

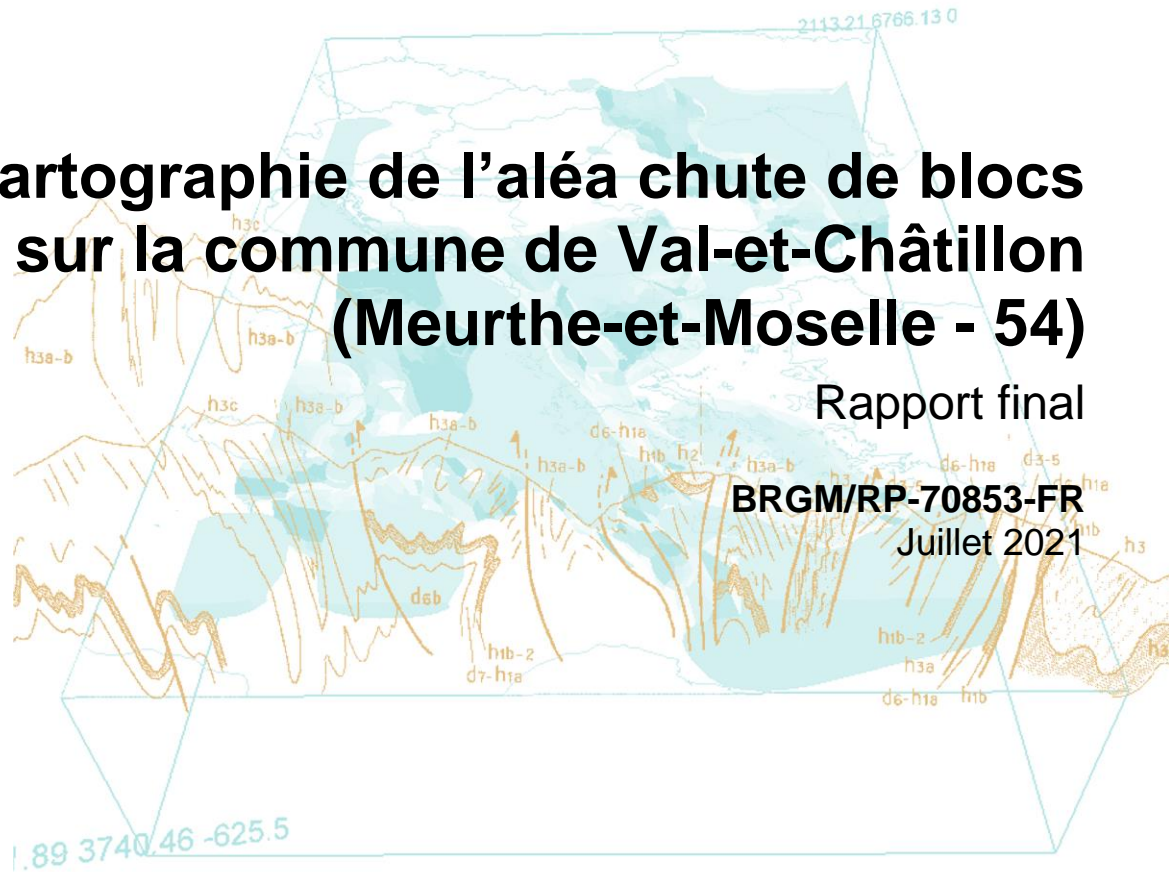


# Cartographie de l'aléa chute de blocs sur la commune de Val-et-Châtillon (Meurthe-et-Moselle - 54)

Rapport final

BRGM/RP-70853-FR

Juillet 2021



Direction  
Départementale  
des Territoires  
de la Moselle



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**





# Cartographie de l'aléa chute de blocs sur la commune de Val-et-Châtillon (Meurthe-et-Moselle - 54)

Rapport final


**BRGM/RP-70853-FR**  
Juillet 2021

Étude réalisée dans le cadre des opérations  
de Service public du BRGM AP18NCY008

**J. Le Goff, L. Raymond**

**Vérificateur :**

Nom : Clara Levy  
Fonction : Ingénieure  
géotechnicienne  
Date : 17/06/21

Signature : 

**Approbateur :**

Nom : Dominique Midot  
Fonction : Direction régional Grand  
Est  
Date : 29/06/21

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](mailto:qualite@brgm.fr)



**Direction  
Départementale  
des Territoires  
de la Moselle**



Mots-clés : cartographie, aléa, chute de blocs, Val-et-Châtillon, Moselle, Grand Est

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

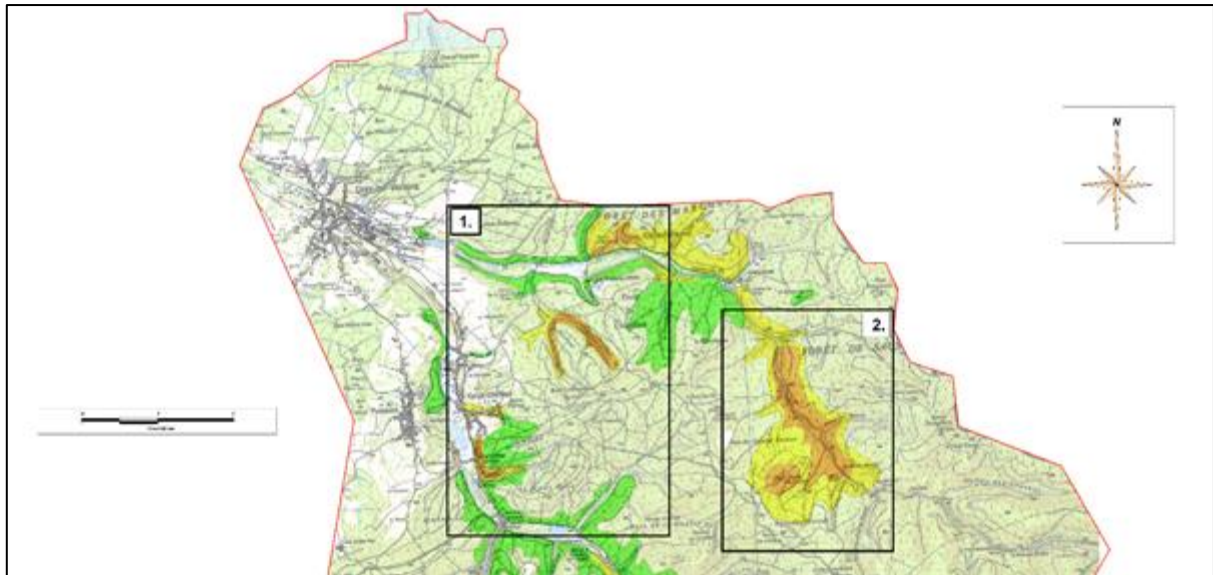
**Le Goff J., Raymond L. (2021)** – Cartographie de l'aléa chute de blocs sur la commune de Val-et-Châtillon (Meurthe et Moselle – 54). Rapport final. BRGM/RP-70853-FR, 158 p., 62 ill., 8 ann, 1 carte A0 hors texte.

© BRGM, 2021, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.



## Synthèse

Suite à un inventaire départemental (Moiriat D. et al., 2008), la commune de Val-et-Châtillon a été identifiée comme un des quatorze bassins à risque de chutes de blocs. Cette cartographie, à l'échelle du 1/50 000<sup>ème</sup>, plaçait plusieurs parties de la commune en zone d'aléa de niveau moyen à faible (Illustration 1).



*Illustration 1 – Cartographie de l'aléa départemental sur la commune de Val-et-Châtillon (issu du rapport BRGM de 2008 (Moiriat D. et al., 2008))*

En 2012, un rapport du CETE dresse l'état des lieux des zones à risques de chutes de blocs sur la commune (Parent H., 2012). Ce rapport fait également état d'un éboulement important survenu en 1979 avec une propagation de blocs jusqu'à la route départementale ainsi que de plusieurs zones d'instabilité mises en évidence dans divers rapports et compte rendus réalisés entre 1979 et 1984.

En 2016, un nouveau rapport a été réalisé par le BRGM suite à une chute de blocs survenue en mars 2016 au nord de la zone urbanisée recommandant de réaliser des travaux de purge et de parades afin de sécuriser le secteur (Grabenstaetter L., 2016).

Au vu des zones d'aléa précédemment mises en évidence et des enjeux sur la zone urbanisée, la DDT 54 souhaite améliorer la caractérisation de l'aléa lié à ce phénomène et réaliser un Plan de Prévention des Risques (PPR) afin de protéger les personnes et les biens.

Cette étude a pour objectif de réaliser une étude cartographique détaillée de l'aléa chute de blocs à l'échelle communale. Les phénomènes de glissement de terrain, de coulée de boue, de retrait-gonflement, les affaissements et effondrements liés à la présence de cavités naturelles ou anthropiques ne seront pas pris en compte dans cette étude.

L'approche utilisée pour l'évaluation de l'aléa est de type expert. La cartographie de l'aléa est basée sur la méthode MEZAP<sup>1</sup> adaptée au contexte local. Sur la base de la cartographie de l'aléa, un ciblage des zones à risque a été réalisé et des propositions de parades ont été formulées. Pour ce faire, la vulnérabilité des enjeux, scindés en deux catégories, bâtiment et voie de communication, a été évaluée. Le croisement des classes d'aléa et de vulnérabilité a permis de hiérarchiser les zones par priorité de mise en œuvre des solutions de parade.

Un levé Lidar (caractérisation topographique haute résolution) aéroporté a été réalisé par l'entreprise Helimap. Ce levé a permis de produire un modèle numérique de terrain (MNT) et un modèle numérique de surface (MNS) à la maille de 50 cm. Le levé LIDAR a permis d'identifier préliminairement les zones de départ ainsi que d'améliorer l'évaluation la propagation des chutes de blocs.

Cette cartographie a permis d'identifier 69 escarpements (inventaire non exhaustif des escarpements inférieurs à 3 m et situés en zone non urbaine) sur la commune de Val-et-Châtillon. Bien que cet inventaire ne soit pas exhaustif, il permet de cibler les zones particulièrement exposées et permet de quantifier les volumes potentiellement mobilisables.

Les données récupérées sur le terrain et les données topographiques ont permis de définir pour chacune des zones de départ, la probabilité d'atteinte et l'indice d'intensité. Le croisement de ces deux indices a permis d'évaluer l'aléa chute de blocs.

Le territoire communal de Val-et-Châtillon d'une surface de 18,5 km<sup>2</sup> est impacté par de l'aléa chute de blocs sur moins de 13 % de sa surface :

- 0,01 % du territoire communal en aléa faible ;
- 0,04 % du territoire communal en aléa moyen ;
- 12,59 % du territoire communal en aléa fort (2,33 km<sup>2</sup>).

Sur la base de la cartographie de l'aléa, un ciblage des zones à risque a été réalisé et des propositions de parades ont été formulées. Pour ce faire, la vulnérabilité des enjeux, scindés en deux catégories, bâtiment et voie de communication, a été évaluée. Le croisement des classes d'aléa et de vulnérabilité a permis de hiérarchiser les zones par priorité de mise en œuvre des solutions de parade. 14 secteurs ont été hiérarchisés avec les priorités suivantes au niveau communal :

- 36 bâtiments sont classés en priorité très forte ;
- 5 bâtiments sont classés en priorité forte ;
- 1568 m de voie de communication sont classés en priorité forte ;
- 148 m de voie de communication sont classés en priorité moyenne.

---

<sup>1</sup> Groupe de travail réuni pour la détermination d'une Méthodologie de Zonage de l'Aléa chute de Pierres.

# Sommaire

<b>1. Contexte général.....</b>	<b>13</b>
1.1. OBJET .....	13
1.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	14
1.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE .....	15
1.3.1. Descriptions des formations géologiques.....	15
1.3.2. Description des formations superficielles .....	20
1.4. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE.....	21
1.4.1. Généralités .....	21
1.4.2. Aquifères .....	23
<b>2. Collecte et structuration des données .....</b>	<b>25</b>
2.1. LEVE LIDAR .....	25
2.2. INVENTAIRE DES PHENOMENES HISTORIQUES.....	27
2.3. ETUDES ANTERIEURES .....	30
2.3.1. Expertise de l'évènement de 1979 (BRGM, 1979) .....	30
2.3.2. Cartographie départementale .....	31
2.3.3. Etude de chute de blocs en zone urbaine .....	31
2.3.4. Expertise sur un affleurement .....	32
<b>3. Rappel sur l'aléa chute de blocs et éboulement.....</b>	<b>35</b>
3.1. TERMINOLOGIE .....	35
3.2. EVOLUTION VERS LA RUPTURE .....	36
3.3. FACTEURS INTERVENANT DANS LA CHUTE DE BLOCS.....	36
3.3.1. Les facteurs de prédisposition intrinsèque au massif rocheux.....	36
3.3.2. Les facteurs de prédisposition environnementaux .....	37
3.3.3. Typologie des ruptures .....	39
3.3.4. Les ruptures de colonnes en pied .....	44
3.3.5. Remobilisation de blocs .....	45
3.4. PROPAGATION.....	46
3.5. INVENTAIRE EVENEMENTIEL .....	47
<b>4. Evaluation de l'aléa chute de blocs .....</b>	<b>48</b>
4.1. METHODE .....	48

4.2. RECONNAISSANCE DES ZONES DE DEPART .....	49
4.2.1. Géologie .....	50
4.2.2. Morphologie .....	50
4.2.3. Typologie .....	53
4.3. CARTOGRAPHIE DES ZONES DE REcul .....	55
4.4. INDICE D'INTENSITE .....	56
4.5. INDICE D'ACTIVITE .....	57
4.6. SYNTHÈSE DES INDICES D'INTENSITE ET D'ACTIVITE .....	58
4.7. PROBABILITE DE PROPAGATION .....	59
4.7.1. Méthode de la ligne d'énergie .....	61
4.7.2. Synthèse aléa de propagation .....	64
4.8. ZONE DE REcul .....	65
4.8.1. Recul brutal lié à un éboulement en masse .....	65
4.8.2. Recul progressif lié à des chutes de blocs successifs .....	66
4.8.3. Application d'une zone tampon pour le recul .....	66
4.9. PROBABILITE D'ATTEINTE DE CHUTE DE BLOCS .....	67
4.10. ALEA DE CHUTE DE BLOCS .....	67
4.11. LIMITE DE LA CARTE ET ECHELLE DE RESTITUTION .....	68
<b>5. Evaluation du risque et parades associées .....</b>	<b>71</b>
5.1. EVALUATION ET HIERARCHISATION DU RISQUE .....	71
5.1.1. Vulnérabilité des enjeux .....	71
5.1.2. Analyse des enjeux .....	71
5.1.3. Hiérarchisation des secteurs .....	72
5.2. PROPOSITION DE PARADES PAR SECTEUR .....	75
5.2.1. Méthode .....	75
5.2.2. Fiche synthétiques des secteurs et des parades associées .....	75
<b>6. Conclusion .....</b>	<b>91</b>
<b>7. Bibliographie .....</b>	<b>93</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 – Cartographie de l'aléa départemental sur la commune de Val-et-Châtillon (issu du rapport BRGM de 2008 (Moiriat D. et al., 2008) .....	5
Illustration 2 – Topographie de la commune de Val-et-Châtillon (fond scan 25 de l'IGN) .....	14
Illustration 3 - Carte géologique au 1/50 000 <sup>ème</sup> du BRGM de la commune de Val-et-Châtillon (fond scan 25 de l'IGN).....	15
Illustration 4 - Extrait de la carte géologique harmonisée à 1/50000 du département de Meurthe-et-Moselle sur la commune de Val-et-Châtillon – partie ouest (source BRGM, fond IGN scan25) .....	16
Illustration 5 – Formation des grès à Voltzia recouvertes par des colluvions et des argiles.....	18
Illustration 6 – Colonne lithostratigraphique des faciès rencontrés sur la commune de Val-et-Châtillon ...	19
Illustration 7 – Description des forages bancarisés dans la BSS à proximité du territoire communal de Val-et-Châtillon .....	20
Illustration 8 - Principaux éléments de l'hydrographie et de l'hydrogéologie sur la commune de Val-et-Châtillon – partie ouest (source BRGM, fond IGN scan25).....	21
Illustration 9 - Principaux éléments de l'hydrographie et de l'hydrogéologie sur la commune de Val-et-Châtillon – partie est (source BRGM, fond IGN scan25).....	22
Illustration 10 - Extrait du log du référentiel hydrogéologique LISA (Limites des Systèmes Aquifères) avec la légende, obtenu pour une localisation dans le secteur des captages (sources) d'alimentation en eau potable sur la commune de Val-et-Châtillon (source SIGES Bassin Rhin-Meuse) .....	23
Illustration 11 - Modèle numérique de surface ombragé obtenu à partir du levé LIDAR au pas de 0,5 m avec représentation des enjeux.....	26
Illustration 12 - Cartographie des pentes à partir du levé LIDAR au pas de 0,5 m.....	27
Illustration 13 - Localisation des phénomènes de chute de blocs identifié sur la commune de Val-et-Châtillon (fond scan 25) avec des ronds rouge et un code qui renvoie vers un tableau descriptif (Illustration 13).....	28
Illustration 14 – Identification/Description des phénomènes de chute de blocs sur la commune de Val-et-Châtillon .....	29
Illustration 15 – Photographie historique de la chute de bloc de 1979 (source : Parent H., 2012).....	30
Illustration 16 - Extrait de la cartographie chute de bloc à l'échelle départementale sur la commune de Val-et-Châtillon (fond IGN scan 25) (source : Moiriat D. et al., 2008).....	31
Illustration 17 – Localisation des secteurs concernés par l'étude de 2012 (source : Parent H., 2012) .....	32
Illustration 18 – Panorama de la falaise avec localisation des zones à purger (recommandations BRGM, 2016). Source : Grabenstaetter L., 2016. ....	33
Illustration 19 - Terminologie de l'aléa rocheux en fonction des volumes mobilisés (Effendiantz L. et al., 2004) .....	35
Illustration 20 - Principaux processus d'évolution des compartiments rocheux, d'après LCPC (Effendiantz L. et al., 2004) .....	38
Illustration 21 - Schéma des principaux mécanismes de rupture (Dussauge-Peisser, 2002) .....	39
Illustration 22 – Phénomène de chute de blocs - typologie.....	40
Illustration 23 - Glissement plan – Affleurement B29 .....	41
Illustration 24 - Surplomb – Affleurement C14 .....	42
Illustration 25 - Habitation construite sur une zone en surplomb – Affleurement E3 .....	43

