Document public

Evaluation de l'aléa chute de blocs Rue Emile Tabarant Commune de Laroche-Saint-Cydroine (Yonne)

Rapport final

BRGM/RP-68502-FR
Décembre 2018

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Evaluation de l'aléa chute de blocs Rue Emile Tabarant Commune de Laroche-Saint-Cydroine (Yonne)

Rapport final

BRGM/ RP-68502-FR
Décembre 2018

A. Vallet, Y. Hannion

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : B. Colas	Nom : M. Parizot
Fonction : Ingénieur géotechnicien	Fonction: Directeur régional
Date : 11/12/2018	Date : 20/12/2018
Signature **:**	Signature **:**

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

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots-clés : risques naturels, chute de blocs, éboulement, éboulement en masse , aléa, craie, Laroche-Saint-Cydroine, Yonne, Bourgogne-Franche-Comté

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

Vallet A. et Hannion Y. (2018) – Evaluation de l'aléa chute de blocs. Rue Emile Tabarant. Commune de Laroche-Saint-Cydroine (Yonne). Rapport final. BRGM/ RP-68502-FR,115 p., 40 ill., 4 ann.,1 CD.

© BRGM, **2018**, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

À la demande de la DDT de l'Yonne, le BRGM a été sollicité afin de mener une étude de l'aléa chute de blocs sur le secteur de la rue Emile Tabarant de la commune de Laroche-Saint-Cydroine (carte d'aléa au 1/5 000ème). En effet ; le BRGM était intervenu en 2013 et 2016 pour des phénomènes de chute de blocs concluant à la présence d'un aléa chute de blocs avéré sur ce secteur de la commune.

Ce rapport présente un état actualisé des connaissances sur les phénomènes d'éboulement rocheux sur la commune de Laroche-Saint-Cydroine en intégrant une compilation des archives disponibles, des investigations de terrain et des enquêtes réalisées auprès des services de la mairie notamment.

L'approche utilisée pour l'évaluation de l'aléa chute de bloc est de type expert. Cette analyse est basée sur des observations in-situ et la bibliographie existante. La cartographie de l'aléa chute de blocs est basée sur la méthode MEZAP[1] adaptée au contexte local.

Cette cartographie a permis d'identifier 20 zones homogènes de départ. L'analyse des données numériques et les investigations de terrain ont permis de définir pour chacune des zones de départ, l'indice d'activité, l'indice d'intensité et la probabilité d'atteinte. Le croisement de ces indices a permis d'évaluer l'aléa chute de blocs.

Compte-tenu des phénomènes historiques et des observations de terrain, le phénomène d'éboulement en masse a également été intégré à la cartographie de l'aléa chute de blocs pour cette étude.

Sur la rue Emile Tabarant de la commune de Laroche-Saint-Cydroine, les enjeux suivants sont soumis à un aléa chute de blocs (pour un enjeu touché par plusieurs niveaux d'aléa, seulement le niveau d'aléa le plus fort est retenu) :

- Aléa très élevé :
  - Escarpements rocheux E3, E8, E9, E13 et E14 : 6 bâtiments indifférenciés et jardins/cours associés
  - Escarpements rocheux E6, E7 et E11: environ 25 m de route/trottoir et environ 70 m de parking
  - Escarpement rocheux E12 : pied de versant sans enjeux
- Aléa élevé :
  - Escarpements rocheux E4, E10 et E16 : 4 bâtiments indifférenciés et jardins/cours associés
  - Escarpement rocheux E12: environ 25 m de route/trottoir
  - Escarpement rocheux E17 : jardin
  - Escarpement rocheux E20 : absence d'enjeux
- Aléa modéré :
  - Escarpements rocheux E17, E18 et E19 : 2 bâtiments indifférenciés et jardins/cours associés

[1] MEZAP : « Méthode pour l'Evaluation du Zonage de l'Aléa chute de Pierres ». Méthode développée par un groupe de travail piloté par IRSTEA pour le compte du MEEM (Ministère de l'Ecologie, de l'énergie et de la Mer)

    - Escarpement rocheux E5 : environ 90 m de route/trottoir
    - Escarpement rocheux E17 : jardin
- Aléa faible :
    - Escarpement rocheux E1 : 1 bâtiment indifférencié
    - Escarpements rocheux E2 et E15 : jardin

I**l est important de noter que des dommages aux personnes peuvent être engagés dès la première classe d'aléa « très faible ».** En effet les classes de l'indice d'intensité, basées sur le volume unitaire, sont définies uniquement en fonction des potentiels de dommages au bâtiment, la carte d'aléa étant destinée à l'aménagement du territoire.

Dans le cadre du projet, des propositions de parade sans dimensionnement sont formulées pour chaque zone homogène où des enjeux sont soumis à l'aléa (propositions non restrictives). Le dimensionnement des ouvrages de protection doit en effet faire l'objet d'une mission géotechnique normalisée (type G2-PRO selon la nomenclature de la norme P94-500 de nov. 2013). Une estimation approximative des coûts des travaux de sécurité à mettre en œuvre a également été réalisée à dire d'expert afin de fournir des ordres de grandeurs de prix au gestionnaire.

Dans le cadre du projet, des propositions de parades sans dimensionnement sont formulées pour chaque zone homogène où des enjeux sont soumis à l'aléa. Ces propositions de parades ne sont pas restrictives et une entreprise géotechnique pourra proposer une autre solution de parade en la justifiant (coût, difficulté de mise en œuvre…). Le dimensionnement des ouvrages de protection doit faire l'objet d'une mission géotechnique normalisée (type G2-PRO selon la nomenclature de la norme P94-500 de nov. 2013).

Une estimation approximative des coûts des travaux de sécurité à mettre en œuvre a également été réalisée à dire d'expert basée sur une revue bibliographique sans réalisation de devis spécifique au territoire de Laroche-Saint-Cydroine.

Cette étude est spécifique à l'aléa chute de blocs, néanmoins après les investigations de terrain le BRGM a observé la présence de galeries au niveau des zones de départ E6 et E14. Ces galeries n'ont pas été investiguées et une étude spécifique serait nécessaire pour évaluer un aléa effondrement sur ces secteurs. La zone de départ E14 où des galeries de taille significative ont été observées est particulièrement préoccupante.

De plus, les secteurs du versant de la rue Emile Tabarant avec des pentes significatives présentent une susceptibilité potentielle au glissement de terrain. Cet aléa peut être cumulé ou non à l'aléa chute de blocs sur le versant. La cartographie du niveau d'aléa pour les phénomènes de glissement de terrain nécessiterait également la réalisation d'une étude spécifique.

Sommaire

1. Introduction 9

2. Contexte général 11

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....11

2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE 11

3. Collecte et structuration des données.....13

3.1. DONNEES DISPONIBLES.....13

3.2. INVENTAIRE DES PHENOMENES HISTORIQUES.....13

4. L'aléa chute de blocs et éboulement rocheux– notions et principes 25

4.1. TERMINOLOGIE 25

4.2. CHUTE DE BLOCS : UNE INSTABILITE GRAVITAIRE.....25

4.3. FACTEURS INTERVENANT DANS LA CHUTE DE BLOCS.....26

4.3.1. Les facteurs de prédisposition 26

4.3.2. Les facteurs préparatoires/aggravant.....27

4.3.3. Les facteurs déclenchant 27

4.4. TYPOLOGIE DES RUPTURES 27

5. Evaluation de l'aléa chute de blocs 29

5.1. METHODE GENERALE.....29

5.2. LIMITE DE LA CARTE ET ECHELLE DE RESTITUTION 32

5.3. ETAPE N°1 – RECONNAISSANCE PRELIMINAIRE DES ZONES DE DEPART ET VALIDATION TERRAIN 33

5.4. ETAPE N°2 – DEFINITION DU(DES) SCENARIO(S) DE REFERENCE POUR CHAQUE ZONE DE DEPART HOMOGENE.....35

5.5. ETAPE N°3 - EVALUATION DE LA PROPAGATION (PROBABILITE D'ATTEINTE) 43

5.5.1. La méthode de la « ligne d'énergie » 43

5.6. CAS PARTICULIER DU PHENOMENE D'EBOULEMENT EN MASSE 49

5.6.1. Indice d'activité 49

5.6.2. Indice d'intensité 51

5.6.3. Estimation de la propagation des événements de masse 51

5.7. ETAPE N°4 – EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA CHUTE DE BLOCS 55

6. Proposition de travaux de mise en sécurité..... 67

7. Bibliographie..... 77

8. Conclusions 79

Liste des figures

Illustration 1 – Localisation de la commune de Laroche-Saint-Cydroine et du secteur d'étude (ligne pointillée rouge) 11

Illustration 2 – Extrait de la carte géologique BRGM 1/50 000 (http://infoterre.brgm.fr) et localisation du site 12

Illustration 3 – Localisation des phénomènes de chute de blocs identifiés sur la commune de Larcohe-Saint-Cydroine (fond orthophotographique IGN) – la localisation des points correspond à la zone d'atterrissement des blocs avec une précsion de 5 m.... 14

Illustration 4 – Identification/Description des phénomènes historiques de chutes de blocs sur la commune de Laroche-Saint-Cydroine 16

Illustration 5 – Planche photographique des phénomènes historiques de chutes de blocs sur la commune de Laroche-Saint-Cydroine 23

Illustration 6 - Terminologie de l'aléa rocheux en fonction des volumes mobilisés (LCPC, 2004)25

Illustration 7 – Evolution temporelle de la résistanceet de la force motrice (Hantz, 2012) 26

Illustration 8 - Schéma des principaux mécanismes de rupture (Dussauge-Peisser, 2002) 28

- Illustration 9 - Indices d'intensité définis par la MEZAP (source : MEZAP)..... 30
- Illustration 10 - Indices d'activité définis par la MEZAP (source : MEZAP)..... 30

Illustration 11 – Matrice de probabilité d'occurrence (source : document MEZAP) 31

Illustration 12 – Matrice d'évaluation de l'aléa (source : document MEZAP)..... 32

Illustration 13 – Matrice d'évaluation de l'aléa adapté au contexte local (source : modifié d'après document MEZAP)..... 32

Illustration 14 – Calcul des pentes à partir du MNT IGN RGE ALTI 1m 34

Illustration 15 – Inventaire des zones de départ avec la définition d'une valeur de seuil de pente de 50° et 55° 34

Illustration 16 – Inventaire des zones de départ après validation par reconnaissance sur le terrain 35

Illustration 17 – Scénario (s) de référence pour chaque zone homogène de départ (détaillé en Annexe 1)..... 37

Illustration 18 – Inventaire des zones homogènes de départ..... 39

Illustration 19 – Cartographie de l'indice d'activité pour chaque zone homogène de départ (les motifs hachurés correspondent à plusieurs scénarios de référence) 40

Illustration 20 – Cartographie de l'indice d'intensité pour chaque zone homogène de départ (les motifs hachurés correspondent à plusieurs scénarios de référence)..... 41

Illustration 21 - Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie et de la formule pour déterminer l'angle β (Berger, 2009b)..... 44

Illustration 22 - Représentation schématique de la méthode de cônes (d'après Jaboyedoff et Labiouse, 2011) 45

Illustration 23 - Exemples de modulation (à titre indicatif) apportées sur les intervalles d'angles de la méthode de la oigne d'énergie en fonction des principaux types de profil topographique des versants (orange/rose/rouge pointillé : niveaux de probabilité d'atteinte forte / moyenne /faible) (source MEZAP, à paraitre) 46

Illustration 24 - Seuils de valeurs d'angle de méthode de la ligne d'énergie en fonction de l'aire normalisée d'un versant (rapport BRGM RP-66589-FR)..... 47

Illustration 25 - Profils topographiques réalisés dans le cadre de l'étude de Laroche Saint-Cydroine 47

Illustration 26 - Valeur d'angle pour chaque profil topographique selon les plages indicatives MEZAP, les travaux statistiques du BRGM (RP-66589-FR) et l'expertise terrain48

Illustration 27 – Eventualité d'un scénario « éboulement en masse » pour chaque zone homogène 50

Illustration 28 – Cartographie de l'indice d'activité d'un scénario « éboulement en masse » 51

Illustration 29 – Principe d'évaluation des enveloppes de propagation dans le cas d'évenements en masse 52

Illustration 30 – Sélection des secteurs de versant représentatifs, fréquences cumulées et calcul statistique des pentes de dépôt (angle α) 54

Illustration 31 – Valeurs d'angle de ligne d'énergie : résultats de l'évaluation des propagations des zones proches et zone de propagation de blocs isolés dans le cas d'un phénomène d'éboulement en masse 55

Illustration 32 – Représentation schématique du phénomène de recul de corniches rocheuses56

Illustration 33 – Vue schématique horizontale de la tête de corniche et de la progression pyramidale hypothètique en fonction de l'indice d'activité. La corniche est décomposée en blocs cubiques dont les dimensions dépendent de l'indice d'intentité. 57

Illustration 34 –Estimation de l'aléa de recul en mètre en fonction de l'indice d'intensité et d'activité 58

Illustration 35 – Résultats de l'estimation de l'aléa de recul 59

Illustration 36 - Cartographie intermédiaire de l'aléa chute de blocs uniquement pour des volumes unitaires 61

Illustration 37 - Cartographie intermédiaire de l'aléa éboulement en masse 63

Illustration 38 - Cartographie finale de l'aléa chute de blocs avec prise en compte du phénomène d'éboulement en masse 65

Illustration 39- Tableau récapitulatif des parades passives (LCPC, 2001) 69

Illustration 40 - Tableau récapitulatif des parades actives (LCPC, 2001) 70

Illustration 41 – Proposition de parades et estimation aproximative des coûts. Ce tableau est à lire en parallèle avec les annexes 1 et 2 du rapport afin d'identifier les compartiments ciblés par les travaux de mise en sécurité. 75

Liste des annexes

Annexe 1 Caractérisation et définition d'un (de) scénario (s) de référence pour chaque zone homogène de départ 81

Annexe 2 Photographies et/ou schémas de chaque zone homogène de départ 87

Annexe 3 Photographies et observations de blocs éboulés dans la zone de propagation 101

Annexe 4 Livrables cartographiques prévus dans la convention 111

1. Introduction

Le BRGM est intervenu le 17 avril 2013 et le 20 juin 2016 sur la commune de Laroche-Saint-Cydroine pour des phénomènes de chute de blocs, respectivement dans le cadre de ses appuis aux administrations (RP-62325-FR) et de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (RP-66060-FR). Ces deux expertises ont été réalisées dans un secteur restreint correspondant à la rue Emile Tabarant le long des berges de l'Yonne. Les deux rapports du BRGM concluent que la présence d'un aléa chute de blocs est avéré sur ce secteur de la commune.

A la demande de la DDT de l'Yonne, le BRGM a été sollicité afin de mener une étude de l'aléa chute de blocs sur le secteur de la rue Emile Tabarant de la commune de Laroche-Saint-Cydroine (carte d'aléa au 1/5 000ème). Ce rapport présente un état actualisé des connaissances sur les phénomènes d'éboulement rocheux en intégrant une compilation des archives disponibles, des investigations de terrain et des enquêtes réalisées auprès des services de la mairie notamment.

L'approche utilisée pour l'évaluation de l'aléa chute de bloc est de type expert. Cette analyse est basée sur des observations in-situ et la bibliographie existante. La cartographie de l'aléa chute de blocs est basée sur la méthode MEZAP[2] adaptée au contexte local.

En complément de la cartographie de l'aléa, des recommandations générales en matière de gestion et de protection ont été formulées. De plus, une estimation financière approximative de ces protections sont formulées, afin de fournir des ordres de grandeurs de prix au gestionnaire.

La cartographie réalisée est spécifique aux phénomènes de chutes de blocs et éboulements rocheux. Ne sont pas traités les phénomènes de glissements, de coulées de boue, de retrait-gonflement ou d'affaissements / effondrements liés à la présence de cavités souterraines.

La cartographie de l'aléa chute de blocs est établie en fonction des escarpements rocheux d'origine naturelle. L'aléa lié aux chutes de pierre qui pourraient provenir de murs délabrés de bâtiments et d'anciens forts militaires n'est pas cartographié.

Cette étude ne garantit pas un inventaire exhaustif des zones de départ situées sur des propriétés privées sur lesquelles il n'a pas été possible d'accéder et/ou masquées par des bâtiments depuis les accès publics et non détectés par l'analyse et le traitement du modèle numérique de terrain.

[2] MEZAP : « Méthode pour l'Evaluation du Zonage de l'Aléa chute de Pierres ». Méthode développée par un groupe de travail piloté par IRSTEA pour le compte du MEEM (Ministère de l'Ecologie, de l'énergie et de la Mer)

2. Contexte général

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La commune de Laroche-Saint-Cydroine s'étend sur environ 8.95 km^2 au nord d'Auxerre dans le département de l'Yonne (Illustration 1). La commune présente un relief tabulaire qui est incisé par la rivière de l'Yonne engendrant ainsi des escarpements rocheux sur les bords de la plaine alluviale. Les escarpements rocheux du secteur de la rue Emile Tabarant correspondent à ce type de géomorphologie. Le dénivelé peut atteindre environ 30 m entre la rue Emile Tabarant et le plateau agricole amont. Le secteur couvert représente un linéaire d'environ 1 km.

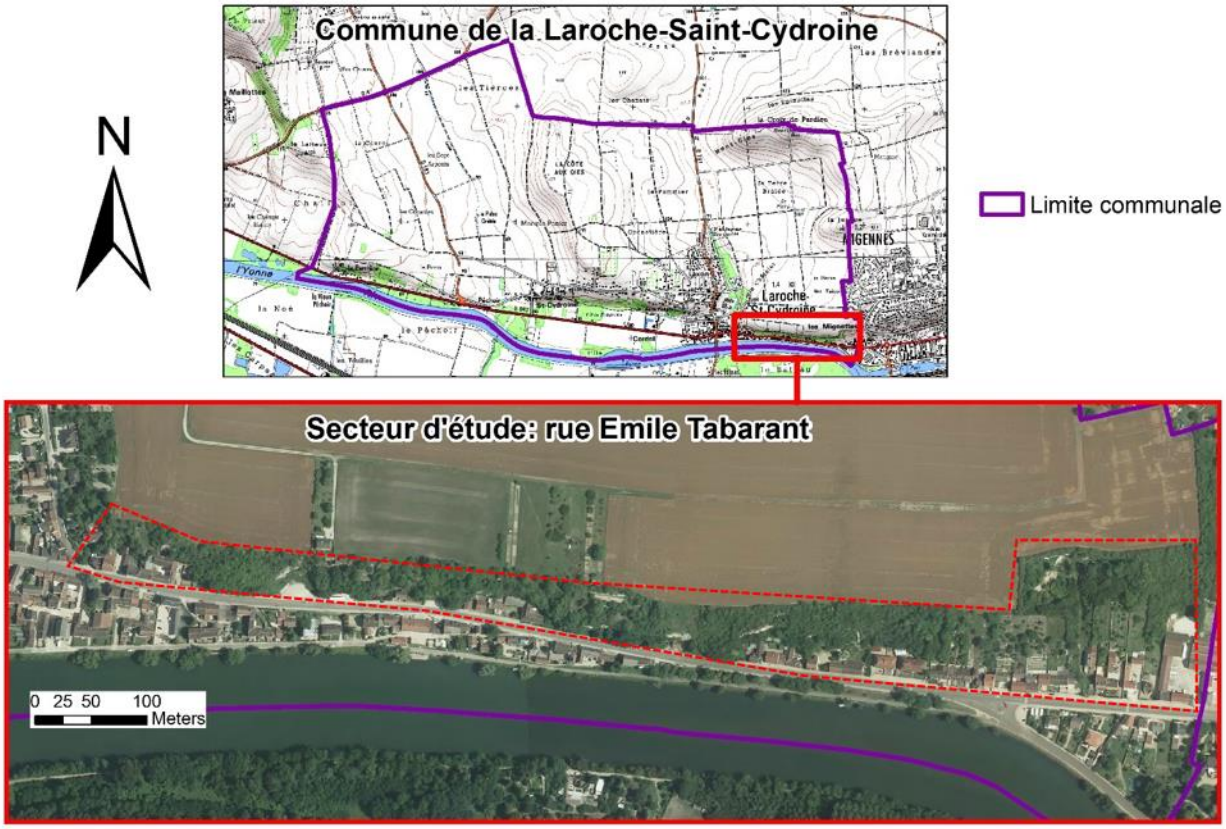


Illustration 1 – Localisation de la commune de Laroche-Saint-Cydroine et du secteur d'étude (ligne pointillée rouge)

2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

La rue Emile Tabarant est située en rive droite de l'Yonne à une cote NGF moyenne d'environ + 85 m. Du point de vue morphologique, le site est marqué par une falaise affleurante variant de 5 à 30 m de hauteur en moyenne. D'après la carte géologique au 1/50 000 du BRGM n°367 de Joigny (Illustration 2), la falaise qui domine le site est constituée de craie massive en banc de 0,5 à 1 m d'épaisseur (c2a-b). Le sommet est constitué par la craie du Turonien dont la base serait plutôt argileuse. A l'Est, la zone est affectée par la faille de Migennes de direction NE-SO. En pied de versant, les marnes crayeuses du Cénomanien (c1) affleure le long de la rue Emile Tabarant et de façon plus significative à l'Est de la faille de Migennes.

Le pendage moyen des couches est pseudo-horizontal, de quelques degrés vers le nord-ouest, correspondant à la localisation méridionale de la Laroche-Saint-Cydroine par rapport au bassin parisien.

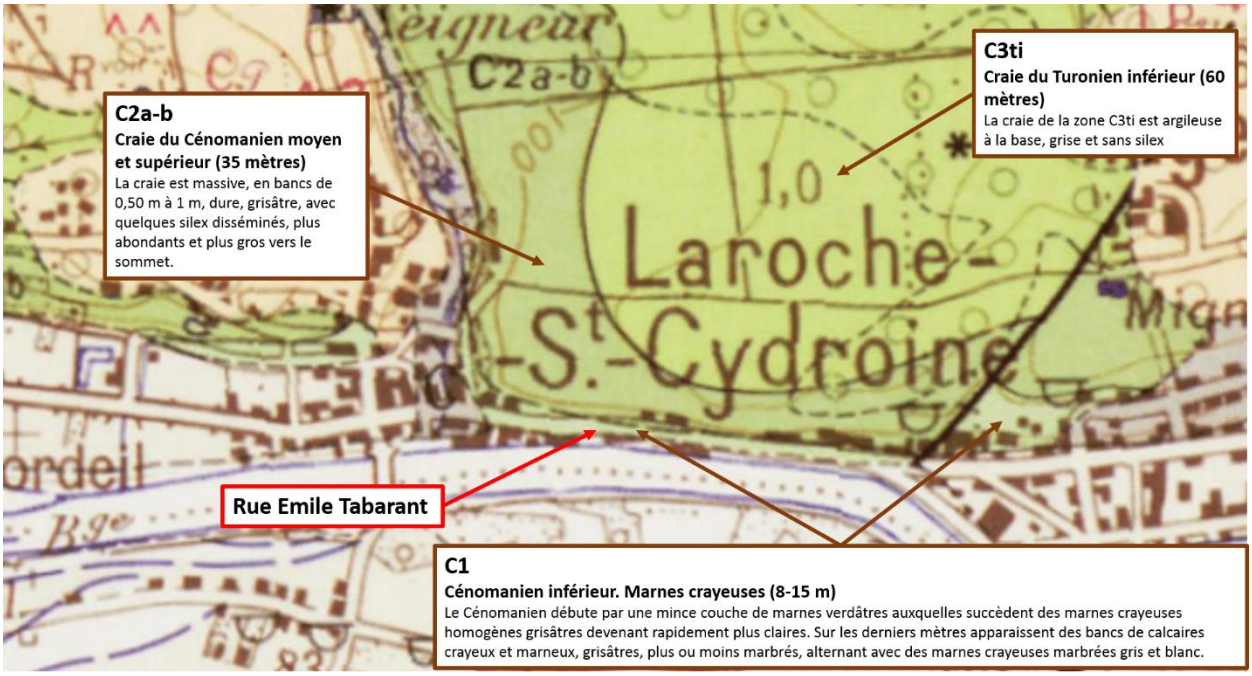


Illustration 2 – Extrait de la carte géologique BRGM 1/50 000 (http://infoterre.brgm.fr) et localisation du site

D'après les informations récoltées sur site, les falaises sont marquées, de façon plus ou moins prononcée selon les secteurs, par deux familles de fractures orthogonales de direction N20° (parallèle à la rue Emile Tabarant) et N110° (perpendiculaire à la rue Emile Tabarant).

Enfin, d'après des témoignages de propriétaires, des sources intermittentes sont présentes dans le versant et apparaissent lors d'épisodes prononcés de précipitations. Ces écoulements d'eau venant du versant, toujours d'après les témoignages des riverains, peuvent être responsables des inondations des caves.

3. Collecte et structuration des données

3.1. DONNEES DISPONIBLES

La phase documentaire est couplée à une reconnaissance de terrain afin de préciser la nature et la géométrie des mouvements historiques, mais également d'identifier les indices d'éventuelles instabilités non reconnues lors de l'enquête préliminaire. La collecte des informations disponibles (données et observations) s'appuie sur :

- la Banque de données du Sous-Sol (BSS) gérée par le BRGM (http://infoterre.brgm.fr/) ;
- les archives du BRGM (rapports, cartes géologiques) ;
- la base de données mouvement de terrain du portail Géorisques (http://www.georisques.gouv.fr/) ;
- une analyse bibliographique rassemblant les informations transmises par les services publics (Mairie de Larcohe-Saint-Cydroine) ;
- les données spatialisées (IGN SCAN25®, IGN orthophotographie, cadastre et modèle numérique de terrain (RGEALTI – 1 m))
- des visites de terrain réalisées par le BRGM du 26 au 30 mars 2018 et du 18 au 19 octobre 2018.

Lors des campagnes de terrain, les escarpements et les zones de ruptures potentielles ont été caractérisées. Ces campagnes de terrain ont également été l'occasion de collecter les témoignages des propriétaires présents.

3.2. INVENTAIRE DES PHENOMENES HISTORIQUES

L'ensemble des données sur les phénomènes qui ont été observés sur le terrain ou issues d'une revue bibliographique a été inventorié, et est représenté sur la carte des phénomènes historiques (Illustration 3). Chaque phénomène est caractérisé par un code qui renvoie à un tableau descriptif (Illustration 4).

La base de données nationale sur les mouvements de terrain (www.georisques.gouv.fr), gérée par le BRGM, ne mentionne aucune chute de blocs sur le secteur communal. La commune a fait l'objet, à ce jour, de deux arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour des phénomènes de mouvements de terrain.

