 127 polygones bâtis sont classés en priorité moyenne ;
- 142 polygones bâtis sont classés en priorité faible.

La mise à jour de l'aléa dans le cadre de l'uniformisation méthodologique sur l'emprise du PPRn prescrit par la Préfecture du Haut-Rhin a permis d'affiner la qualification de l'aléa rocheux sur la commune de Wildenstein.

La superficie totale du territoire communal soumis à l'aléa reste identique mais l'impact des zones d'aléa fort (qui présentent les restrictions d'aménagement les plus importantes) est plus limité que sur la cartographie initiale réalisée en 2022.

Cela s'explique en partie par l'utilisation d'un inventaire qui exclut les escarpements situés sur les crêtes vosgiennes car non situés sur le territoire de la commune de Wildenstein (mais sur l'emprise des communes voisines traitées simultanément en 2022). Lors de la réalisation de la modélisation de l'aléa en 2018, les escarpements situés sur les crêtes vosgiennes présentaient les intensités les plus importantes. Ne pas tenir compte de cette partie de l'échantillon sur la modélisation 2024 a permis de limiter l'intensité des phénomènes de référence et donc l'aléa.

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*.

Flageollet, J. (2008) - *Morpho-structures vosgiennes* », *Géomorphologie : relief, processus, environnement [En ligne]*, vol. 14 - n° 2. Récupéré sur <https://journals.openedition.org/geomorphologie/6133>

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. (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*.



Levy, C., Colas, B., Rohmer, J., & Berger, F. (2021) - ELANA (Energy Line Angle Normalized Area) : un outil d'aide à la cartographie de la propagation des chutes de blocs basée sur la méthode de la ligne d'énergie à différentes échelles. *5th RSS Rock Slope Stability Symposium, Chambéry*.



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*.


Annexe 1


Fiche descriptive des zones de départ décrites en 2024


| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |  |
|---|--|--------------|-----------------------------|-----------------|---|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 56 961 | |
| Wildenstein | A1 | 16/07/2024 | | Y : 47 59 753 | |
| Description | | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 | |
|  | | | | | |
| Commentaires | | | | | |
| Mode de rupture | | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité | | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité | |
| 1 | | | Très faible | Forte | |
| 2 | | | Moyenne | Moyenne | |
| 3 | | | | | |



| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |  |
|---|--|--------------|---|-----------------|---|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 56 972 | |
| Wildenstein | A2 | 16/07/2024 | | Y : 47 59 727 | |
| Description | | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 | |
|  | | | | | |
| Commentaires | | | | | |
| Mode de rupture | | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | | |
| Glissement plan / dièdre / Basculement | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité | | Effet levier des arbres en cas de chute | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité | |
| 1 | | | Très faible | Moyenne | |
| 2 | | | Faible | Moyenne | |
| 3 | | | | | |


| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |  |
|---|--|--------------|---|-----------------|---|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 56 828 | |
| Wildenstein | A3 | 16/07/2024 | | Y : 47 57 990 | |
| Description | | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 | |
|  | | | | | |
| Commentaires | | | | | |
| Mode de rupture | | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité | | Effet levier des arbres en cas de chute | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité | |
| 1 | | | Très faible | Forte | |
| 2 | | | Moyenne | Moyenne | |
| 3 | | | | | |


| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |
|---|--|--------------|-----------------------------|-----------------|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 56 882 |
| Wildenstein | A5 | 16/07/2024 | | Y : 48 00 011 |
| Description | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H2 |
|  | | | | |
| Commentaires | | | | |
| Mode de rupture | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | |
| Glissement plan / dièdre / surplomb | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité |
| 1 | | | Faible | Moyenne |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |



| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |
|---|--|--------------|-----------------------------|-----------------|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 56 999 |
| Wildenstein | A6 | 16/07/2024 | | Y : 47 59 935 |
| Description | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H2 |
|  | | | | |
| Commentaires | | | | |
| Mode de rupture | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Sismicité | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité |
| 1 | | | Très faible | Forte |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |



| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |
|---|---|--------------|-----------------------------|-----------------|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 56 706 |
| Wildenstein | A7 | 16/07/2024 | | Y : 47 59 937 |
| Description | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 |
|  | | | | |
| Commentaires | | | | |
| Mode de rupture | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité |
| 1 | | | Très faible | Forte |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |



| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |  |
|---|---|--------------|-----------------------------|-----------------|---|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 56 677 | |
| Wildenstein | A8 | 16/07/2024 | | Y : 47 59 892 | |
| Description | | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 | |
|  | | | | | |
| Commentaires | | | | | |
| Mode de rupture | | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité | |
| 1 | | | Très faible | Forte | |
| 2 | | | Faible | Moyenne | |
| 3 | | | | | |


| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |
|---|---|--------------|-----------------------------|-----------------|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 56 700 |
| Wildenstein | A9 | 16/07/2024 | | Y : 47 59 827 |
| Description | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 |
|  | | | | |
| Commentaires | | | | |
| Mode de rupture | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | |
| Glissement plan / dièdre / surplomb | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité |
| 1 | | | Très faible | Forte |
| 2 | | | Moyenne | Moyenne |
| 3 | | | | |



| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |
|---|---|--------------|-----------------------------|-----------------|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 56 738 |
| Wildenstein | A10 | 16/07/2024 | | Y : 47 59 719 |
| Description | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 |
|  | | | | |
| Commentaires | | | | |
| Mode de rupture | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | |
| Glissement plan / dièdre Surplomb | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité |
| 1 | | | Faible | Forte |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |



| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |  |
|---|---|--------------|-----------------------------|-----------------|---|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 56 899 | |
| Wildenstein | A11 | 16/07/2024 | | Y : 47 59 669 | |
| Description | | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 | |
|  | | | | | |
| Commentaires | | | | | |
| Mode de rupture | | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | | |
| Glissement plan / dièdre / basculement de colonne / rupture de pied de colonne | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité | |
| 1 | | | Très faible | Forte | |
| 2 | | | Moyenne | Faible | |
| 3 | | | | | |


| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |  |
|---|---|--------------|-----------------------------|-----------------|---|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 57 035 | |
| Wildenstein | A12 | 16/07/2024 | | Y : 47 59 563 | |
| Description | | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 | |
|  | | | | | |
| Commentaires | | | | | |
| Mode de rupture | | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | | |
| Glissement plan / dièdre / basculement de colonne | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité | |
| 1 | | | Très faible | Forte | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |


| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |  |
|---|---|--------------|-----------------------------|-----------------|---|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 57 071 | |
| Wildenstein | A13 | 16/07/2024 | | Y : 47 59 569 | |
| Description | | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 | |
|  | | | | | |
| Commentaires | | | | | |
| Mode de rupture | | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | | |
| Glissement plan / dièdre / basculement de colonne | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité | |
| 1 | | | Très faible | Forte | |
| 2 | | | Moyenne | Faible | |
| 3 | | | | | |


| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |
|---|---|--------------|-----------------------------|-----------------|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 57 220 |
| Wildenstein | A16 | 16/07/2024 | | Y : 47 59 840 |
| Description | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 |
|  | | | | |
| Commentaires | | | | |
| Mode de rupture | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | Route départementale | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité |
| 1 | | | Très faible | Forte |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |


| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |  |
|---|---|--------------|---|-----------------|---|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 57 743 | |
| Wildenstein | A19 | 16/07/2024 | | Y : 47 59 550 | |
| Description | | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 | |
| | | |  | | |
| | | | | | |
| Commentaires | | | | | |
| Mode de rupture | | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | Route départementale | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité | |
| 1 | | | Très faible | Forte | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |



| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |  |
|---|---|--------------|-----------------------------|-----------------|---|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 57 825 | |
| Wildenstein | A20 | 16/07/2024 | | Y : 47 59 571 | |
| Description | | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 | |
|  | | | | | |
| Commentaires | | | | | |
| Mode de rupture | | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | | |
| Glissement plan / dièdre / surplomb | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité | |
| 1 | | | Très faible | Forte | |
| 2 | | | Faible | Moyenne | |
| 3 | | | Moyenne | Faible | |



| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |
|---|---|--------------|-----------------------------|-----------------|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 57 942 |
| Wildenstein | A21 | 16/07/2024 | | Y : 47 59 510 |
| Description | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 |
|  | | | | |
| Commentaires | | | | |
| Mode de rupture | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | Route départementale | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité |
| 1 | | | Très faible | Forte |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |


| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |
|---|---|--------------|--|-----------------|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 57 881 |
| Wildenstein | A22 | 16/07/2024 | | Y : 47 58 686 |
| Description | | | | |
| Formation Géologique observée | Série du Markstein | | Niveau d'altération | H3 |
|  | | | | |
| Commentaires | | | | |
| Mode de rupture | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | Route communale Effet levier des arbres | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité |
| 1 | | | Très faible | Forte |
| 2 | | | Moyenne | Moyenne |
| 3 | | | | |



| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |
|---|---|--------------|-----------------------------|-----------------|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 57 822 |
| Wildenstein | A23 | 16/07/2024 | | Y : 47 58 650 |
| Description | | | | |
| Formation Géologique observée | Série du Markstein | | Niveau d'altération | H3 |
|  | | | | |
| Commentaires | | | | |
| Mode de rupture | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | Effet levier des arbres | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité |
| 1 | | | Très faible | Forte |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |



| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |
|---|---|--------------|-------------------------------------|-----------------|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 57 266 |
| Wildenstein | A24 | 17/07/2024 | | Y : 47 58 863 |
| Description | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H4 |
|  | | | | |
| Commentaires | | | | |
| Mode de rupture | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | Thalweg Décaissement anthropique | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité |
| 1 | | | Très faible | Forte |
| 2 | | | Faible | Moyenne |
| 3 | | | | |


| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |  |
|---|---|--------------|-----------------------------|-----------------|---|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 57 016 | |
| Wildenstein | A25 | 17/07/2024 | | Y : 47 58 87 | |
| Description | | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 | |
|  | | | | | |
| Commentaires | | | | | |
| Mode de rupture | | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité | |
| 1 | | | Très faible | Forte | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |


| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |  |
|---|---|--------------|---|-----------------|---|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 57 372 | |
| Wildenstein | A26 | 17/07/2024 | | Y : 47 58 769 | |
| Description | | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H3 | |
| | | |  | | |
| | | | | | |
| Commentaires | | | | | |
| Mode de rupture | | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité | |
| 1 | | | Très faible | Forte | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |

| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |
|---|---|--------------|-----------------------------|-----------------|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 58 327 |
| Wildenstein | A30 | 17/07/2024 | | Y : 47 59 184 |
| Description | | | | |
| Formation Géologique observée | Série de Markstein | | Niveau d'altération | H3 |
|  | | | | |
| Commentaires | | | | |
| Mode de rupture | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité |
| 1 | | | Très faible | Forte |
| 2 | | | Moyenne | Moyenne |
| 3 | | | | |

| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |  |
|---|---|--------------|-----------------------------|---------------------|---|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 58 296 | |
| Wildenstein | A31 | 17/07/2024 | | Y : 47 59 296 | |
| Description | | | | | |
| Formation Géologique observée | Série du Markstein | | | Niveau d'altération | H2 |
|  | | | | | |
| Commentaires | | | | | |
| Mode de rupture | | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | | Facteurs aggravants | |
| Glissement plan / dièdre / surplomb | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité | |
| 1 | | | Très faible | Forte | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |

| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |  |
|---|---|--------------|-----------------------------|---------------------|---|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 58 339 | |
| Wildenstein | A33 | 17/07/2024 | | Y : 47 59 537 | |
| Description | | | | | |
| Formation Géologique observée | Série du Markstein | | | Niveau d'altération | H3 |
|  | | | | | |
| Commentaires | | | | | |
| Mode de rupture | | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | | Facteurs aggravants | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité | |
| 1 | | | Très faible | Forte | |
| 2 | | | Moyenne | Moyenne | |
| 3 | | | | | |

| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |
|---|---|--------------|-----------------------------|-----------------|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 57 855 |
| Wildenstein | A35 | 17/07/2024 | | Y : 47 58 392 |
| Description | | | | |
| Formation Géologique observée | Série du Markstein | | Niveau d'altération | H3 |
|  | | | | |
| Commentaires | | | | |
| Mode de rupture | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité |
| 1 | | | Moyenne | Faible |
| 2 | | | Faible | Moyenne |
| 3 | | | | |