Illustration 26 - Basculement de colonne – Affleurement E1 .....	44
Illustration 27 – Rupture de colonne en pied – Affleurement B24.....	45
Illustration 28 – Remobilisation de blocs – Affleurement B30.....	46
Illustration 29 – Zone de propagation en aval de l’affleurement B25.....	47
Illustration 30 - Inventaire des zones de départ potentielles sur MNT avec la définition d’une valeur de pente seuil $\alpha$ de 57,9° (fond carte ombragée du MNT) .....	51
Illustration 31 – Traitement effectué sur les zones de départ potentielles .....	52
Illustration 32 - Inventaire des zones de départ sur MNT avec la définition d’une valeur de pente seuil $\alpha$ de 57,9°, affiné par post-traitement (reclassement manuel d’après des informations de terrain ou photographiques, ou reclassement automatique selon des critères géométriques) .....	52
Illustration 33 – Extrait de localisation des identifiants des descriptions issue du terrain .....	54
Illustration 34 – Logigramme des typologies des zones de départ en chutes de blocs observées sur la commune de Val-et-Châtillon .....	55
Illustration 35 – Définition des classes d’intensité de l’aléa rocheux en fonction du volume et du potentiel de dommages (source : modifié d’après document MEZAP) .....	57
Illustration 36 – Définition des classes d’indice d’activité (source : document MEZAP) .....	58
Illustration 37 – Synthèse des résultats obtenus .....	60
Illustration 38 – Représentation schématique du principe de la ligne d’énergie et de la formule pour déterminer l’angle $\beta$ .....	61
Illustration 39 – Représentation schématique de la méthode de cônes (d’après Jaboyedoff et Labiouse, 2011) (les flèches indiquent la zone de départ et la zone d’atteinte) .....	62
Illustration 40 – Limite de la propagation maximum selon un angle de 26° .....	64
Illustration 41 - Cartographie des zones de propagation sur la commune de Val-et-Châtillon.....	65
Illustration 42 – Matrice de probabilité d’atteinte (source : document MEZAP) .....	67
Illustration 43 – Matrice d’évaluation de l’aléa (source : modifié d’après document MEZAP) .....	67
Illustration 44 - Cartographie de l’aléa chute de blocs sur la commune de Val-et-Châtillon (fond scan 25) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Illustration 45 – Définition des zones de priorités des voies de communication pour la mise en place de parades .....	72
Illustration 46 – Hiérarchisation des secteurs pour l’évaluation du risque en fonction des niveaux de priorités .....	72
Illustration 47 - Localisation des secteurs pour l’évaluation du risque sur la commune de Val-et-Châtillon .....	73
Illustration 48 – Tableau de hiérarchisation des risques .....	92
Illustration 49 – Description des escarpements sur le terrain .....	116
Illustration 50 – Localisation des escarpements décrits .....	117
Illustration 51 – Localisation des escarpements décrits (zoom en zone urbaine).....	119
Illustration 52 – Liste des profils réalisés et des angles obtenus .....	124
Illustration 53 – Détail des aléas obtenus par zone d’affleurement .....	130
Illustration 54 – a) exemple des étapes d’ELANA pour un pixel de départ en chute de blocs : recherche de la direction de plus grande pente autour du pixel, sélection des directions autour de la plus grande pente dans un cône d’ouverture de 2 fois $\alpha$ et exemple de l’interpolation	

d'un profil topographique de longueur  $L_{max}$ . B) calcul des couples  $(\alpha, \beta)$  pour chaque point du profil et comparaison avec les lois empiriques de propagation. En chaque point du profil, on précise la probabilité de propagation (forte, moyenne, faible ou nulle). C) et D) reports des probabilités de propagation obtenues pour différents profils dans le raster des probabilités de propagation. La probabilité retenue est la plus défavorable obtenue pour tous les profils interceptant le pixel. .... 134

Illustration 55 – Carte de propagation .....	145
Illustration 56 – carte de propagation – zoom 1 .....	147
Illustration 57 – carte de propagation – zoom 2 .....	148
Illustration 58 – Carte de l'aléa chute de blocs .....	151
Illustration 59 – Carte de l'aléa chute de blocs – zoom 1 .....	152
Illustration 60 – Carte de l'aléa chute de blocs – zoom 2 .....	153
Illustration 61 - Exemple de parades actives.....	157
Illustration 62 - Exemple de parades passives.....	158

## Liste des annexes

Annexe 1 : Identification de quelques escarpements sur le terrain (liste non exhaustive) .....	95
Annexe 2 : Profils réalisés sur la commune de Val-et-Châtillon .....	121
Annexe 3 : Caractérisation de l'aléa des escarpements rocheux .....	125
Annexe 4 : ELANA .....	131
Annexe 5 : Photographies des escarpements type .....	135
Annexe 6 : Carte de propagation .....	143
Annexe 7 : Carte de l'aléa chute de blocs.....	149
Annexe 8 : Tableaux synthétiques des parades pour les chutes de blocs .....	155





# 1. Contexte général

## 1.1. OBJET

Le BRGM est intervenu en mars 2016 sur la commune de Val-et-Châtillon à la demande de la DDT 54 dans le cadre de ses appuis aux politiques publiques, pour un diagnostic préliminaire de chutes de blocs (Grabenstaetter L., 2016).

A la demande de la DDT de la Meurthe et Moselle, le BRGM a été sollicité afin de mener une étude des aléas chute de blocs sur la commune de Val-et-Châtillon (carte d'aléa au 1/5 000<sup>ème</sup>). Ce rapport présente un état actualisé des connaissances sur la commune de Val-et-Châtillon intégrant une compilation des archives disponibles, les résultats des recherches sur le terrain et des enquêtes réalisées auprès des services de la mairie. Les habitants ont été sollicités lorsqu'ils ont été rencontrés pendant les visites de terrain.

La réalisation de cette étude s'est structurée en deux parties : une recherche informative et une phase d'évaluation de l'aléa. Il s'agira de réaliser une étude détaillée suivant une démarche de type expert. L'objectif est de réaliser :

- une cartographie des événements historiques avec leurs descriptions ;
- une cartographie des aléas chute de blocs au 1/ 5 000<sup>ème</sup> ;
- la hiérarchisation des sites à risques et la définition de bonnes pratiques et des parades pour leur mise en sécurité.

Ne seront pas pris en compte les phénomènes concernant les glissements circulaires, les glissements plans, les glissements pelliculaires, le fluage, la reptation et la solifluxion, les phénomènes de retrait-gonflement, les affaissements et effondrements liés à la présence de cavités naturelles ou anthropiques ainsi que les coulées de boue.

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

Au regard des nombreux escarpements inférieurs à 3 m de hauteur et des zones de départ situées sur des propriétés privées et/ou masquées par des bâtiments depuis les accès publics, il n'a pas été possible de tous les identifier.

L'approche utilisée pour l'évaluation de l'aléa 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 s'est basée sur la méthode MEZAP adaptée au contexte local. La méthode de la ligne d'énergie a été mise en œuvre pour évaluer l'enveloppe des zones de propagations et les probabilités de propagation des blocs.

Le travail a été effectué en cinq étapes :

- levé LIDAR ;
- recherche d'évènements historiques ;
- reconnaissance des zones de départ ;
- évaluation de l'aléa ;

- ciblage des zones à risque et détermination de l'aléa détaillé sur ces zones avec proposition de type de parades adaptées<sup>2</sup>.

## 1.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La commune de Val-et-Châtillon s'étend sur environ 18,5 km<sup>2</sup> en Meurthe et Moselle. La zone urbaine est principalement située à l'est de la commune, le reste de la commune étant recouvert en majorité par la forêt de Châtillon, les bois communaux du Val, les bois du Grand retour, les Bois des Moises et les Bois des Grandes Moises (Illustration 2). L'altitude varie entre 300 m dans la vallée au nord de la commune et 640 m au sud de la commune vers le bois des Grandes Moises. Deux ruisseaux principaux traversent la commune : ruisseau de Châtillon au nord et ruisseau du Val à l'est.

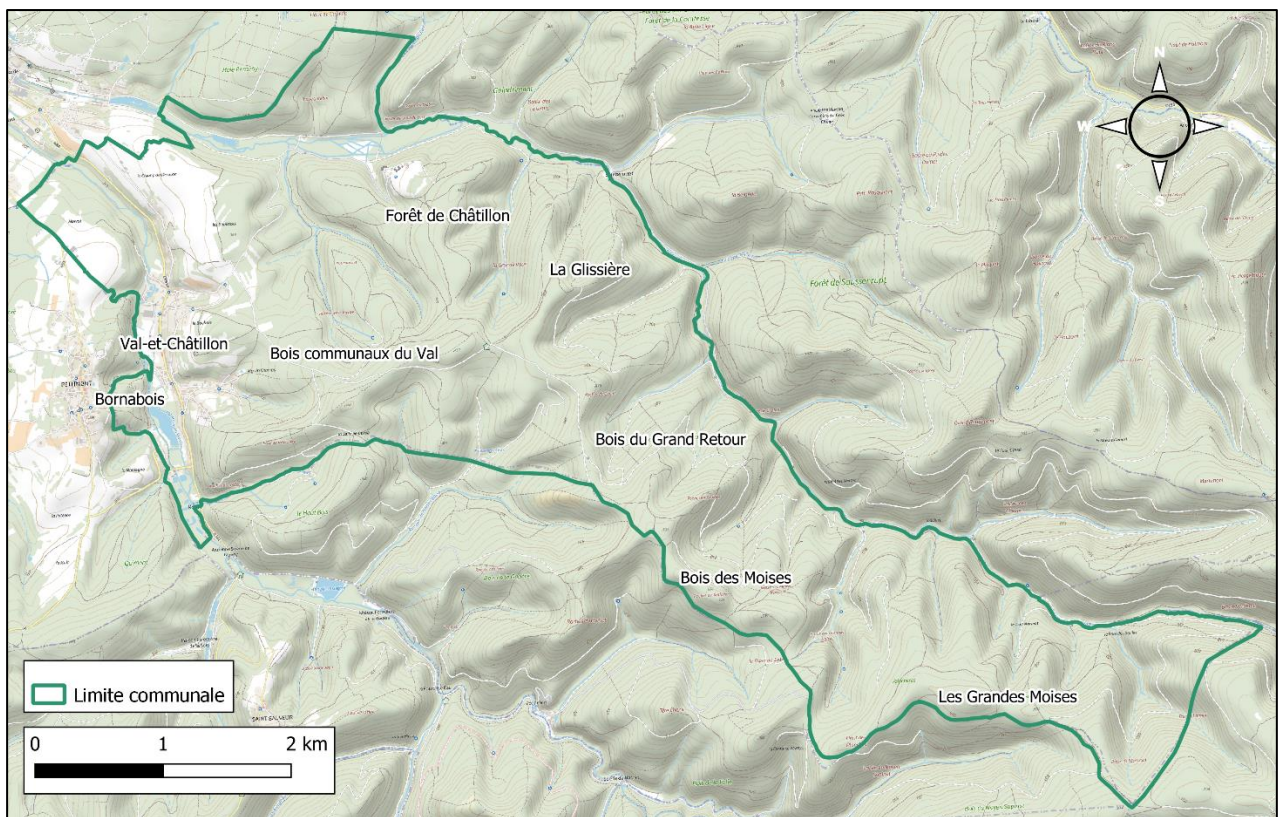


Illustration 2 – Topographie de la commune de Val-et-Châtillon (fond scan 25 de l'IGN)

<sup>2</sup> D'éventuelles études ultérieures devront confirmer la faisabilité, le dimensionnement et le coût de ces parades.



### 1.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE

#### 1.3.1. Descriptions des formations géologiques

D'un point de vue géologique, la commune est marquée par les faciès gréseux du Trias inférieur (faciès du Buntsandstein). La série du Buntsandstein, épaisse de 600 m environ d'après la notice de la carte géologique de Saverne, est constituée principalement par des grès quartzo-feldspathiques rouge-roses (notice géologique 233) (Illustration 3).

Le territoire est affecté par des accidents tectoniques, notamment une faille d'orientation nord nord-est située à l'ouest du territoire communal, affectant une partie du village (Illustration 4). Il est probable que les formations du Trias ont été surtout fracturées au cours de l'ère Tertiaire, en liaison avec la surrection du horst vosgien. La direction (nord nord-est) correspondrait à celle des failles majeures du Fossé rhénan.

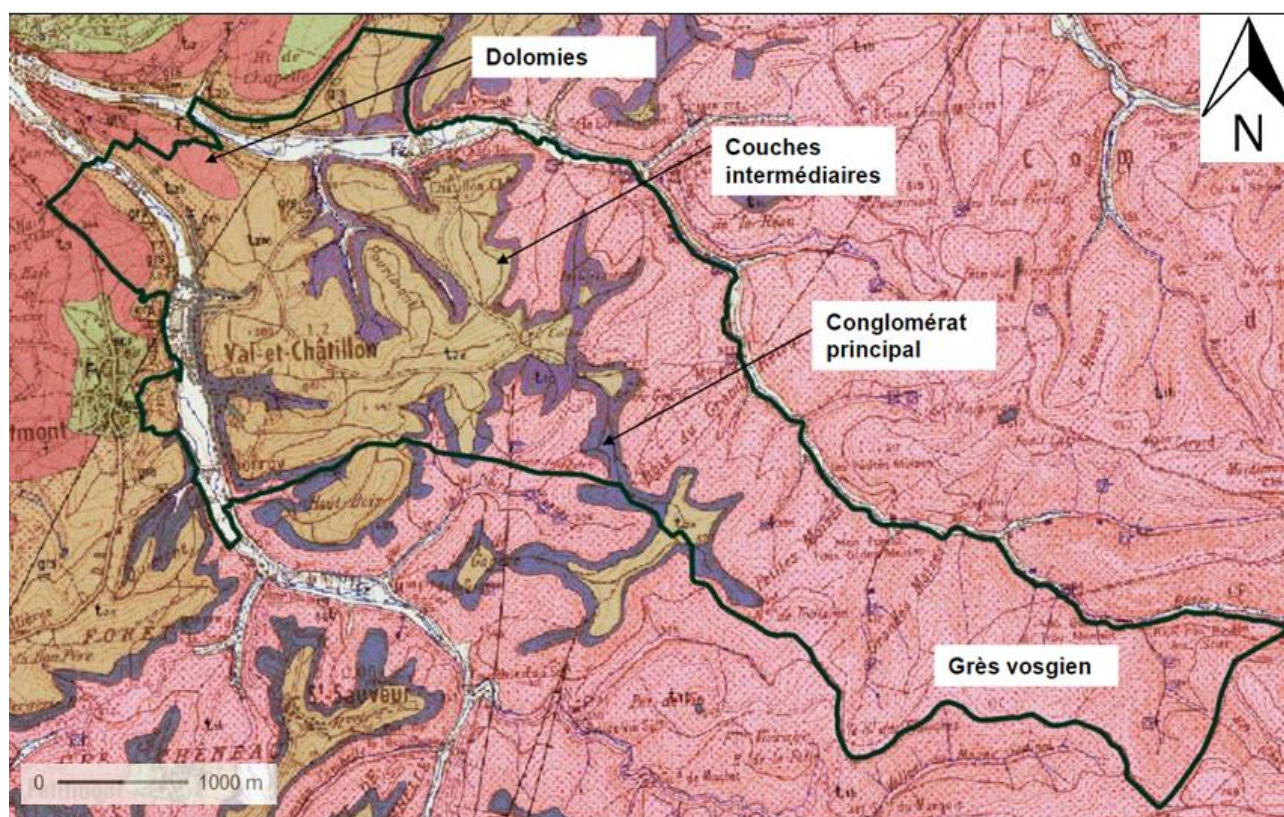


Illustration 3 - Carte géologique au 1/50 000<sup>ème</sup> du BRGM de la commune de Val-et-Châtillon (fond scan 25 de l'IGN)