Illustration 3 – Localisation des phénomènes de chute de blocs identifiés sur la commune de Larcohe-Saint-Cydroine (fond orthophotographique IGN) – la localisation des points correspond à la zone d'atterrissement des blocs avec une précsion de 5 m

Code	Date	Volume (m^3)	Source	Type	Description	Localisation
1	Environ 2000	Non connu	RP-62325-FR	Volume unitaire	Une chute de bloc a été signalée à la mairie il y a une quinzaine d'années au niveau de la parcelle 27. Elle n'est pas bâtie mais elle est en amont direct de la départementale	Parcelle 27
2	24 mars 2013	Environ 100 m3	RP-62325-FR	Ecroulement en masse	L'événement qui s'est produit le 24 mars 2013 est un mouvement de terrain rapide de type éboulement en masse qui a provoqué la ruine de la maison d'habitation située en contrebas. Le déclenchement est à mettre en perspective avec les conditions météorologiques exceptionnelles de l'hiver 2012-2013 particulièrement arrosé et entrecoupé de périodes de gel-dégel.	Parcelle 29
3	2013	0.6	Témoignage propriétaire	Volume unitaire	Chute de bloc concomitante avec des inondations de cave. Le bloc s'est arrêté à 1,40 m de la maison d'habitation	Parcelle 41
4	31 mai 2016	2	RP-60060-FR	Volume unitaire	Un bloc de 2 m^3 s'est détaché et a emprunté un cône d'éboulis de 4 m de long et 40° de pente présent en pied de paroi et a terminé sa course dans l'atelier situé à l'arrière de l'habitation. Quelques jours après l'éboulement d'autres blocs compris entre 0,5 et 1,5 m^3 se sont éboulés et ont atterris juste avant l'atelier. Au total avec les éboulis, ce sont près de 5 m^3 qui se sont éboulés.	Parcelle 33
5	Entre 2013 et 2017	1.3	Témoignage propriétaire	Volume unitaire	Un bloc d'environ 1.3 m^3 est appuyé contre un arbre dans le versant juste en amont des gabions. La date n'a pas pu être précisée par le propriétaire.	Parcelle 41
6	25 janvier 2018	0.12	Témoignage propriétaire	Volume unitaire	Le phénomène qui s'est produit le 25 janvier 2018 est la chute d'un bloc d'environ 120 litres et de quelques blocs de 6 à 30 litres et de pierres d'un volume inférieur au litre. Les éboulements de pierres ont perduré jusque dans la nuit du 28 au 29 janvier 2018. Les blocs n'ont pas atteint le mur de la maison d'habitation située en pied d'escarpement. Ces éboulements sont survenus après un épisode de pluie intense qui a touché la région début janvier 2018.	Parcelle 19

7	Juillet 2018	1 bloc de 0.5. 1 bloc de 1	Témoignage propriétaire	Volume unitaire	Le mardi 10 juillet 2018 au matin, les propriétaires domiciliés au 45, rue Emile Tabarant ont constaté dans l'arrière-cour de leur propriété au pied de la falaise une chute importante de blocs de pierres : deux blocs de 0.5 et 1 m^3 environ et un éboulis de pierrailles emportant sur son passage un mur de pierres sèches non maçonnées. Les blocs n'ont pas atteint le mur de la grange située en pied d'escarpement.	Parcelle 81
8	Septembre 2018	0.125 (total de 0.5)	Information mairie	Volume unitaire	Les services de la mairie ont constaté le 1er octobre 2018 la chute de plusieurs blocs. Une visite de terrain a permis de constater que 2 blocs de 125 et 100 litres, 6 blocs entre 20 et 40 litres et de nombreuses pierres inférieures à 10 litres s'étaient éboulées pour un volume total de l'ordre de 0.5 m^3. Les blocs éboulés ont été arrêtés par la barrière en pied d'escarpement.	Parcelle 23

Illustration 4 – Identification/Description des phénomènes historiques de chutes de blocs sur la commune de Laroche-Saint-Cydroine

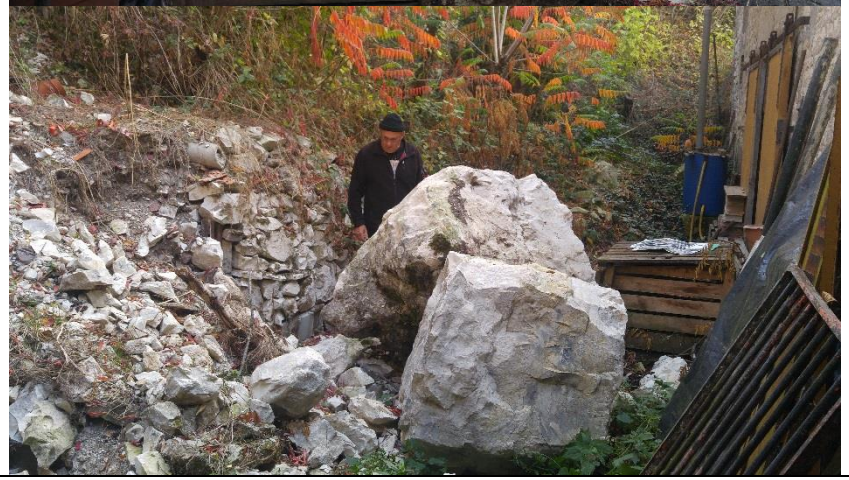
Code	Photographie
2	

3		

4		

5	

6		

7		

8	

Illustration 5 – Planche photographique des phénomènes historiques de chutes de blocs sur la commune de Laroche-Saint-Cydroine

4. L'aléa chute de blocs et éboulement rocheux– notions et principes

4.1. TERMINOLOGIE

Les chutes de blocs, de pierres, les éboulements ou les écroulements sont des mouvements gravitaires avec une cinétique rapide (rupture généralement brutale et propagation à vitesse élevée). Ces mouvements sont toujours liés à une situation de déséquilibre gravitaire entraînant un réajustement. Les phénomènes sont généralement décrits au regard des volumes mobilisés. Une classification admise (*LCPC, 2004*) est la suivante :

Ecroulement en grande masse	Ecroulement en masse	Chute de bloc	Chutes de pierres
10^4 m^3	10^4 à 10^2 m^3	10^2 à 0.1 m^3	< 0.1m^3

Illustration 6 - Terminologie de l'aléa rocheux en fonction des volumes mobilisés (LCPC, 2004)

Il faudrait également distinguer volume unitaire et volume total mobilisé pour définir une nomenclature complète. Ce travail est en cours dans le cadre du groupe de travail MEZAP piloté par le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire.

Les chutes de pierres ou de masses rocheuses de petite taille se produisent sous l'action de la gravité et de l'altération d'une paroi rocheuse par différents agents d'érosion. Les chutes régulières de pierres mènent à la formation d'éboulis (accumulations de matériel détaché de l'abrupt en amont).

Les chutes de blocs correspondent à un mécanisme gravitaire se manifestant de manière rapide et brutale, et qui affecte des matériaux rigides et fracturés. Il concerne principalement les affleurements rocheux, souvent redressés, voire subverticaux. Les éléments éboulés sont des blocs rocheux de volume variable pouvant se propager en pied de falaise. Le volume de l'éboulement ne dépasse généralement pas quelques dizaines de m^3. (*Vincent et al., 2001*).

Les écroulements en masse (aussi nommés éboulements en masse) et les écroulements en grande masse, concernent des volumes totaux importants pouvant représenter jusqu'à plusieurs millions de mètres-cubes de matériel. La distinction entre ces deux phénomènes se base globalement sur le volume mobilisé (éboulement en masse ou éboulement en masse, quand le volume éboulé est compris entre 100 m^3 et 10 000 m^3, écroulement en grande masse au-delà de 10 000 m^3) mais également sur les modes de propagation (forte interaction entre blocs pour les écroulements en grand masse).

4.2. CHUTE DE BLOCS : UNE INSTABILITE GRAVITAIRE

L'évolution progressive d'un versant jusqu'au déclenchement de mouvements de terrain peut être exprimée par le rapport entre deux contraintes opposées matérialisées par deux forces en présence. La première, dite force motrice constitue l'ensemble des forces favorisant le mouvement du versant, s'oppose à la seconde dite force résistante qui maintient l'équilibre du versant. Selon les conditions intrinsèques du matériel concerné (caractères géotechniques,

pente, surcharge ou allégement local…) et les évènements influents (précipitations, gel, vibrations…), le rapport entre les forces en présence peut évoluer. La stabilité du versant perdure tant que la force résistante est supérieure à la force motrice. Dès qu'elle devient plus faible, passant en-dessous du seuil de stabilité, la masse concernée décroche de son support et se met en mouvement.

La force motrice est directement dépendante de la gravité par l'intermédiaire du poids du bloc qui pourrait être mis en mouvement. La force de résistance est liée aux propriétés mécaniques et rhéologiques de la roche.

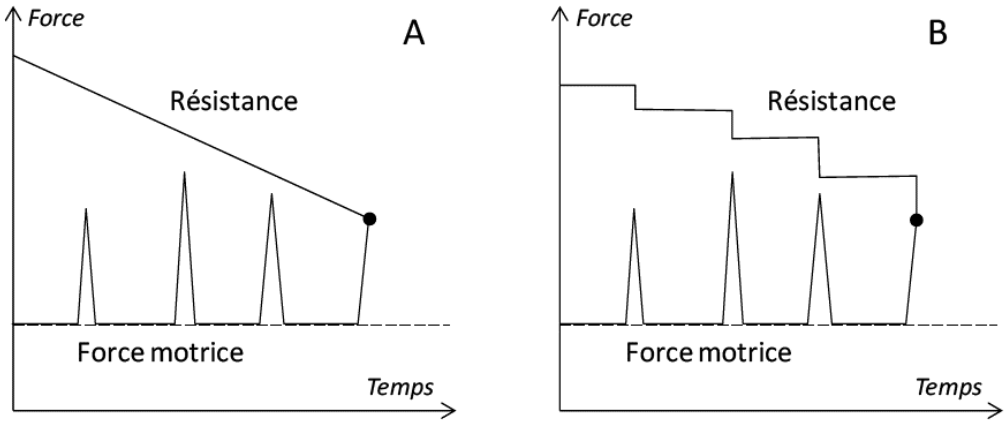


Illustration 7 – Evolution temporelle de la résistanceet de la force motrice (Hantz, 2012)

(Cas A. augmentation de la force motrice = facteur déclenchant NON dégradant. Cas B : augmentation de force motrice = facteur déclenchant ET dégradant)

4.3. FACTEURS INTERVENANT DANS LA CHUTE DE BLOCS

Le déclenchement du mouvement de terrain est toujours lié à une situation de déséquilibre gravitaire entraînant un réajustement. Les facteurs du déséquilibre sont de différentes natures : on distingue les **facteurs de prédisposition, les facteurs préparatoires (ou aggravants) et les facteurs déclencheurs (Statham and Finlayson, 1980)**.

4.3.1. Les facteurs de prédisposition

Les facteurs de prédisposition correspondent aux conditions intrinsèques du mouvement et sont déterminés par l'héritage géologique (lithologique, structural, processus glaciaires et fluviatiles…) sur le très long terme (plusieurs milliers d'années).

- **La géologie** :
  - La lithologie : les différents types de roches sont plus ou moins sensibles à l'érosion et à la dissolution entrainant une susceptibilité plus ou moins marquée à la genèse de chute de blocs. En particulier, l'alternance de roches meubles/compactes favorise l'érosion différentielle responsable de la formation de sous-cavages et de blocs en surplombs.
  - La structure (la fracturation, le pendage, la présence de joints de stratification, de plis, de schistosité) : les discontinuités géologiques induisent des zones de faiblesse qui sont plus ou moins marquées selon la densité et la géométrie du réseau de discontinuités. Le volume des blocs qui peut être généré pour un site donnée dépend fortement de ce facteur.
  - Histoire géologique : érosion hydro-glaciaire, pergélisol, contraintes tectoniques….

4.3.2. Les facteurs préparatoires/aggravant

Les facteurs préparatoires correspondent aux processus géomorphologiques à court ou plus long terme (de la dizaine à quelques milliers d'années) induits par le climat (érosion, altération, gélifraction, conditions hydrologiques, pergélisol) et l'utilisation des sols (anthropisation des cours d'eau, déforestation…).

Le climat influence la stabilité des versants par ses composantes hydriques et thermiques et leurs conséquences sur les propriétés mécaniques des sols.

- Les causes thermiques : la cryoclastie (alternance de phases de gel/dégel) entraine ainsi l'éclatement de la roche et crée de nouvelles fissures.
- Les causes hydriques : l'infiltration d'eau dans un terrain (pluies, fontes des neiges, crues de cours d'eau à proximité, etc.) a des conséquences sur la cohésion du matériel. Elle entraine une diminution de la résistance au cisaillement. Avec une importante présence d'eau, des surpressions peuvent se produire sous des blocs ou sous le terrain lui-même.
- Les évènements saisonniers : l'alternance de périodes pluvieuses et sèches constitue un agent climatique déterminant sur les déséquilibres des versants.

La végétation : la croissance des racines contribue à augmenter la taille des fissures dans lesquelles elles se développent

4.3.3. Les facteurs déclenchant

Les facteurs déclencheurs correspondent aux sollicitations extrêmes ponctuelles ou à court terme (dizaine d'année) qui initient ou amplifient la déstabilisation d'un versant. Ces sollicitations peuvent prendre la forme de vibrations naturelles (séismes) ou anthropiques (tirs de mine), d'événements pluvieux extrêmes, de dessouchages naturelles (tempête) ou anthropiques, de crues de rivière exceptionnelles ainsi que d'actions anthropiques affectant la stabilité d'un versant (déblais ou remblais, fondations de maisons, réduction de l'emprise forestière, modification des écoulements de surface et sub-surface…).

4.4. TYPOLOGIE DES RUPTURES

La combinaison des facteurs de prédisposition, préparatoires et déclenchant auxquels sont soumis un site donné conditionnent les différents mécanismes de rupture qui peuvent générer des chutes de blocs. La typologie générale des évènements « chute de blocs » est décrite de façon assez exhaustive sur l'Illustration 8.

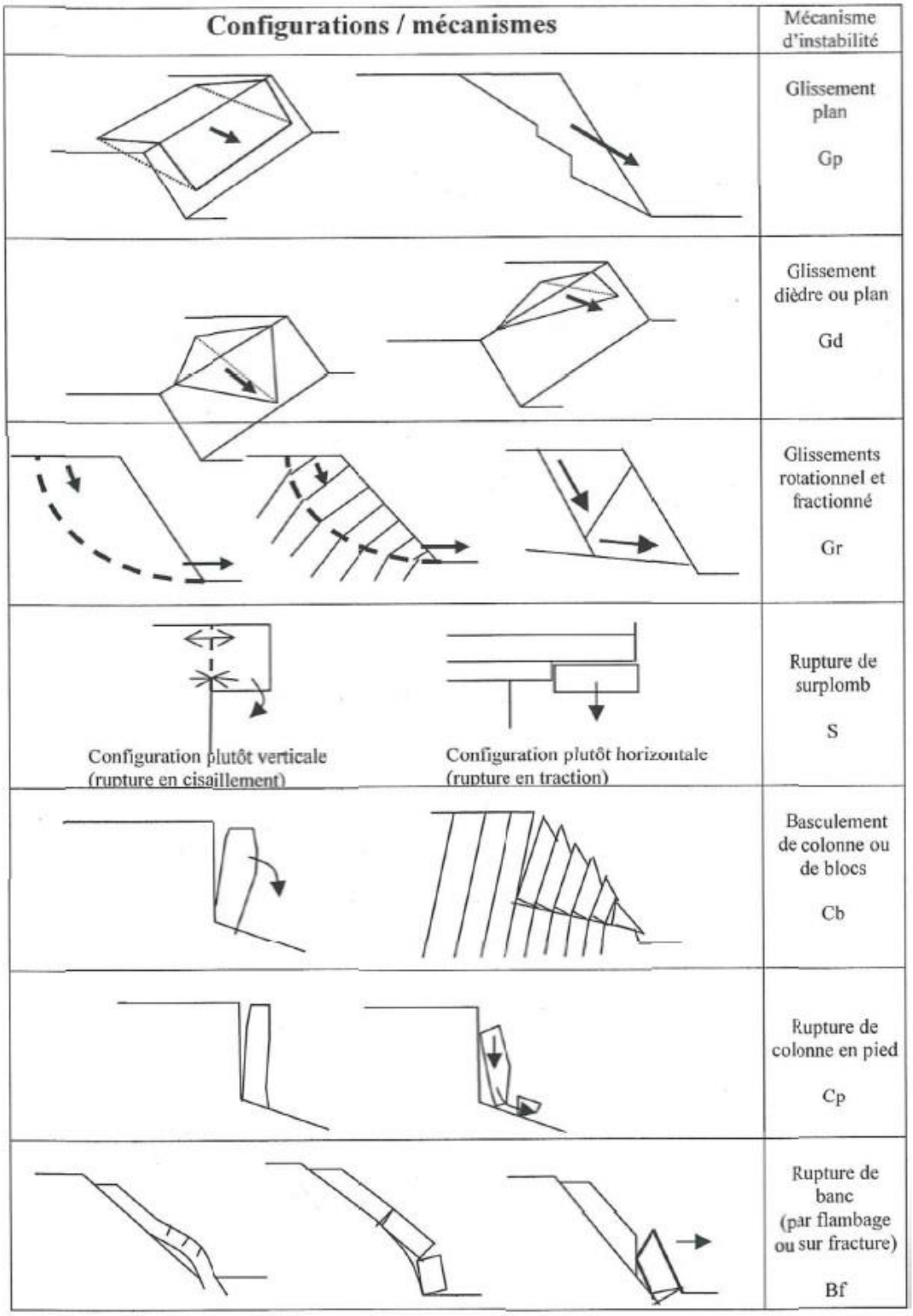


Illustration 8 - Schéma des principaux mécanismes de rupture (Dussauge-Peisser, 2002)

5. Evaluation de l'aléa chute de blocs

5.1. METHODE GENERALE

Dans le cadre du projet, le BRGM valorise la méthode MEZAP pour élaborer la carte d'aléa « chute de blocs ». Cette méthode en cours de déploiement vise à harmoniser les pratiques pour la cartographie de cet aléa sur l'ensemble du territoire français. Le cas échant, la méthode MEZAP peut être adaptée au contexte local.

La MEZAP est une approche qualitative et pragmatique du phénomène d'éboulement et chute de blocs. Elle permet de répondre aux questions Quoi ? Où ? et Quand ?.

La cartographie de l'aléa rocheux nécessite de définir les volumes susceptibles de se propager. Ces volumes peuvent être issus de plusieurs types de scénarios :

- départ de volume unitaire se propageant vers l'enjeu ;
- départ d'un volume important se fragmentant lors de sa chute et produisant des volumes plus faibles se propageant vers l'enjeu ;
- écroulements en masse avec propagation spécifique.

Pour l'aléa de chute de bloc, **le scénario de référence est caractérisé par le volume du plus gros bloc susceptible, sur la période de référence de 100 ans, de se propager.** Cet aléa peut être reproductible ou non. Ce scénario de référence peut correspondre soit au plus gros évènement historique connu, soit être supérieur soit inférieur à celui-ci. Si aucun évènement historique n'est connu, une analyse spécifique est à mener.

Après examen des zones de départ, examen des zones de dépôt, référence à des contextes similaires (géologie, topographie), témoignages, inventaire des phénomènes historiques, il est proposé des zones homogènes de départ, chacune étant caractérisée par un volume unitaire de bloc (volume après fragmentation) susceptible de se propager dans la pente à une fréquence donnée définissant un **scénario de référence**. Plusieurs scénarios de référence par zone homogène peuvent être présentés. L'hypothèse d'un scénario de type phénomène de grande ampleur induisant un mélange turbulent dans la propagation sur la période de référence 100 ans est à préciser.

L'approche utilisée ensuite pour l'évaluation de l'aléa de référence est de type expert. Cette analyse est basée sur des observations in-situ et en fonction des documents d'archives et de l'inventaires des phénomènes historiques.

L'évaluation de l'aléa chute de blocs nécessite de définir 3 indices qualitatifs pour chaque scénario de référence identifié par zone homogène :

- Indice intensité (Quoi ?) : définit *ce qui peut être mis en mouvement*. C'est la quantité de roche, exprimée en volume, qui peut être déstabilisée et mise en mouvement. Les volumes potentiellement mobilisables (définis après fragmentation en cours de propagation de la masse au départ) conditionnent directement l'intensité attendue des phénomènes, qualifiée par un **indice d'intensité.** Cette intensité est associée à l'endommagement potentiel des enjeux engendré par leur atteinte. Le niveau d'intensité du phénomène est défini à partir de la méthode MEZAP (Illustration 9).

Indices d'intensité	*Description*	*Potentiels de dommages*
Faible	Le volume unitaire pouvant se propager est inférieur à 0,25 m³	Pas de dommage au gros œuvre, peu ou pas de dommages aux éléments de façade.
Modérée	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 0,25 m³ mais inférieur à 1 m³	Dommage au gros œuvre sans ruine. Intégrité structurelle sollicitée.
Elevée	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 1 m³ mais inférieur à 10m³	Dommage important au gros œuvre. Ruine probable. Intégrité structurelle remise en cause.
Très élevée	Le volume unitaire pouvant se propager dépasse 10 m³	Destruction du gros œuvre. Ruine certaine. Perte de toute intégrité structurelle

- *Illustration 9 - Indices d'intensité définis par la MEZAP (source : MEZAP)*

Dans le cadre de ce projet, au regard des nombreux départs potentiels de pierres inferieurs à 10 litres, la méthode MEZAP a été adaptée au contexte locale et une nouvelle classe d'intensité « très faible » a été ajouté pour les volumes unitaires inférieurs à 10L.

De même, compte tenu de la possibilité d'éboulement de quelques m³, il est considéré non pas les volumes unitaires mais les volumes totaux (au moins dans le début de propagation) comme représentatifs de l'intensité du phénomène. En effet, même si la fragmentation isole des blocs unitaires de quelques litres, l'éboulement de quelques m³ en zone proche a un potentiel de dommage conséquent que l'on apparentera à un bloc isolé de même volume.

- Indice d'activité (Quand ?): définit qualitativement *la fréquence* avec laquelle ce ou ces volumes de roches se mettent en mouvement. En plus de l'expertise terrain (traces de départ visibles et nombre des blocs observé dans la pente), l'évaluation de ce paramètre peut également être appréciée par les observations faites dans des contextes similaires ou s'appuyer sur des observations historiques lorsqu'elles existent. Trois classes d'indice d'activité sont définies pour cette étude en se basant sur les recommandations du MEZAP (Illustration 29).

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

- *Illustration 10 - Indices d'activité définis par la MEZAP (source : MEZAP)*

- Probabilité d'atteinte (Où ?) »: définit la propagation estimée des éléments rocheux en versant. Cette analyse est basée sur les retours d'expérience d'évènements passés et sur des modélisations plus ou moins complexes, validées ou corrigées par la connaissance du terrain à dire d'expert. Selon les cas, des chemins probables des trajectoires de chutes de blocs sont définis (calculs déterministes en 2D ou 3D de trajectographie intégrant les volumes et formes des éléments rocheux, la nature des sols soumis à impacts, les vitesses de

propagation …) ou des enveloppes globales résultant d'analyses empiriques. Le résultat permet de définir **des probabilités d'atteinte** de blocs en tout point du territoire.

Les indices sont déterminés sur la base de relevés géotechniques visuels des corniches (fracturation, altération, etc.). Ces données sont uniquement qualitatives, aucun essai de laboratoire ou in situ n'est réalisé dans le cadre de ce projet. Les indices d'intensité et d'activité sont évalués « à dire d'expert » et peuvent être confirmés par les informations recueillies lors de l'étude phénoménologique. Chaque site fait l'objet de visites de terrain afin d'identifier les instabilités visibles en paroi, et de collecter les informations nécessaires à l'évaluation des indices.

A partir de l'indice d'activité et de la probabilité d'atteinte du scénario de référence considéré, la probabilité d'occurrence est évaluée d'après la méthode MEZAP (Illustration 11).

		Probabilité d'atteinte			
		Faible	Moyenne	Forte	Très Forte
Indice d'activité	Faible	Faible	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Moyen	Modérée	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Fort	Modérée	Elevée	Elevée	Très Elevée

Illustration 11 – Matrice de probabilité d'occurrence (source : document MEZAP)

Enfin, l'aléa chute de blocs est défini toujours selon la méthode MEZAP en croisant la probabilité d'occurrence et l'indice d'intensité du scénario de référence considéré (Illustration 12).

		Intensité				
		V≤0,25 m³	0,25<V≤1 m³	1<V≤10 m³	V>10 m³	Phénomène de grande ampleur (écoulement turbulent)
		Faible	Modérée	Elevée	Très élevée	
Probabilité d'occurrence	Faible	Faible	Modéré	Elevé	Elevé	
	Modérée	Faible	Modéré	Elevé	Elevé	Cartographie avec un niveau d'aléa unique: très élevé (Cf. 3.1)
	Elevée	Modéré	Elevé	Elevé	Très élevé	
	Très élevée	Elevé	Elevé	Très élevé	Très élevé	

Illustration 12 – Matrice d'évaluation de l'aléa (source : document MEZAP)

Cependant; compte-tenu de l'ajout d'une classe d'intensité « très faible », la matrice de croisement MEZAP pour l'évaluation de l'aléa a été adaptée au contexte local (Illustration 13).

		Intensité				
		Très faible	Faible	Modérée	Elevée	Très élevée
Probabilité d'occurrence	Faible	Très faible	Faible	Modéré	Elevé	Elevé
	Modérée	Faible	Faible	Modéré	Elevé	Elevé
	Élevée	Faible	Modéré	Elevé	Elevé	Très élevé
	Très élevée	Faible	Elevé	Elevé	Très élevé	Très élevé

Illustration 13 – Matrice d'évaluation de l'aléa adapté au contexte local (source : modifié d'après document MEZAP)

Il est important de noter que des dommages aux personnes peuvent être engagés dès la première classe d'aléa « très faible ». En effet les classes de l'indice d'intensité, basées sur le volume unitaire, sont définies uniquement en fonction des potentiels de dommages au bâtiment, la carte d'aléa étant destinée à l'aménagement du territoire.

En termes pratiques, l'évaluation de l'aléa chute de blocs est évalué en 5 étapes :

- Etape n°1 : Reconnaissance préliminaire des zones de départ et validation terrain ;
- Etape n°2 : Définition du(des) scénario(s) de référence pour chaque zone de départ homogène ;
- Etape n°3 : Evaluation de la propagation (probabilité d'atteinte) ;
- Etape n°4 : Évaluation et cartographie de l'aléa chute de blocs.

5.2. LIMITE DE LA CARTE ET ECHELLE DE RESTITUTION

La cartographie des aléas est basée sur l'analyse des sources documentaires disponibles (méthodologies, connaissances des mécanismes…) à la date de sa réalisation et sur l'exploitation des évènements historiques connus. L'étude est donc le reflet de la connaissance au moment de sa réalisation. La prise en compte ultérieure de données non connues ou non disponibles pendant cette période (méthodologies, investigations, phénomènes, archives, témoignages, etc.) peut conduire à une révision des critères d'analyse de l'aléa et donc de son expression cartographique.

Les cartes d'aléa sont restituées sur les fonds cadastraux à l'échelle du 1/5 000ème, comme stipulé au cahier des charges du programme. La précision des limites des zones cartographiées au 1/5 000ème est de 5 m. Théoriquement, toute opération de zoom sur une carte au 1/5 000ème pour en agrandir l'échelle est à proscrire car ne reflétant que partiellement la réalité. **Ceci étant, compte tenu de la précision des levés in-situ et de la qualité du MNT (donnée métrique), les planches cartographiques insérées dans le rapport sont fournies à une échelle de l'ordre du 1/1 000ème.**

Pour rappel, la carte établie est une cartographie de l'aléa chute de blocs lié aux escarpements rocheux d'origine naturelle, à l'exclusion des chutes de blocs provenant de murs délabrés de bâtiments. La cartographie de l'aléa ne concerne que les zones d'escarpements identifiées et repérées sur le terrain ou à partir des données des MNT et des cartes IGN. Le zonage est donc ponctuel à l'échelle communale.

5.3. ETAPE N°1 – RECONNAISSANCE PRELIMINAIRE DES ZONES DE DEPART ET VALIDATION TERRAIN

La reconnaissance et l'inventaire des zones de départs potentielles (corniches et barres rocheuses) lors des campagnes terrain sont difficilement réalisables et rendus compliqués par la végétation et les bâtiments existants. A ce titre, une analyse préliminaire est réalisée par l'analyse couplée du modèle Numérique de terrain (MNT), du scan 25 de l'IGN et des orthophotographies couvrant le secteur d'étude afin de cibler les secteurs à investiguer lors des campagnes de reconnaissances terrain.

Les corniches rocheuses naturelles présentent des pentes fortes, généralement beaucoup plus élevées que les pentes du versant environnant, la définition d'un seuil de pente à partir duquel la présence de corniche rocheuse est probable est alors possible. Cependant, l'estimation des pentes pour un secteur donné à partir d'un MNT dépend de sa résolution : plus la résolution est basse et plus l'estimation des pentes est lissée et moins les détails des objets topographiques comme les corniches naturelles sont représentés. A partir de constat, des travaux ont été menées (référence) pour estimer empiriquement la valeur d'un seuil de pente à partir duquel la présence de corniche rocheuse est probable en fonction de la résolution de MNT (avec RES résolution du MNT):

$$\alpha = 55° . RES^{-0,075}$$

Ainsi pour le MNT au pas de 1 m disponible, une pente supérieure ou égale à 55° est considérée comme zone de départ potentielle. En complément, cette approche est croisée et ponctuellement enrichie avec la digitalisation des barres rocheuses apparentes sur l'orthophotographie et/ou le scan 25 afin de produire une carte des zones potentielles de départs la plus exhaustive possible. Afin de maximiser la reconnaissance préliminaire des zones potentielles de départ, un seuil de pente à 50° a également été utilisé (Illustration 14 et Illustration 15).