| FICHE DESCRIPTIVE ZONE DE DEPART - Chute de Blocs | | | | |
|---|---|--------------|-----------------------------|-----------------|
| Commune | ID ZD | Date | COORDONNEES GPS (WGS 84) | X : 6 57 368 |
| Wildenstein | A36 | 17/07/2024 | | Y : 47 58 415 |
| Description | | | | |
| Formation Géologique observée | Granite | | Niveau d'altération | H4 |
|  | | | | |
| Commentaires | | | | |
| Mode de rupture | | | | |
| Typologie(s) instabilité(s) | Facteurs de prédispositions | | Facteurs aggravants | |
| Glissement plan / dièdre | Fracturation Gel - Dégel Végétation Sismicité Ruissellement | | | |
| Scénario(s) observé(s) | | | | |
| Scénarios | Volume unitaire | Volume total | Indice d'intensité | Indice Activité |
| 1 | | | Très faible | Fort |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

Annexe 2

Tableau de synthèse des zones départ décrites

| ID | Lithologie | Scénario 1 | | | Scénario 2 | | | Scénario 3 | | |
|-----|------------|------------|-------------|------|------------|-----------|------|------------|-----------|------|
| | | Activité | Intensité | Code | Activité | Intensité | Code | Activité | Intensité | Code |
| A1 | Granite | Forte | Très faible | 31 | Moyenne | Moyenne | 23 | | | |
| A2 | Granite | Moyenne | Très faible | 21 | Moyenne | Faible | 22 | | | |
| A3 | Granite | Forte | Très faible | 31 | Moyenne | Moyenne | 23 | | | |
| A5 | Granite | Moyenne | Faible | 22 | | | | | | |
| A6 | Granite | Forte | Très faible | 31 | | | | | | |
| A7 | Granite | Forte | Très faible | 31 | | | | | | |
| A8 | Granite | Forte | Très faible | 31 | Moyenne | Faible | 22 | | | |
| A9 | Granite | Forte | Très faible | 31 | Moyenne | Moyenne | 23 | | | |
| A10 | Granite | Forte | Faible | 32 | | | | | | |
| A11 | Granite | Forte | Très faible | 31 | Moyenne | Faible | 22 | | | |
| A12 | Granite | Forte | Très faible | 31 | | | | | | |
| A13 | Granite | Forte | Très faible | 31 | Faible | Moyenne | 13 | | | |
| A15 | Granite | Forte | Très faible | 31 | | | | | | |
| A16 | Granite | Forte | Très faible | 31 | | | | | | |
| A17 | Granite | Forte | Très faible | 31 | | | | | | |
| A18 | Granite | Forte | Très faible | 31 | | | | | | |
| A19 | Granite | Forte | Très faible | 31 | | | | | | |
| A20 | Granite | Forte | Très faible | 31 | Moyenne | Faible | 22 | Faible | Moyenne | 13 |
| A21 | Granite | Forte | Très faible | 31 | | | | | | |
| A22 | Markstein | Forte | Très faible | 31 | Moyenne | Moyenne | 23 | | | |
| A23 | Markstein | Forte | Très faible | 31 | | | | | | |
| A25 | Granite | Forte | Très faible | 31 | | | | | | |
| A26 | Granite | Forte | Très faible | 31 | | | | | | |
| A27 | Granite | Forte | Très faible | 31 | | | | | | |
| A30 | Markstein | Forte | Très faible | 31 | Moyenne | Moyenne | 23 | | | |
| A31 | Markstein | Forte | Très faible | 31 | | | | | | |
| A33 | Markstein | Forte | Très faible | 31 | Moyenne | Moyenne | 23 | | | |
| A34 | Markstein | Forte | Très faible | 31 | | | | | | |
| A35 | Markstein | Moyenne | Faible | 22 | Faible | Moyenne | 13 | | | |