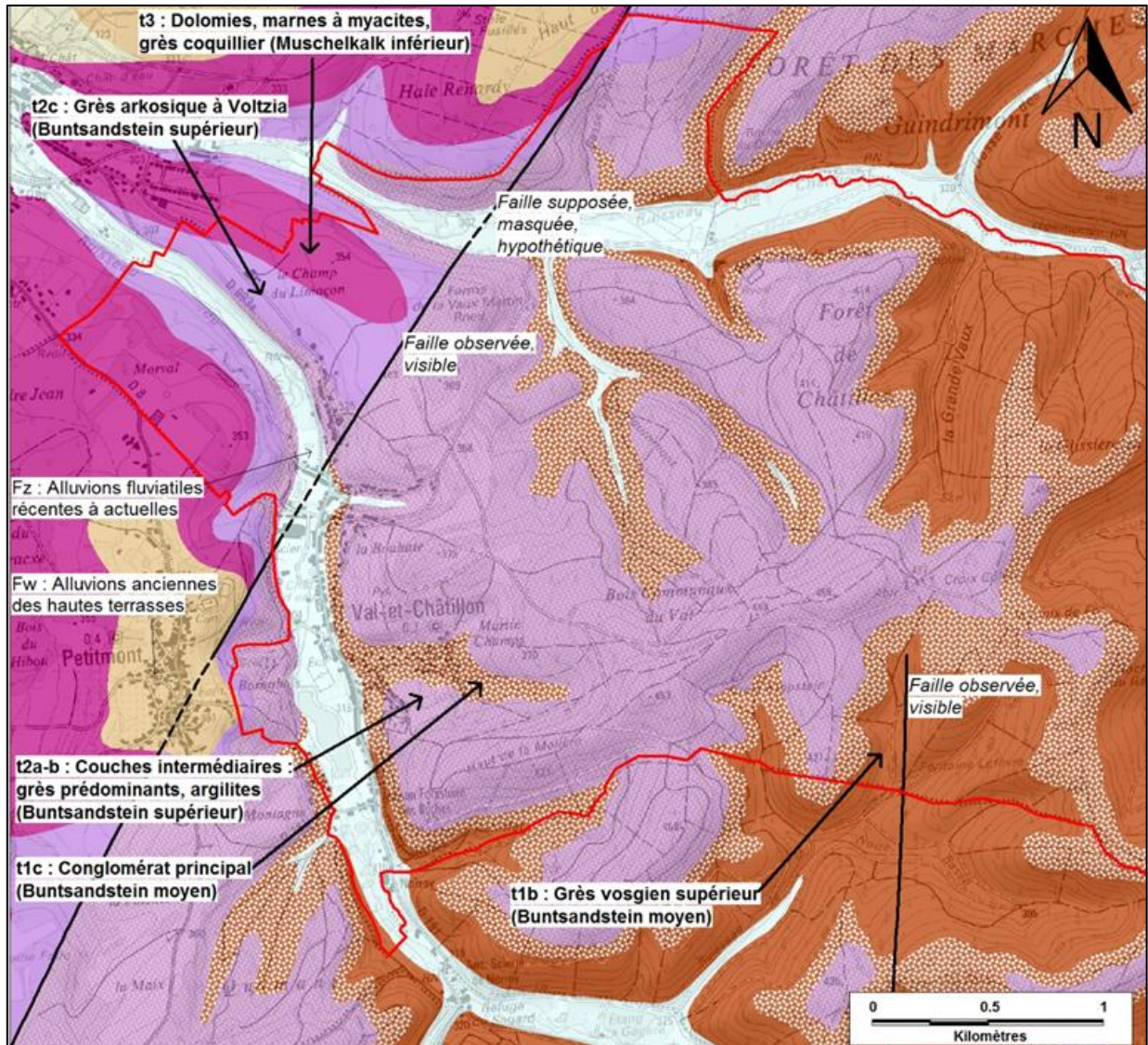


Illustration 4 - Extrait de la carte géologique harmonisée à 1/50000 du département de Meurthe-et-Moselle sur la commune de Val-et-Châtillon – partie ouest (source BRGM, fond IGN scan25)

### Description des formations du Buntsandstein

Sur la commune de Val-et-Châtillon, les formations géologiques suivantes de la série du Buntsandstein affleurent (Illustration 5 et Illustration 6):

- grès vosgien (Buntsandstein inférieur et moyen) : ce faciès, épais de plus de 200 m, marque les reliefs des versants. Il provient de la cimentation d'anciens sables fluviatiles. Il est constitué d'un grès feldspathique rose, à grains bien arrondis et à stratifications entrecroisées. Il est possible d'y distinguer deux faciès principaux, un faciès grossier (grain dominant de l'ordre de 0,5 mm) de teinte claire, très peu argileux, bien cimenté, et un faciès fin (grain dominant de 0,2 à 0,3 mm) plus sombre et plus riche en argile, relativement friable. Le grès vosgien affleure dans toute la partie est du territoire communal ;
- conglomérat principal (Buntsandstein moyen) : le conglomérat principal, au toit du grès vosgien, est un poudingue à galets de quartz et de quartzite et ciment de grès rouge. Il affleure au niveau de la commune en corniches rocheuses. Ce faciès est constitué uniquement de bancs de poudingues et de bancs de grès plus friables. Le conglomérat principal est généralement granoclassé et analogue au grès vosgien. La stratification est généralement oblique ou entrecroisée. Cette formation joue un rôle morphologique essentiel dans le paysage gréseux car, de tout le Buntsandstein, c'est la formation la plus résistante à l'érosion. Elle affleure sous forme de longues files de rochers formant des falaises et son épaisseur est de l'ordre de 20 m. Cette formation est notamment présente dans le village de Val-et-Châtillon ;
- grès des couches intermédiaires (Buntsandstein supérieur) : cette formation est constituée de grès lie-de-vin à rose, à fréquentes intercalations de lentilles argileuses. Elle a une épaisseur d'environ 50 m. Cette formation affleure majoritairement dans la partie ouest du territoire communal ;
- Grès à *Voltzia* (Buntsandstein supérieur) : Cette formation, majoritairement gréseuse, contient des débris végétaux de *Voltzia heterophylla* (conifère). Sur les deux tiers inférieurs domine un faciès massif (grès à meules) alors que dans le tiers supérieur alternent bancs gréseux et argileux, mais il n'existe pas de limite nette entre les deux ensembles. Plus précisément, de haut en bas, elle est constituée d'argilite rouge, de grès argileux rouge micacé, de grès à meules correspondant à des remplissages de chenaux fluviatiles avec, au fond, des brèches très riches en débris végétaux. Son épaisseur est de l'ordre de 20 m. Cette formation affleure à l'extrême ouest du territoire communal, à l'ouest de la faille observée.





*Illustration 5 – Formation des grès à Voltzia recouvertes par des colluvions et des argiles*

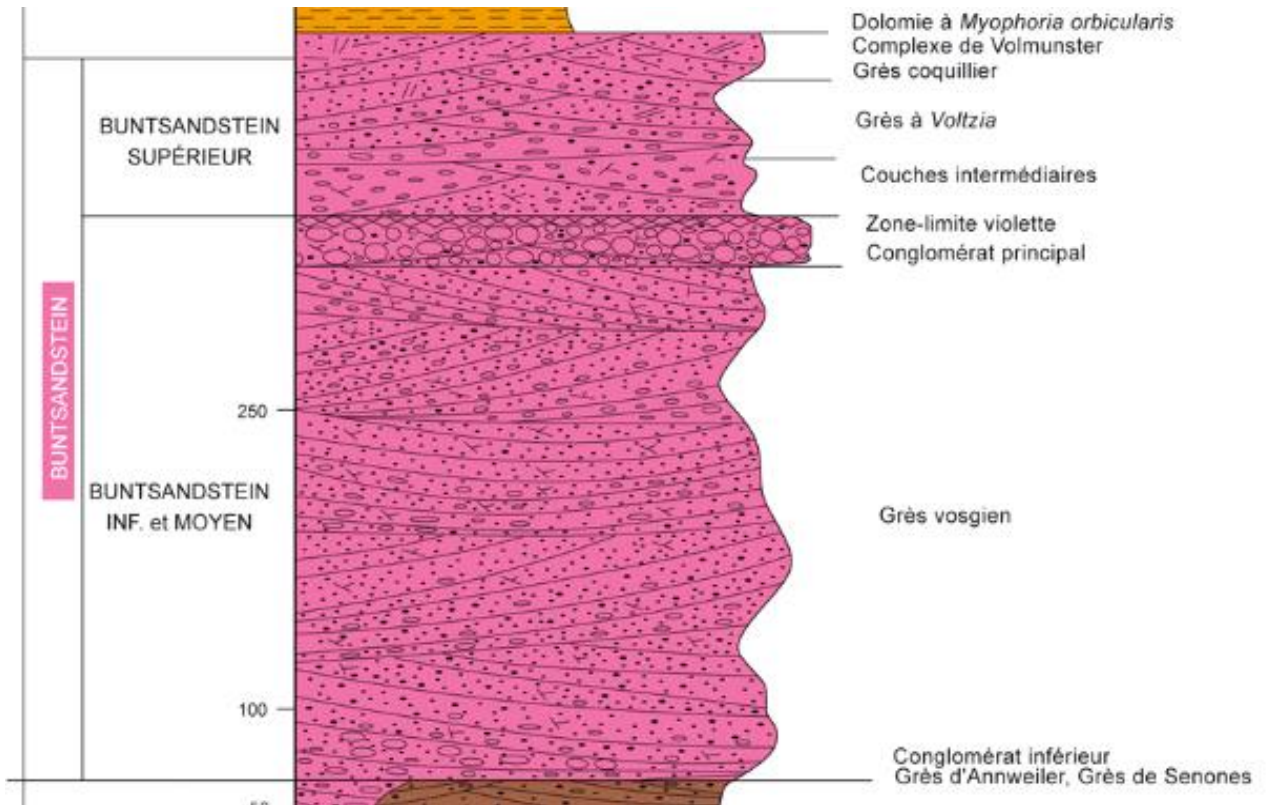


Illustration 6 – Colonne lithostratigraphique des faciès rencontrés sur la commune de Val-et-Châtillon

#### Description des formations du Muschelkalk

Sur le territoire de la feuille géologique de Cirey, le Muschelkalk inférieur présente un développement des faciès gréseux et sableux suffisamment prédominant sur celui des faciès argileux et calcaréo-dolomitiques pour qu'il soit qualifié dans son ensemble du terme de Grès coquillier. Cette formation est constituée de grès dolomitiques, d'argiles silteuses, de grès et de grès argileux, avec moulages de fossiles marins. Son épaisseur est de l'ordre de 50 m.

Cette formation affleure à l'extrême ouest du territoire communal, à l'ouest de la faille observée.

### 1.3.2. Description des formations superficielles

Dans l'établissement des cartes d'aléa, il convient de distinguer les formations superficielles du substratum géologique, car ils présentent généralement des caractéristiques mécaniques médiocres, et sont de ce fait sensibles aux remobilisations gravitaires. Dans le cas des chutes de blocs, la remobilisation de blocs dans les versants peut engendrer un aléa chute de blocs.

#### Formation de versant

Les formations géologiques en place n'affleurent qu'au travers des escarpements rocheux. Les formations de versant (éboulis et colluvions) recouvrent l'ensemble des versants de la commune. Ces formations, en partie issues de l'érosion de ces escarpements et de la chute de blocs associée, sont dans l'ensemble des formations très grossières comprenant de nombreux blocs (du litre à plusieurs m<sup>3</sup>) dans une matrice argilo-sableuses. Les nombreux blocs en versant, parallèles à la pente, montrent que la reptation des blocs par gravité semble avoir été fréquente. A proximité des escarpements, les nombreux blocs basculés témoignent de leur détachement des parois rocheuses dû à l'élargissement des fractures parallèles aux escarpements.

#### Formation altérées

Aucun forage n'est présent sur la commune de Val-et-Châtillon. Les forages les plus proches sur les communes voisines montrent la présence d'une altération sableuse importante dans les formations gréseuses (Illustration 7).

Identifiant national de l'ouvrage	Commune	Altitude (m NGF)	Géologie	Altération
BSS000USZR	Lafrimbolle (57374)	337	Grès rouge (grès vosgien)	4 m (sable)
BSS003BGQO	Turquestein Blancrupt (57560)	367	Grès	10 m (sable)

*Illustration 7 – Description des forages bancarisés dans la BSS à proximité du territoire communal de Val-et-Châtillon*



## 1.4. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

### 1.4.1. Généralités

La commune de Val-et-Châtillon s'inscrit dans le bassin versant hydrographique de la Meurthe, sous-ensemble du bassin hydrographique de la Moselle. Son territoire appartient plus précisément à deux zones hydrographiques, celle de la Vezouze (ou ruisseau de Val) de sa source au ruisseau de Châtillon, et celle du ruisseau de Châtillon (Illustration 8).

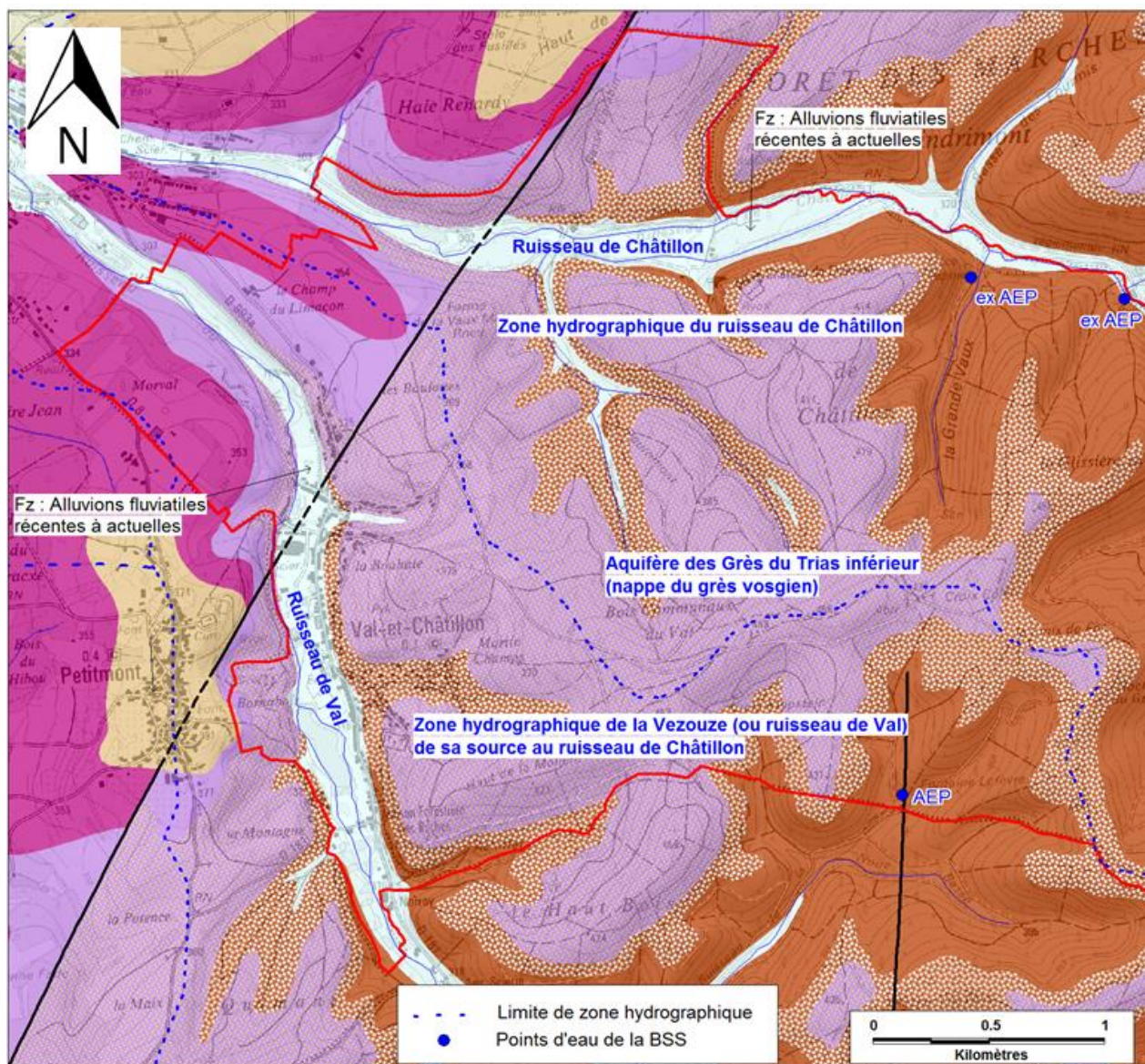


Illustration 8 - Principaux éléments de l'hydrographie et de l'hydrogéologie sur la commune de Val-et-Châtillon – partie ouest (source BRGM, fond IGN scan25)



Le Service d'eau potable est assuré par la commune de Val-et-Châtillon, et d'après le site internet de l'Observatoire national des services d'eau et d'assainissement, deux ouvrages actifs d'adduction collective publique en eau potable (AEP) sont utilisés, la source Fontaine Lefèvre (BSS 02702X0005) et la source Longval, cette dernière n'étant pas située sur le territoire communal.