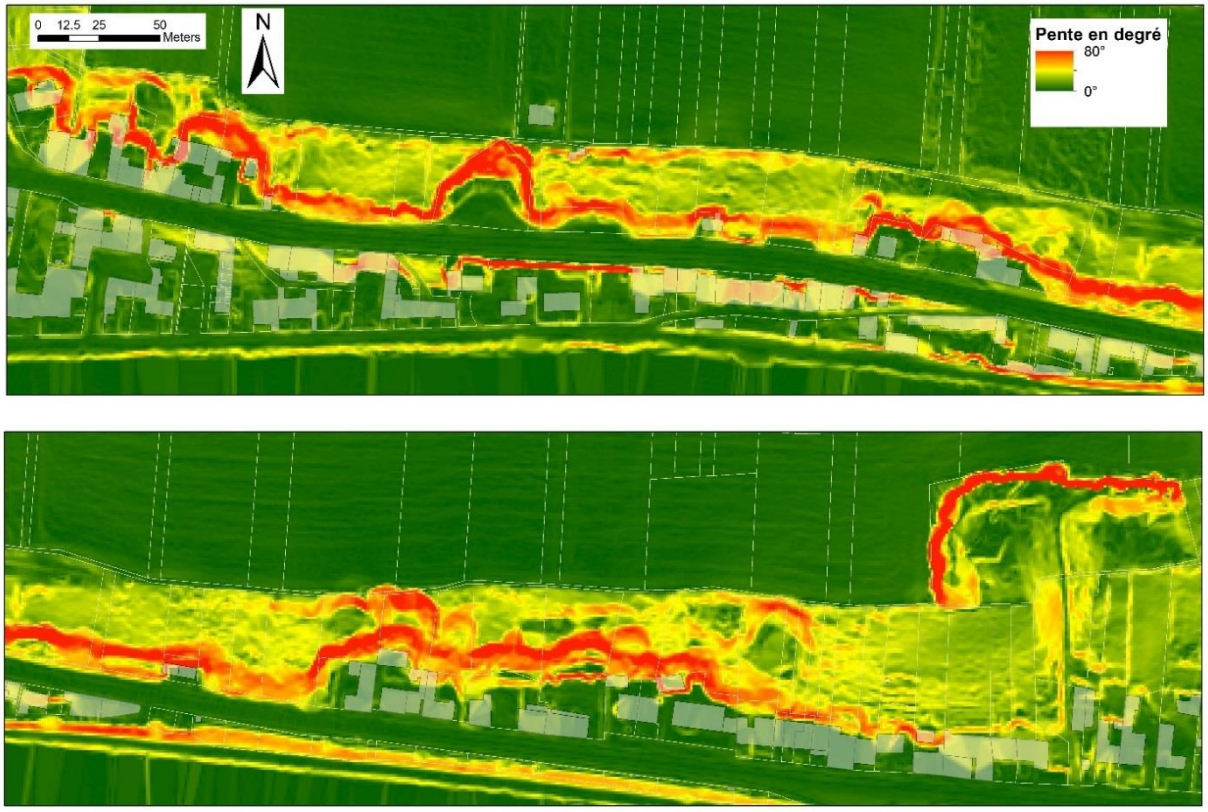


Illustration 14 – Calcul des pentes à partir du MNT IGN RGE ALTI 1m

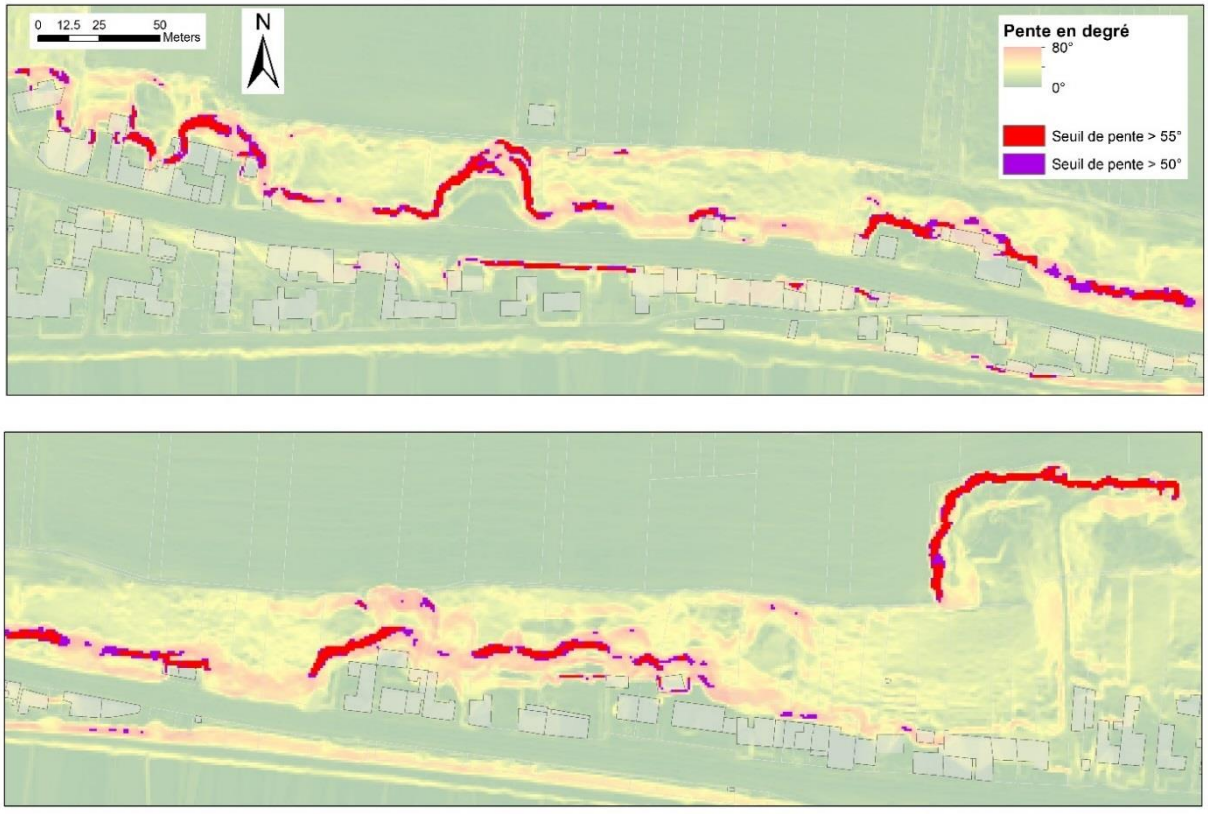


Illustration 15 – Inventaire des zones de départ avec la définition d'une valeur de seuil de pente de 50° et 55°

Cette reconnaissance préliminaire détecte de nombreux faux positifs à l'instar des bordures de bâtiment, des talus anthropiques et des murs et doit être validée par une reconnaissance terrain (Illustration 16).

Le résultat intègre outre la morphologie, la lithologie des terrains présent et de fait la « capacité » à représenter une zone source (zone de départ).

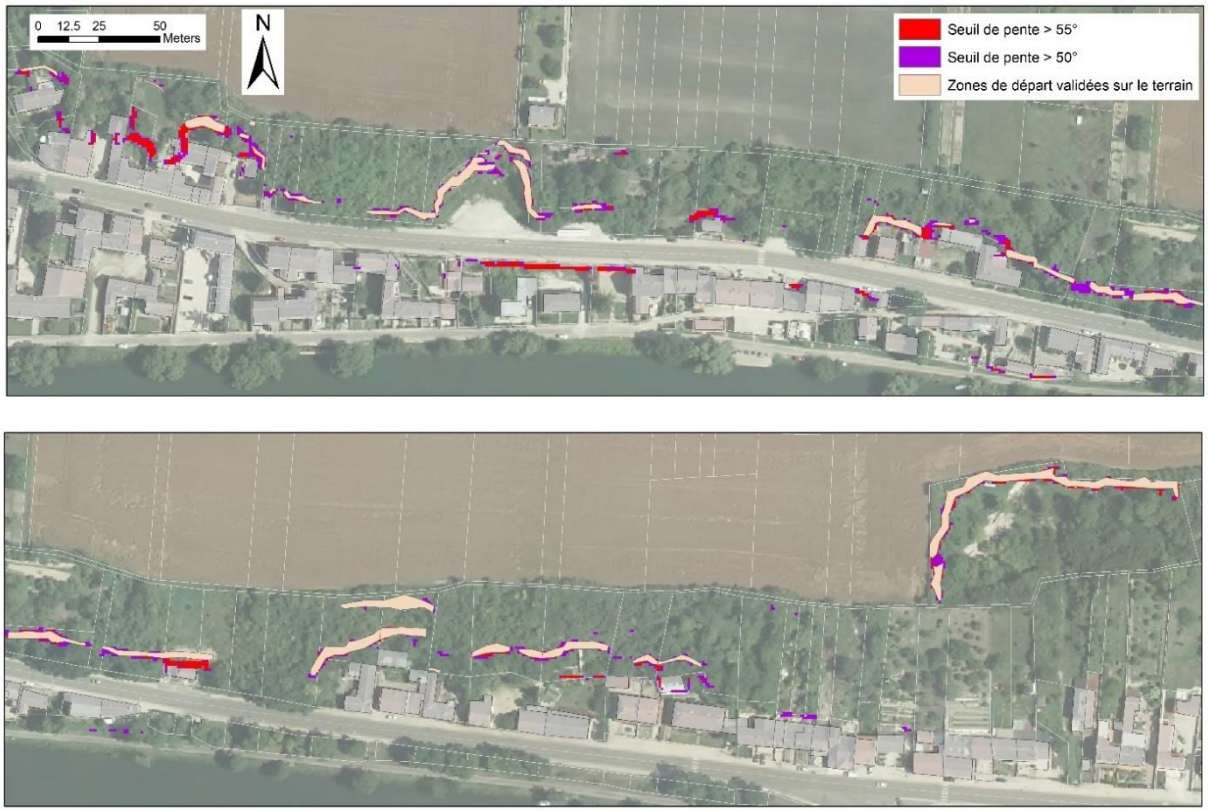


Illustration 16 – Inventaire des zones de départ après validation par reconnaissance sur le terrain

La problématique de remobilisation éventuelle des blocs unitaires partiellement enveloppés dans de la terre et/ou qui seraient posés à la surface de pentes raides n'a pas été prise en compte pour la cartographie des zones de départ potentiel (sauf cas exceptionnel) et donc pour l'aléa chute de blocs.

5.4. ETAPE N°2 – DEFINITION DU(DES) SCENARIO(S) DE REFERENCE POUR CHAQUE ZONE DE DEPART HOMOGENE

Les investigations de terrain du 26 au 30 mars 2018 et du 18 au 19 octobre 2018 ont permis de définir 20 zones homogènes de départ numérotées de E1 à E20 (Illustration 18).

Pour chaque zone homogène, les éléments suivants ont été caractérisés :

- Description lithologique/structurale de la corniche rocheuse (annexe 1 et 2) ;
- Indice d'activité et indice d'intensité et définition d'un ou de scénario (s) de référence (annexe 1, résumé dans l'Illustration 17) ;
- Description des blocs éboulés dans la zone de propagation (annexe 3) ;
- Recueil de témoignages si présence des propriétaires (annexe 1).

L’indice d’intensité (Illustration 9) et d’activité (Illustration 10) caractérisés pour chaque zone homogène (résumé dans l’Illustration 17) sont respectivement cartographiés dans l’Illustration 19 et l’Illustration 20.

Code	Indice d'intensité (Illustration 9)	Indice d'activité (Illustration 10)
E1	Très faible	Moyen
E2	Très faible	Fort
E3	Faible à Modéré	Moyen
E4	Très faible Elevé	Fort Faible
E5	Faible	Fort
E6	Très faible Modéré	Fort Moyen à Faible
E7	Très faible Faible	Fort Moyen
E8	Très faible à Faible	Fort
E9	Très faible Faible	Elevé Moyen
E10	Très faible Modéré	Fort Moyen
E11	Très faible Modéré	Fort Moyen à Fort
E12	Modéré	Moyen à Fort
E13	Très faible Modéré	Fort Moyen
E14	Faible Elevée	Moyen Faible
E15	Très faible	Fort
E16	Modéré	Fort
E17	Modéré	Moyen à Fort
E18	Faible	Fort
E19	Faible	Moyen
E20	Modéré	Fort

Illustration 17 – Scénario (s) de référence pour chaque zone homogène de départ (détaillé en Annexe 1)

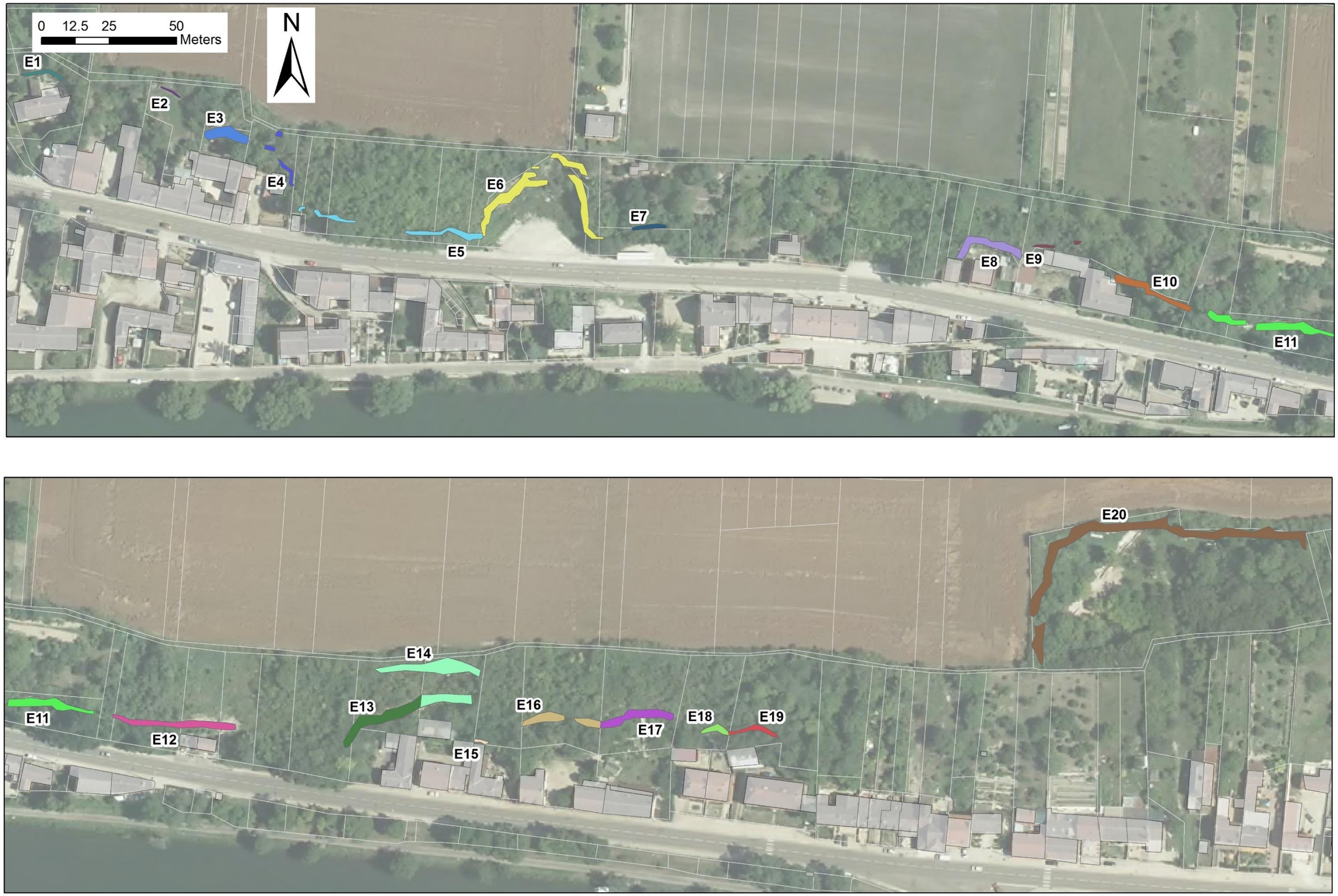


Illustration 18 – Inventaire des zones homogènes de départ

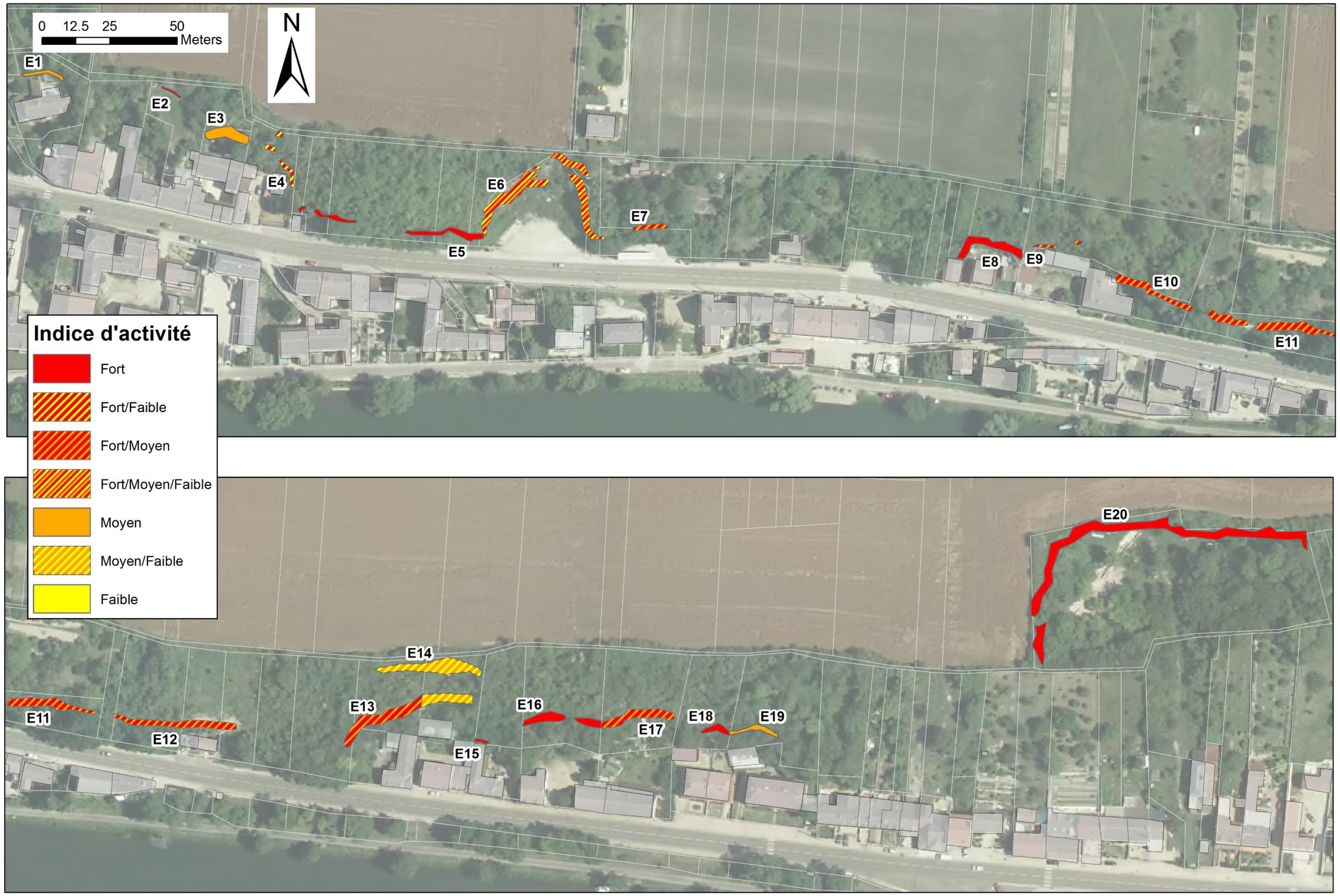


Illustration 19 – Cartographie de l'indice d'activité pour chaque zone homogène de départ (les motifs hachurés correspondent à plusieurs scénarios de référence)

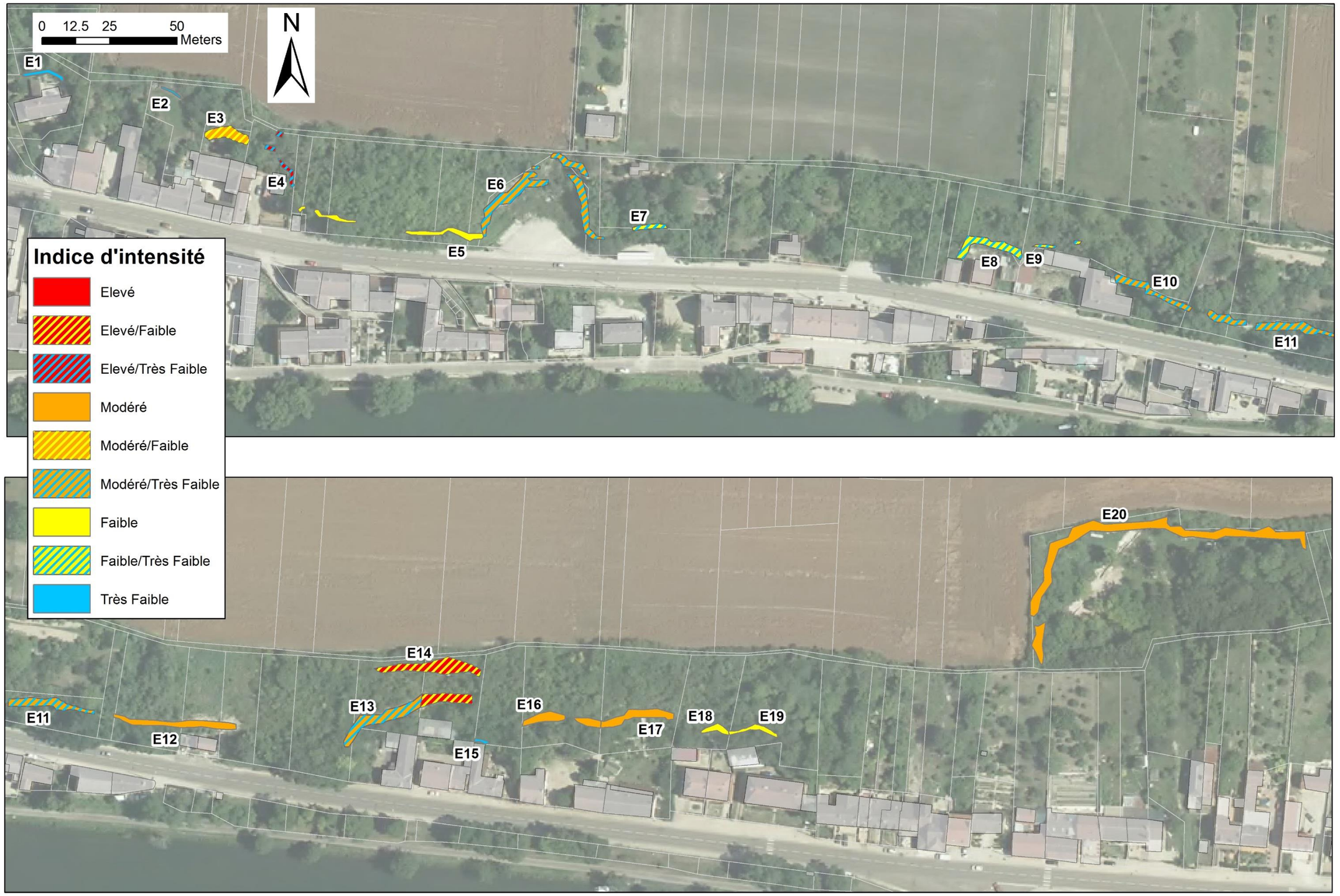


Illustration 20 – Cartographie de l’indice d’intensité pour chaque zone homogène de départ (les motifs hachurés correspondent à plusieurs scénarios de référence)

5.5. ETAPE N°3 - EVALUATION DE LA PROPAGATION (PROBABILITE D'ATTEINTE)

La probabilité d'atteinte caractérise **la propagation des éléments rocheux en versant**. Le volume rocheux du scenario peut se propager plus ou moins loin en fonction :

- des caractéristiques du versant étudié (pente, présence d'obstacles, nature du sol...) ;
- des caractéristiques des blocs (volume, forme…) ;
- du mécanisme de rupture.

La détermination de la probabilité d'atteinte est basée sur les retours d'expérience d'évènements passés et sur des modélisations plus ou moins complexes, validées ou « corrigées » par la connaissance terrain. Selon les cas on définit les chemins probables des trajectoires de chutes de blocs (calculs déterministes en 2D ou 3D de trajectographie intégrant les volumes et forme des éléments rocheux, la nature des sols soumis à impacts, les vitesses de propagation …) ou des enveloppes globales résultant d'analyses empiriques. Le résultat permet de définir des probabilités d'atteinte de blocs en tout point du territoire.

Les modèles déterministes à base physique sont complexes à mettre en œuvre et nécessitent d'être alimentés par de nombreuses données quantitatives. Cependant, lors de la réalisation de cartographie d'aléa, ces données sont rarement disponibles et ces outils sont réservés à des espaces restreints présentant des enjeux particuliers (guide général PPRn).

C'est pourquoi, pour cette étude, l'évaluation de la propagation de chute de blocs en versant est basée sur la **méthode empirique dite de « la ligne d'énergie »** (voir section suivante).

Il est important de préciser que la végétation (forêt, arbuste…) et que les ouvrages existants (bâtiment, mur, parade antichute de blocs…) ne sont pas considérés dans l'évaluation de l'enveloppe de propagation et de l'estimation de la probabilité. Ces éléments sont donc considérés comme transparents à la propagation des évènements de chute de blocs.

5.5.1. La méthode de la « ligne d'énergie »

La méthode de la « ligne d'énergie » est une méthode empirique développée par HEIM A. en 1932 qui permet d'estimer à partir d'une zone de départ la localisation du point d'arrêt maximal probable d'un projectile. Cette méthode empirique, qui trouve son fondement dans les phénomènes de grandes ampleurs, montre des résultats probants dans le cas de chute de blocs.

Cette méthode repose sur un principe simple et trivial : un bloc ne peut progresser sur une pente que si celle-ci est suffisamment raide :

- Si la pente est supérieure à un angle limite β, il accélère ;
- Si elle est inférieure à β, il ralentit.

En partant de ce constat, un bloc peut aller d'une zone de départ A jusqu'à B, point d'intersection du relief avec une ligne imaginaire partant de la zone de départ et formant un angle β avec l'horizontale (Illustration 21). Cette ligne est appelée la ligne d'énergie et l'angle β, l'angle de la ligne d'énergie.

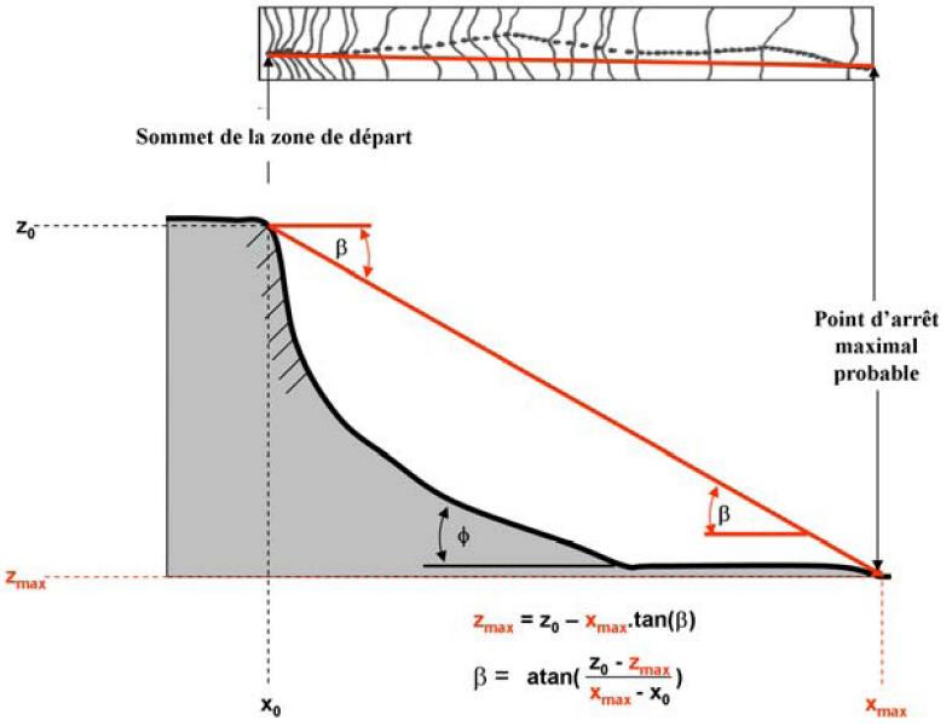


Illustration 21 - Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie et de la formule pour déterminer l'angle β (Berger, 2009b)

La méthode des lignes d'énergie permet de définir l'extension prévisible des emprises de propagation par le choix de valeurs d'angles d'énergie en fonction notamment de la morphologie des sites étudiés.

La délimitation des enveloppes de propagation s'appuie sur les résultats du logiciel CONEFALL©, sur l'application de la méthode de la ligne d'énergie sur des profils topographiques ponctuels et sur les reconnaissances de terrain.

Le logiciel CONEFALL© permet de tracer le contour des enveloppes de propagation en calculant l'intersection des lignes d'énergie avec la topographie. En introduisant une dispersion latérale des propagations des phénomènes de chutes de blocs, le logiciel fournit une représentation en 3D des enveloppes de propagation sous forme de cône de propagation (Illustration 22, méthode aussi dite des cônes).

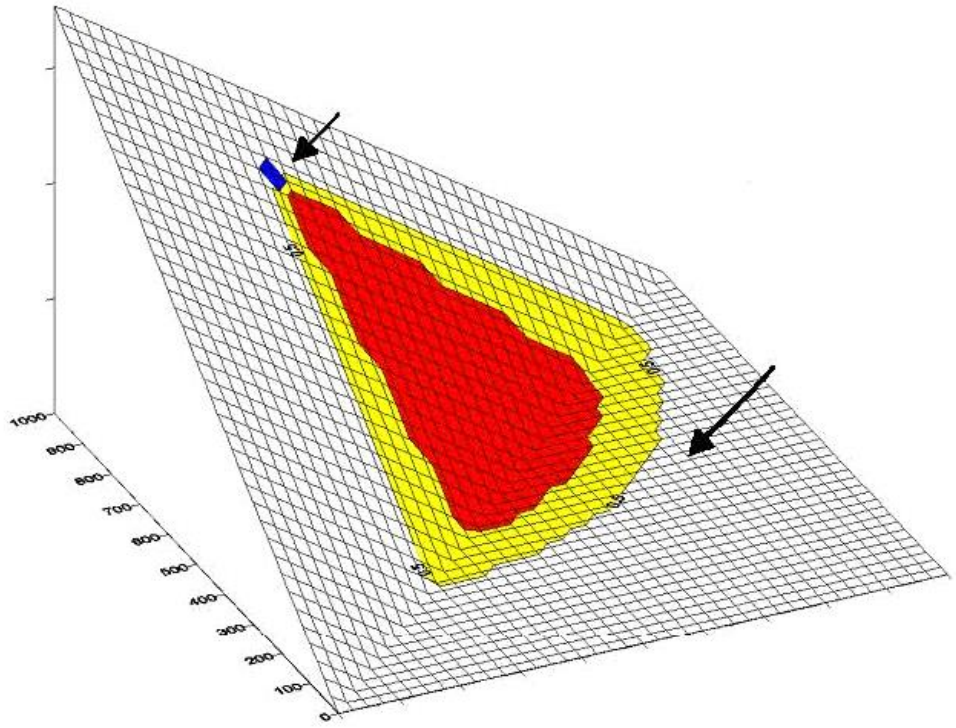


Illustration 22 - Représentation schématique de la méthode de cônes (d'après Jaboyedoff et Labiouse, 2011)

La méthode des lignes d'énergie permet d'obtenir une bonne estimation des enveloppes de propagation en cas de chute de blocs, cependant elle présente quelques limites :

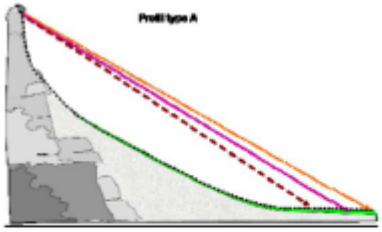
- La méthode fait l'hypothèse que l'angle d'énergie est constant tout le long du trajet du bloc, ce qui revient à faire l'hypothèse que la perte d'énergie se fait de manière constante au cours de la propagation. Or, dans la réalité, la perte d'énergie varie au cours de la propagation en fonction du relief, de la lithologie des terrains de réception, etc.
- La méthode est uniquement basée sur le profil topographique du versant et ne prend pas strictement en compte les caractéristiques des blocs (volume, forme…), le mécanisme de rupture ainsi que la nature du sol au niveau de la zone de propagation. Dans l'absolu, pour des scénarios de rupture différents on pourra être amené à proposer des valeurs d'angles variables, dans un même contexte géomorphologique. La précision de la probabilité d'atteinte est par conséquent conditionnée par la résolution du MNT utilisé.