Annexe 3

Fonctionnement de la méthode de la ligne d'énergie

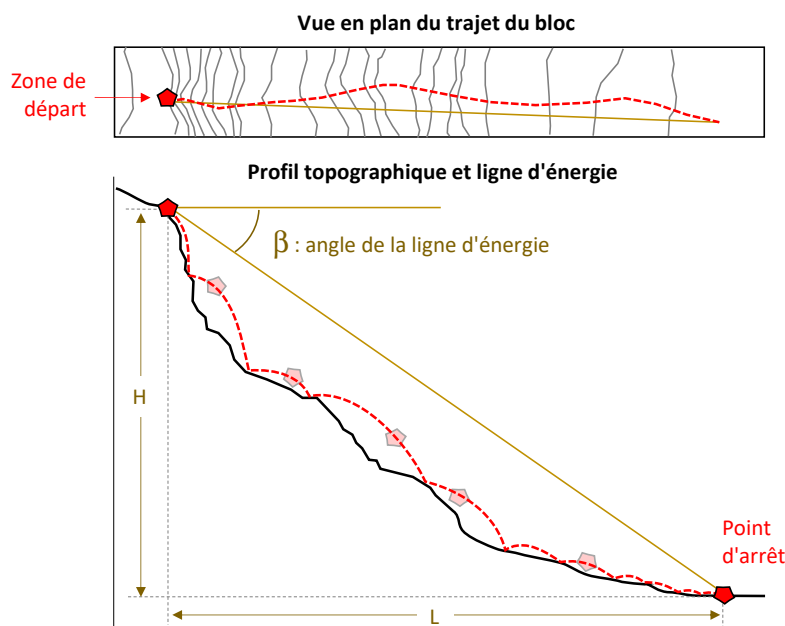
Méthode de la ligne d'énergie

Aide à la cartographie de la propagation des chutes de blocs

Le groupe MEZAP (Méthode d'Évaluation du Zonage de l'Aléa chute de Pierres), pour le compte du Ministère de l'Écologie 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 β (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 β , il accélère. Si elle est inférieure à β , il ralentit. Le point d'intersection du relief avec une ligne imaginaire partant de la zone de départ et formant un angle β avec l'horizontal (illustration) fournit le point d'arrêt. Cette ligne est appelée la ligne d'énergie et l'angle β , l'angle de la ligne d'énergie.



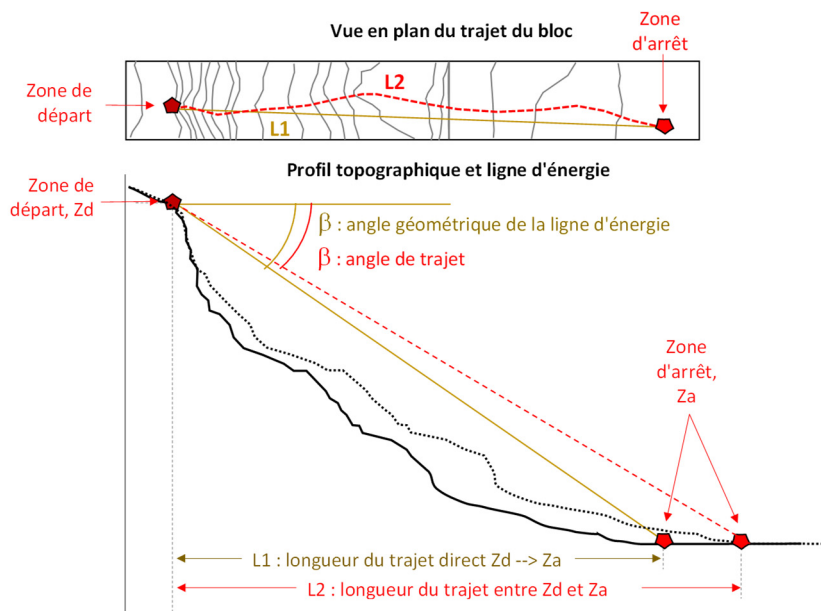
Principe de la ligne d'énergie (angle d'atteinte).