D'après les informations de la base de données des captages (source ARS-BRGM), 15 autres captages (sources) seraient présents sur le territoire communal, exploités par la commune de Cirey-sur-Vezouze et le Syndicat des eaux de Blâmont, dont 5 abandonnés (Illustration 9).

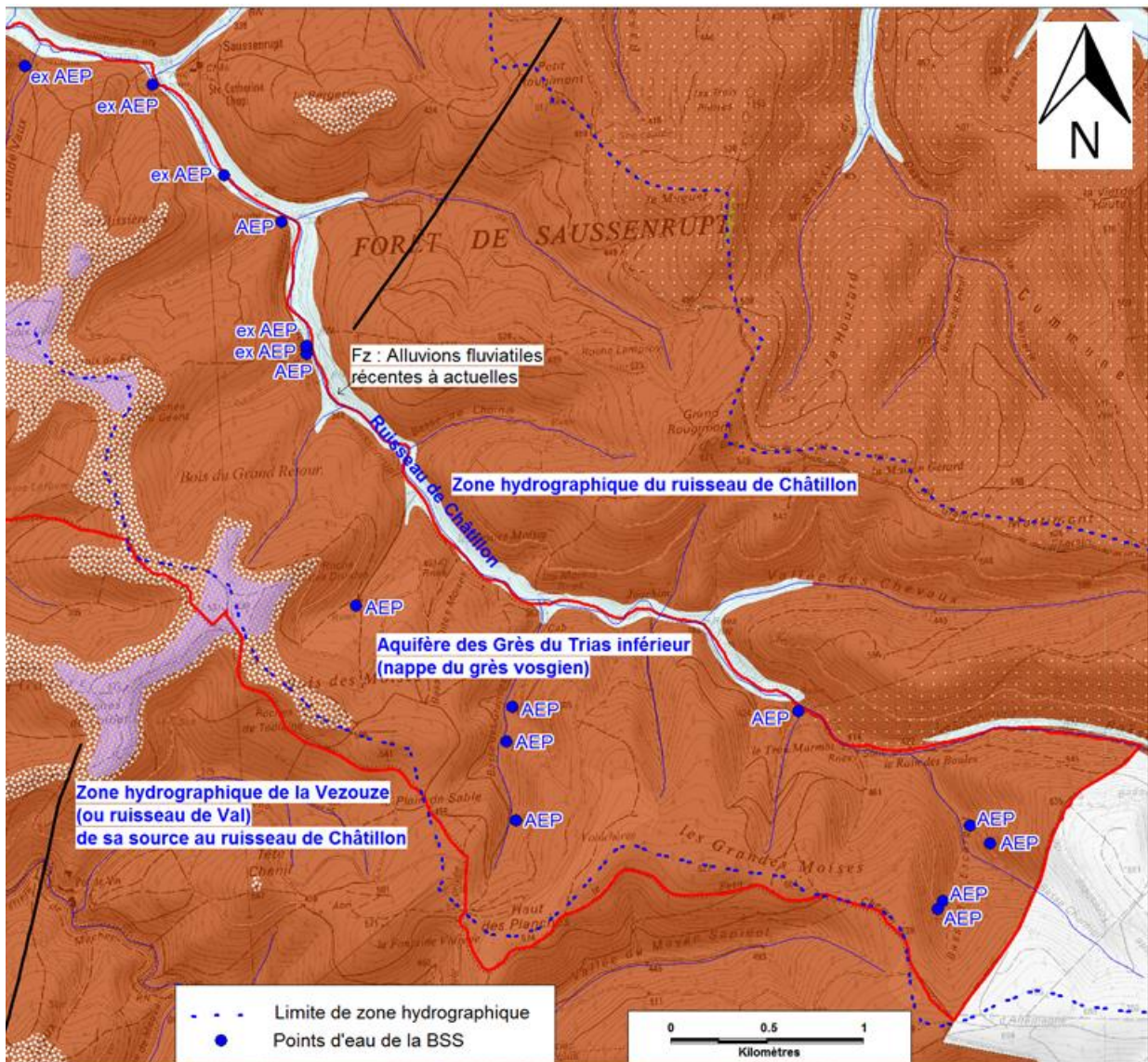


Illustration 9 - Principaux éléments de l'hydrographie et de l'hydrogéologie sur la commune de Val-et-Châtillon – partie est (source BRGM, fond IGN scan25)

### 1.4.2. Aquifères

Le principal aquifère du secteur d'étude est celui des grès du Trias inférieur (Illustration 10).

Le réservoir des grès du Trias inférieur en Lorraine est constitué de grès plus ou moins fins, avec quelques passées argileuses dans sa partie supérieure, des passées conglomératiques en son centre et à sa base, et des lentilles d'argile dans sa partie inférieure.

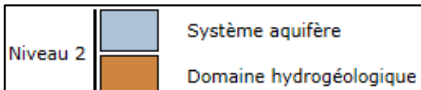
Du point de vue stratigraphique, les grès du Buntsandstein (Trias inférieur) s'intercalent entre les terrains sous-jacents de la fin de l'ère Primaire (selon les secteurs : Permien, socle cristallin ou métamorphique, ou terrain houiller) et le Trias moyen (Muschelkalk) sus-jacent.

Le substratum imperméable du réservoir est constitué, suivant les secteurs, par les grès argileux permien ou directement par le socle.

Sur la majeure partie du territoire lorrain, le réservoir est sous recouvrement de terrains imperméables et il est majoritairement captif. Le toit du réservoir est dans ce cas constitué par les marnes du Muschelkalk moyen et inférieur qui sont situées au-dessus du Grès coquillier.

Au contraire, le long des Vosges et dans le bassin houiller, la nappe est essentiellement **libre**, c'est-à-dire qu'elle reçoit directement les infiltrations d'eau de pluie, car les grès affleurent sur le sol. **C'est le cas pour les captages situés à Val-et-Châtillon qui utilisent l'eau des sources dans les grès vosgiens affleurants.**

Dans le log du référentiel hydrogéologique LISA (limites des systèmes aquifères), le système aquifère de niveau 2 - régional est codifié 143AK sous le nom « Grès du Trias inférieur du Bassin Parisien » et l'unité aquifère de niveau 3 - locale est codifiée 143AK05, « Grès vosgien s.s. » (Illustration 10).

Niveau 2 - Régional	Niveau 3 - Locale	
143AK-- Grès du Trias inf. du Bassin Parisien	143AK05-- Grès vosgien s.s. et Conglomérat inférieur de Lorraine et Grès Vosgiens indifférenciés du Buntsandstein et du Permien d'Alsace en Lorraine	Niveau 2 

*Illustration 10 - Extrait du log du référentiel hydrogéologique LISA (Limites des Systèmes Aquifères) avec la légende, obtenu pour une localisation dans le secteur des captages (sources) d'alimentation en eau potable sur la commune de Val-et-Châtillon (source SIGES Bassin Rhin-Meuse)*



## 2. Collecte et structuration des données

La phase documentaire est couplée par une reconnaissance de terrain afin de préciser la nature et la géométrie des mouvements historiques, mais également d'identifier les indices d'éventuels instabilités non reconnus 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, journaux) ;
- la base de données mouvement de terrain du portail Géorisque (<http://www.georisques.gouv.fr/>) ;
- une analyse bibliographique rassemblant les informations transmises par les services publics (Mairie de Val-et-Châtillon – réunion le 4 juin 2019) ;
- la réalisation d'une campagne d'acquisition sur site de photographies et d'un levé LIDAR par avion en avril 2019 ;
- étude relative aux phénomènes d'éboulement rocheux de 2012 du CEREMA (Parent H., 2012) ;
- cartographie départementale au 1/50 000<sup>ème</sup> en 2008 (Moiriat D. et al., 2008) ;
- recherche sur internet, notamment les articles de journaux de l'Est Républicain ;
- des visites de terrain réalisées par le BRGM entre 2019 et 2020.

Lors des campagnes de terrain menées en 2019, 2020 et 2021, la majeure partie des zones accessibles du périmètre d'étude a été parcourue à pied (Illustration 5). Les principaux relevés effectués concernent :

- les levés de présence de blocs rocheux éboulés ;
- les levés et la description des escarpements et des zones de ruptures potentielles.

### 2.1. LEVE LIDAR

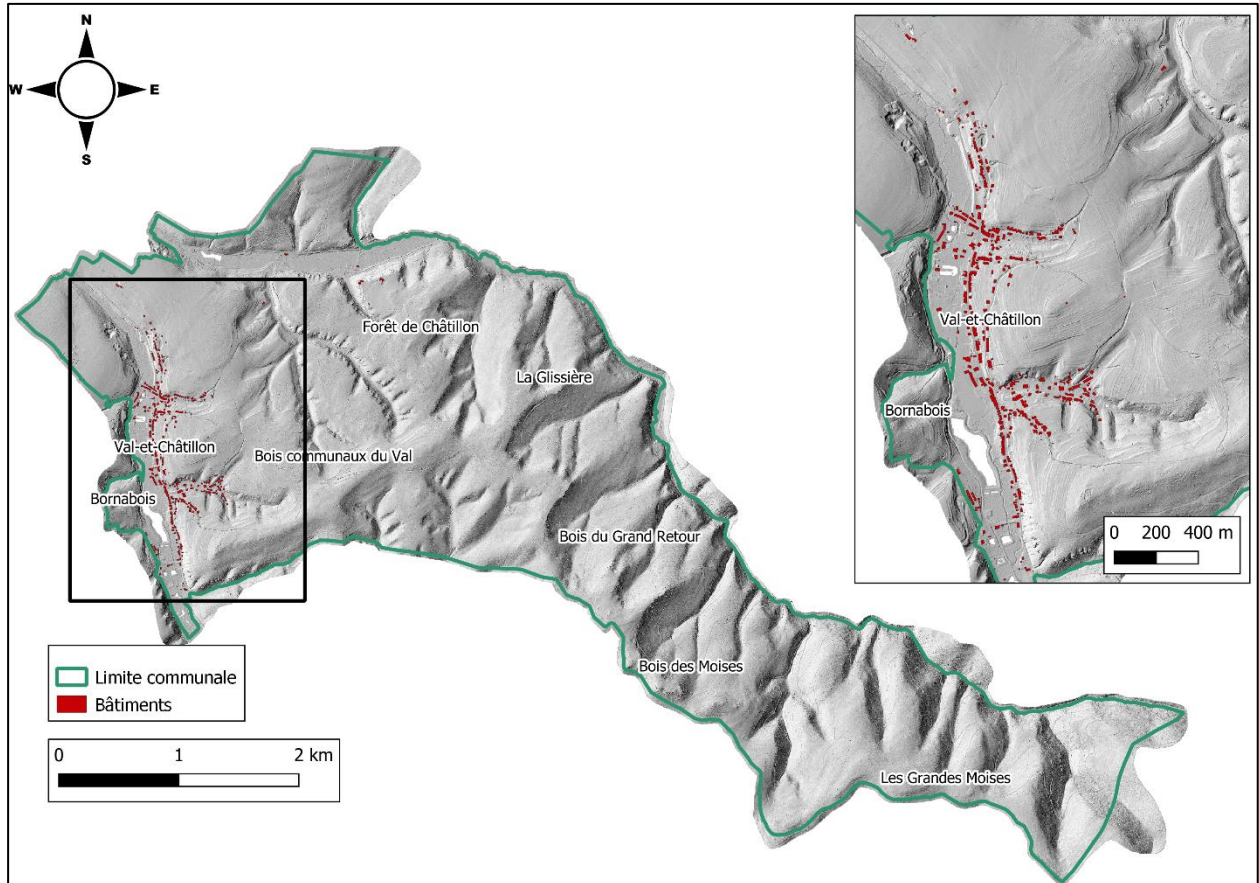
Le levé Lidar (caractérisation topographique haute résolution) aéroporté a été réalisé par l'entreprise Helimap. Ce levé a permis de produire un modèle numérique de terrain (MNT) et un modèle numérique de surface (MNS) à la maille de 50 cm (Illustration 11). Les caractéristiques de l'acquisition sont les suivantes:

- date du vol : 3 jours d'acquisition<sup>3</sup> (17/04/2019, 18/04/2019 et 19/04/2019) ;
- vitesse d'acquisition : 15 m/s ;
- densité de point : 20 pts/m<sup>2</sup> à 360 m altitude vol ;
- précision : inférieur à 5 à 7 cm en altimétrie et 10 cm en planimétrie.

---

<sup>3</sup> 3 communes ont fait l'objet d'acquisition LIDAR (Val-et-Châtillon, Val-de-Briey et Aingeray).





*Illustration 11 - Modèle numérique de surface ombragé obtenu à partir du levé LIDAR au pas de 0,5 m avec représentation des enjeux*

Une évaluation de la pente a été calculée à partir du MNT lidar (Illustration 12). Les pentes des versants sont majoritairement comprises entre 25 et 30°.

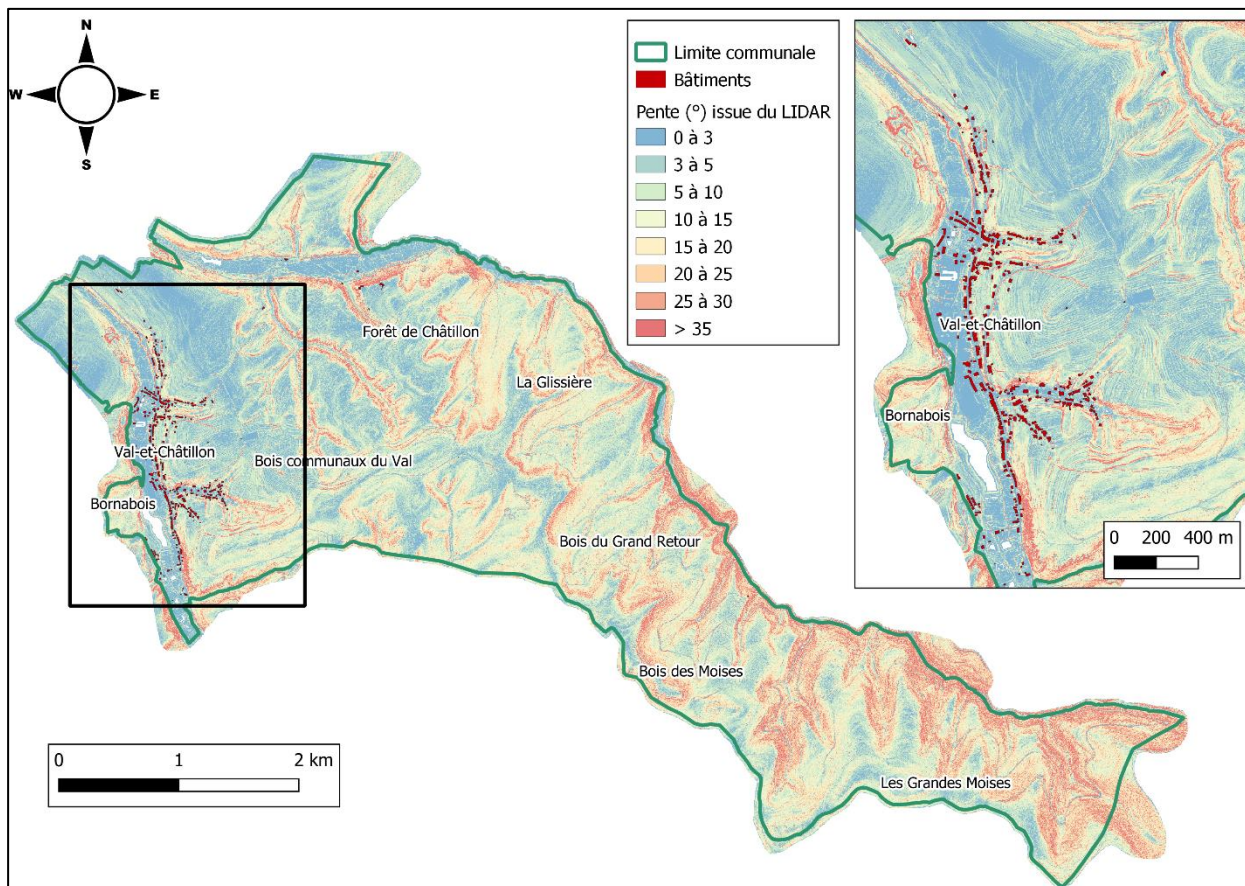


Illustration 12 - Cartographie des pentes à partir du levé LIDAR au pas de 0,5 m

## 2.2. 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 13). Chaque phénomène est caractérisé par un code qui renvoie à un tableau descriptif (Illustration 14).