Par conséquent, pour la cartographie de l'aléa chute de blocs, la probabilité d'atteinte n'est pas considérée au sens mathématique/physique mais comme un indice qualitatif de possibilité d'atteinte d'un évènement.

La difficulté de la mise œuvre de la méthode de ligne d'énergie réside dans le choix d'une valeur d'angle pour une probabilité d'atteinte donnée. Pour cette étude, le choix des valeurs d'angle retenus pour qualifier la propagation est évalué en fonction :

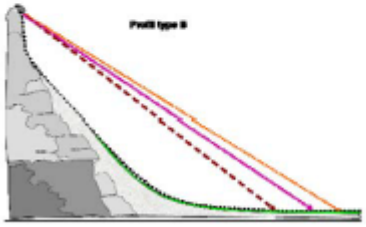
- De l'expertise du site (campagne terrain, phénomènes historiques, répartition des blocs éboulés, similarité avec d'autres cas d'études, dire d'expert…) ;
- des plages indicatives de valeur d'angle proposées par le MEZAP (à paraitre) en fonction des principaux types de profil topographique des versants (Illustration 23) ;

- de l'analyse probabiliste et de la relation statistique mise en évidence entre l'aire normalisé d'un profil de pente de versant et la valeur de l'angle de la méthode de la ligne d'énergie pour une probabilité d'atteinte donnée sur la base de 2758 évènements de chute de blocs (Illustration 24, Rapport BRGM RP-66589-FR).



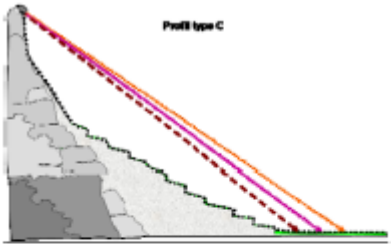
A) Description : Profil de pente régulière en pied de zone de départ.

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



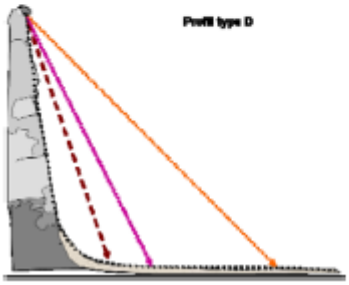
B) Description : Profil de pente régulière en pied de zone de départ avec replat marqué en fin de trajectoire.

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



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

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



D) Description : Falaise et replat marqué

Qualification des niveaux de probabilités : répartition statistique des blocs très resserrée, valeurs d'angle très fortes. A titre indicatif il n'est pas impossible de retenir des valeurs supérieures à 40°)

Illustration 23 - Exemples de modulation (à titre indicatif) apportées sur les intervalles d'angles de la méthode de la oigne d'énergie en fonction des principaux types de profil topographique des versants (orange/rose/rouge pointillé : niveaux de probabilité d'atteinte forte / moyenne /faible) (source MEZAP, à paraitre)

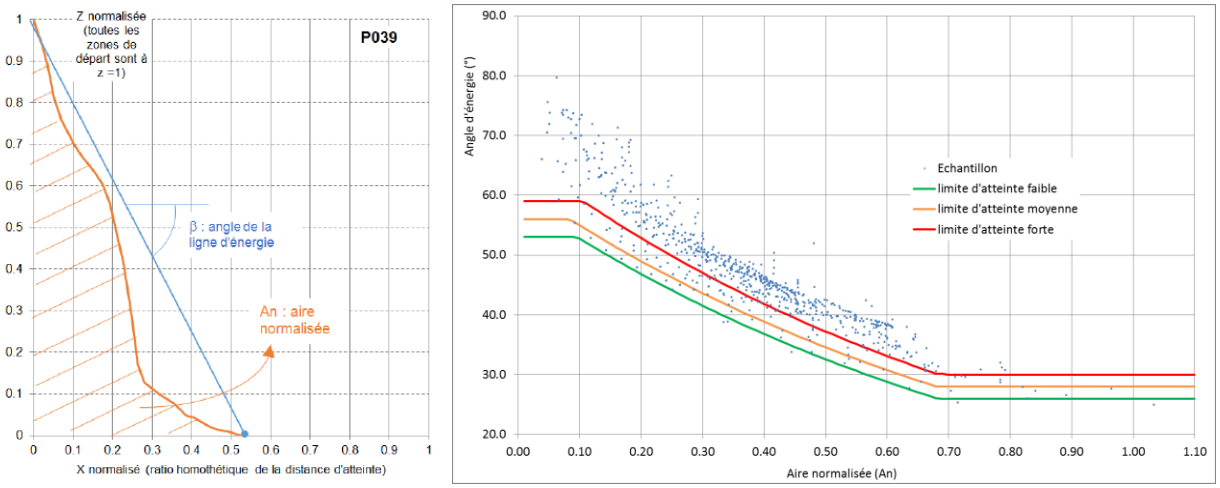


Illustration 24 - Seuils de valeurs d'angle de méthode de la ligne d'énergie en fonction de l'aire normalisée d'un versant (rapport BRGM RP-66589-FR)

Dans le cadre de l'étude de Laroche-Saint-Cydroine, 24 profils topographiques ont été tracés à partir du MNT de l'IGN au pas de 1 m (Illustration 25).

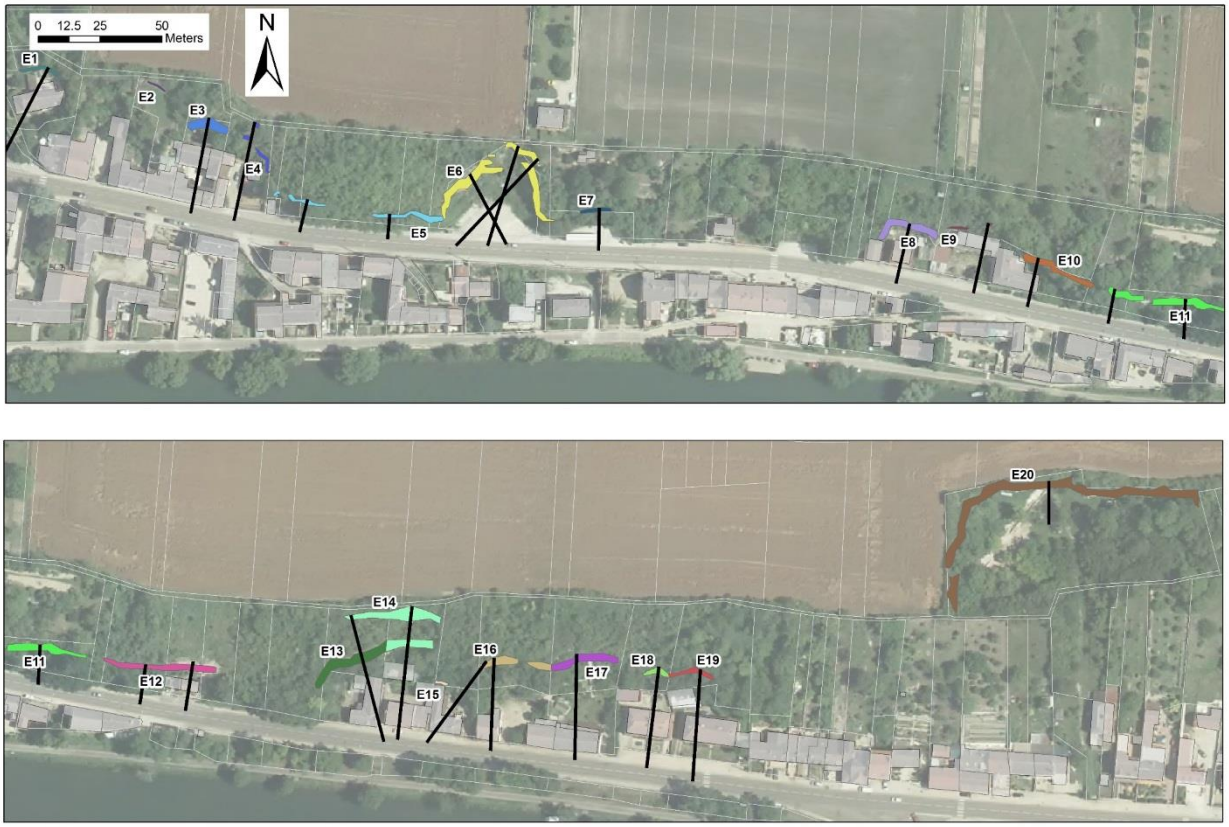


Illustration 25 - Profils topographiques réalisés dans le cadre de l'étude de Laroche Saint-Cydroine

Pour chaque profil, les plages indicatives de valeur d'angle proposées par le MEZAP et les valeurs d'angle fournies par le modèle statistique et probabiliste du rapport RP-66589-FR ont été évaluées permettant après l'expertise du site de définir les valeurs d'angle pour l'estimation de la probabilité d'atteinte (Illustration 26). La définition des valeurs d'angle par profils permet de

caractériser les enveloppes de propagation par site d'étude en extrapolant les propagations entre les profils topographiques à l'aide du logiciel CONEFALL.

Affleurement	Profil topographique	Statistique (RP-66589-FR, 2017)			MEZAP		Valeur d'angle retenue après expertise terrain		
		Faible	Modéré	Elevé	Type pente	Plages indicatives	Faible	Modéré	Elevé
E1	E1	26	37	39	D	Proche ou sup. 40°	33	35	37
E2	E2	Pas de profil			D	Proche ou sup. 40°	40	42	44
E3	E3_niveau2	41	44	47	D	Proche ou sup. 40°	42	45	48
	E3_niveau3	42	45	47	D	Proche ou sup. 40°			
E4	E4_haut	27	30	32	B/D	31° à sup. 40°	32	35	37
	E4_bas	27	30	41	B/D	31° à sup. 40°	32	35	46
E5	E5_O	35	38	40	B/D	31° à sup. 40°	30	33	35
	E5_E	43	46	50	D	Proche ou sup. 40°	36	39	43
E6	E6_1_nv2	49	53	56	D	Proche ou sup. 40°	49	53	56
	E6_1_nv7	41	45	48	D	Proche ou sup. 40°	39	43	46
	E6_2_nv6	36	39	41	B/C	30° à 38°	36	39	42
	E6_3_nv6	38	42	44	B/C	30° à 38°	38	42	44
	E6_E	Pas de profil			B/D	31° à sup. 40°	36	40	43
E7	E7	38	41	44	D	Proche ou sup. 40°	38	41	44
E8	E8_nv2	53	56	59	D	Proche ou sup. 40°	48	52	56
	E8_nv3	53	56	59	D	Proche ou sup. 40°			
E9	E9	34	36	38	D	Proche ou sup. 40°	34	36	38
E10	E10	47	51	55	D	Proche ou sup. 40°	46	51	55
E11	E11_E_nv3	39	45	48	B	31° à 38°	39	45	48
	E11_E_nv4	37	40	46			37	40	46
	E11_O	38	41	45	B	31° à 38°	38	41	45
E12	E12_E	50	53	56	D	Proche ou sup. 40°	45	48	52
	E12_O	32	35	37	B	31° à 38°	32	35	38
E13	E13_nv3	44	47	51	B/D	31° à sup. 40°	38	41	44
	E13_nv4	46	49	52			40	43	46
E14	E14_profilE13	38	41	44	B	31° à 38°	36	40	44
	E14_bas	32	36	38	D	Proche ou sup. 40°	28	32	34
	E14_haut	49	53	57	D	Proche ou sup. 40°	40	45	50
E15	E15	31	34	48	B	31° à 38°	30	33	47
E16	E16	28	36	39	B	31° à 38°	32	35	38
	Profil manuel P1	29	32	34	B	31° à 38°			
	Profil manuel P2	33	36	38	B	31° à 38°			
	Profil manuel P3	38	41	43	B	31° à 38°			
E17	E17	34	37	42	B/C	30° à 38°	34	37	42
E18	E18	37	39	42	B	31° à 38°	37	39	42
E19	E19	26	28	36	B/D	31° à sup. 40°	28	30	34
E20	E20	52	55	59	D	Proche ou sup. 40°	45	50	55

Illustration 26 - Valeur d'angle pour chaque profil topographique selon les plages indicatives MEZAP, les travaux statistiques du BRGM (RP-66589-FR) et l'expertise terrain

5.6. CAS PARTICULIER DU PHENOMENE D'EBOULEMENT EN MASSE

L'éventualité d'un éboulement en masse sur la commune de Laroche-Saint-Cydroine a été précisée. Pour chaque zone homogène de départ, l'éventualité qu'un phénomène similaire au phénomène historique numéro 2 a été évaluée qualitativement à dire d'expert du moins probable au plus probable: Peu probable – Possible – Probable – (annexe 1 et Illustration 17).

Cependant, les indices sur le terrain permettant d'évaluer l'éventualité d'un phénomène d'écroulement sont généralement masqués par les colluvions, la végétation et l'altération marquée des formations géologiques sur le secteur de la rue Emile Tabarant. Compte-tenu des difficultés d'observations d'indices clairs sur le terrain, l'évaluation s'est basée sur l'analyse de contextes géologiques/géomorphologiques similaires au site où le phénomène historique 2 s'est produit.

Le phénomène historique 2 *(« L'événement qui s'est produit le 24 mars 2013 est un mouvement de terrain rapide de type éboulement en masse qui a provoqué la ruine de la maison d'habitation située en contrebas. Le déclenchement est à mettre en perspective avec les conditions météorologiques exceptionnelles de l'hiver 2012-2013 particulièrement arrosé et entrecoupé de périodes de gel-dégel.* », Illustration 4) indique en effet que le contexte géologique de la rue Emile Tabarant est propice à ce type d' évènement.

Le phénomène historique 2 s'est produit dans un contexte particulier où le versant a été décaissé jusqu'au substratum rocheux afin de construire une habitation en pied de versant, impliquant la création d'une corniche de craie altérée d'une dizaine de mètres de hauteur. Ces travaux de terrassement ont sans aucun doute provoqué une modification des forces en présences et aggravé l'instabilité gravitaire.

Compte-tenu de ces observations, l'éventualité d'un éboulement en masse a été qualifié de possible à probable sur les corniches au contexte similaire (craie altérée, corniche de hauteur significative (>5m environ) sans colluvions pour retenir les masses potentiellement instables…)

Sur les autres secteurs où les corniches sont de faibles ampleurs et les versants sont pris dans les colluvions, l'éventualité d'un éboulement en masse a été évaluée comme peu probable et n'a donc pas été pris en compte.

5.6.1. Indice d'activité

L'indice d'activité a été évaluée selon le degré de probabilité d'un phénomène d'éboulement en masse décrit dans le paragraphe précèdent (Illustration 27 et Illustration 28) :

- Peu probable : > 100 ans – nul (pour la période de temps considéré de 100 ans)
- Possible : 1/100 ans - faible
- Probable : 1/10 ans à 1/100 ans –modéré

Code	Indice d'activité d'un évènement similaire à phénomène historique 2
E1	Nul si colluvions restent en place
E2	Nul
E3	Faible
E4	Nul si colluvions restent en place
E5	Nul si colluvions restent en place
E6	Faible
	Modéré au niveau des galeries
E7	Faible
E8	Modéré
E9	Faible selon état du mur amont de la grange/garage
E10	Nul si réfection du mur de soutènement sinon Faible
E11	Faible
E12	Nul si colluvions restent en place secteur ouest
	Modéré secteur est
E13	Modéré
E14	Modéré
E15	Nul
E16	Nul
E17	Nul secteur ouest
	Nul si réfection mur de soutènement sinon Faible secteur est
E18	Nul si colluvions restent en place
E19	Nul si colluvions restent en place
E20	Nul

Illustration 27 – Eventualité d'un scénario « éboulement en masse » pour chaque zone homogène

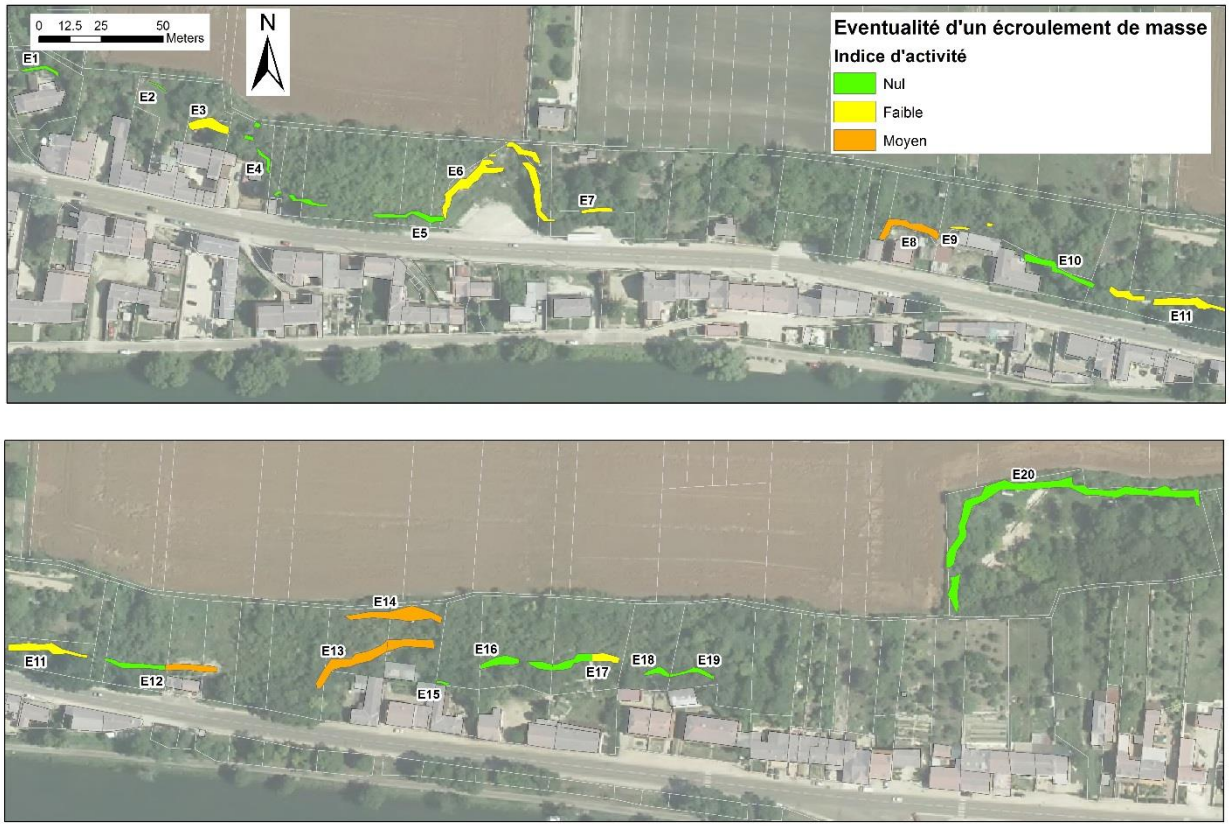


Illustration 28 – Cartographie de l'indice d'activité d'un scénario « éboulement en masse »

5.6.2. Indice d'intensité

Dans le cas d'événements en masse, l'indice d'intensité va dépendre de la propagation :

- en « zone proche » de la paroi, l'événement considéré est l'éboulement en masse qui induit un indice d'intensité élevé voire très élevé engendrant potentiellement des dommages importants au bâti ;
- au-delà de la « zone proche », l'événement considéré correspondra à la zone de propagation de blocs isolés dont l'intensité est liée aux volumes unitaires fragmentés après la chute initiale.

Il est à noter que pour des évènements de grande ampleur, la propagation en « zone proche » peut concerner des emprises importantes du fait de l'étalement des volumes détachés.

5.6.3. Estimation de la propagation des événements de masse

La propagation des événements de masse est évaluée en deux temps (Illustration 29) :

- dans un premier temps, il s'agit d'évaluer les propagations de l'écroulement dans la zone dite « proche », correspondant à des intensités élevées à très élevées (fort pouvoir destructeur). Dans la « zone proche », la masse va s'écrouler et s'étaler en pied de paroi pour former un cône d'éboulis ;
- puis après estimation du cône d'éboulis formé, il s'agit d'évaluer la propagation des blocs isolés pouvant se propager plus loin.

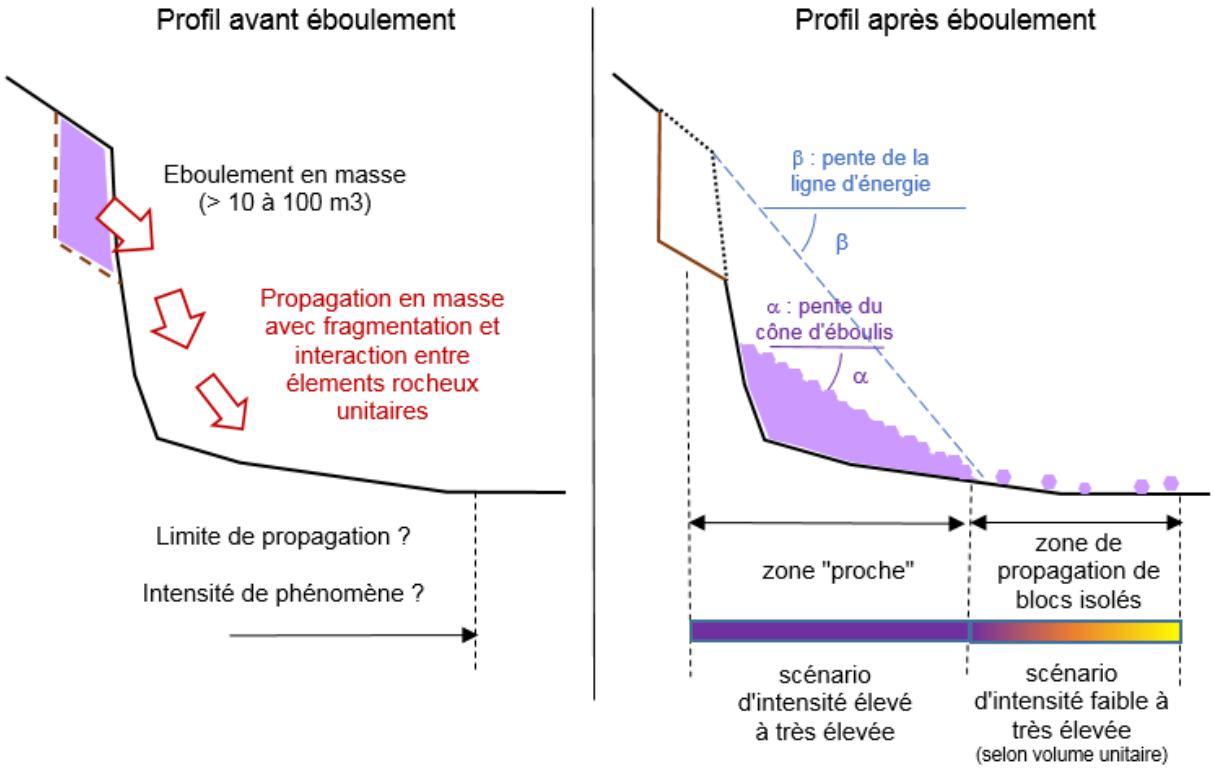


Illustration 29 – Principe d'évaluation des enveloppes de propagation dans le cas d'évenements en masse

L'estimation de la propagation d'éboulement en masse est délicate et source d'incertitude car elle est peu documentée dans la bibliographie pour être appliquée à l'évaluation de la cartographie d'aléa type PPRn. De plus, la propagation de l'évènement de référence « phénomène historique 2 » a été influencée (« minimisée ») par le bâtiment mis en ruine et ne peut être utilisée pour caler l'estimation de la propagation d'évènement similaire sur la rue Emile Tabarant.

Pour Laroche-Saint-Cydroine, la zone de propagation dite « proche » a été évaluée en fonction de la répartition d'un hypothétique cône d'éboulis qui serait produit par un évènement d'éboulement en masse sur la base :

- de l'angle de dépôt du talus (angle α, Illustration 29) qui est l'angle d'équilibre limite, dit également angle de pente naturelle. Cet angle dépend de la nature du matériau foisonné et peut devenir très difficile à évaluer dès lors que les éboulis concernent différents types de matériaux. D'après Didier et Salmon (2004), une relative homogénéité de l'angle de talus naturel est observée entre 30° à 40° en conditions sèches. Cependant ces valeurs peuvent varier significativement en conditions humides à saturées. Pour des matériaux sensibles (marnes, argiles, sable), l'angle de talus peut alors diminuer fortement pour atteindre des valeurs de l'ordre de 15° à 20° (Didier et Salmon, 2004) ;
- du coefficient de foisonnement qui correspond au rapport entre le volume occupé par les éboulis de tailles et de formes variées qui s'entassent de façon désordonnée et le volume initialement occupé par les terrains en place. D'après Didier et Salmon (2004), le retour d'expérience montre que ce coefficient varie de valeurs à peine supérieures à 1 dans le cas de sables ou de sols très peu cohérents et peut atteindre des valeurs proches de 1,5

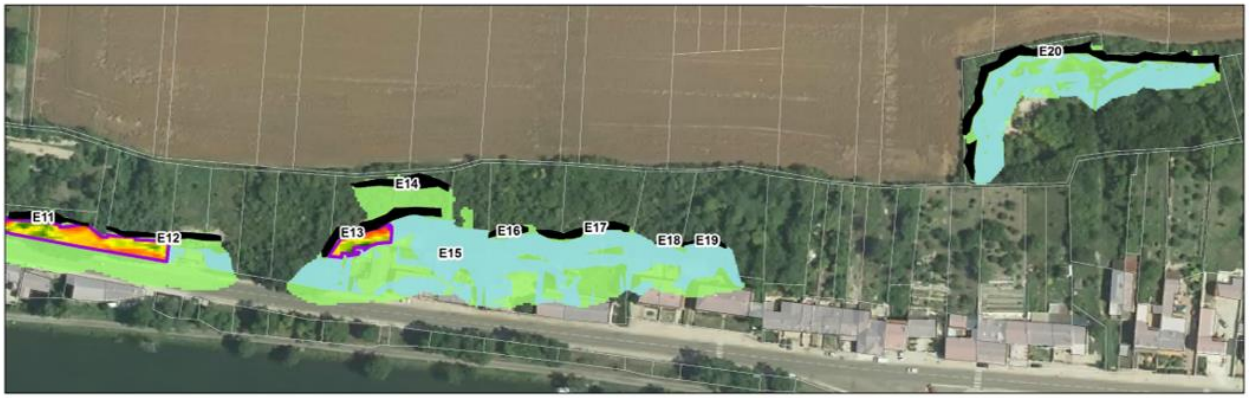
lorsque les roches éboulées sont plutôt résistantes et donnent naissance à des blocs d'assez grandes dimensions. Les conditions hydriques peuvent également jouer un rôle important. Pour la craie, le guide RTR (Recommandation Terrassements Routiers, 1976 - actuellement GTR) indique des coefficients de foisonnement de 1 à 1.5.

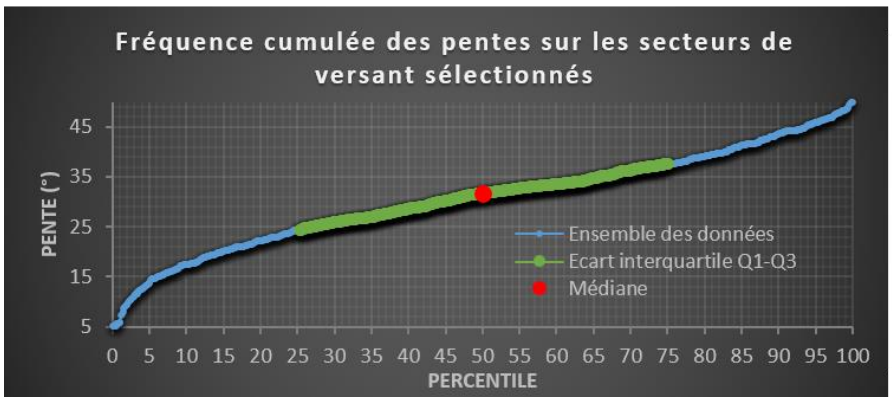
Pour la Laroche-Saint-Cydroine, la valeur de coefficient de foisonnement est fixée à 1,6 (valeur sécuritaire). La détermination de l'angle α influence les atteintes puisqu'elle régit l'épandage de l'éboulement. Afin d'évaluer cette valeur, un retour d'expérience a été mené sur les secteurs de versant éboulés. Sont considérés comme représentatifs de « talus naturels » les versants (Illustration 30) :

- présentant des caractéristiques d'un versant : pente comprise en +5° (en dessous plaine ou aménagement anthropique) et 50° (au-delà de 50° le secteur peut être considéré comme un affleurement, voir section 5.3) ;
- compris dans l'enveloppe de propagation maximale fournie par la méthode de la ligne d'énergie (angle de ligne d'énergie de 26°) ;
- n'ayant pas subi de modification anthropique (déblais, mur de soutènement, aménagement…).

Sur ces secteurs des statistiques de base ont été calculés donnant une valeur de pente moyenne de 31° (Illustration 30). Cependant de nombreux secteurs du versant ont dû être écartés de l'analyse du fait de nombreux aménagements anthropiques de la rue Emile Tabarant (parking, maison en bord de versant, mur de soutènement…). De plus, il est possible que les secteurs sélectionnés comme naturels ne soient pas exempts d'aménagements passés. Par conséquent, compte tenue de la faible surface couverte par les secteurs sélectionnés et par la forte activité anthropique, l'indice de confiance est faible pour l'analyse statistique.