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 β 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 autres, 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 :

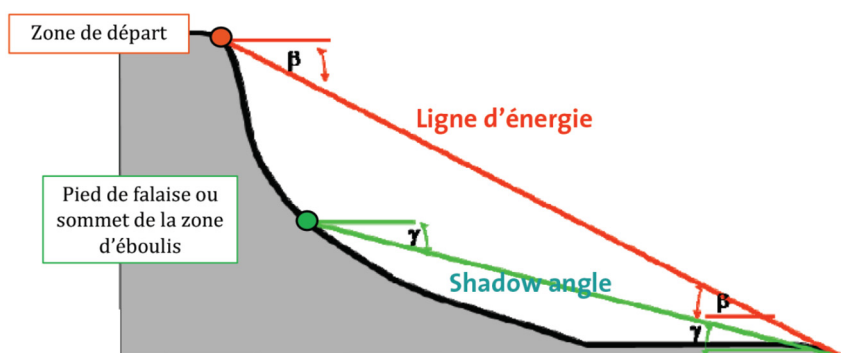
- ✓ Utilisation de la ligne de plus grande pente qui définit l'angle géométrique (aussi dénommé « reach angle ») ;
- ✓ Utilisation du profil en long correspondant au trajet réel du bloc (qui peut s'appréhender par le principe d'écoulement d'une goutte d'eau) qui définit « l'angle de trajet » (« travel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

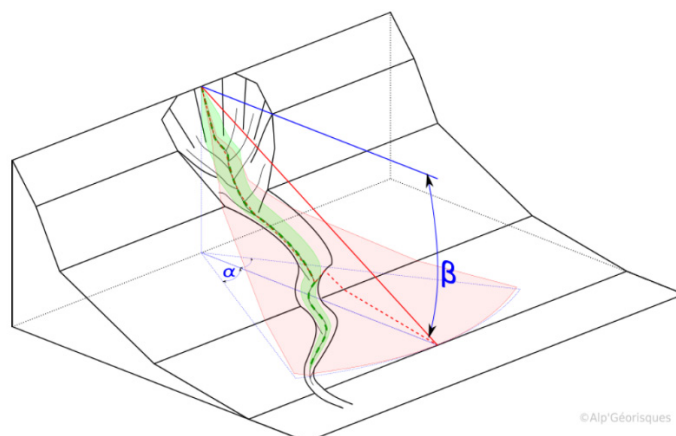
Plusieurs auteurs ont travaillé sur la détermination de l'angle β de la ligne d'énergie selon le principe de Heim (angle géométrique) :

| 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 et al. (1998) | 33.5° | 38.0° |
| Focardi & Iotti (2001) | 27.5° | 30.0° |
| Ayala-carcedo et al. (2001) | 29.1° | 38.9° |
| Jaboyedoff & Labouise (2003) | 33.0° | 33.0° |
| Jaboyedoff & Labouise (2011) | 32.6° | 35.6° |
| Corominas et al. (2003) | 27.6° | 55.0° |
| Dorren & Berger (2005, 2006) | 31.9° | 38.0° |
| Copons et al. (2009) site a | 36.9° | 56.3° |
| Copons et al. (2009) site b | 28.8° | 42.0° |
| Hutter et al. (2005) modèle réduit | 30.0° | 37.0° |
| Scheidegger (1973) | 29.7° | 39.7° |
| Marquinez et al. (2002) cas 1 | 32.5° | 40.9° |
| Marquinez et al. (2002) cas 2 | 29.4° | 38.5° |
| Antonioni & Lekkas (2009) | 35.0° | 35.0° |
| Deparis et al. (2008) | 31.6° | 47.2° |
| Hyndman & Hyndman (2009) | 33.0° | 33.0° |
| Berger et al. (2009) sans forêt | 27.7° | 33.9° |
| Berger et al. (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°).*

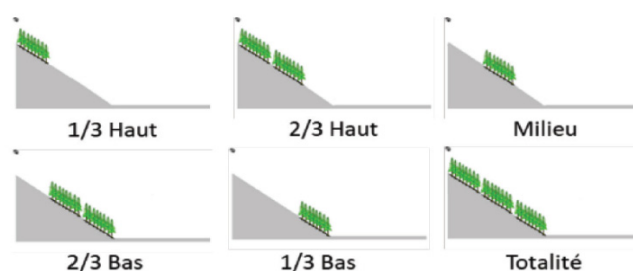
L'application en 3D (méthode des cônes) de la méthode de la ligne d'énergie est réalisée en considérant que la propagation se réalise au sein d'un cône de sommet la zone de départ, de pente la valeur de la ligne d'énergie et d'ouverture un angle dit de « dispersion » variable entre 10° à 20° pour des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