Les phénomènes recensés sont issus des visites de terrain effectuées entre 2019 et 2021 et des informations récupérées en mairie en juin 2019.

La base de données nationale sur les mouvements de terrain ([www.georisques.gouv.fr](http://www.georisques.gouv.fr)), gérée par le BRGM, mentionne trois chute de bloc.

La commune a fait l'objet, à ce jour, d'un arrêté de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour des phénomènes de mouvements de terrain sur Journal Officiel le 30/12/1999 sans que le phénomène en question ne soit décrit précisément.



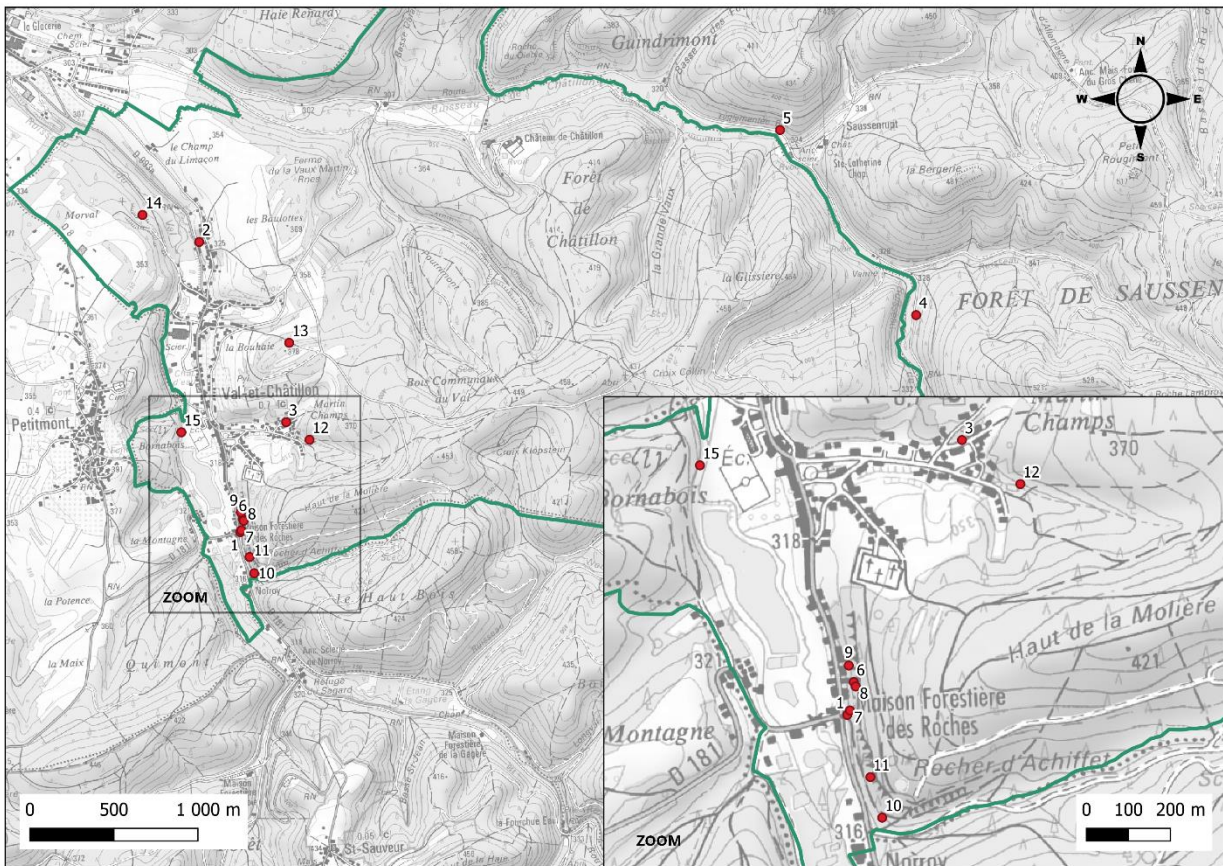


Illustration 13 - Localisation des phénomènes de chute de blocs identifié sur la commune de Val-et-Châtillon (fond scan 25) avec des ronds rouge et un code qui renvoie vers un tableau descriptif (Illustration 14)



Identifiant	Date	Volume (m <sup>3</sup> )	Source	Commentaire
1	1979	40 à 100	Géorisque	Chute de blocs du 10 février 1979 de 40 à 100m <sup>3</sup> . Propagation jusqu'à la route détruisant un abribus. Issu d'une propagation de 5 m en amont.
2	2016	Petits volume	Géorisque	Chute de blocs du 17 mars 2016
3	2018	Inférieur à 0,25	Géorisque	30 mai 2017 : mairie alertée (bruits venant de la roche). Nuit du 15/16 février 2018 : éboulement de petits morceaux de la roche, barrières de sécurité installées, arrêté de circulation pris. 22 mai 2018, un gros bloc est tombé
4 (commune limitrophe)	Non daté – antérieur à 2008	1	BRGM (Moiriat D. et al., 2008)	Chute de blocs observée par le BRGM
5 (commune limitrophe)	Non daté – antérieur à 2008	0,5	BRGM (Moiriat D. et al., 2008)	Chute de blocs observée par le BRGM
6	Non daté – antérieur à 2012	7,5	CEREMA (Parent H., 2012)	Bloc de 7,5 m <sup>3</sup> détaché d'une falaise de 2 m en amont (noté A5) (Parent H., 2012)
7	Non daté – antérieur à 2012	0,5	CEREMA (Parent H., 2012)	Quelques blocs de volume inférieurs à 0,5 m <sup>3</sup> (noté A8) (Parent H., 2012)
8	Non daté – antérieur à 2012	4	CEREMA (Parent H., 2012)	Bloc provenant probablement d'une petite falaise de 3 m de hauteur située à 3 à 4 m en amont. (noté A9) (Parent H., 2012)
9	Non daté – antérieur à 2012	20 à 25	CEREMA (Parent H., 2012)	Bloc de 20 à 25 m <sup>3</sup> détaché de la falaise – 2 à 3m en aval de la falaise (noté A11) (Parent H., 2012)
10	Non daté – antérieur à 2012	2	CEREMA (Parent H., 2012)	Bloc de 2 m <sup>3</sup> (noté B1) (Parent H., 2012)
11	Non daté – antérieur à 2012	0,25	CEREMA (Parent H., 2012)	Bloc de 0,25 m <sup>3</sup> issu de la crête et coincé dans l'affleurement (noté B11) (Parent H., 2012)
12	Non daté – antérieur à 2012	20 à 25	CEREMA (Parent H., 2012)	Banc de roche de 20 à 25 m <sup>3</sup> détaché de la paroi et basculement en pied de talus (noté C11) (Parent H., 2012)
13	Non daté – antérieur à 2021	0,2	BRGM, terrain	Petit évènement récent de faible volume
14	Non daté – antérieur à 2021	0,2	BRGM, terrain	Eboulement d'un volume total de plus de 1 m <sup>3</sup> . Volume unitaire de moins de 0,2 m <sup>2</sup>
15	Non daté – antérieur à 2021	0,3	BRGM, terrain	Chute d'un bloc de 0,3 m <sup>3</sup>

*Illustration 14 – Identification/Description des phénomènes de chute de blocs sur la commune de Val-et-Châtillon*

## 2.3. ETUDES ANTERIEURES

### 2.3.1. Expertise de l'évènement de 1979 (BRGM, 1979)

Le site de l'éroulement rocheux correspond à une ancienne carrière de grès vosgien. La puissance totale de la couche exploitée atteignait 28,85 m (Bonvallet, 1979). Une coupe très détaillée établie en 1883 est présentée dans le rapport de 1979.

La roche éboulée correspond à la formation des grès vosgien et du Conglomérat principal (Illustration 15). L'éboulement s'est produit à la faveur de deux fractures d'orientation N42E et N175E. Le mécanisme de rupture correspond probablement à « *une rupture par le pied, favorisée par un pourrissement de la roche et une stratification dans le sens de la pente.* »

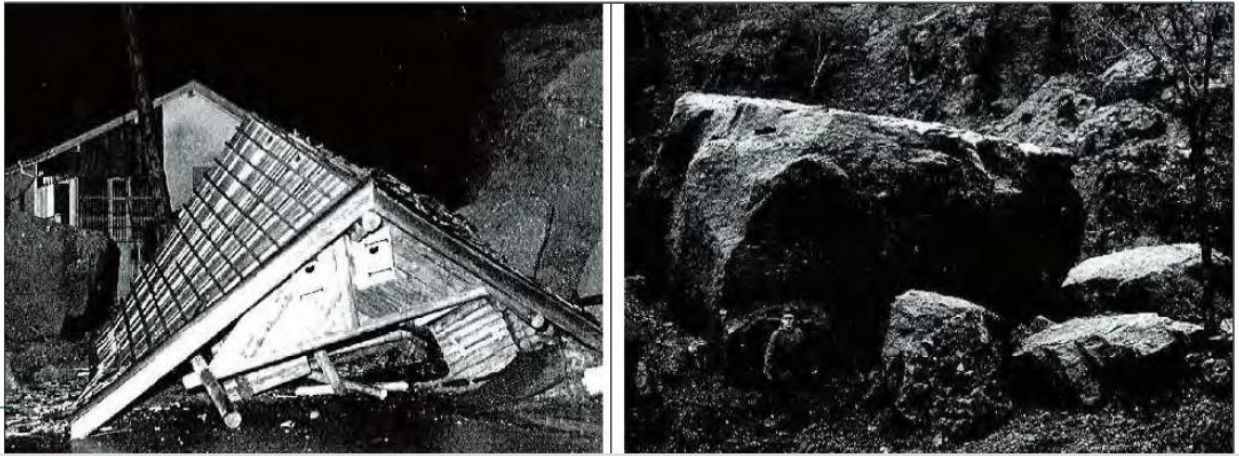


Illustration 15 – Photographie historique de la chute de bloc de 1979 (source : Parent H., 2012)

### 2.3.2. Cartographie départementale

Une cartographie des aléas au 50 000<sup>ème</sup> a été établie en 2008 (Moiriat D. et al., 2008). Sur les 5 secteurs qui sont ressortis de cette cartographie, deux sont situés en zone urbaine (Illustration 16).

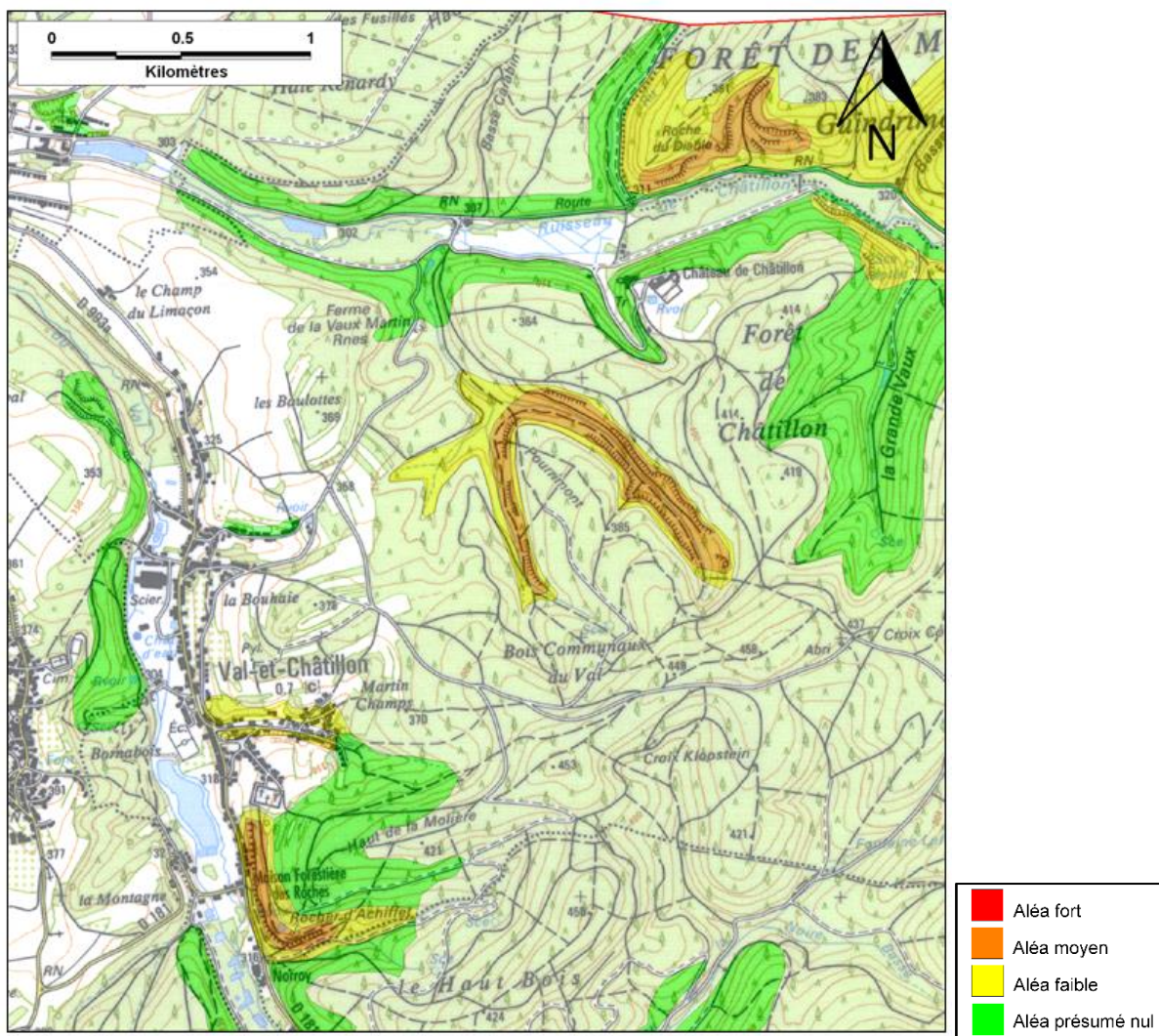


Illustration 16 - Extrait de la cartographie chute de bloc à l'échelle départementale sur la commune de Val-et-Châtillon (fond IGN scan 25) (source : Moiriat D. et al., 2008)

### 2.3.3. Etude de chute de blocs en zone urbaine

Les secteurs en zone urbaine ont fait l'objet d'une étude en 2012 par le CEREMA (Parent H., 2012) dont l'objectif était de :

- repérer les blocs instables ;
- proposer une qualification de l'aléa ;
- proposer des mesures de protection actives ou passives.

Les secteurs concernés par cette étude ont été limités à la zone urbaine (Illustration 17).



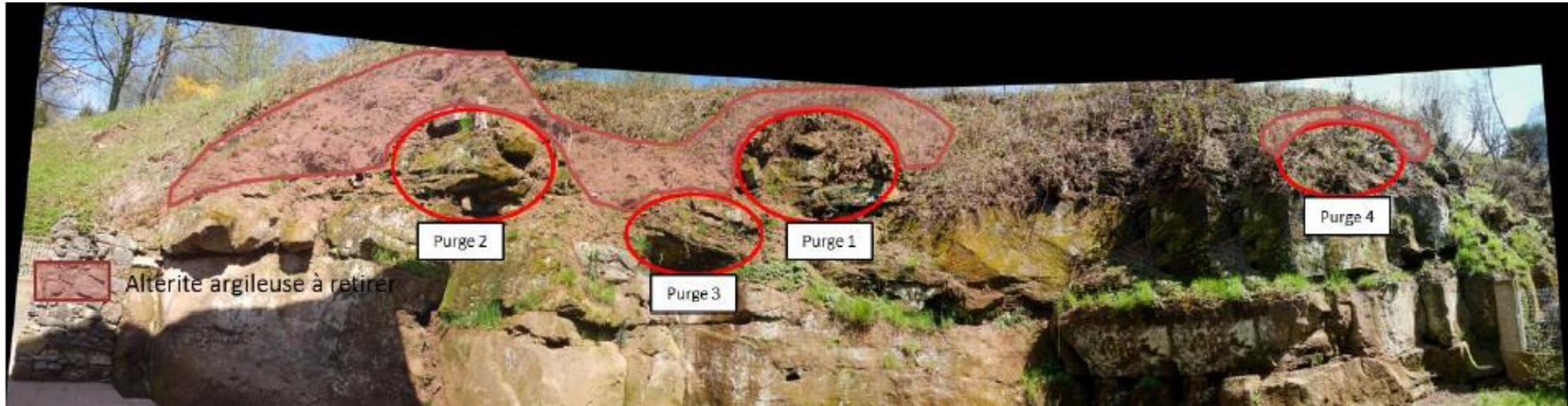


Illustration 17 – Localisation des secteurs concernés par l'étude de 2012 (source : Parent H., 2012)

#### 2.3.4. Expertise sur un affleurement

Des habitants de Val-et-Châtillon ont déclaré en mairie une chute de blocs le 17 mars 2016 dans le jardin de leur habitation (Grabenstaetter L., 2016). Lors de la première visite, réalisée par le DDT 54, la présence de très petits éboulis a été constatée sur le sol de la cour. Le phénomène serait fréquent selon les propriétaires.