A ce titre, par principe de précaution un angle de 25° est retenu comme angle de pente naturelle pour la propagation de la zone dite « proche » pour cette étude. Un coefficient de foisonnement de 1.6 est retenu d'après la bibliographie pour Laroche-Saint-Cydroine.





	PENTE (°)
MIN	5
QUARTILE 1	24
MOYENNE	31
MEDIANE	32
QUARTILE 3	38
MAX	50

Illustration 30 – Sélection des secteurs de versant représentatifs, fréquences cumulées et calcul statistique des pentes de dépôt (angle α)

A partir de ces valeurs pour chaque affleurement où un éboulement en masse a été qualifié de possible ou probable, une répartition 2D (à partir d'un profil topographique) du potentiel cône d'éboulis a été caractérisée afin d'estimer l'angle de la méthode de la ligne d'énergie (angle β, Illustration 31). Pour cette zone dont le volume est supérieur à 10 m^3, l'indice d'intensité est considéré comme très élevé et par conséquent l'aléa est également très élevé (voir section 5.1), et indépendant de l'activité (sous réserve que le phénomène soit redouté dans une période de 100 ans).

La propagation de volume unitaire associée à un éboulement en masse est déterminée en minorant la valeur β (angle de ligne d'énergie) de 3° afin de prendre en compte d'éventuels

projections de blocs/pierre. L'indice d'intensité retenue correspond au scénario de référence pour la propagation d'un volume unitaire (Illustration 17).

Pour cette zone la probabilité d'atteinte est considérée comme « modérée » qui compte tenue des indices d'activité entre modéré et faible d'un phénomène d'éboulement en masse sur la commune de Laroche-Saint-Cydroine conduit à une probabilité d'occurrence modérée. Par conséquent le niveau d'aléa pour cette zone correspond à l'indice d'intensité du scénario de volume unitaire (voir section 5.1).

	Scénario éboulement en masse			Probabilité atteinte volume unitaire (valeurs d'angle de ligne d'énergie en °)			Probabilité atteinte éboulement en masse (valeur d'angle de ligne d'énergie en °)	
Zone de départ	Hypothèse de rupture	Volume par unité linéaire	Volume total redouté (m^3)	Faible	Modéré	Elevé	Zone "proche"	Zone de propagation de blocs isolés
E3	Hauteur 6 m Epaisseur 2 m	13 m3/m	40 à 65	42	45	48	39	36
E6	Hauteur 7 m Epaisseur 2 m	12 m3/m	45 à 75	36 à 39	39 à 43	42 à 46	37	34
E7	Hauteur 5 m Epaisseur 2 m	10 m3/m	20 à 40	38	41	44	32	29
E8	Hauteur 5 m Epaisseur 3 m	10 m3/m	50 à 90	48	52	56	46	43
E9	Hauteur 10 m Epaisseur 4 m	28 m3/m	150 à 250	34	36	38	34	31
E11	Hauteur 5 m Epaisseur 2 m	10 m3/m	30 à 50	37 à 38	40 à 41	45 à 46	35	32
E12	Hauteur 5 m Epaisseur 3 m	12 m3/m	70 à 120	45	48	52	46	43
E13	Hauteur 6 m Epaisseur 3 m	14 m3/m	80 à 140	40	43	46	40	37
E14	Hauteur 7 m Epaisseur 5 m	13 m3/m (minimisé vide - galerie)	80 à 130	40	45	50	36	33

Illustration 31 – Valeurs d'angle de ligne d'énergie : résultats de l'évaluation des propagations des zones proches et zone de propagation de blocs isolés dans le cas d'un phénomène d'éboulement en masse

5.7. ETAPE N°4 – EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA CHUTE DE BLOCS

L'aléa chute de blocs résulte du croisement de l'indice d'intensité et de la probabilité d'occurrence qui est-elle même la résultante du croisement de l'indice d'activité et de la probabilité d'atteinte.

Une cartographie de l'aléa de recul des corniches rocheuses a aussi été intégrée à la cartographie de l'aléa chute de blocs. Le phénomène de recul des corniches rocheuses correspond à un déplacement en amont des corniches rocheuses, suite à des évènements répétés de chute de blocs ou d'éboulement en masse (Illustration 32).

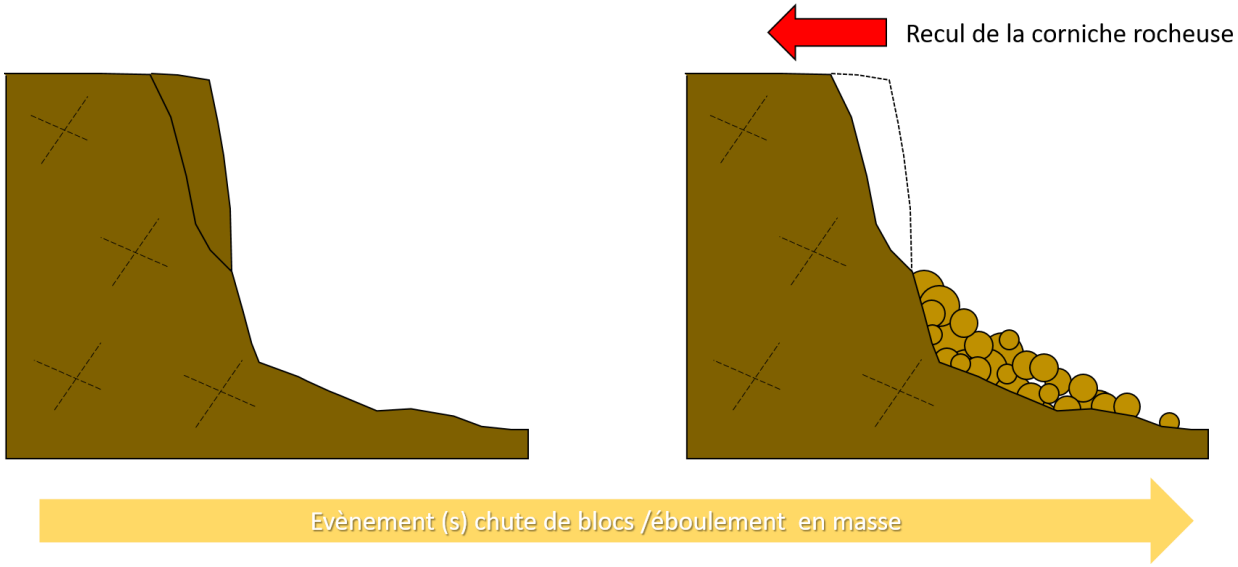


Illustration 32 – Représentation schématique du phénomène de recul de corniches rocheuses

L'aléa de recul a été estimé en fonction de l'indice d'intensité et de l'indice d'activité pour les zones de départ sans phénomène d'éboulement en masse considéré comme possible. En effet, plus le volume des blocs et plus la fréquence de départ sont importants, plus l'aléa de recul le sera également. Le niveau de l'aléa de recul est considéré comme **élevé quel que soit le niveau de l'aléa chute de blocs**. En effet, le recul se traduit par une disparition totale de matériau en tête de falaise, ce qui en terme d'intensité se traduit par un niveau systématiquement qualifié de « élevé ».

Afin d'estimer un ordre de grandeur approximatif de l'aléa de recul, le scénario de recul le plus défavorable a été sélectionné par principe de précaution en prenant en compte les hypothèses/contraintes suivantes :

- Départ de blocs sur un même niveau en tête de corniche ;
- Blocs de forme cubique dont les dimensions sont égales à la borne haute de l'indice d'intensité du scénario de référence ;
- Progression pyramidale du recul de la corniche considérant que les blocs partent toujours du même secteur en fonction de l'indice d'activité du scénario de référence ;
- Dans le cas où plusieurs scénarios de références ont été conservés pour une corniche donnée, uniquement le scénario le plus défavorable est pris en compte ;
- Aléa de recul ne peut être inférieur à 2.5 m (moitié de la résolution et est arrondi à l'entier supérieur ;
- Aléa de recul ne peut pas être supérieur à 75% de la hauteur de la corniche.

Par conséquent, pour un indice d'activité fort, l'aléa de recul est égal à 10 fois les dimensions d'un bloc cubique défini en fonction de l'indice d'intensité ainsi que 3 fois et 1 fois respectivement pour les indices d'activités moyen et faibles (Illustration 33).

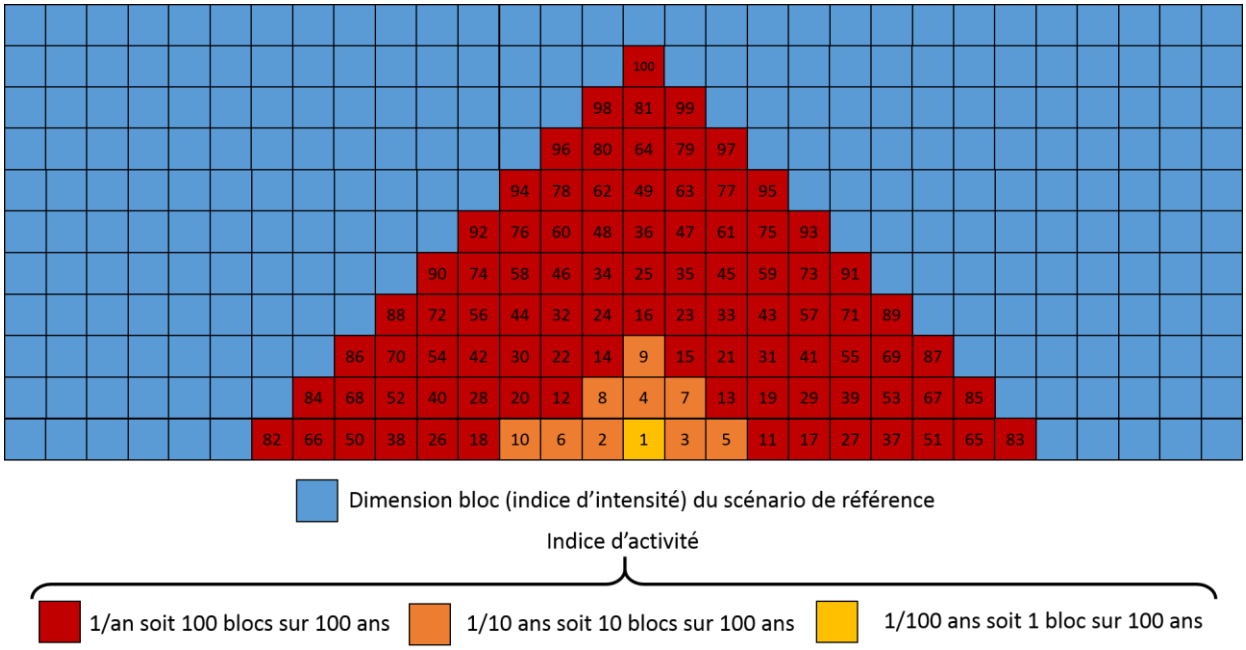


Illustration 33 – Vue schématique horizontale de la tête de corniche et de la progression pyramidale hypothètique en fonction de l'indice d'activité. La corniche est décomposée en blocs cubiques dont les dimensions dépendent de l'indice d'intentité.

Le croisement de l'indice d'activité et d'intensité permet d'estimer l'aléa de recul (Illustration 34).

		Indice intensité			
		Très faible 0.215 m	Faible 0.63 m	Modéré 1 m	Elevé 2.15 m
Indice d'activité	Faible	2.5	2.5	2.5	2.5
	Moyen	2.5	2.5	3	7
	Fort	2.5	7	10	22

Illustration 34 –Estimation de l'aléa de recul en mètre en fonction de l'indice d'intensité et d'activité

Pour les corniches où un phénomène d'éboulement en masse est considéré comme possible à probable, l'épaisseur de l'hypothèse de rupture retenue pour le phénomène d'éboulement en masse (Illustration 31) est ajoutée à l'extension spatiale de l'aléa de recul estimée pour le volume unitaire. L'indice d'activité du phénomène d'éboulement en masse n'est pas pris en compte car il est peu probable que de tels phénomènes se reproduisent de façon répétée dans un même secteur de corniche (rééquilibrage du versant sans action anthropique).

Code	Classe hauteur corniche (m)	Volume unitaire			Ecroulement de masse		Estimation finale de l'aléa de recul (m)
		Indice d'intensité	Indice d'activité	Extension aléa de recul (m)	Indice d'activité	Hypothèse de rupture (épaisseur)	
E1	<= 5	Très faible	Moyen	2.5	Nul		≈ 2.5
E2	<= 5	Très faible	Fort	2.5	Nul		≈ 2.5
E3	> 5 et <= 10	Modéré	Moyen	3	Faible	2	≈ 5
E4	> 5 et <= 10	Elevé	Faible	2.5	Nul		≈ 2.5
E5	<= 5	Faible	Fort	7	Nul		≈ 3.5
E6	> 5 et <= 10	Modéré	Moyen	3	Faible/Modéré	2	≈ 5
E7	<= 5	Faible	Moyen	2.5	Faible	2	≈ 3.5
E8	> 5 et <= 10	Faible	Fort	7	Modéré	3	≈ 7.5
E9	> 5 et <= 10	Faible	Moyen	2.5	Faible	4	≈ 6.5
E10	> 5 et <= 10	Modéré	Moyen	3	Nul		≈ 3
E11	> 5 et <= 10	Modéré	Fort	10	Faible	2	≈ 7.5
E12	<= 5 à > 5 et <= 10	Modéré	Fort	10	Nul/modéré	3	≈ 2.5 ≈ 7.5
E13	> 5 et <= 10	Modéré	Moyen	3	Modéré	3	≈ 6
E14	> 5 et <= 10	Elevé	Faible	2.5	Modéré	5	≈ 7.5
E15	<= 5	Très faible	Fort	2.5	Nul		≈ 2.5
E16	> 5 et <= 10	Modéré	Fort	10	Nul		≈ 7.5
E17	> 5 et <= 10	Modéré	Fort	10	Nul		≈ 7.5
E18	> 5 et <= 10	Faible	Fort	7	Nul		≈ 7
E19	> 5 et <= 10	Faible	Moyen	2.5	Nul		≈ 2.5
E20	> 5 et <= 10	Modéré	Fort	10	Nul		≈ 7.5

Illustration 35 – Résultats de l'estimation de l'aléa de recul

Enfin, la carte d'aléa produite a ensuite été ajustée à dire d'expert, notamment d'après les investigations de terrain, afin de produire une cartographie homogène et réaliste. Une zone tampon de sécurité a également été ajoutée (précision de la cartographie, principe de précaution…).

Compte-tenu des procédures et traitement sur la cartographie initiale de l'aléa chute de blocs, les valeurs d'angle « retenue » affichées dans l'Illustration 26 et Illustration 31 ainsi que les estimations de l'aléa de recul (Illustration 35) peuvent sensiblement différer par rapport à la carte d'aléa finale.

Trois cartes sont produites ci-dessous :

- Cartographie intermédiaire de l'aléa chute de blocs uniquement pour des volumes unitaires (Illustration 36) ;
- Cartographie intermédiaire de l'aléa éboulement en masse (Illustration 37) ;
- Cartographie finale de l'aléa chute de blocs avec prise en compte du phénomène d'éboulement en masse (Illustration 38).

Les livrables cartographiques prévus dans la convention sont présents en Annexe 4 :

- Cartographie de l'aléa à l'échelle 1/5000ème
- Cartographie des pentes à l'échelle 1/5000ème
- Extrait de la carte géologique BRGM au 1/50 000ème
- Carte des profils topographiques à l'échelle 1/5000ème

Illustration 36 - Cartographie intermédiaire de l’aléa chute de blocs uniquement pour des volumes unitaires

Illustration 37 - Cartographie intermédiaire de l’aléa éboulement en masse

Illustration 38 - Cartographie finale de l’aléa chute de blocs avec prise en compte du phénomène d’éboulement en masse

6. Proposition de travaux de mise en sécurité

Une proposition de parades est donnée à titre indicatif pour toutes les zones de départ où un enjeu est concerné par un aléa chute de blocs. Dans ces secteurs « à risque » les phénomènes redoutées (chutes de pierres, chutes de blocs, éboulements) peuvent mettre en danger les personnes et les infrastructures (habitations, industries etc.).

Des travaux de mise en sécurité peuvent alors être nécessaires :

- réalisation de travaux d'aménagement dans le but de sécuriser les enjeux existants par suppression ou réduction des aléas ;
- diminution de la vulnérabilité des sites (diminution des fréquentations – suppression de parkings, restriction d'occupation de bâtis…).

Globalement, deux familles de parades sont préconisées pour la protection contre les éboulements rocheux :

- parades dites « passives » : action sur la propagation de l'objet instable (Illustration 39)
  - arrêter le mouvement (écran, merlon, fosse) ;
  - guider le mouvement (grillages, filets pendus) ;
- parades dites « actives » : action sur le départ de l'objet instable (Illustration 40)
  - augmenter les forces résistantes (ancrage, contrefort, mur, filet, grillage plaqué) ;
  - diminuer les contraintes motrices/aggravantes (drainage, limitation de l'érosion, suppression de végétation) ;
  - éliminer l'objet instable (purge, reprofilage…).

Le choix de la parade la plus appropriée se fait en fonction des instabilités constatées sur la paroi, de la configuration du site, de la faisabilité et du coût. Les choix définitifs dépendent généralement de rapports coûts/bénéfices.

Pour rappel, il est important de noter que des dommages aux personnes peuvent être engagés dès la première classe d'aléa « très faible ». En effet les classes de l'indice d'intensité, basées sur le volume unitaire, sont définies uniquement en fonction des potentiels de dommages au bâtiment, la carte d'aléa étant destinée à l'aménagement du territoire.

Dans le cadre du projet, des solutions techniques de parades sans dimensionnement sont formulées pour chaque zone homogène où des enjeux sont soumis à l'aléa. Ces propositions de parade ne sont pas restrictives et dans tous les cas, les ouvrages seront à justifier à partir d'une mission géotechnique normalisée (type G2-PRO selon la nomenclature de la norme P94-500 de nov. 2013).

Une estimation approximative des coûts des travaux proposés est également fournie. Il s'agit d'une fourchette indicative évaluée à dire d'expert sur la base de coûts standards pour le type d'ouvrage proposé (au m² ou au ml). Les coûts de surveillance et d'entretien ne sont cependant pas estimés.

Pour chaque zone homogène de départ, les propositions de travaux de mise en sécurité et de parades ainsi que les estimations de coût sont présentées dans l'Illustration 41. Le tableau de

l'Illustration 41 est à lire en parallèle avec les annexes 1 et 2 du rapport afin d'identifier les compartiments ciblés par les travaux de mise en sécurité.

Pour l'ensemble du secteur d'étude, un entretien et une maintenance décennal ou après un évènement de chute de blocs devront être programmés pour les ouvrages de parades actuels ou proposés.

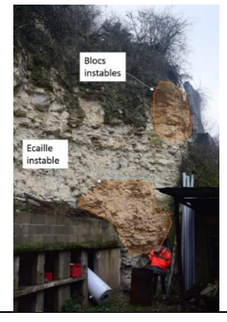
Catégorie	Type de parades		Définition	But
Parades passives	Barrages	*Merlon*	Ouvrage massif en surélévation situé à l'amont de la structure à protéger.	Stopper les blocs ou les masses de grande dimension se propageant dans un versant avec des énergies très importantes.
	Ecrans	*Ecran à structure rigide*	Structure d'arrêt rigide ou faiblement déformable dont la capacité est principalement liée à la résistance et/ou à la masse des matériaux utilisés.	Intercepter des pierres ou des blocs dévalant une pente.
		Barriéres fixe de grillage ou de filet	Ecran constitué de grillage ou de filet, doté de certaines possibilités d'amortissement des chocs, assurant la dissipation d'énergie d'impact principalement par diffusion dans la structure et dans le sol.	Stopper la propagation de pierres ou de petits blocs ayant assez peu d'énergie cinétique, en crête de talus ou en pied de versant.
		Ecran déformable de filet	Ecran d'arrêt souple caractérisé par une dissipation d'énergie d'impact essentiellement par déformation.	Freiner et stopper la propagation de blocs rocheux pouvant avoir une grande énergie cinétique.
	Fosses	*Fosse de réception*	Ouvrage en excavation par rapport à la structure à protéger et situé à l'amont de celle-ci.	Capter et stocker des pierres, des blocs isolés ou des éboulements en masse.
	Déviateurs	*Grillage ou filet pendu*	Nappe de grillage ou de filet amarrée en crête du talus ou quelques mètres en arrière de celle-ci, suspendue contre la paroi et assurant ainsi le guidage des chutes de pierres jusqu'au pied.	Contrôler les trajectoires des pierres ou blocs issus d'un talus ou du versant directement à l'amont, les guider vers une zone de réception à la base du relief et éviter les rebonds aériens et la prise de vitesse.
		Déviateur latéral	Ouvrage destiné à infléchir la trajectoire en plan d'un éboulement à l'aide d'obstacles biais.	Dévier latéralement (vers une zone à moindre risque) la trajectoire de blocs ou masses rocheuses dévalant une pente.
		Casquette ou galerie pare-blocs	Ouvrage de transit assurant le passage des éboulements au-dessus de l'élément à protéger.	Protéger totalement, contre les blocs isolés ou des éboulements en masse, des secteurs d'itinéraires routiers ou ferroviaire, sans chercher à les stopper.
	Dissipateurs d'énergie	*Dispositif amortisseur*	Dispositif déformable mis en place au contact d'une structure exposée à des impacts de blocs, permettant d'amortir les chocs.	Amortir les chocs causés par les blocs et masses sur les ouvrages rigides, et donc éviter les désordres engendrés par des impacts directs et encaisser une partie de l'énergie dynamique des chocs.
		Boisement	Renforcement de la protection naturelle des versants par la création ou l'aménagement du couvert végétal principalement constitué d'arbres.	Réduire l'énergie cinétique des blocs au cours de leur trajectoire et stabiliser les blocs dans le versant.

Illustration 39- Tableau récapitulatif des parades passives (LCPC, 2001)

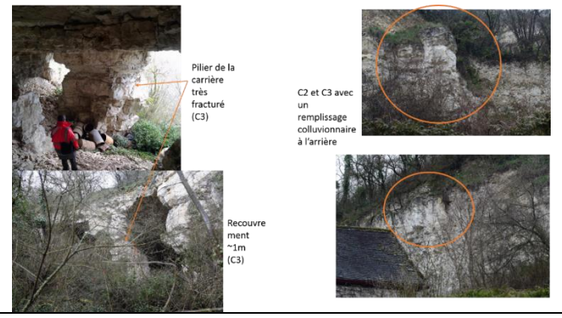
Catégorie	Type de parades		Définition	But
Parades actives	Suppression de la masse	*Purge*	Elimination des pierres, blocs et masses les plus instables par des techniques adaptées n'entraînant pas un risque de déstabilisation des zones à préserver.	Réduire le risque de chutes de pierres et de blocs à court terme et permettre éventuellement des interventions complémentaires.
		Reprofilage et abattage	Modifier le profil d'un talus ou d'un versant rocheux par ablation de volumes rocheux défavorables et/ou potentiellement instables.	Eliminer ce qui présente un risque direct ou indirect afin d'assurer la sécurité à court et moyen terme.
	Stabilisation / Confortement	*Soutènement*	Structure massive assurant, seule ou associée à d'autres dispositifs, le confortement de volumes rocheux présentant un risque d'instabilité.	Maintenir en place une masse instable bien délimitée afin de bloquer tout mouvement de glissement ou de basculement et assurer une protection contre la poursuite de l'érosion régressive.
		Ancrage	Dispositif de confortement constitué par une ou plusieurs armatures scellées dans le rocher, assurant la solidarisation d'un volume potentiellement instable avec le massif stable situé en arrière.	Empêcher la chute de masses rocheuses localisées, par décollement ou glissement le long de discontinuités marquées, en les fixant au massif stable.
		Béton projeté	Dispositif de renforcement et de protection de surface constitué d'une coque de béton mise en place par projection.	Protéger une paroi rocheuse, déjà stable dans son ensemble, vis-à-vis des agents d'érosion, de façon à éviter toute dégradation superficielle pouvant engendrer des sous-cavages, des chutes de pierres ou de blocs.
		Filets et grillages plaqués	Nappe de filets ou de grillages métalliques plaquée contre le rocher et assurant la stabilité superficielle ou locale de la paroi rocheuse.	Eviter tout départ de pierres ou de blocs.
	Végétalisation	*Végétalisation*	Etablissement ou reconstitution d'un couvert végétal herbacé ou arbustif dans un talus de terrain meuble.	Limiter l'érosion superficielle qui déchausse les pierres ou petits blocs des talus à matrice meuble et provoque des coulées boueuses lors de fortes précipitations.
	Drainage	*Drainage de surface*	Collecte et évacuation des eaux superficielles en amont et au droit des zones à traiter.	Limiter le ruissement et les infiltrations d'eau dans le massif et donc réduire l'érosion superficielle, éviter l'éclatement de la roche sous l'effet du gel, et limiter les pressions interstitielles.
		Drainage profond	Collecte et évacuation des eaux à l'intérieur du massif et dans la masse instable.	Diminuer les pressions d'eau dans le massif et améliorer les caractéristiques de résistance des discontinuités, éviter les mises en charge brutales dans les discontinuités.

Illustration 40 - Tableau récapitulatif des parades actives (LCPC, 2001)

Code	Enjeux	Phénomène redouté	Aléa	Proposition de parades	Photo	Estimation approximative coût
E1	Terrasse Bord maison Abris	Chute de pierres	Faible	*Limiter l'accès à la zone soumise à l'aléa tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués* Barrière fixe ponctuelle et/ou nettoyage / purge de talus environ 10 ml à traiter		2 à 4 k€
E2	Jardin	Chute de pierres	Faible	*Limiter l'accès au pied de talus*		-
E3	Jardin garage/grange	Eboulement masse et chutes de blocs isolés	Très élevé	*Interdire l'accès à l'arrière du bâtiment et limiter l'accès au bâtiment soumis à l'aléa tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués* Purge contrôlée (démontage) des blocs instables du niveau 2 et des compartiments C1 et C2 couplée à un nettoyage/élagage du versant Ancrages ponctuels et grillage pendu sur falaise Inspection régulière du versant Limiter l'accès à l'arrière du bâtiment		8 à 14 k€
E4	Cour Garage Maison	Chute de blocs isolés	Elevé	*Interdire (aléa élevé) ou limiter (aléa faible) l'accès aux parties de bâtiment et aux jardins soumis à l'aléa tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués* Nettoyage/élagage du versant Purge et entretien régulier de la fosse derrière le mur de soutènement afin de maintenir une garde de 1 m minimum ou pose d'une barrière fixe Compartiment C1 : Purge contrôlée des pierres/blocs instables Compartiment C2 : Purge contrôlée (démontage) de la masse instable ou soutènement / épaulement pour stabiliser ou emmaillotage du piton rocheux Compartiment C3 : Maintenir l'épaisseur des colluvions sous le banc métrique afin d'éviter la formation d'un sous-cavage qui déstabiliserait ce compartiment		10 à 18 k€
E5	Route Trottoir	Chute de blocs isolés	Modéré	*Limiter l'accès au trottoir situé en pied de versant et indiquer le risque de chute de blocs aux usagers de la route tant que les travaux de mise en sécurité n'auront pas été effectués* Réparation et nettoyage de la barrière Prolongement des barrières fixes en pied de versant des zones de départ identifiés		6 à 18 k€

E6	Route Parking Trottoir	Eboulement masse et chutes de blocs isolés	Très élevé	*Interdire (aléa très élevé) et limiter (aléa modéré) l’accès au parking/trottoir soumis à l’aléa et indiquer le risque de chute de blocs aux usagers de la route tant que les travaux de mise en sécurité n'auront pas été effectués* Réparation et nettoyage de la barrière existante Expertise par une entreprise spécialisée pour évaluer si le dimensionnement du merlon a été fait dans les règles de l'art et reprofilage si nécessité de mise en conformité Nettoyage et entretien décennal du merlon ou après un événement de chute de blocs Nettoyage et élagage de la tête de versant Condamner physiquement l'accès aux galeries très instables Compartiment C1 : blocs à purger en préventif pour ne pas endommager la barrière		4 à 8 k€
E7	Parking	Eboulement masse et chutes de blocs isolés	Très élevé	*Interdire (aléa très élevé) et limiter (aléa faible) l’accès au parking soumis à l’aléa tant que les travaux de mise en sécurité n'auront pas été effectués* Purge contrôlée des blocs instables et nettoyage (notamment de la souche d’arbre) /élagage du versant Restauration des volumes disponibles en pied de talus (déblai) Réparation et nettoyage de la barrière		4 à 6 k€
E8	Jardin Maison	Eboulement masse et chutes de blocs isolés	Très élevé	*Interdire l’accès au jardin soumis à l’aléa tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués.* *Vigilance et limiter l’accès sur les parties de la maison soumise à l’aléa tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués.* Travaux de purge des blocs/écailles instables Nettoyage et élagage de la tête de versant Nettoyage du replat au-dessus du mur Mise en place d'un grillage plaqué ou variante grillage pendu + barrière fixe (ou rehausse mur)		19 à 33 k€ (1) 11 à 19 k€ (2) selon variante : grillage plaqué (1) ou grillage pendu + barrière fixe en tête de mur (2)
E9	Maison Garage	Eboulement masse et chutes de blocs isolés	Très élevé	*Interdire l’accès au bâtiment/jardin soumis à l’aléa tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués* Mur maçonné/barrière fixe pour garage ouvert coté est Sécurisation de la fenêtre côté ouest (grille a minima) Nettoyage/élagage du versant Contrôle décennal de l’intégrité structurelle du mur du garage et réfection si nécessaire (limiter l’accès au bâtiment et à la cour tant que le contrôle n’a pas été effectué) Maintenir une hauteur de garde d'au moins 1 m entre le pied du versant et le mur du garage (piège) Compartiment C1 : purge des éléments les plus instables		3 à 7 k€