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

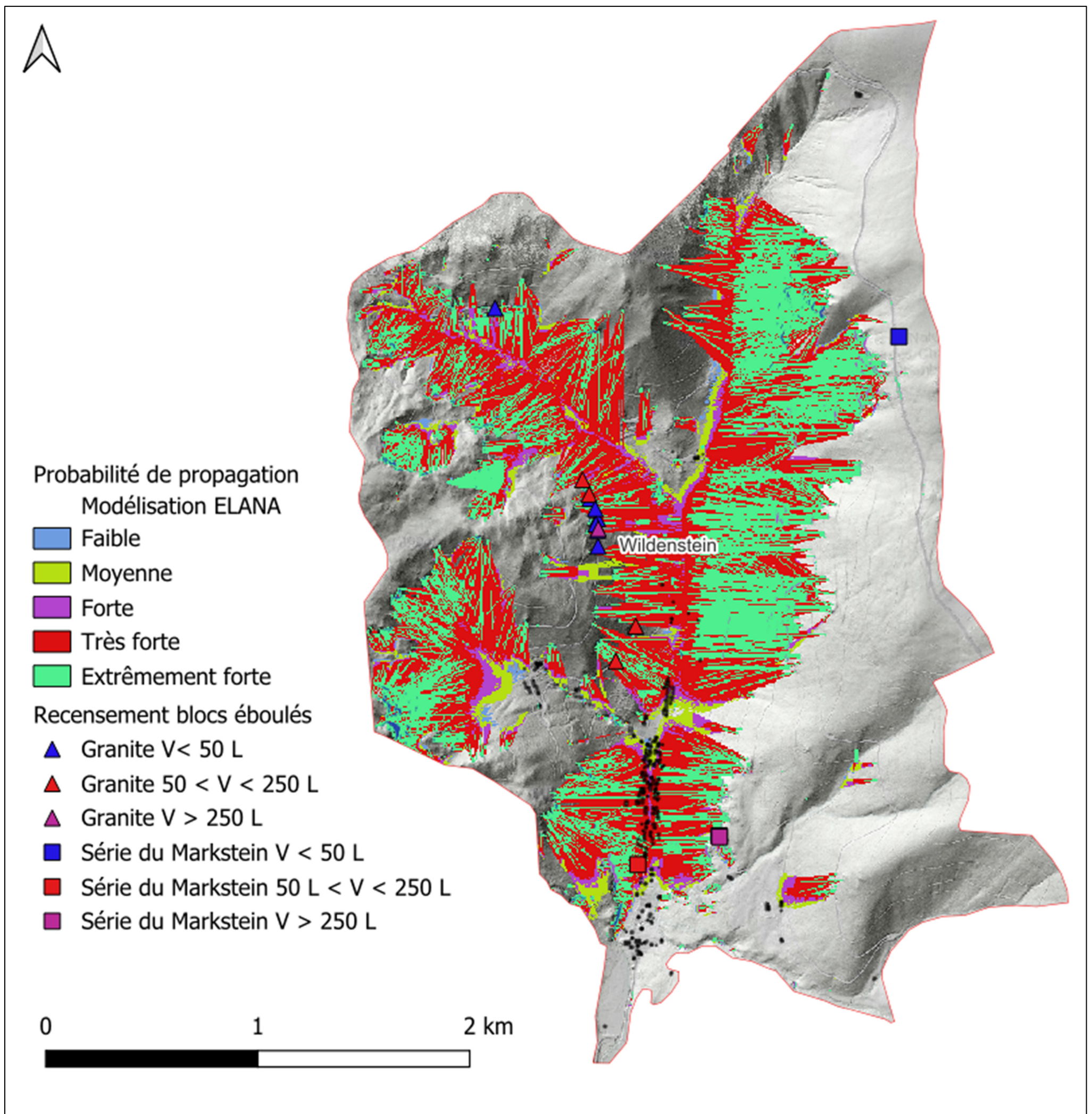
Colas B., Faure P., J. Rohmer (2017 - Valorisation des travaux réalisés dans le cadre du GT MEZAP (Année 1). Rapport d'avancement. BRGM/RP-66589-FR.