L'expertise réalisée en 2016 par le BRGM fait l'état (Grabenstaetter L., 2016) des lieux de l'affleurement et propose des recommandations en matière de sécurisation (Illustration 18).



*Illustration 18 – Panorama de la falaise avec localisation des zones à purger (recommandations BRGM, 2016). Source : Grabenstaetter L., 2016.*



### 3. Rappel sur l'aléa chute de blocs et éboulement

#### 3.1. 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 décrits au regard des volumes mobilisés. Une classification admise (Effendiantz L. et al., 2004) est la suivante :

Écroulement en grande masse	Écroulement en masse	Chute de bloc	Chutes de pierres
$10^4 \text{ m}^3$	$10^4 \text{ à } 10^2 \text{ m}^3$	$10^2 \text{ à } 0.1 \text{ m}^3$	$< 0.1 \text{ m}^3$

Illustration 19 - Terminologie de l'aléa rocheux en fonction des volumes mobilisés (Effendiantz L. et al., 2004)

Il faut également distinguer le volume unitaire (c'est-à-dire, le volume moyen des blocs rocheux de l'événement considéré) du volume total mobilisé par l'événement.

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 volumes variables pouvant se propager en pied de falaise. Le volume de l'éboulement ne dépasse généralement pas quelques dizaines de  $\text{m}^3$  (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 écroulement en masse- quand le volume éboulé est compris entre  $100 \text{ m}^3$  et  $10\,000 \text{ m}^3$ , écroulement en grande masse au-delà de  $10\,000 \text{ m}^3$ ) mais également sur les modes de propagation (forte interaction entre blocs pour les écroulements en grand masse).

### 3.2. EVOLUTION VERS LA RUPTURE

L'évolution progressive d'un compartiment rocheux jusqu'à sa rupture peut être exprimée par le rapport entre les forces résistantes qui s'opposent au mouvement (résistance à la rupture des matériaux, friction, etc.) et les forces motrices qui participent à la mise en mouvement (gravité, séismes, effets de la pression interstitielle, etc.). Sans intervention humaine, les forces de résistance diminuent au cours du temps sous l'influence progressive et/ou brutale de facteurs externes (lessivages des matériaux de remplissage d'une fissure avec la pluie, endommagement brutal de la roche sous sollicitation sismique, gel d'eau favorisant l'expansion d'une fissure, etc.). La stabilité du versant perdure tant que les forces résistantes sont supérieures aux forces motrices. Dès qu'elles deviennent plus faibles, passant en-dessous du seuil de stabilité, la masse concernée décroche de son support et se met en mouvement.

### 3.3. FACTEURS INTERVENANT DANS LA CHUTE DE BLOCS

Chaque mouvement de terrain résulte du rééquilibrage gravitaire d'un versant. Les versants présentant une prédisposition au déséquilibre ont une pente généralement forte. Des périodes de stabilité provisoires, plus ou moins longues, séparent les périodes brèves de déséquilibre. Le déclenchement d'un mouvement de terrain est toujours lié à une situation de déséquilibre gravitaire entraînant un réajustement.

Pour les éboulements, on identifie rarement un facteur de déclenchement unique. C'est généralement la répétition des sollicitations dans le temps (mise en charge par les eaux souterraines, cycles gel/dégel, etc.) qui permet la fatigue du matériau et une évolution vers la rupture. On présente généralement les facteurs de prédispositions en deux catégories : 1) les facteurs intrinsèques au massif rocheux (résistance de la roche, familles de fractures, relief, etc.) et 2) les facteurs environnementaux (gel, pluie, séismes...). On désigne, lorsqu'on l'identifie, l'ultime sollicitation qui permet la rupture sous le terme de facteur déclenchant.

On distingue les facteurs environnementaux qui induisent une évolution lente des forces résistantes (sollicitation cycliques du vent, de la houle, de la température, etc.), des facteurs qui provoquent une diminution soudaine des forces résistantes (tempête, séismes, etc.).

#### 3.3.1. Les facteurs de prédisposition intrinsèque au massif rocheux

La première condition est l'existence de blocs au sein d'un massif fracturé. Il y a par ailleurs des facteurs favorables à la mobilisation des blocs (*Marcot et Girard, 2013*) :

- **une topographie<sup>4</sup>** en falaise ou l'existence de reliefs rocheux fissurés. Elle conditionne l'essentiel de la fréquence des chutes de blocs. Les affleurements de conglomérats et de grès marquent des ressauts topographiques sur la commune avec des fissurations parfois importantes ;

---

<sup>4</sup> Se dit de la disposition ou du relief d'un lieu



- **la géologie :**

- la lithologie<sup>5</sup>. Elle contribue au déséquilibre gravitaire à l'origine des mouvements de terrains. Les roches, essentiellement siliceuses, recèlent néanmoins des particules argileuses qui s'altèrent par hydrolyse, ce qui favorise les altérations préférentielles et le sous-cavage de la roche. Les grès Vosgien sont notamment connus pour leur altérabilité.
- la structure (la fracturation, le pendage, la présence de joints de stratification, de plis, de schistosité qui constituent des zones de faiblesse dans un massif). Les stratification obliques et entrecroisées sont fréquentes sur les massifs, d'où la probabilité de rencontrer un plan de moindre résistance.

### 3.3.2. Les facteurs de prédisposition environnementaux

La mise en mouvement des blocs est liée à un changement des conditions de stabilité qui peut avoir plusieurs origines, combinées ou non. Ainsi, les facteurs environnementaux favorisant le déclenchement d'un évènement sont nombreux (Illustration 20).

Le climat joue un rôle important dans le déséquilibre des versants, surimposant son action aux autres causes potentielles. Il influence la stabilité des versants par ses composantes hydriques et thermiques et mécaniques et leurs conséquences sur les propriétés mécaniques des sols.

- influence de la température : la cryoclastie (alternance de phases de gel/dégel) est le facteur climatique principal dans la chute de blocs, au moins pour ce qui concerne l'occurrence des phénomènes les moins intenses. L'eau passe de l'état liquide à celui de solide avec une augmentation de volume de 9 %. Elle entraîne ainsi l'éclatement de la roche et crée de nouvelles fissures. Par ailleurs, les fortes variations de température modifient l'état de contrainte du massif et favorisent la propagation des fissures ;
- influence de l'eau : 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 entraîne 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. L'alternance de périodes pluvieuses et sèches constitue un agent climatique déterminant sur les déséquilibres des versants ;
- influence du vent et de la houle : le vent et la houle provoquent une sollicitation mécanique du versant qui entraîne une dégradation progressive des propriétés mécanique de la roche.

D'autres facteurs naturels influencent la stabilité des versants :

- la sismicité/ les vibrations ;
- la modification de la répartition des masses par érosion en pied de versant par une rivière par exemple ou par surcharge en haut d'une pente (*Société Suisse de Géomorphologie, 2009*) ;
- la croissance de la végétation. La croissance des racines des arbres insinuées dans les fissures participe activement à l'augmentation de taille de ces dernières. De plus, à la mort des arbres, les passages des racines ainsi libérées constituent des lieux de circulation préférentiels des eaux de ruissellement qui continuent d'agrandir les fissures par dissolution de la roche. Enfin, lorsque la végétation a une forte prise au vent, elle peut transmettre des contraintes non négligeables au massif rocheux.

---

<sup>5</sup> Nature des roches d'une formation géologique

Enfin, outre les différents facteurs de déséquilibre naturels précédemment examinés, il y a lieu de signaler que l'homme est un puissant agent de déstabilisation des versants par les aménagements qu'il leur impose : déblais ou remblais, fondations de maisons, réduction de l'emprise forestière, modification des écoulements de surface et sub-surface...

<b>Processus</b>	<b>Agents</b>	<b>Effets</b>	<b>Dynamique</b>
Action physico-chimique et dissolution	Eau Cycle hydroclimatiques Acides humiques	Altération matricielle Destruction de ponts rocheux Altération des caractéristiques mécaniques	Lente et souvent masquée
Dislocation	Effets gravitaires Racines Fluage d'une assise Gel, faible profondeur	Destruction mécanique des ponts rocheux Ouverture de fissuration	Lente sous nos latitudes
Erosion mécanique, mise en surplomb	Ecoulement d'eau Abrasion Erosion éolienne	Mise en équilibre par suppression d'appui Perte de cohésion	Variable, peut être rapide
Action mécanique de l'eau (pression hydraulique)	Infiltrations Circulations internes du massif	Déstabilisation par des poussées hydrauliques	Variable, peut être rapide, cyclique
Gélifraction	Gel	Réduction des surfaces d'appui par ablation Décohésion et dislocation des fractures	Lente
Fatigue mécanique	Sollicitation physique et niveau de contraintes élevées	Ecaillage, dégradation mécanique des ponts rocheux Progression des fissures	Rarement processus significatif à l'échelle humaine, sauf contextes extrêmes
Application de forces extrêmes	Variation d'effort Déstabilisation anthropique Modification des conditions hydrauliques Séismes	Déstabilisation, activation de nouveaux mécanismes de rupture	Variable, éventuellement rapide Peut être accidentel

*Illustration 20 - Principaux processus d'évolution des compartiments rocheux, d'après LCPC (Effendiantz L. et al., 2004)*

### 3.3.3. Typologie des ruptures

Les observations sur le terrain et l'analyse des événements passés mettent en évidence différents mécanismes de rupture (Illustration 21 Illustration 22).

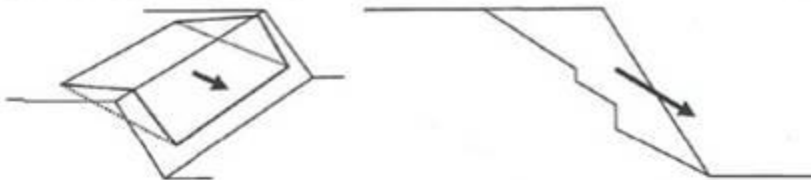
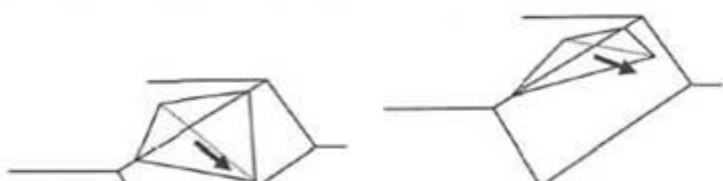
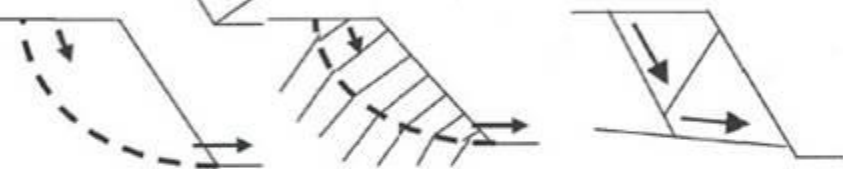


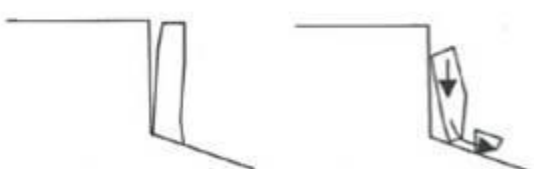

Configurations / mécanismes	Mécanisme d'instabilité
	Glissement plan Gp
	Glissement dièdre ou plan Gd
	Glissements rotationnel et fractionné Gr
 <p data-bbox="406 1265 694 1310">Configuration plutôt verticale (rupture en cisaillement)</p> <p data-bbox="821 1265 1141 1310">Configuration plutôt horizontale (rupture en traction)</p>	Rupture de surplomb S
	Basculement de colonne ou de blocs Cb
	Rupture de colonne en pied Cp
	Rupture de banc (par flambage ou sur fracture) Bf

Illustration 21 - Schéma des principaux mécanismes de rupture (Dussauge-Peisser, 2002)

Les reconnaissances de terrain et l'analyse des évènements passés mettent en évidence les principaux types de rupture affectant les parois rocheuses et autres escarpements présents sur la zone d'étude. La typologie des phénomènes concernés identifie quatre grands types de ruptures :

- les glissements plans ou dièdres ;
- les ruptures de surplombs ;
- les basculements de colonnes ou blocs ;
- les ruptures de colonnes en pied ;
- la remobilisation de blocs (voir l'illustration 22 à droite).

Le contexte géologique et topographique de la zone d'étude (granulométrie variable des grès et conglomérats au sein d'un même affleurement, altération hétérogène importante avec mise en avant de surplomb, fracturation parallèle aux affleurements, stratification obliques et entrecroisées) entraîne une diversité des modes de rupture potentiels et une spatialisation hétérogène de ces mécanismes, y compris au sein d'un même affleurement.

Les volumes mobilisables sont très variables, fonction de la nature et de l'état de fracturation du massif rocheux, du mécanisme de rupture et vont du bloc isolé (quelques dm<sup>3</sup> à une dizaine de m<sup>3</sup>), à l'éboulement en masse (plusieurs centaines de m<sup>3</sup>) (Illustration 22).

La remobilisation de blocs en versant (chaos ou zone d'éboulis) est possible avec du ruissellement et de l'érosion, ainsi qu'avec la poussée de racines. Ces phénomènes peuvent être aggravés par des incendies (perte de la végétation qui favorise l'érosion des sols), ou au contraire tempérés par la présence de couvert végétal (diminution de l'érosion des sols et frein à la propagation des blocs).

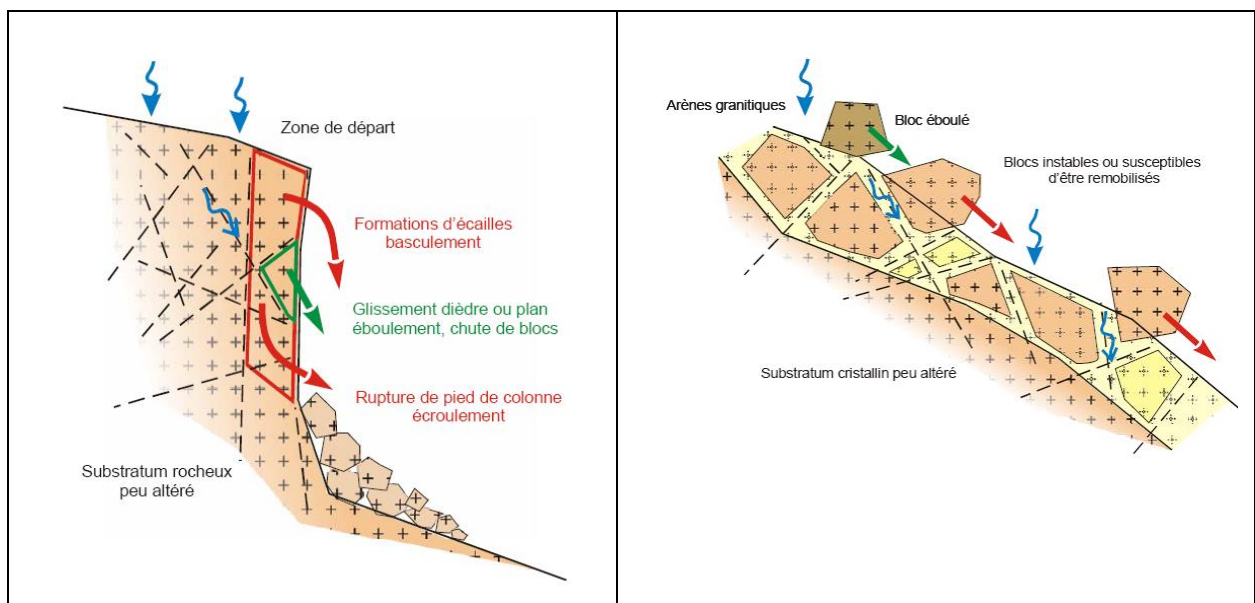


Illustration 22 – Phénomène de chute de blocs - typologie

Les paragraphes qui suivent décrivent plus en détail les mécanismes rupture observés pour le site étudié, notamment en fonction des contextes géomorphologiques.