E10	Maison Jardin	Chute de blocs isolés	Elevé	*Interdire (aléa élevé) et limiter (aléa modéré) l’accès au jardin soumis à l’aléa tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués.* *Vigilance et limiter l’accès sur les parties de la maison soumise à l’aléa tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués.* Nettoyage / élagage versant et purges manuelles localisées (C1 / C2 démontage soigné) Pose d'un grillage pendu guidant les éléments en amont du soutènement avec maçonnerie en pied pour garantir l'arrêt. Rehausse de garde (0,5 m de l'ouvrage) Réfection des murs du soutènement et contrefort en mauvais état		9 à 17 k€
E11	Trottoir Route	Eboulement masse et chutes de blocs isolés	Très élevé	*Interdire (aléa très élevé) et limiter (aléa modéré à faible) l’accès au trottoir situé en pied de versant et indiquer le risque de chute de blocs aux usagers de la route tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués* Secteur ouest : • Barrière fixe en pied de versant après nettoyage et purge des pierres et blocs les plus instables Secteur est : • Purge contrôlée des colonnes instables du niveau 3 couplée à un nettoyage/élagage du versant • Nettoyer et profiler selon les règles de l'art le merlon en place et/ou installation d’une barrière fixe		12 à 20 k€ (1) 6 à 10 k€ (2) selon variante : barrière fixe sur l'ensemble du linéaire + nettoyage (1) ou restauration de la fonction du merlon + barrière fixe sur secteur Est (2)
E12	Trottoir Route	Eboulement masse et chutes de blocs isolés	Très élevé	*Interdire l’accès au trottoir situé en pied de versant et indiquer le risque de chute de blocs aux usagers de la route tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués* Secteur ouest : • Purge contrôlée des blocs instables couplée à un nettoyage/élagage du versant • Barrière fixe en pied de versant après nettoyage et purge Secteur est : • Barrière fixe en bordure de trottoir • Si velléité de récupérer l'espace, purge des blocs instables et ouvrage de butée de pied couplé à un grillage plaqué en tête de talus après reprofilage local		9 à 17 k€ (1) 29 à 49 k€ (2) selon usage de la parcelle : nettoyage et barrière fixe continue (1) mur de butée de pied + grillage plaqué sur secteur Est + barrière fixe secteur Ouest (2)

E13	Cour/jardin Garage	Eboulement masse et chutes de blocs isolés	Très élevé	*Interdire l'accès aux bâtiments et aux jardins soumis à l'aléa tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués* Purge des blocs instables et nettoyage Grillage pendu + grillage plaqué localement		24 à 40 k€
E14	Jardin/cour Garage	Eboulement masse et chutes de blocs isolés	Très élevé	*Interdire l'accès aux bâtiments et aux jardins soumis à l'aléa tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués* Barrière fixe en arrière de la zone circulée, purges localisées et surveillance des galeries en amont Compartiment C1 : purge contrôlée du bloc car propagation possible vers la maison n°57 Compartiment C2 : purge contrôlée du bloc Compartiment C3 : reculer l'activité agricole pour ne pas fragiliser le pilier • surveillance annuelle du site • expertise du risque effondrement en versant sous-cavé		6 à 10 k€
E15	Jardin	Chute de blocs isolés	Faible	*Limiter l'accès à la zone soumise à l'aléa tant que les travaux de mise en sécurité n'auront pas été effectués* Mise en place d'un barrière fixe (type écran de rondins en pied de zone de colluvions). Entretenir la végétation dans le versant notamment vis-à-vis de la corniche E16		1 à 3 k€
E16	Maison Jardin	Chute de blocs isolés	Elevé	*Interdire (aléa élevé) et limiter (aléa modéré) l'accès aux parties de bâtiment et aux jardins soumis à l'aléa tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués* Purge des blocs/écailles instables Nettoyage et élagage de la tête de versant Entretien du piège à blocs Nettoyage du replat au-dessus du mur de gabion Expertise par une entreprise spécialisée pour évaluer si le dimensionnement du gabion a été fait dans les règles de l'art : • Si dimensionnement dans les règles de l'art: prolongement du mur de gabion sur l'ensemble de l'affleurement notamment à l'ouest pour protéger la maison et la parcelle voisine • Si sous-dimensionnement du gabion: prolongement du mur de gabion sur l'ensemble de l'affleurement notamment à l'ouest pour protéger la maison et la parcelle voisine et mise en place d'un grillage pendu		6 à 12 k€ (1) 13 à 23 k€ (2) selon dimensionnement de l'ouvrage existant : prolongement + nettoyage / purge (1) prolongement + purge + grillage pendu sur parement (2)

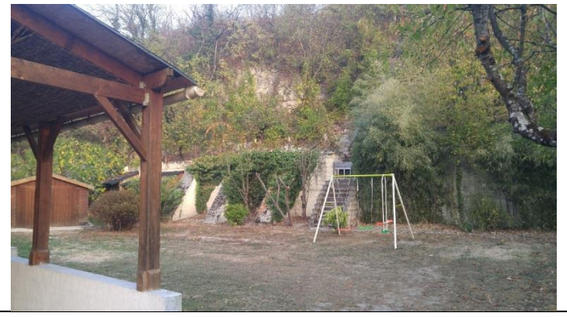
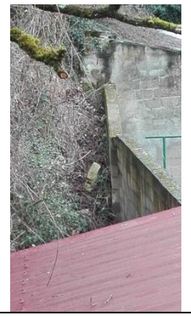
E17	Jardin	Chutes de blocs isolés et écroulement (murs de soutènements)	Très élevé	*Interdire (aléa élevé) et limiter (aléa modéré) l’accès aux jardins soumis à l’aléa tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués* Réfaction des murs de soutènement en mauvais état Barrière fixe en pied de versant après nettoyage et purge contrôlée des blocs les plus importants		8 à 13 k€ (pour la gestion chute de blocs) 3 à 5 k€ pour les confortements de murs vétustes
E18	Cour/jardin	Chute de blocs isolés	Modéré	*Limiter l’accès aux secteurs soumis à l’aléa tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués*. *Interdire l’accès si la fosse n'est pas entretenue ou le mur de soutènement est non réparé en cas de fissures.* Purge et entretien régulier de la fosse derrière le mur de soutènement afin de maintenir une garde de 1 m minimum ou pose d’une barrière fixe Surveillance du mur de soutènement (fissure, basculement) car il ne dispose pas de barbacanes Travaux de mise en conformité du mur de soutènement		1 à 3 k€
E19	Cour/jardin garage	Chute de blocs isolés	Modéré	*Limiter l’accès aux secteurs soumis à l’aléa tant que les travaux de purge et de mise en sécurité n'auront pas été effectués*. *Interdire l’accès si la fosse n'est pas entretenue ou le mur de soutènement est non réparé en cas de fissures.* Purge et entretien régulier de la fosse derrière le mur de soutènement afin de maintenir une garde de 1 m minimum ou pose d’une barrière fixe Surveillance du mur de soutènement (fissure, basculement) car il ne dispose pas de barbacanes ou elles sont bouchées ou pose d’une barrière fixe Travaux de mise en conformité du mur de soutènement		5 à 9 k€
E20	Champs	Chute de blocs isolés	Elevé	*Interdire l’accès à la zone soumise à un aléa*		0 k€

Illustration 41 – Proposition de parades et estimation aproximative des coûts. Ce tableau est à lire en parallèle avec les annexes 1 et 2 du rapport afin d’identifier les compartiments ciblés par les travaux de mise en sécurité.

7. Bibliographie

Berger (2009) - Pour une meilleure prise en compte des forêts à fonction de protection vis-à-vis des risques naturels dans les plans de prévention des risques naturels prévisibles, les aménagements forestiers et les chartes forestières de territoire. Programme "Risque Décision Territoire".

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

Christophe Didier, Romuald Salmon. Evaluation du risque d'apparition d'un fontis en surface : un modèle volumétrique probabiliste. Journées nationales de géotechnique et de géologie, Jun 2004, Lille, France. pp.451-461, 2004. <ineris-00972467>

Hantz D. (2012). Gestion de l'incertitude et de l'ignorance, dans l'évaluation de la probabilité de déclenchement des éboulements rocheux. Fiabilité des matériaux et des structures, Chambéry : France (2012)

Heim, A. (1932) – Bergsturz und Menschlenleben, Fretz und Wasmuth, Zurich, 218 pp

Jaboyedoff M., Labiouse V. (2011) - Technical Note: Preliminary estimation of rockfall runout zones. NHESS.

LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées). (2001) – Parades contre les instabilités rocheuses : chutes de pierres, chutes de blocs, éboulements.

Statham, I., and Finlayson, B., 1980, Hillslope Analysis: London; Boston, Butterworth-Heinemann, 232 p.

Thuon Y. (2013) – Eboulement sur une habitation de Laroche St-Cydroine. Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-62325-FR. 12 p., 10 illustr.

Thuon Y. (2016) – Avis suite à un éboulement survenu le 31 mai 2016 sur la commune de Laroche-St-Cydroine. Rapport d'expertise CATNAT. Rapport BRGM/RP-66060-FR. 25 p., 17 ill.,

8. Conclusions

La cartographie de l'aléa de la rue Emile Tabarant sur la commune de Laroche-Saint-Cydroine a été réalisée en suivant une approche de type expert basée sur la méthode MEZAP adaptée au contexte local.

Cette cartographie a permis d'identifier 20 zones homogènes de départ. L'analyse des données numériques et les investigations de terrain ont permis de définir pour chacune des zones de départ, l'indice d'activité, l'indice d'intensité et la probabilité d'atteinte. Le croisement de ces indices a permis d'évaluer l'aléa chute de blocs.

Compte-tenu des phénomènes historiques et des observations de terrain, le phénomène d'éboulement en masse a été intégré à la cartographie de l'aléa chute de blocs.

Sur la rue Emile Tabarant de la commune de Laroche-Saint-Cydroine, les enjeux suivants sont soumis à un aléa chute de blocs (pour un enjeu touché par plusieurs niveaux d'aléa, seulement le niveau d'aléa le plus fort est retenu) :

- Aléa très élevé :
  - Escarpements rocheux E3, E8, E9, E13 et E14 : 6 bâtiments indifférenciés et jardins/cours associés
  - Escarpements rocheux E6, E7 et E11: environ 25 m de route/trottoir et environ 70 m de parking
  - Escarpement rocheux E12 : pied de versant sans enjeux
- Aléa élevé :
  - Escarpements rocheux E4, E10 et E16 : 4 bâtiments indifférenciés et jardins/cours associés
  - Escarpement rocheux E12: environ 25 m de route/trottoir
  - Escarpement rocheux E17 : jardin
  - Escarpement rocheux E20 : absence d'enjeux
- Aléa modéré :
  - Escarpements rocheux E17, E18 et E19 : 2 bâtiments indifférenciés et jardins/cours associés
  - Escarpement rocheux E5 : environ 90 m de route/trottoir
  - Escarpement rocheux E17 : jardin
- Aléa faible :
  - Escarpement rocheux E1 : 1 bâtiment indifférencié
  - Escarpements rocheux E2 et E15 : jardin

Il est important de noter que des dommages aux personnes peuvent être engagés dès la première classe d'aléa « très faible ». En effet les classes de l'indice d'intensité, basées sur le volume unitaire, sont définies uniquement en fonction des potentiels de dommages au bâtiment, la carte d'aléa étant destinée à l'aménagement du territoire.

Dans le cadre du projet, des propositions de parades sans dimensionnement sont formulées pour chaque zone homogène où des enjeux sont soumis à l'aléa. Ces propositions de parades ne sont pas restrictives et une entreprise géotechnique pourra proposer une autre solution de parade en la justifiant (coût, difficulté de mise en œuvre…). Le dimensionnement des ouvrages de protection

doit faire l'objet d'une mission géotechnique normalisée (type G2-PRO selon la nomenclature de la norme P94-500 de nov. 2013).

Une estimation approximative des coûts des travaux de sécurité à mettre en œuvre a également été réalisée à dire d'expert basée sur une revue bibliographique sans réalisation de devis spécifique au territoire de Laroche-Saint-Cydroine.

Cette étude est spécifique à l'aléa chute de blocs, néanmoins après les investigations de terrain le BRGM a observé la présence de galeries au niveau des zones de départ E6 et E14. Ces galeries n'ont pas été investiguées et une étude spécifique serait nécessaire pour évaluer un aléa effondrement sur ces secteurs. La zone de départ E14 où des galeries de taille significative ont été observées est particulièrement préoccupante.

De plus, les secteurs du versant de la rue Emile Tabarant avec des pentes significatives présentent une susceptibilité potentielle au glissement de terrain. Cet aléa peut être cumulé ou non à l'aléa chute de blocs sur le versant. La cartographie du niveau d'aléa pour les phénomènes de glissement de terrain nécessiterait également la réalisation d'une étude spécifique.

Annexe 1

Caractérisation et définition d’un (de) scénario (s) de référence pour chaque zone homogène de départ

Code	Description générale	Mécanisme de rupture principal	Témoignage/Commentaires	Scénario de référence Intensité/activité	Indice d'activité éboulement en masse et volume redouté
E1	Affleurement de 6,50m de haut environ peu visible du fait de la végétation. Un banc à débit métrique semble être présent. Fracturation principale perpendiculaire à l'affleurement tous les mètres environ	Surplomb léger - possible basculement lié à la fracturation	Quelques pierres tombées dans la pente avant la terrasse. Pas de bloc sur la terrasse depuis juillet 1991. Présence d'une barrière bois en amont de la terrasse	Très faible/moyen	Nul si colluvions restent en place
E2	Affleurement de 3 m de haut environ avec un débit décimétrique.	Surplomb léger		Très faible/fort	Nul
E3	Affleurement de 12 m de haut environ - 4 niveaux géologiques et 2 compartiments : • Niveau 1 : colluvions/éboulis en pied d'affleurement et banc à débit décimétrique en sous cavage (profondeur de 1 m) sur 4.5 m • Niveau 2 : bancs métriques sur 2 m • Niveau 3 : blocs qui ressortent ponctuellement dans les colluvions sur 1 m • Niveau 4 : colluvions Fracturation principale métrique à infra métrique ouverte de 10 cm parfois perpendiculaire à l'affleurement (N20-N25) et fracturation verticale parallèle à l'affleurement de direction N110-N115 Compartiment C1 : colonne d'environ 2 m de haut dans niveau 2, côté ouest (en partie éboulée lors du phénomène historique 7) Compartiment C2 : colonne d'environ 2 m de haut dans niveau 2, coté est	Surplomb Rupture de colonne en pied Basculement de colonne ou de blocs Glissement (colluvions)	Le propriétaire a purgé lui-même un bloc de 70 litres, quelques blocs de 60 litres sont tombés il y a environ 5 ans, bloc qui est tombé il y a 2-3 ans de 20 litres. Atteinte à la maison (c'est une grange/garage). Propriétaire depuis 1982. Pas de blocs tous les ans. Pas de bloc tombé en janvier 2018 après épisode de forte pluie. Phénomène historique 7	Faible/moyen (niveau 3 et 4) Modéré/moyen (niveau 2 et compartiment C1/C2)	Faible 40 à 65 m^3
E4	Affleurement de 16 m de haut environ avec un mur de soutènement en pied de 4 m de haut - 5 niveaux géologiques et 3 compartiments : • Niveau1 : colluvions à l'ouest sur 4 m et craie à bancs métriques à l'est 2.5 m d'épaisseur posés dans colluvions (environ 2 m) - pas de sous cavage • Niveau 2 : banc à débit décimétrique - zone de sous cavage à l'ouest sur 2 m et colluvions à l'est jusqu'à la tête de versant • Niveau 3 : banc à débit pluri décimétrique localisé au centre du versant sur 1.5 m • Niveau 4 : niveau de colluvions sur 2 m • Niveau 5 : masse d'environ 5 à 10 m3 sous-cavée localisée au centre du versant sur 2 m Compartiment C1 : banc à débit pluri décimétrique localisé au centre du versant sur 2 m Compartiment C2 : masse d'environ 5 à 10 m3 localisé au centre du versant sur 2 m Compartiment C3 : banc métrique localisé à l'est Fracturation principale : fracturation métrique à infra métrique perpendiculaire et parallèle à l'affleurement – la végétation ne permet pas d'observer convenablement l'affleurement.	Surplomb Rupture de colonne en pied Basculement de colonne ou de blocs Glissement (colluvions)	Pas de pierres/blocs au niveau de la terrasse depuis au moins 50 ans (présence d'un mur de soutènement entre affleurement et maison)	Très faible/fort (affleurement général) Elevé/faible (compartiment C2)	Nul si colluvions restent en place
E5	Affleurement de 6 m de haut environ – 2 niveaux géologiques: • Niveau 1: craie massive gros bancs métrique de 1 m sur 2 m + colluvions en pied sur 4 m • Niveau2 : 2 m de bancs massifs métriques entre +4 et +6 m puis 2 m de craie à débit décimétrique altéré entre +2 et +4 m et 2 m de colluvions en pied	Surplomb Basculement de blocs	Nombreuses pierres et blocs dans le versant ou appuyés contre une barrière Barrière non entretenue	Faible/fort	Nul si colluvions restent en place

	L'affleurement doit se situer dans une brèche/faille géologique de 4 m de large qui sépare une partie est et une partie ouest Fracturation principale parallèle et perpendiculaire à l'affleurement tous les 1 à 2 mètres				
E6	Affleurement de 17 m de haut environ - 7 niveaux géologiques et 2 compartiments : • Niveau 1: craie à débit décimétrique sur 4 m • Niveau 2: craie à débit métrique sur 2 m (compartiment 1) • Niveau 3: alternance de bloc infra métrique à décimétrique sur 3 m • Niveau 4: blocs métriques sur 2 m ; • Niveau 5: craie à débit décimétrique sur 1 m; • Niveau 6: craie massive débit métrique sur 2 m en dalle, surplomb du niveau (5) de 4 m; (compartiment. 2) • Niveau 7: craie altérée et colluvions sur 3 m Compartiment C1 : nord-ouest de l'affleurement dans niveau 2 sur 2 m de haut Compartiment C2 : dalle en surplomb à 14 m de haut dans niveau 6 Fracturation principale : l'affleurement doit se situer dans une brèche/faille géologique de direction N160 ; fractures tous les 1 m N150 et perpendiculaire N80	Surplomb Basculement de colonne ou de blocs Glissement (colluvions)	Présence d'un merlon et d'une barrière non entretenue	Très faible/fort (niveau 5 et 7) Modéré/moyen (compartiment 2) Modéré/faible (compartiment 1)	Faible Modéré au niveau des galeries 45 à 75 m^3
E7	Affleurement de 6 m de haut environ - 4 niveaux géologiques : • Niveau 1 : colluvions/éboulis en pied d'affleurement sur 3 m • Niveau 2 : banc à débit décimétrique altéré (sous cavage de 30 cm environ) sur 1.5 m • Niveau 3 : banc métrique sur 0.5 m environ • Niveau 4 : colluvions sur 1 m Fracturation principale : fracturation verticale parallèle et perpendiculaire à l'affleurement (N20)	Surplomb	Phénomène historique 8	Très faible/fort (niveau 4) Faible/moyen (niveau 3)	Faible 20 à 40 m^3
E8	Affleurement de 10 m de haut environ dont un mur de 2 m en pied puis 3 niveaux géologiques : • Niveau 1: craie fracturée décimétrique sur 3 m; • Niveau 2: craie débit métrique sur 2 m ; • Niveau 3: craie altérée et colluvions sur 3 m. Fracturation principale : fracturation décimétrique parallèle à l'affleurement N110 et N20	Surplomb Glissement (colluvions)	Un bloc est tombé en 2016. Régulièrement des chutes de pierre. Phénomène historique 6	Très faible/fort (niveau 3) Faible/fort (niveau 2)	Modéré 50 à 90 m^3
E9	Affleurement de 13 m de haut environ (par rapport au niveau du jardin) - 2 niveaux géologiques et 1 compartiment • Niveau 1 : colluvions/éboulis sur 2 m (7 m de haut environ par rapport au niveau du jardin) • Niveau2 : colluvions sur 4 m dans lequel se trouve le compartiment C1 : masse de craie à débit décimétrique Fracturation principale : N20 (perpendiculaire à l'affleurement)	Surplomb Glissement (colluvions)		Très faible/élevé - Faible/modéré (Compartiment C1)	Faible selon état du mur amont de la grange/garage 150 à 250 m^3
E10	Affleurement de 8 m de haut environ - 1 niveau géologique et 2 compartiments Colluvions sur 2 m d'épaisseurs avec présence localement d'un banc à débit métrique sur 2 m épaulé par un mur de soutènement de 4 m de haut à l'ouest et au-dessus d'un remplissage de colluvions retenu par un mur de soutènement de 5 m de haut à l'est Fracturation principale : fracturation N20 (perpendiculaire à l'affleurement) - végétation abondante fracturation difficilement observable	Surplomb		Très faible/fort - Modéré/moyen (Compartiment C1 et C2)	Nul si réfection du mur de soutènement sinon faible
E11	Affleurement de 10 (ouest) à 13 m (est) de haut environ - 4 niveaux géologiques et 2 secteurs ouest et est • Niveau 1 : colluvions/éboulis en pied d'affleurement de 4.5 (ouest) à 6.5 m (est)	Surplomb	Phénomène historique 1	Très faible/fort Modéré/moyen	Faible 30 à 50 m^3

	• Niveau 2 : bancs à débit décimétrique en sous cavage de 1.5 (ouest) à 2.5 m (est) pris dans les colluvions • Niveau 3 : bancs métriques sur 2.5 m, très facturés dans le secteur est où 2 colonnes sont individualisées • Niveau 4 : pierres qui ressortent ponctuellement dans les colluvions sur 1.5 m, présence d'un mur en pierre délabré sur le secteur est Fracturation principale : fracturation perpendiculaire à l'affleurement (N20-N25) et parallèle à l'affleurement pouvant individualiser des colonnes rocheuses avec une instabilité marquée	Rupture de colonne en pied Basculement de colonne ou de blocs Glissement (colluvions)		(secteur ouest) Modéré/fort (secteur est)	
E12	Affleurement de 12 m de haut environ - 4 niveaux géologiques et 2 secteurs ouest et est Secteur ouest: blocs métriques qui ressortent ponctuellement dans les colluvions entre 7.5 et 9 m de haut environ (correspond au niveau 3 du secteur est) Secteur est: • Niveau 1 : colluvions/éboulis en pied d'affleurement sur 4.5 m • Niveau 2 : bancs à débit décimétrique altéré (profondeur de 1 m) sur 1.5 m • Niveau 3 : bancs à débit métrique sur 2 m environ • Niveau 4 : colluvions sur 2.5 m Fracturation principale : Fracturation perpendiculaire et parallèle à l'affleurement	Surplomb	Phénomène historique 2	Modéré/moyen (secteur ouest) Modéré/fort (secteur est)	Nul si colluvions restent en place secteur ouest Modéré secteur est 70 à 120 m^3
E13	Affleurement de 12 m de haut environ – 5 niveaux géologiques • Niveau 1 : zone d'éboulis sur 5 m • Niveau 2 : bancs à débit décimétrique très altérés sur 5 m de haut qui sous-cavent • Niveau 3 : bancs à débit métrique + remplissage de colluvions dans les fractures situées parallèlement à l'affleurement. • Niveau 3 : banc décimétrique sur 20 cm d'épaisseur qui n'est pas présent sur tout l'affleurement. • Niveau 5: dépôts de pente et colluvions Fracturation principale : fractures de décompression dans les niveaux (2) et (3). Fracturation perpendiculaire et parallèle à l'affleurement	Surplomb	Phénomène historique 4 Depuis 2016, le propriétaire a indiqué que seuls des pierres étaient tombées	Très faible/fort (niveau 4) modéré/moyen (niveau 3)	Modéré 80 à 140 m^3
E14	Affleurement de 9.5 m de haut environ puis replat topographique de 7 m de long qui débouche sur un nouvel affleurement de 6.5 de haut dans lequel des galeries de 4 m de haut ont été creusées. Le recouvrement est estimé à 1.5 m – 3 niveaux géologiques et 3 compartiments • Niveau 1 : bancs pluri décimétriques sur 2.5 m • Niveau 2 : bancs métriques sur 5 m avec quelques interbancs décimétriques altérées - • Niveau 3 : bancs décimétrique sur 2 m parfois inexistants avec présence de colluvions à la place. Compartiment C1 : banc à débit métrique Compartiment C2 : banc à débit métrique Compartiment C3 : La deuxième partie de l'affleurement est constituée de bancs métriques très fracturée et altérée sur 8 m puis 1 m de colluvions dans lesquels des galeries ont été creusées Fracturation principale : fracturation mécanique très importante dans les galeries et au niveau des piliers (en diabolo) - facturation N30 (perpendiculaire à l'affleurement) et parallèle N110 métrique	Surplomb Glissement (colluvions)		Faible/moyen-Elevée/faible (C1-C2-C3)	Modéré 80 à 130 m^3
E15	Affleurement de 4 m de haut environ avec un débit décimétrique	Surplomb	Nombreuse chutes de pierres (plusieurs par an)	Très faible/fort	Nul
E16	Affleurement de 14 m de haut environ à partir du jardin puis talus végétalisé de 2.3 m, 1.8 m de gabions et 3 niveaux géologiques : • Niveau 1 : éboulis et colluvions sur 6 m	Surplomb	Phénomènes historiques 3 : Phénomènes historiques 5 :	Modéré/fort	Nul

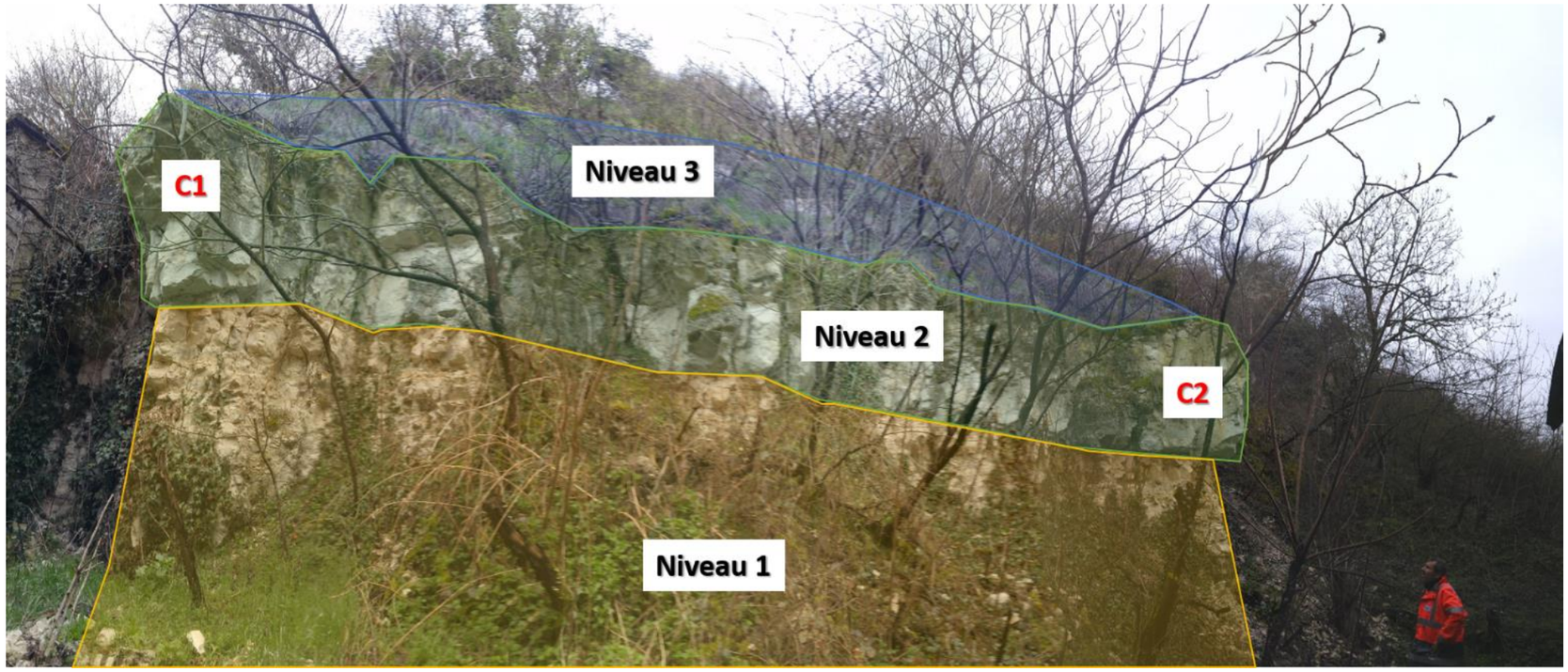
	• Niveau 2 : craie débit métrique sur 2 m • Niveau 3 : craie altérée et colluvions sur 2 m Plusieurs compartiments sont désolidarisés de la falaise et sont remobilisables (Compartiment C1) ou en basculement (Compartiment C2) Fracturation principale : Eperons rocheux cisaillés selon deux directions de fracturation métriques : N115 et N20 (talus orienté N70) - Ouverture de 15 cm en haut et 10 cm en bas pour le compartiment C2 à l'Ouest + une famille N10-N80 sur le talus orienté N85 (débit infra métrique).	Rupture de colonne en pied Basculement de colonne ou de blocs			
E17	Affleurement de 10 (ouest) à 8 m (est) de haut environ - 4 niveaux géologiques et 2 secteurs est et ouest • Niveau 1 : colluvions/éboulis en pied d'affleurement sur 4.5 m suivi d'une terrasse (mur de soutènement) • Niveau 2 : bancs à débit décimétrique altérés (profondeur de 1 m) sur 1 m environ • Niveau 3 : bancs à débit métrique sur 2 environ • Niveau 4 : colluvions sur 3 m Un escalier sépare une partie ouest et est. Un merlon constitué de pierres éboulées est présent sur la partie est, un mur de soutènement délabré est présent sur la partie ouest. Fracturation principale : fracturation verticale parallèle et perpendiculaire à l'affleurement	Surplomb Rupture de colonne en pied Basculement de colonne ou de blocs		Modéré/fort (secteur ouest) Modéré/moyen (secteur est)	Nul secteur ouest Nul si réfection mur de soutènement sinon faible secteur est
E18	Depuis la cour en pied de versant, le versant débute par un mur en parpaing de 3 m de haut puis un cône d'éboulis d'environ 5.5 m en pente de 45°. La zone de départ mesure environ 2.5 m d’épaisseur. Les bancs de la zone de départ sont décimétriques. Fracturation principale : facturation N30 (perpendiculaire à l'affleurement) et parallèle N110 décimétriques	Surplomb Glissement (colluvions)		Faible/fort	Nul si colluvions restent en place
E19	Les zones de départs ne sont pas continues sur la longueur de la parcelle. Ils apparaissent au grès de la végétation. D'ouest en est, le coteau est masqué sur une hauteur de 3 à 4 m par un garage puis un mur de soutènement. Ils sont surmontés de 5.40 m de colluvions/éboulis puis de 2 m de bancs massifs très peu affleurants Fracturation principale : facturation N30 (perpendiculaire à l'affleurement) et parallèle N110 décimétriques	Surplomb Glissement (colluvions)		Faible/moyen	Nul si colluvions restent en place
E20	Affleurement de 9.5 m de haut environ - 3 niveaux géologiques • Niveau 1 : banc à débit pluri décimétrique sur 5 m • Niveau 2 : banc à débit métrique sur 2 m • Niveau 3 : banc à débit décimétrique Fracturation principal : perpendiculaire et parallèle à l'affleurement	Surplomb		Modéré/fort	Nul