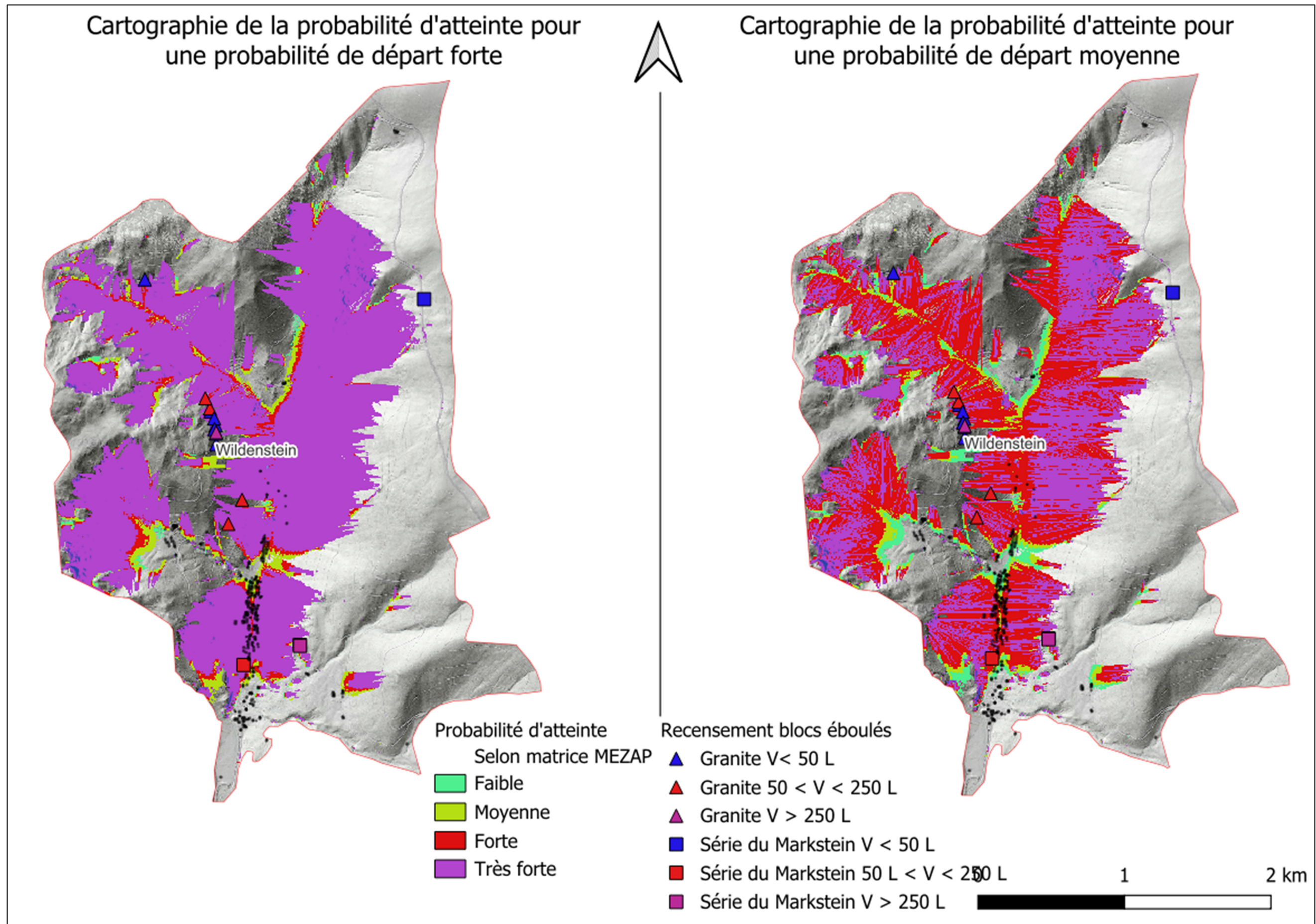
Collectif (groupe de travail MEZAP) - Guide technique MEZAP. Caractérisation de l'aléa rocheux dans le cadre d'un Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRn) ou d'un Porter à connaissance (PAC). BRGM, 2021. Collection scientifique et technique. ISBN : 978-2-7159-2760-5.

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 4

Documents cartographiques intermédiaires





Annexe 5

Cartographie de l'aléa rocheux sur la commune de Wildenstein au 1/10 000 (carte jointe)



**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



Géosciences pour une Terre durable

brgm