### ***Les glissements plans ou dièdres***

Ce mécanisme de rupture est fortement représenté dans les versants de la zone d'étude.

Ce type de rupture se produit selon un ou deux plans de discontinuité dans le massif rocheux (Illustration 23). Les glissements dièdres font intervenir deux plans ou plus alors que les glissements plans n'en font intervenir qu'un. Le facteur de prédisposition aux glissements plans et dièdres est la fracturation.

Les masses rocheuses – volumes et géométries- associées à ces ruptures sont également très variables : volumes variables de l'ordre du m<sup>3</sup> (écailles) à une dizaine de m<sup>3</sup> (petite colonne) et ont une forme en général élancée (colonnes) ou aplatie (écaille), fonction de l'organisation locale du réseau de fractures et de la géométrie des barres rocheuses.



*Illustration 23 - Glissement plan – Affleurement B29*



### ***Les ruptures de surplombs***

L'érosion différentielle des parois dégage fréquemment des masses dites en surplomb (Illustration 24). Les volumes concernés par ce type de rupture sont très variables et sont fonction de l'organisation du réseau de fractures et de la stratification. L'orientation des discontinuités et les départs de matériaux depuis le pied des abrupts créent un appel au vide.

Les masses rocheuses – volumes et géométries - associées à ces ruptures sont également très variables (entre 0,25 et 3 m<sup>3</sup>).



*Illustration 24 - Surplomb – Affleurement C14*





*Illustration 25 - Habitation construite sur une zone en surplomb – Affleurement E3*

### **Les basculements de colonnes**

Ce mécanisme de rupture est fortement représenté, en particulier dans les zones de chaos en cours d'évolution où le massif rocheux est déstructuré.

Les ruptures par basculement de colonnes sont liées à la présence d'instabilités pluri-métriques désolidarisées de la paroi par des discontinuités majeures qui affectent, souvent, l'ensemble du massif (Illustration 26). Ces discontinuités correspondent essentiellement à de grosses diaclases d'origine tectonique dans le secteur d'étude, ou à des fractures de détentes sub-parallèles au versant.





*Illustration 26 - Basculement de colonne – Affleurement E1*

#### **3.3.4. Les ruptures de colonnes en pied**

Ce mécanisme a la même origine que les basculements, il s'agit d'un découpage de masse rocheuse par la fracturation. Il n'y a cependant pas de décollement le long d'un plan, mais une fragilisation progressive du pied de la colonne qui peut engendrer à terme la rupture du pied qui entraîne une rupture avec glissement le long de la discontinuité du reste de la colonne (Illustration 27).





*Illustration 27 – Rupture de colonne en pied – Affleurement B24*

### **3.3.5. Remobilisation de blocs**

Le versant est marqué par la présence de nombreux blocs dans les pentes, en aval des barres rocheuses. Ces éléments de volume unitaire inframétrique à plurimétrique, sont pour partie issus du démantèlement sur place (sans mouvement significatif) des barres rocheuses (par altération, érosion progressive et ravinement), mais aussi pour partie le fruit d'instabilités plus ou moins anciennes et n'ayant pas généré de trajectoires étendues. Certains de ces éléments sont imparfaitement stabilisés dans la pente et présentent un risque de remobilisation (Illustration 28).





*Illustration 28 – Remobilisation de blocs – Affleurement B30*

### **3.4. PROPAGATION**

L'étendue des zones de propagation varie considérablement en fonction de :

- la morphologie de la zone de départ (talus routier, versant naturel, falaises, etc.) ;
- la morphologie de la zone de propagation (versant uniforme, talwegs, etc.) ;
- la présence éventuelle d'ouvrages de protection (filets, écrans pare-blocs, merlons, etc.) ;
- la nature et la densité du couvert végétal (prairie, zones forestières, , etc.) et la nature des sols de la zone de propagation (route, piste forestière, éboulis, etc.);
- la forme des blocs qui se propagent

Sur la commune de Val-et-Châtillon, la morphologie des versants n'est pas tout à fait régulière (présence de replats, de chemins et d'escarpements ponctuels de hauteur limitée) et les sols qui sont susceptibles de freiner la propagation (notamment sols meubles forestier - Illustration 29).

Les sols de propagation sont présentés en annexe 1.





*Illustration 29 – Zone de propagation en aval de l’affleurement B25*

### **3.5. INVENTAIRE EVENEMENTIEL**

Le report des évènements connus permet de circonscrire globalement les zones principales d’atterrissement. Cet inventaire ne saurait évidemment pas être exhaustif mais vise d’une part à identifier les zones plus particulièrement exposées et d’autre part à permettre de quantifier les volumes potentiellement mobilisables.

En terme de cartographie, ont été identifiées en priorité les blocs remarquables : par leur volume et par leurs atteintes (les éléments les plus lointains en pied de versant étant naturellement recherchés).

Il s’agit d’un recensement non exhaustif de blocs éboulés effectué à partir de différentes sources d’informations :

- reconnaissances de terrain pédestres (principalement des blocs remarquables dans les affleurements) ;
- exploitation des orthophotographies 2019 réalisées en parallèle à la campagne Lidar ;
- valorisation ponctuelle des données Lidar (à partir du MNT ombré pour les plus gros éléments).

Le recensement effectué montre une concentration à l’aval des zones d’escarpements, avec des concentrations au niveau des zones d’éboulis / chaos. La grande majorité des éléments rocheux sont de volume compris entre 0,25 et 10 m<sup>3</sup>. Certains blocs isolés sont plurimétriques. Ces blocs sont pour la plupart issus d’éboulements anciens (le plus ancien daté est de 1979, d’autres blocs sont potentiellement plus anciens que cette date).

## 4. Evaluation de l'aléa chute de blocs

### 4.1. METHODE

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.

La méthode valorisée dans le cadre du présent programme est issue des résultats à paraître d'un groupe de travail sur l'évaluation de l' « aléa rocheux » dans le cadre d'un PPRn (MEZAP<sup>6</sup>).

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, synthèse historique, 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. 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, le tout en prenant soin de compiler les données événementielles servant de référence à l'analyse de propagation des blocs en versant. En termes pratiques, cette évaluation découle de 5 étapes résumées comme suit :

- Indice intensité
  - cet indice 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. Le moteur de ce mouvement est gravitaire. Ces volumes potentiellement mobilisables décrivent l'intensité attendue des phénomènes, qualifiée par un **indice d'intensité**. Cette intensité est associée à l'endommagement potentiel engendré par une atteinte à des enjeux.

---

<sup>6</sup> Méthodologie de l'aléa chute de pierres



- Indice d'activité
  - cet indice définit *la fréquence* avec laquelle ce ou ces volumes de roches se mettent en mouvement. On peut ainsi observer dans certains contextes, des chutes de pierres incessantes alors qu'une fois par décennie, un gros bloc se détache. Dans ce type d'étude, il s'agit de facto d'un facteur qui s'appuie, lorsqu'ils existent, sur de longs historiques d'observations, à défaut sur l'expertise. Ce paramètre qualifie un **indice d'activité** des zones de départ.
- Aléa de propagation – probabilité de propagation
  - le principe est d'étudier la propagation 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. 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 de propagation** de blocs en tout point du territoire.
- Probabilité d'atteinte
  - la probabilité d'atteinte résulte du croisement de l'indice d'activité des zones de départ et des probabilités de propagation simulées.
- Aléa résultant
  - l'aléa de mouvement de terrain (ici chute de blocs) résulte du croisement de la probabilité d'atteinte et de l'intensité du phénomène de référence considéré.

Dans la pratique, la mise en œuvre de cette démarche impose la définition d'un (de) phénomène(s) de référence pour lequel/lesquels sont déclinés :

- l'estimation de la probabilité de départ (rupture) ;
- la détermination de la probabilité de propagation ;
- le calcul de l'aléa résultant « chute de blocs » à l'échelle communale.

## 4.2. RECONNAISSANCE DES ZONES DE DEPART

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

- la géologie : faciès rocheux pouvant générer des blocs ;
- la morphologie : présence de falaises ou de ressauts topographiques pouvant générer des éboulements ou des départs de blocs isolés ;
- les mécanismes de rupture : conditions de fracturation notamment propices aux éboulements.

A l'échelle de l'ensemble de la zone, et compte-tenu de la diversité des ruptures identifiées, le cas échéant au sein de mêmes ensembles, il n'a pas été fait de discrimination spécifique sur le mode de rupture, en considérant que tout relief était à même de produire des blocs.

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 prévu dans le cadre de ce projet.

#### 4.2.1. Géologie

Les zones favorables sont définies par rapport aux levés géologiques. Les résultats sont compilés sur l'illustration 26. Du point de vue lithologique, les ensembles favorables au départ de chutes de blocs sont les formations cartées comme le conglomérat et les grès, formant l'intégralité des barres rocheuses identifiées.

#### 4.2.2. Morphologie

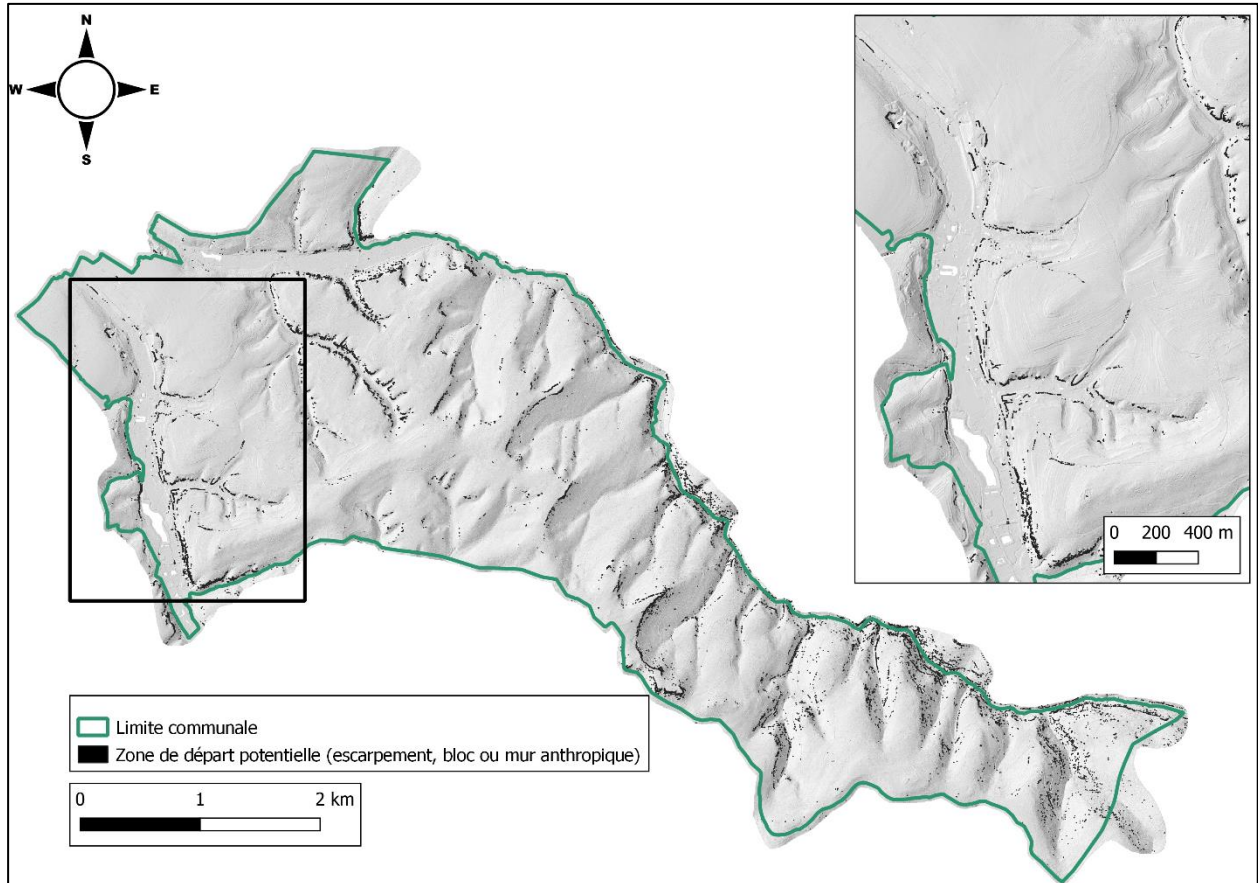
L'inventaire exhaustif des zones de départs potentielles (falaises et barres rocheuses) lors d'une reconnaissance *in situ* est difficilement réalisable à l'échelle de la zone d'étude. A ce titre, un couplage réalisé à partir de l'analyse couplée du Modèle Numérique de terrain (MNT), du scan 25 de l'IGN et des orthophotographies récentes (acquisition 2019 lors du levé LIDAR) couvrant le secteur de la commune, ainsi qu'en s'appuyant sur les informations recueillies lors des visites de 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 menés 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) (Berger et al., 2009) :

$$\alpha = 55^{\circ} . RES^{-0,075}$$

Ainsi pour le MNT au pas de 0,5 m disponible, une pente supérieure ou égale à 57,9° 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 haute résolution afin de produire une carte des zones de départs potentiels la plus exhaustive possible.

Les résultats des démarches réalisées sont reportés sur l'illustration 30 qui présente les zones de départ potentielles sur la zone d'étude.



*Illustration 30 - Inventaire des zones de départ potentielles sur MNT avec la définition d'une valeur de pente seuil  $\alpha$  de  $57,9^\circ$  (fond carte ombragée du MNT)*

Cette reconnaissance préliminaire détecte de nombreux faux positifs à l'instar des bordures de bâtiment, des talus anthropiques et des murs et doit être affinée par traitement numérique et manuel (Illustration 31). Ce traitement a été effectué sur la base d'indices géométriques (élongation, surface, périmètre...) et morphologiques (continus/discontinu, position dans le versant, répartition par rapport aux autres éléments...). En complément, les données IGN de BD Topo, le MNS et les photographies aériennes réalisées durant l'acquisition LIDAR ont été utilisés pour identifier les éléments anthropiques.

Cette analyse a été complétée et affinée par les campagnes de terrain qui permettent en plus de caractériser les escarpements et les blocs de volume important. L'analyse couplée du MNT et des observations de terrain a permis de :

- valider la présence ou non des escarpements caractérisés uniquement à partir du MNT ;
- compléter l'inventaire des zones de départ sur le territoire communal ;
- discriminer les escarpements des blocs isolés ;
- caractériser les zones de départ (Illustration 32).