Annexe 2

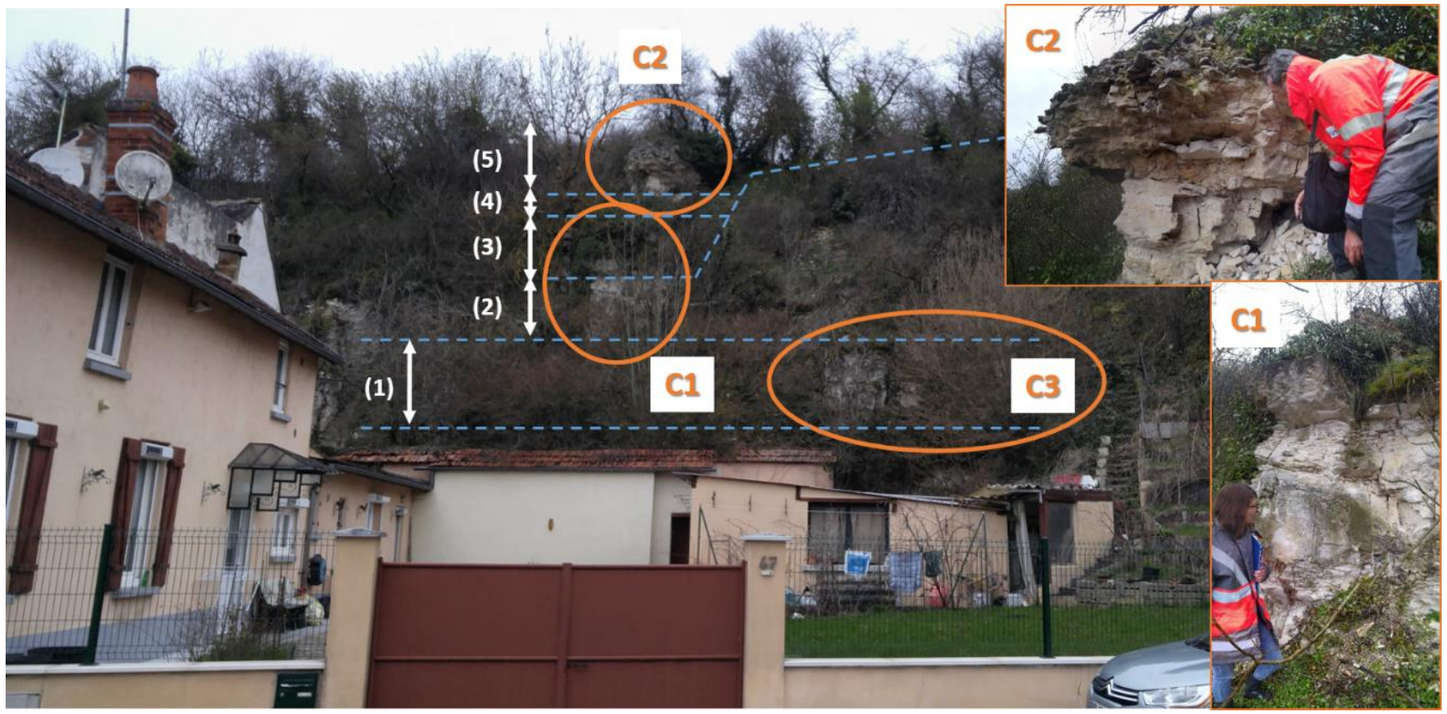
Photographies et/ou schémas de chaque zone homogène de départ

Code	Photographie/schéma de l’affleurement
E1	
E2	

E3

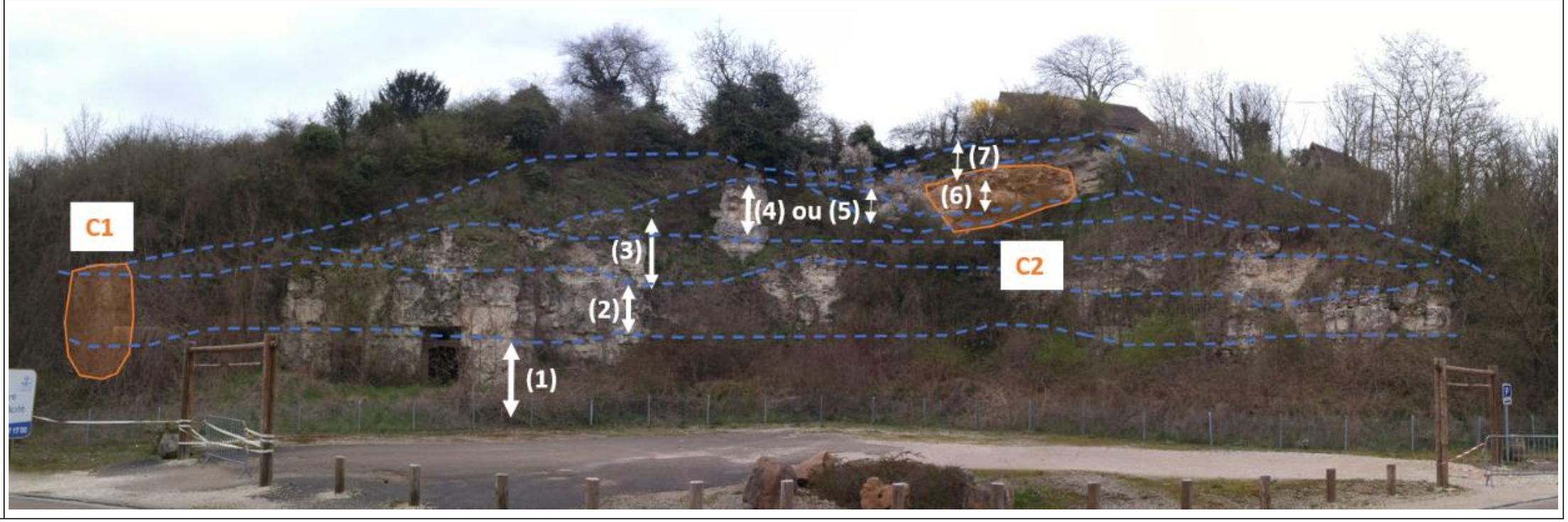


E4

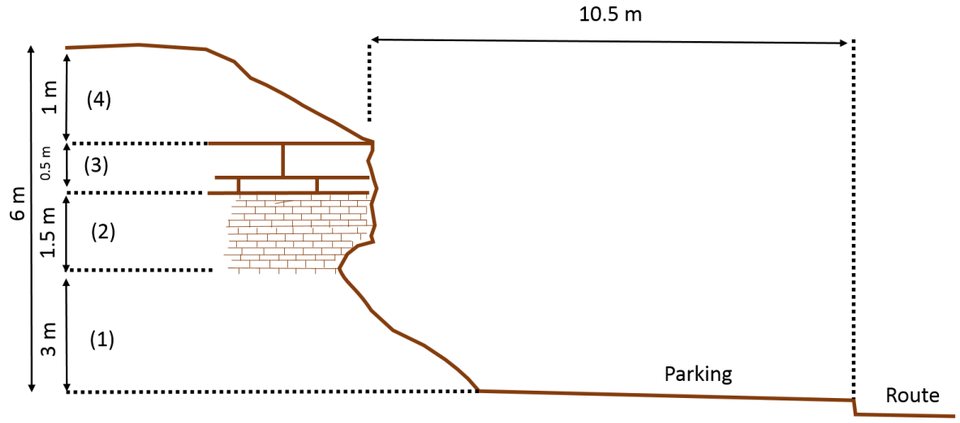


E5

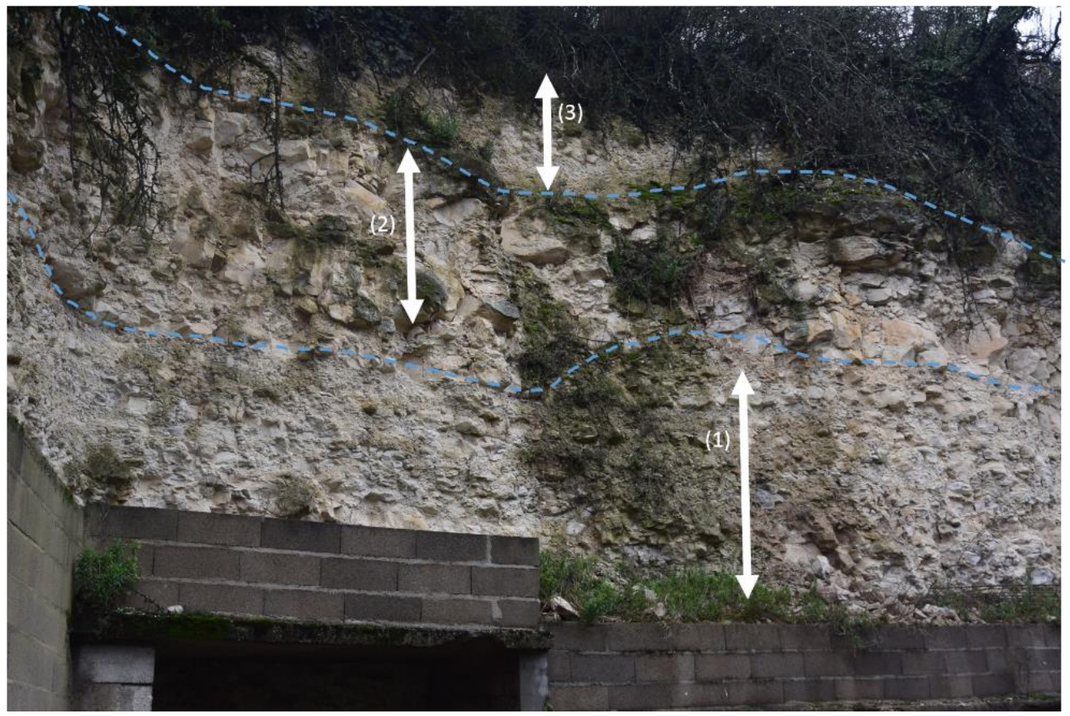
E6



E7

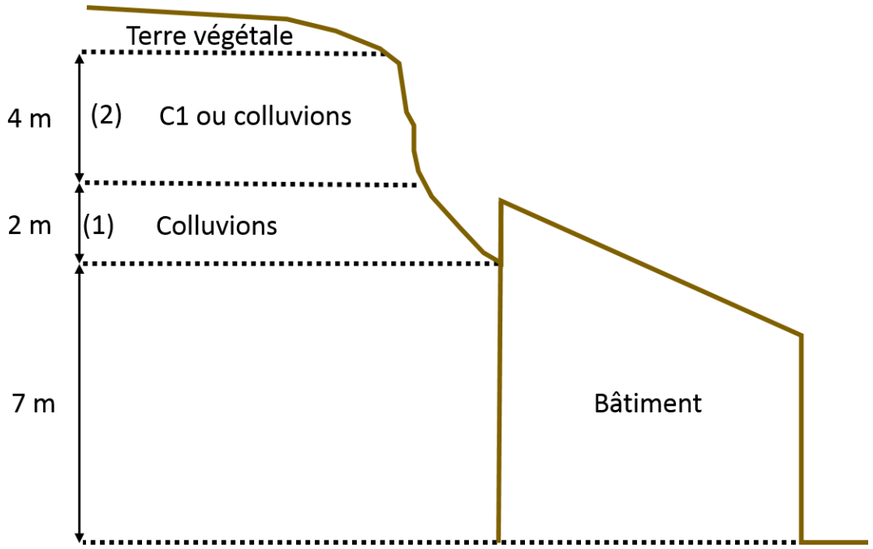


E8



E9

C1
C1

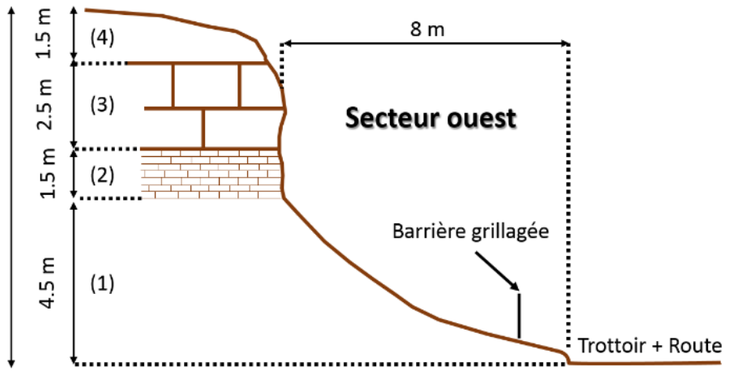

Terre végétale
4 m
(2) C1 ou colluvions
2 m
(1) Colluvions
7 m
Bâtiment

E10

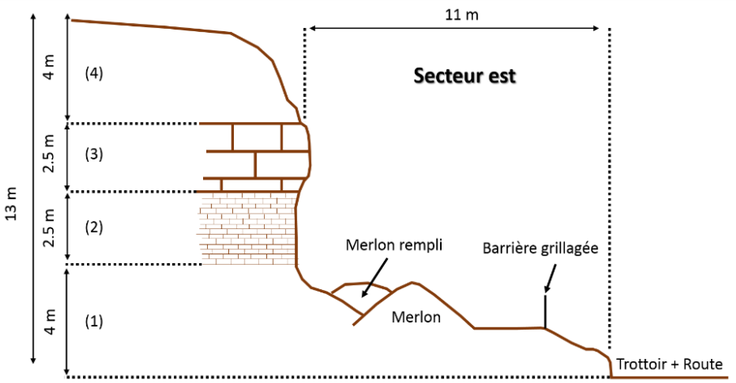
C1
C2

E11

Secteur ouest


10 m
1.5 m
2.5 m
1.5 m
4.5 m
(4)
(3)
(2)
(1)
8 m
Secteur ouest
Barrière grillagée
Trottoir + Route

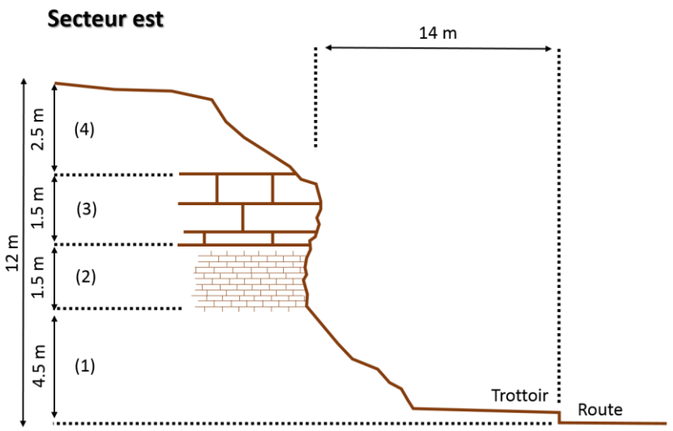
Secteur est


13 m
4 m
2.5 m
2.5 m
4 m
(4)
(3)
(2)
(1)
11 m
Secteur est
Merlon rempli
Barrière grillagée
Merlon
Trottoir + Route

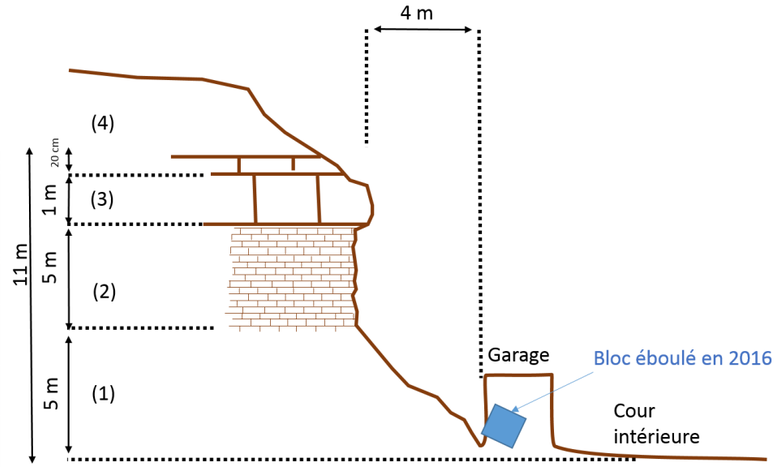
E12

Secteur ouest

Secteur est

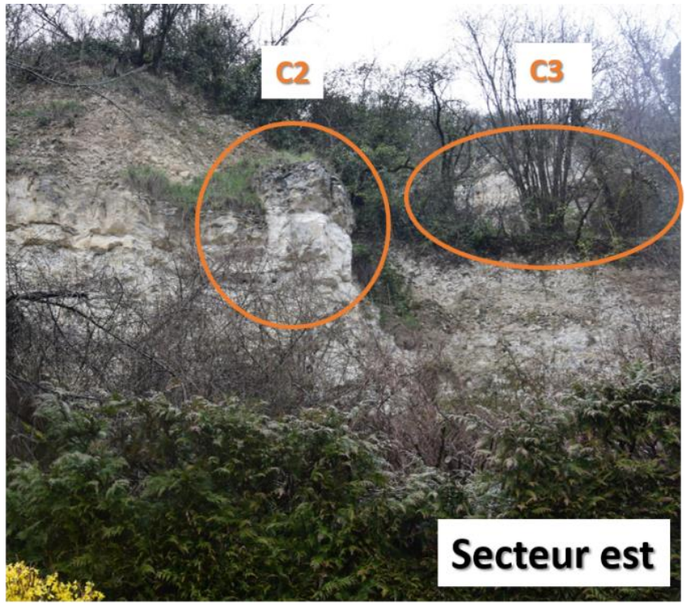

Secteur est
14 m
12 m
2.5 m
1.5 m
1.5 m
4.5 m
(4)
(3)
(2)
(1)
Trottoir
Route

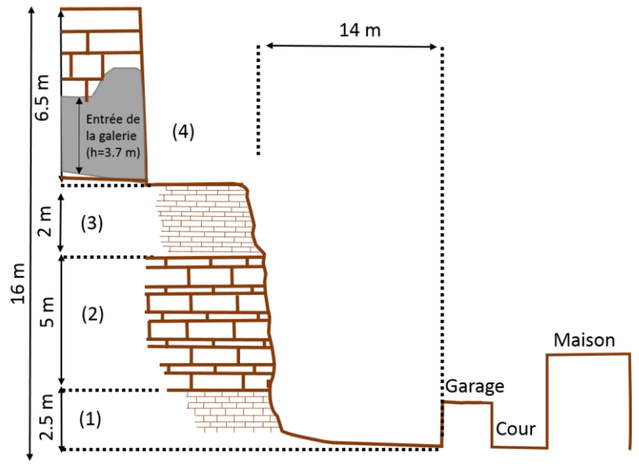
E13

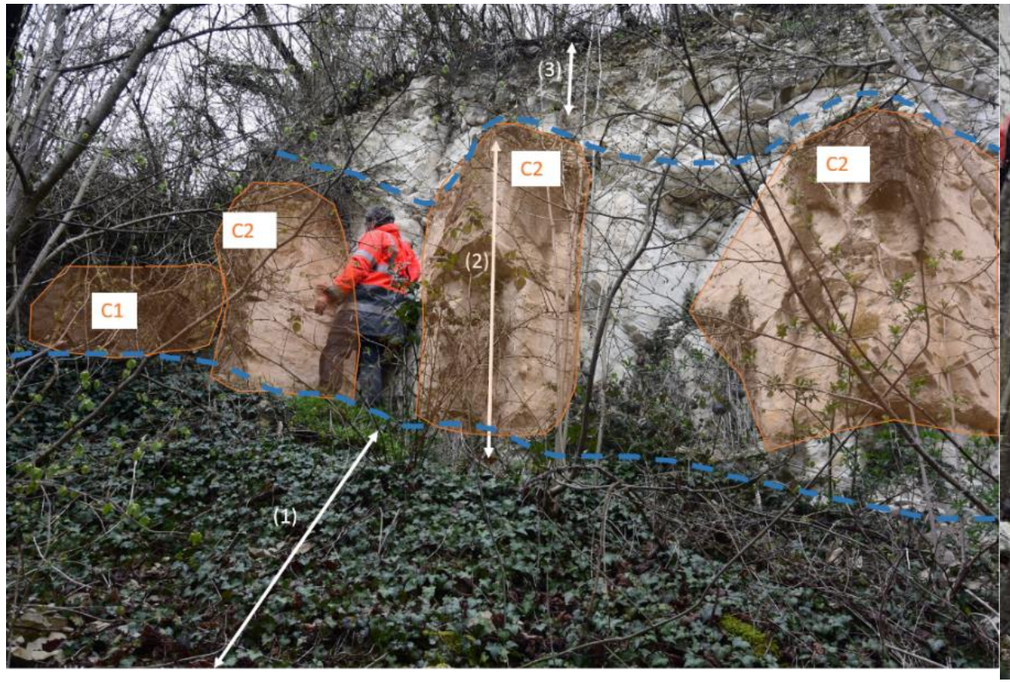

4 m
(4)
20 cm
1 m
(3)
5 m
(2)
11 m
5 m
(1)
Garage
Bloc éboulé en 2016
Cour
intérieure

E14

C1
C2
Secteur ouest

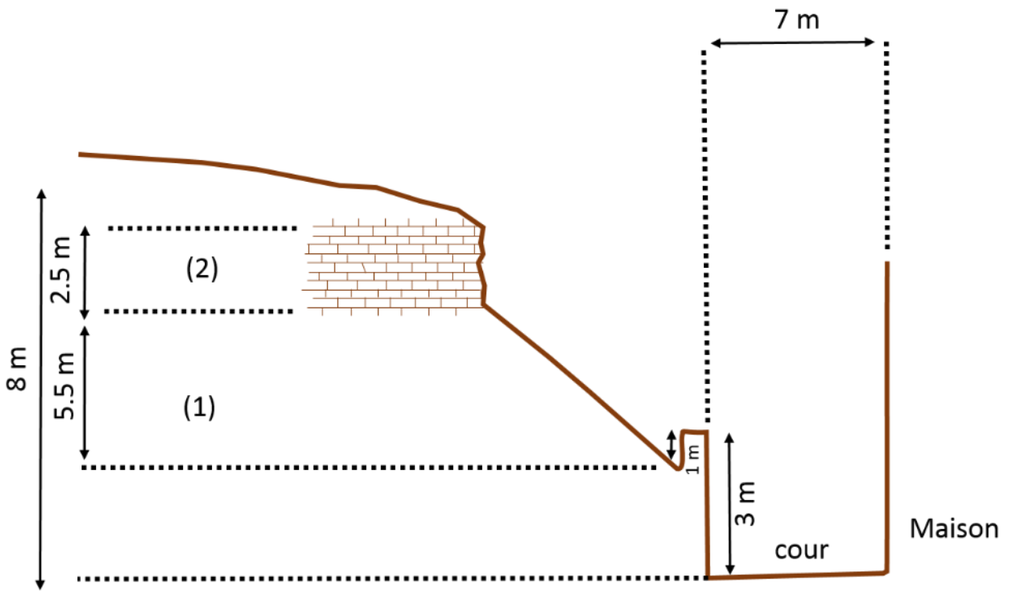

C2
C3
Secteur est

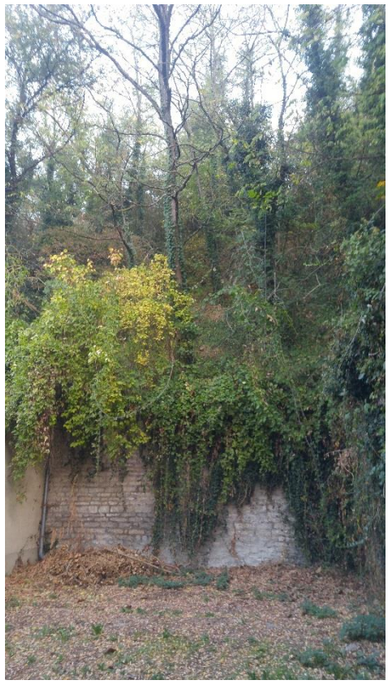
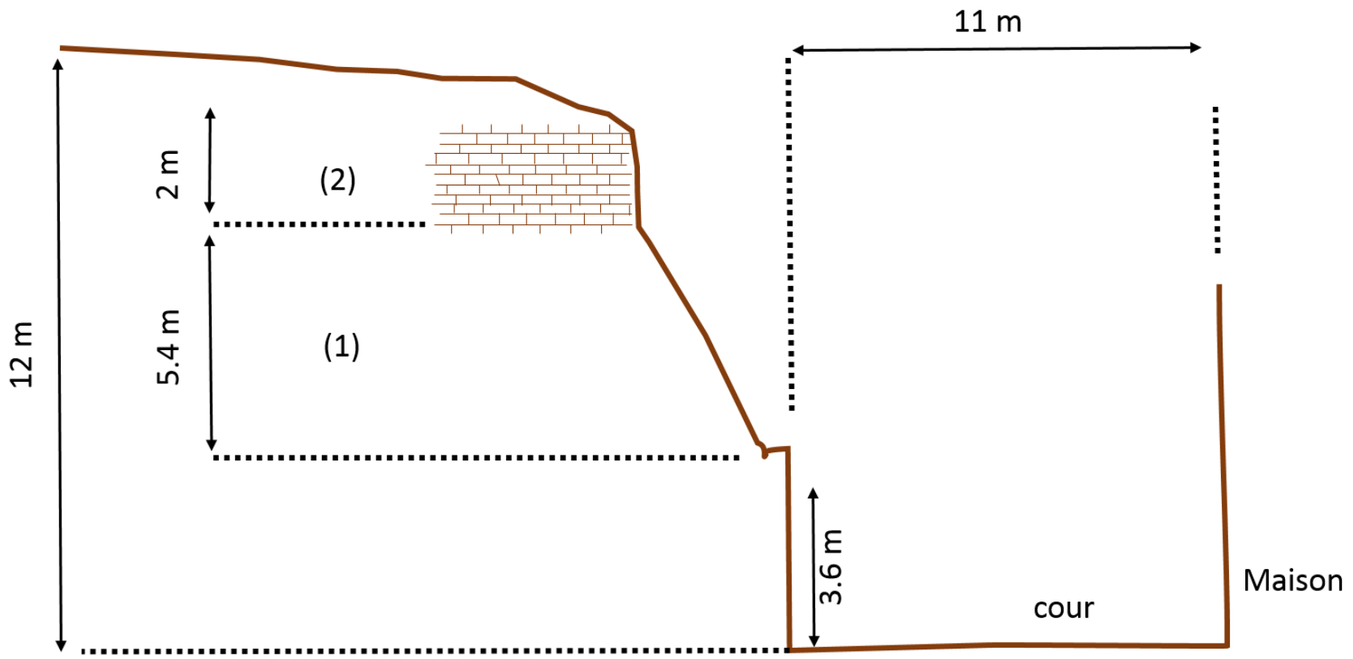
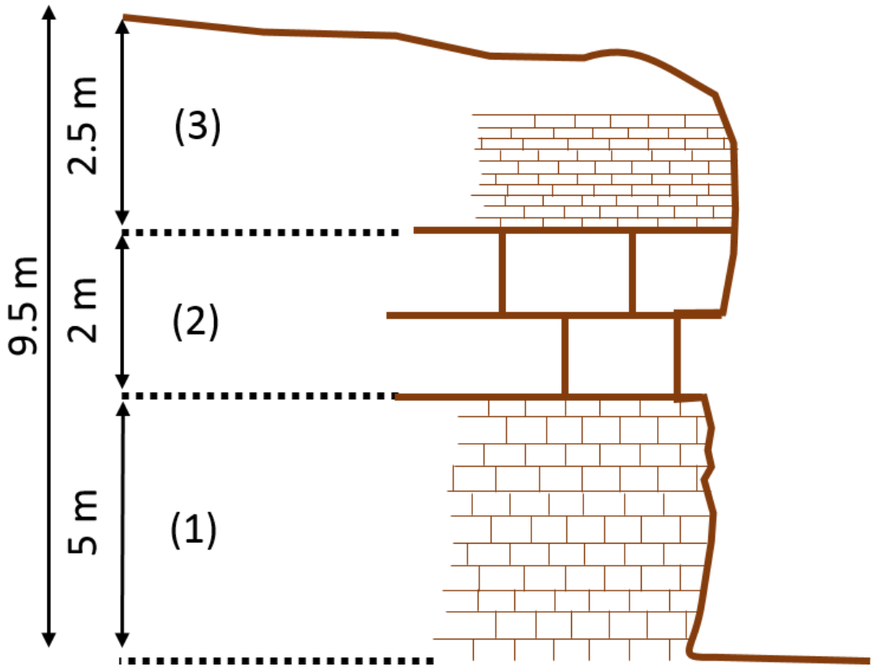

14 m
6.5 m
Entrée de
la galerie
(h=3.7 m)
(4)
2 m
(3)
16 m
5 m
(2)
2.5 m
(1)
Maison
Garage
Cour

E15	
E16	

E17

E18



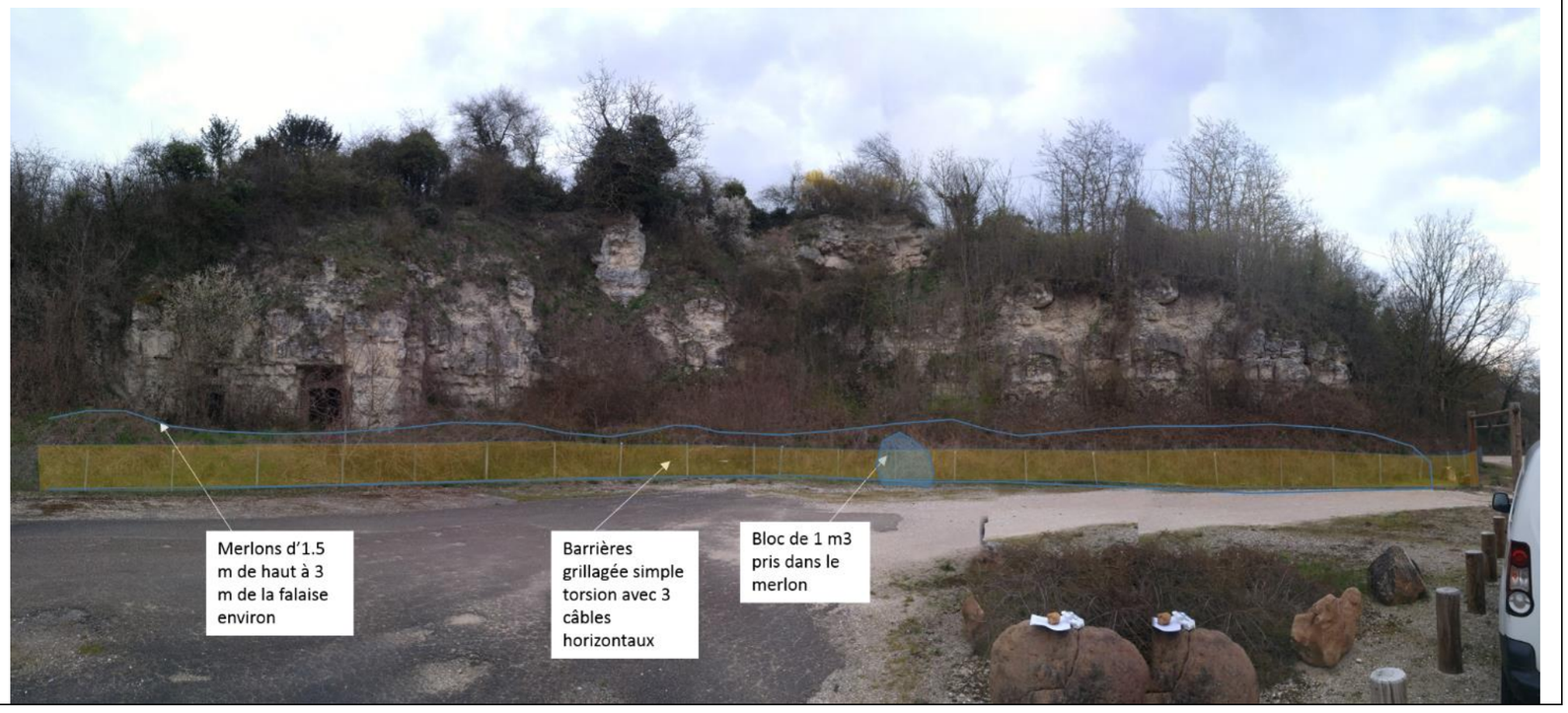
E19	  11 m 2 m (2) 12 m 5.4 m (1) 3.6 m cour Maison
E20	 2.5 m (3) 9.5 m 2 m (2) 5 m (1)

Annexe 3

Photographies et observations de blocs éboulés dans la zone de propagation

Code corniche	Répartition des blocs éboulés	Photographie
E1	Nombreuse pierres inferieures à la dizaine de litres dans le versant amont de la terrasse	
E2	Nombreuses pierres de l’ordre du litre en pied d’affleurement	

E3	Pierres dans jardin et contre le mur du garage (max 70L) Phénomène historique 7 : Le mardi 10 juillet 2018 au matin, les propriétaires domiciliés au 45, rue Emile Tabarant ont constaté dans l'arrière-cour de leur propriété au pied de la falaise une chute importante de blocs de pierres : deux blocs de 0.5 et 1 m3 environ et un éboulis de pierrailles emportant sur son passage un mur de pierres sèches non maçonnées. Les blocs n’ont pas atteint le mur de la grange situé en pied d’escarpement.	
E4	Bloc d'environ 50 litres contre le mur de soutènement et de nombreuses pierres dans le versant	

E5	2 blocs de 100 litres dans le versant et 3 blocs de 10 litres dans le replat dans la partie ouest 3 blocs entre 50 et 100 litres et de nombreuses pierres entre 5 et 10 litres sont appuyés contre une barrière dans la partie est	
E6	Nombreux blocs derrières le merlon, nombre et volume difficilement distinguable dû à la végétation.	

E7	Plusieurs pierres en amont de la barrière. Phénomène historique 8 : Les services de la mairie ont constaté le 1er octobre 2018 la chute de plusieurs blocs. Une visite de terrain a permis de constater que 2 blocs de 125 et 100 litres, 6 blocs entre 20 et 40 litres et de nombreuse pierres inférieures à 10 litres s’étaient éboulées pour un volume total de l’ordre de 0.5 m3. Les blocs éboulés ont été arrêtés par la barrière en pied d’escarpement.	
E8	Nombreuses pierres présentent en pied de versant. Phénomène historique 6 : Le phénomène qui s’est produit le 25 janvier 2018 est la chute d’un bloc d’environ 120 litres et de quelques blocs de 6 à 30 litres et de pierres d’un volume inférieur au litre. Les éboulements de pierres ont perduré jusque dans la nuit du 28 au 29 janvier 2018. Les blocs n’ont pas atteint le mur de la maison d’habitation situé en pied d’escarpement. Ces éboulements sont survenus après un épisode de pluie intense qui a touché la région début janvier 2018.	

E9	Nombreuse pierres de taille centimétrique, rarement décimétrique	
E10	Beaucoup de végétation, pas de pierres/blocs visibles en pied en pied de versant	
E11	Secteur ouest : plusieurs pierres contre la barrière grillagée Secteur est : plusieurs pierres et blocs dans la fosse du merlon et contre la barrière grillagée Phénomène historique 1 : Une chute de bloc a été signalée à la mairie il y a une quinzaine d’années au niveau de la parcelle 27. Elle n’est pas bâtie mais elle est en amont direct de la départementale	
E12	Secteur ouest et est : pierres sur les colluvions de pied de talus Phénomène historique 2 (2013) : L’événement qui s’est produit le 24 mars 2013 est un	

	mouvement de terrain rapide de type éboulement en masse qui a provoqué la ruine de la maison d’habitation situé en contrebas. Le déclenchement est à mettre en perspective avec les conditions météorologiques exceptionnelles de l’hiver 2012-2013 particulièrement arrosé et entrecoupé de périodes de gel-dégel.	
E13	Cône significatif d’éboulis de pierres en pied de corniche Phénomène historique 4 (2016) : Un bloc de 2 m3 s’est détaché et a emprunté un cône d’éboulis de 4 m de long et 40° de pente présent en pied de paroi et a terminé sa course dans l’atelier situé à l’arrière de l’habitation. Quelques jours après l’éboulement d’autres blocs compris entre 0,5 et 1,5 m3 se sont éboulés et ont atterris juste avant l’atelier. Au total avec les éboulis, ce sont près de 5 m3 qui s’est éboulé.	
E14	Nombreuses pierres en pied de versant	
E15	Nombreuses pierres en pied de corniche	

E16	Phénomène historique 3 (2013) : Chute de bloc concomitante avec des inondations de cave. Le bloc s’est arrêté à 1,40 m de la maison d’habitation Phénomène historique 5 (entre 2013 et 2017) : Un bloc d’environ 1.3 m3 est appuyé contre un arbre dans le versant juste en amont des gabions. La date n’a pas pu être précisée par le propriétaire.	
E17	Nombreuse pierres sur les colluvions en pied de talus	

E18	Un bloc d’environ 30 litres arrêté dans le mur, nombreuses pierres dans le versant.	
E19	Pas de blocs repérés dans le jardin mais un panneau avec mentionné "interdit au public-chute de pierre" Un bloc dans la pente au-dessus du garage	
E20	Pas de blocs repérés dans la zone d’atterrissage	

Annexe 4

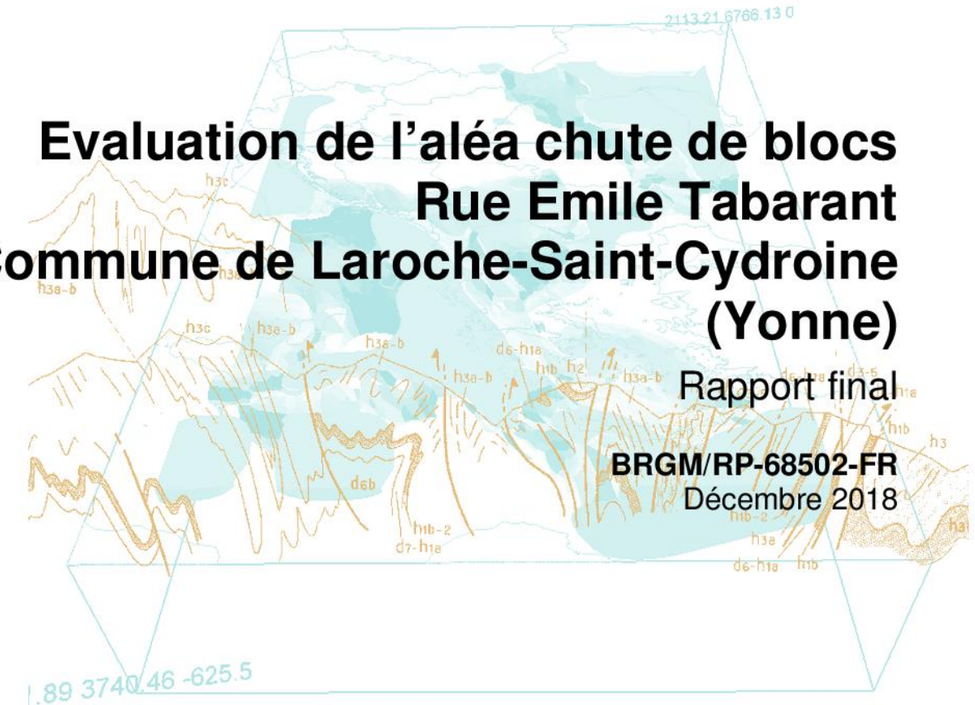
Livrables cartographiques prévus dans la convention

Document public

Evaluation de l'aléa chute de blocs
Rue Emile Tabarant
Commune de Laroche-Saint-Cydroine (Yonne)

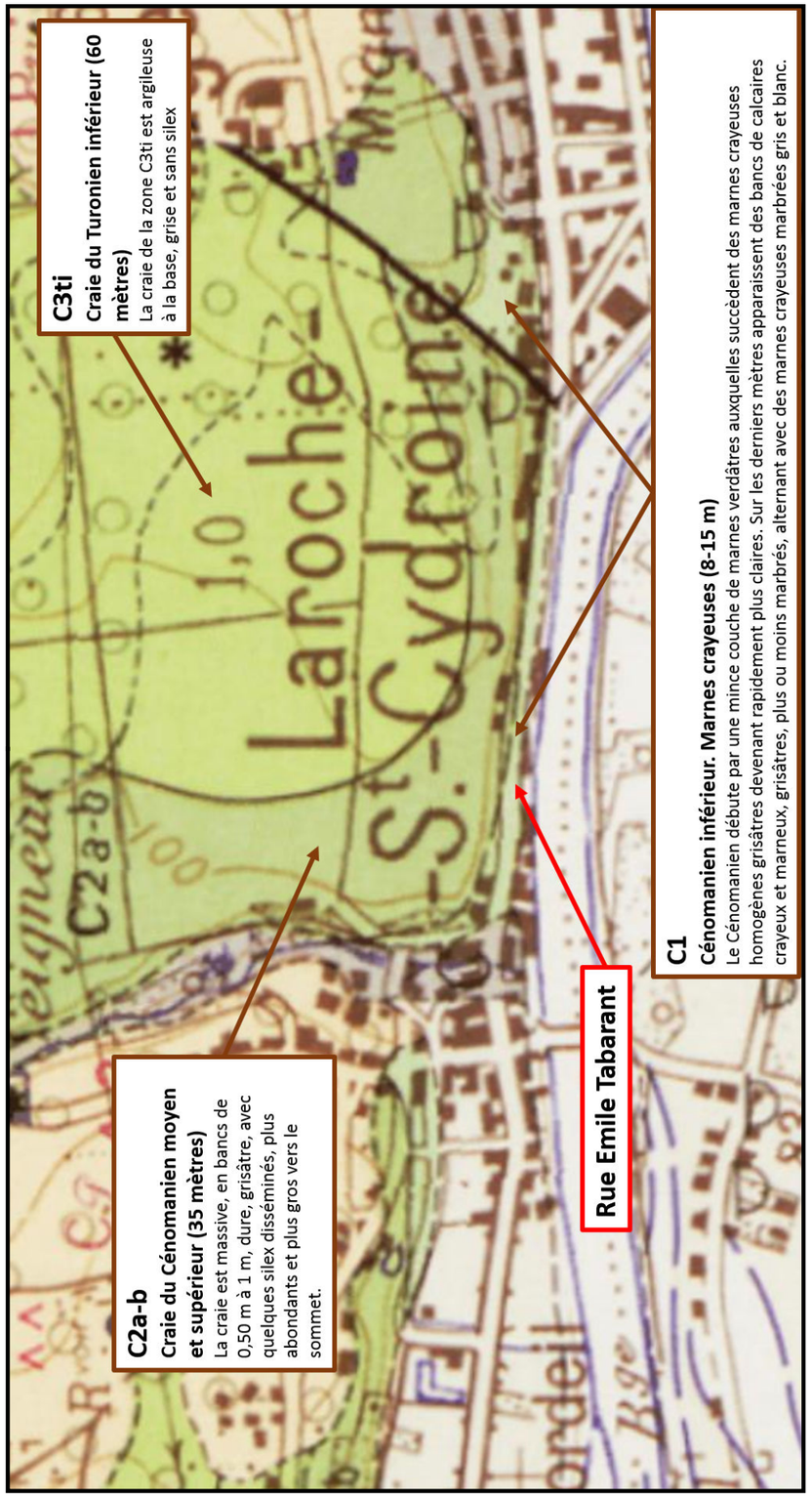
Rapport final

BRGM/RP-68502-FR
Décembre 2018



Géosciences pour une Terre durable
brgm

Extrait de la carte géologique BRGM au 1/50 000 éme



Document public

Cartographie des pentes

N

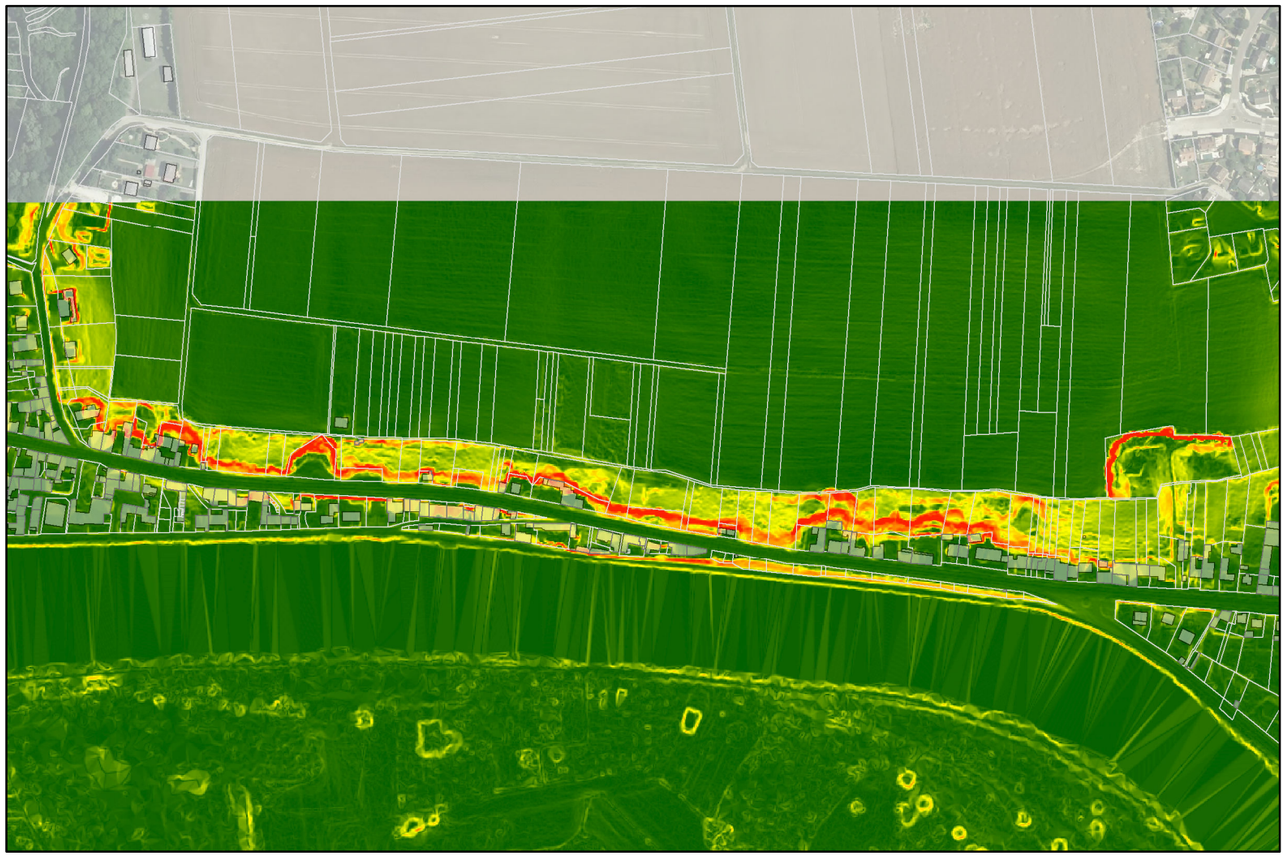
Echelle: 1/5000 ème

0 50 100 200 Mètres

Evaluation de l'aléa chute de blocs
Rue Emile Tabarant
Commune de Laroche-Saint-Cydroine (Yonne)

Rapport final

BRGM/RP-68502-FR
Décembre 2018



Pente en degré

80°

0°

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Illustration 14 du rapport présente une meilleur résolution

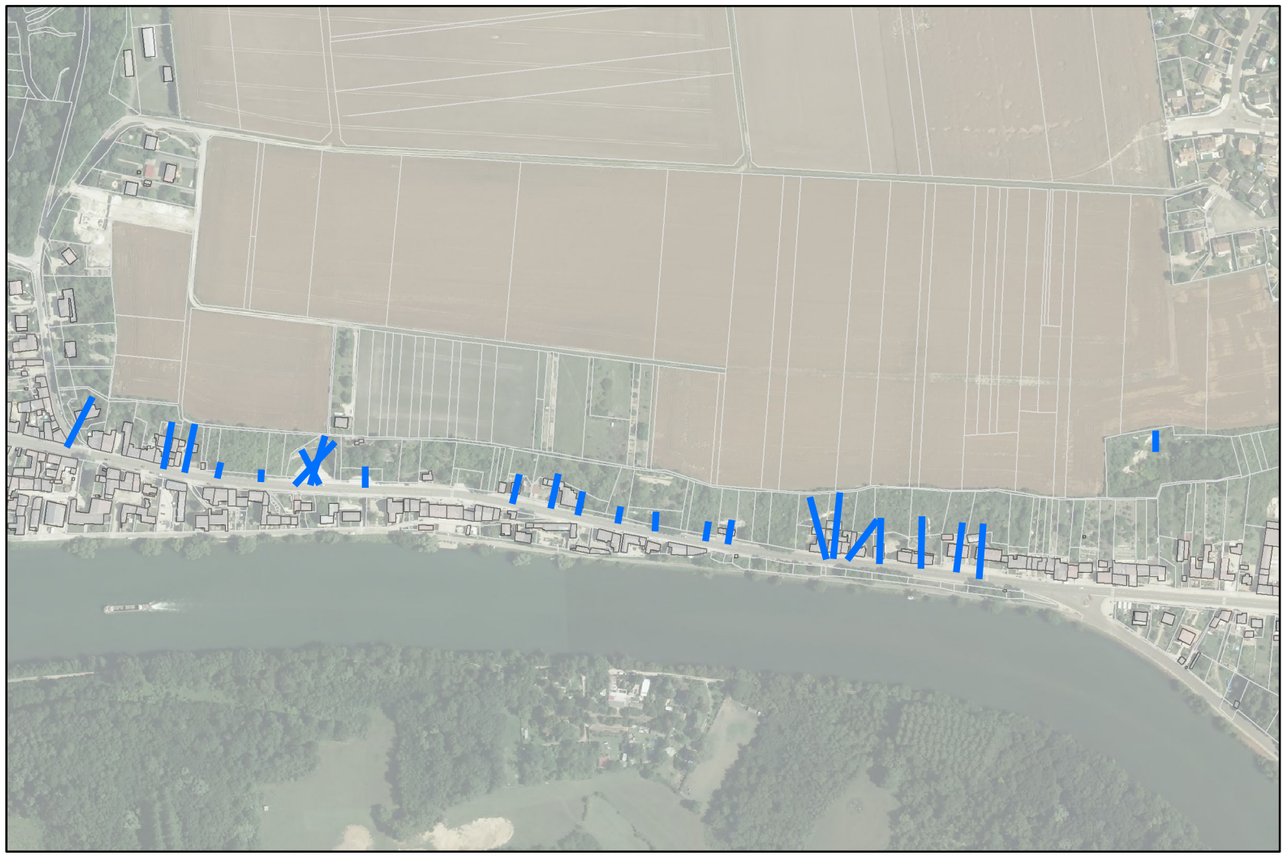
Document public

Cartographie des profils topographiques pour réaliser l'évaluation de la propagation

N

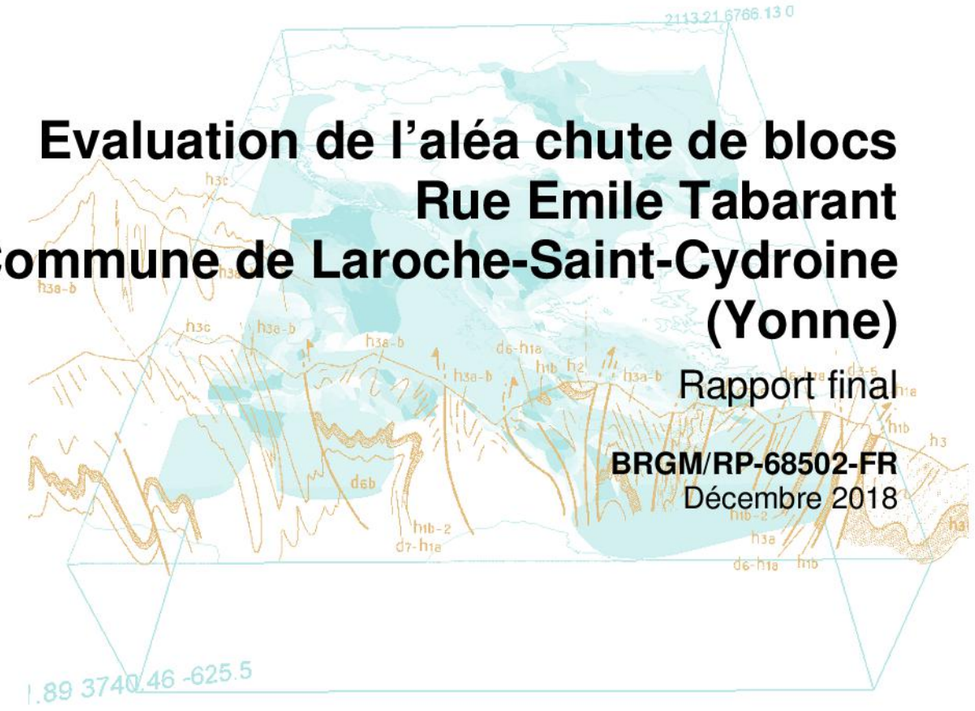
Echelle: 1/5000 ème

0 50 100 200 Meters



Profil topographique

Illustration 25 du rapport présente une meilleure résolution



Evaluation de l'aléa chute de blocs Rue Emile Tabarant Commune de Laroche-Saint-Cydroine (Yonne)

Rapport final

BRGM/RP-68502-FR

Décembre 2018

Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document public

Evaluation de l'aléa chute de blocs
Rue Emile Tabarant
Commune de Laroche-Saint-Cydroine (Yonne)

Rapport final

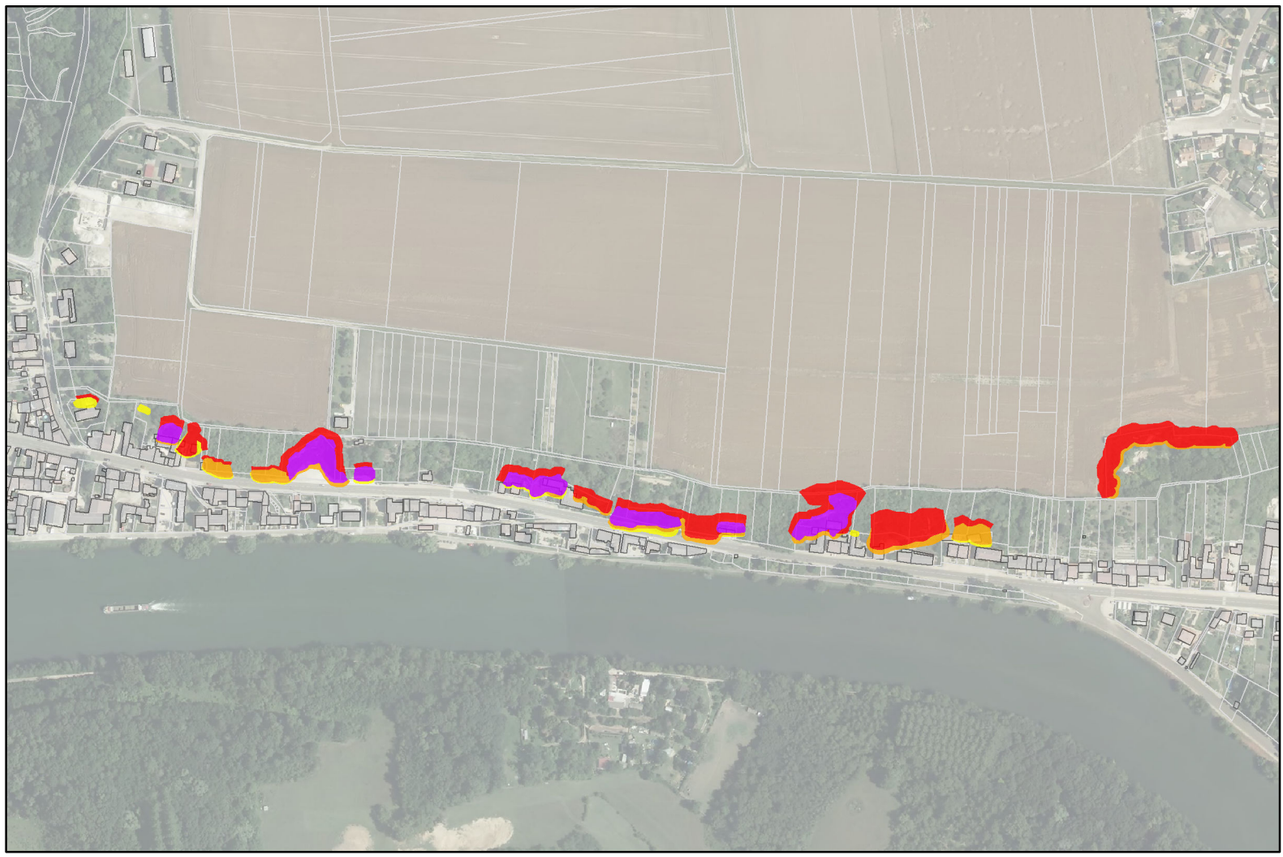
BRGM/RP-68502-FR
Décembre 2018

Cartographie de l'aléa chute de blocs et éboulement en masse

N

Echelle: 1/5000 ème

0 50 100 200 Meters



Niveau aléa

- Faible
- Modéré
- Elevé
- Très Elevé

Illustration 37 du rapport présente une meilleure résolution

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - **ww.brgm.fr**

Direction régionale Bourgogne-Franche-Comté
27 rue Louis de Broglie
21000 – Dijon – France
Tél. : 03 80 72 90 40