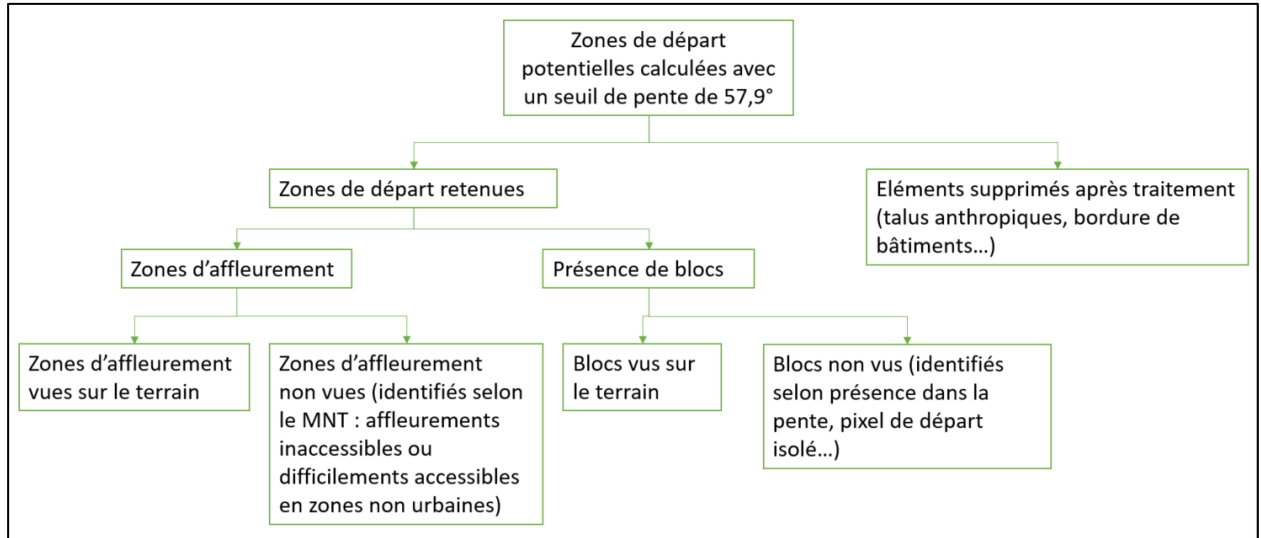


Illustration 31 – Traitement effectué sur les zones de départ potentielles

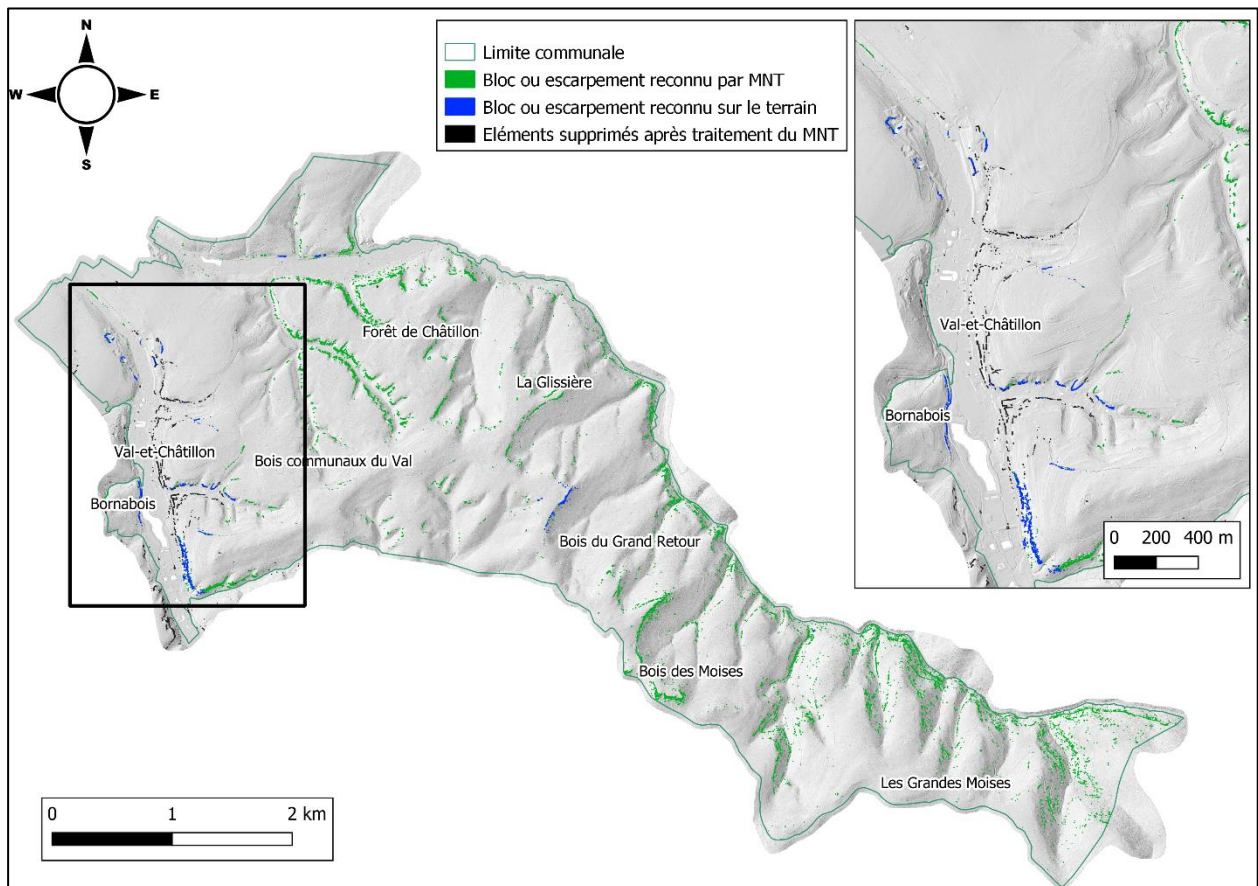


Illustration 32 - Inventaire des zones de départ sur MNT avec la définition d'une valeur de pente seuil  $\alpha$  de  $57,9^\circ$ , affiné par post-traitement (reclassement manuel d'après des informations de terrain ou photographiques, ou reclassement automatique selon des critères géométriques)



### **4.2.3. Typologie**

Les reconnaissances de terrain ont permis de caractériser des escarpements types en fonction des formations rencontrées, de l'état de fracturation de la paroi rocheuse et des zones d'érosion différentielle.

Chaque point relevé sur le terrain (Illustration 33 et annexe 1) correspond à une description géologique/géotechnique visuelle : hauteur de l'escarpement, formation, altération, fracturation, existence de blocs instables au sein de l'escarpement, etc. (annexe 2). Ces informations ont été extrapolées aux escarpements identifiés uniquement par l'analyse sur MNT (notamment hors des zones d'enjeux ou pour des secteurs inaccessibles).

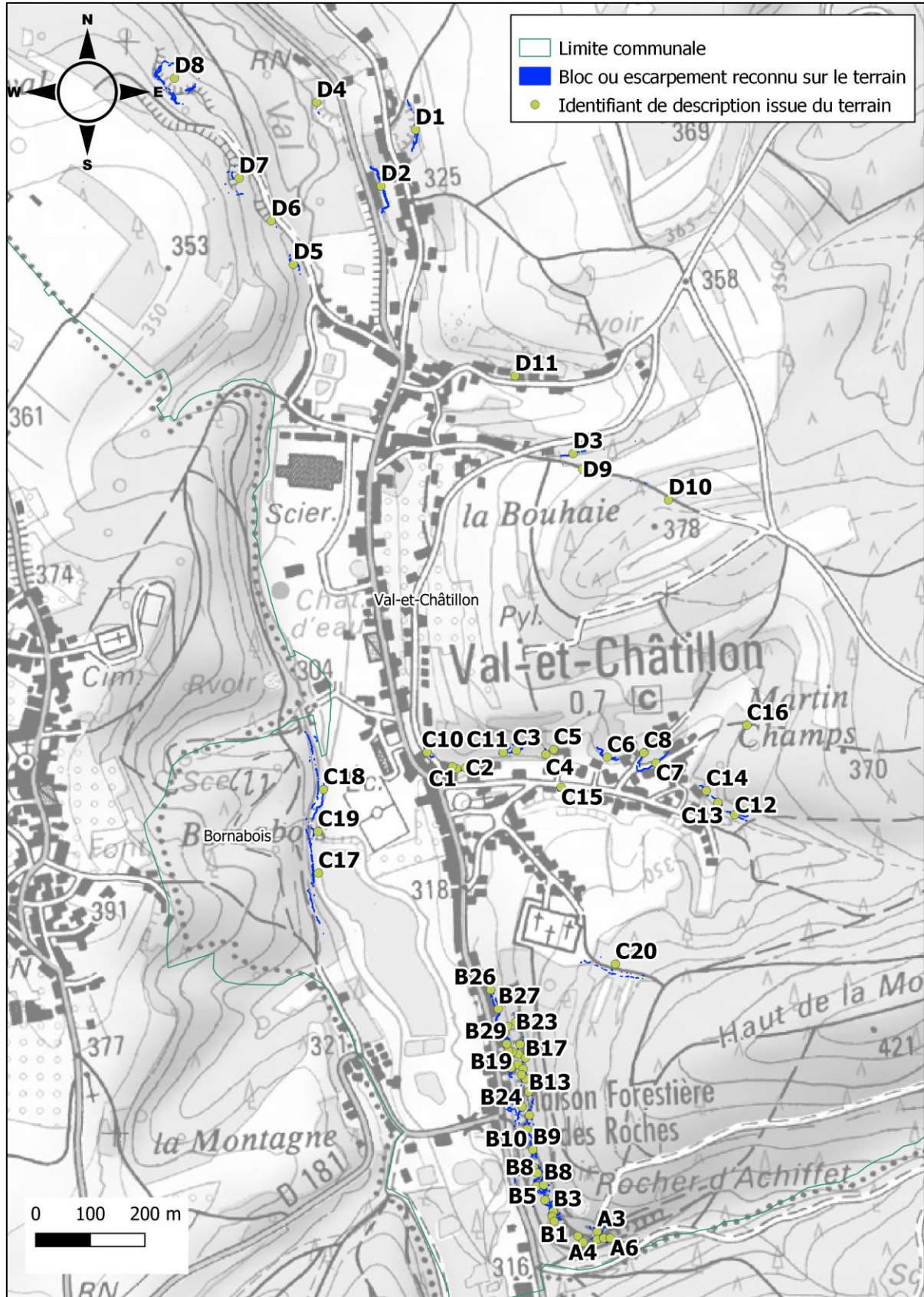


Illustration 33 – Extrait de localisation des identifiants des descriptions issue du terrain

L'analyse couplée MNT/terrain pointe les zones particulièrement exposées et permet de quantifier les volumes potentiellement mobilisables. Ces reconnaissances post-événement ne permettent pas de distinguer les événements liés à un éboulement rocheux au sens strict et à des remobilisations en versant. Outre la définition des enveloppes de propagation, cet inventaire, permet de préciser les volumes de blocs représentés, voire leur distribution globale. En grande majorité, les blocs identifiés sont supérieurs au mètre cube.

Généralement, les secteurs à fortes densités correspondent à des zone d'éboulis et de colluvions dans les talus (bord de route) ou à des zones fortes densité de blocs (plutôt conglomérat) dans un versant.

L'ensemble des éléments recueillis sur le terrain (annexe 1) a permis d'établir la typologie des zones de départ pour les escarpements et les blocs individualisés (Illustration 34).

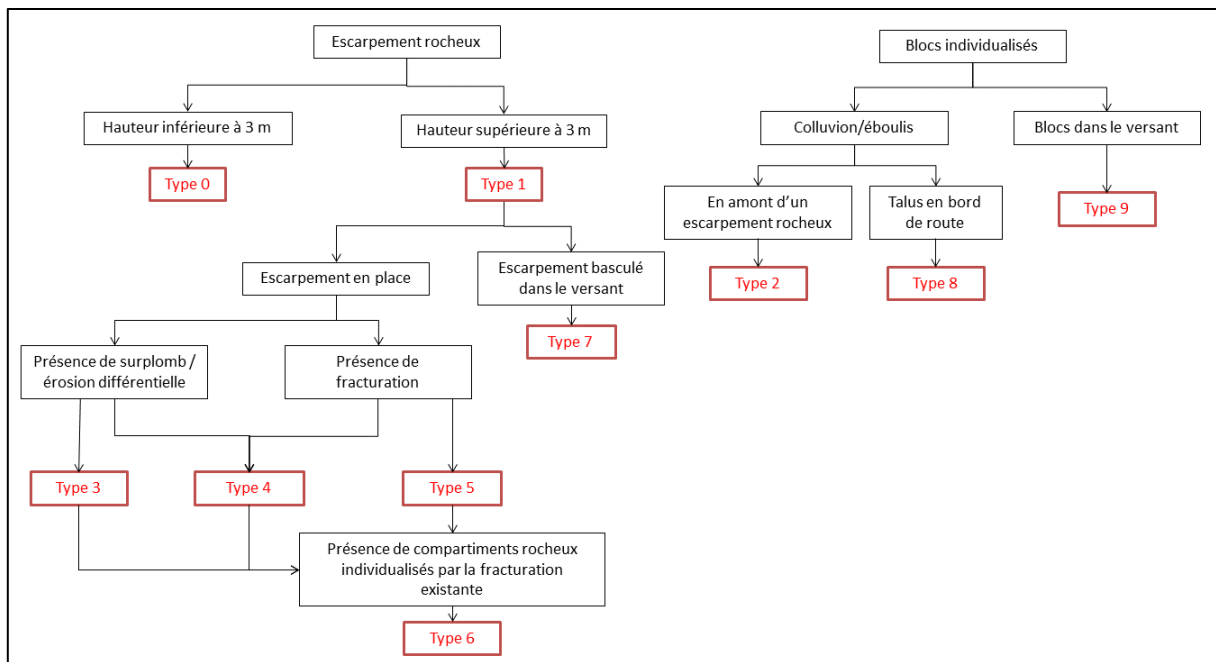


Illustration 34 – Logigramme des typologies des zones de départ en chutes de blocs observées sur la commune de Val-et-Châtillon

Les photographies sont présentées en annexe 5.

### 4.3. CARTOGRAPHIE DES ZONES DE REcul

Les éboulements ou chutes de blocs unitaires peuvent provoquer la déstabilisation des terrains situés en amont de la « tête » de falaise. Ce type de phénomène, appelé « recul de falaise », peut se produire de façon immédiate lors d'un éboulement rocheux ou de façon progressive, sur le moyen ou le long terme (10 à 100 ans), suite à des chutes de blocs successives.

Il existe donc deux types de recul de falaise :

- le recul brutal lié à un départ en masse de blocs rocheux : il s'agit du phénomène le plus impactant pouvant se traduire par plusieurs mètres de recul en un évènement ;
- le recul progressif lié à des chutes successives de blocs unitaires : ce phénomène se traduit par un recul lent de la tête de falaise par glissements ou éboulements successifs.

Un relevé détaillé de la fracturation, des mécanismes de rupture et des volumes mobilisables est nécessaire pour évaluer précisément cet aléa de façon précise. Dans cette étude, seule l'étendue potentielle impactée par ce phénomène sera définie à partir des phénomènes observés sur la commune, des données bibliographiques et du retour d'expérience du BRGM dans d'autres contextes, notamment l'étude d'EPINAL réalisée dans un contexte géologique similaire (Rabin M., 2019).

En se basant sur des études réalisées dans divers contextes géologiques (Maquaire et Gigot, 1988, Moon et Healy, 1994, Gutierrez et al., 2016, Hantz 2018, Vallet et Hannion, 2018), plusieurs hypothèses de départ peuvent être formulées :

- l'étendue maximale du recul de falaise ne pourra pas excéder une certaine proportion de la hauteur de falaise ;
- **l'étendue maximale du recul de falaise peut être estimée en considérant l'évènement le plus gros possible pour une période de 100 ans, suivit de régression progressive ;**
- la probabilité d'occurrence d'un phénomène de grande ampleur (gros volume) est plus faible que celle de petits volumes. En effet, quel que soit la falaise concernée, elle produit plus de petit blocs que de gros blocs (Hantz, 2018) ;
- la probabilité d'occurrence d'évènements successifs affectant une même portion de falaise diminue avec le nombre d'évènements considérés. Ainsi, la probabilité de recul est décroissante en s'éloignant de la tête de falaise.

#### 4.4. INDICE D'INTENSITE

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. De façon globale, le niveau d'intensité du phénomène est défini à partir de la grille ci-dessous issue du groupe de travail MEZAP (Illustration 35).



Indice d'intensité	Volume unitaire pouvant se propager (m <sup>3</sup> )	Potentiels de dommages
Faible	Volume < 0,25	Pas de dommage au gros œuvre, peu ou pas de dommages aux éléments de façade
Modérée	0,25 ≤ Volume < 1	Dommage au gros œuvre sans ruine. Intégrité structurelle sollicitée.
Elevée	1 ≤ Volume < 10	Dommage important au gros œuvre. Ruine probable. Intégrité structurelle remise en cause.
Très élevée	Volume ≥ 10	Destruction du gros œuvre. Ruine certaine. Perte de toute intégrité structurelle.

*Illustration 35 – Définition des classes d'intensité de l'aléa rocheux en fonction du volume et du potentiel de dommages (source : modifié d'après document MEZAP)*

L'analyse de la distribution des volumes des blocs recensés dans les zones d'atterrissement principales montre qu'à l'échelle de la zone d'étude, les classes d'intensité majoritairement représentées sont la classe « élevée » (1 à 10 m<sup>3</sup>), avec sur certains secteurs également une représentation de la classe « très élevée » (> 10 m<sup>3</sup>).

Il est à noter que l'examen des zones de départ montre des classes relativement similaires. Etant donné les terrains rencontrés (grès et conglomérat), la fragmentation au cours de chute peut être très importante.

Globalement les scénarios de référence devront intégrer des propagations de l'ordre du mètre cube (forte représentativité générale de cette classe, Illustration 23) et des volumes plus importants (de l'ordre de 1 à 10 m<sup>3</sup>).

Un scénario de rupture potentielle en très grande masse entraînant un comportement de propagation de type « écroulement » (phénomène « de grande ampleur » dont la dynamique s'apparente à celle d'un mélange « turbulent ») n'a pas été retenu dans le cadre de la présente étude. La survenue d'un tel événement n'a pas été observé sur la commune ou dans des contextes géologiques similaires.

La méthode MEZAP propose de définir un potentiel de dommage directement à partir de l'indice d'intensité, c'est-à-dire uniquement en fonction du volume du bloc du scénario de référence.

Sur la commune de Val-et-Châtillon le passage de l'aléa fort à très fort est uniquement dû au passage d'un indice d'intensité élevé à très élevé dans le cas d'une probabilité d'atteinte élevée car aucune probabilité de propagation très élevée n'est caractérisée dans cette étude<sup>7</sup>.

#### 4.5. INDICE D'ACTIVITE

La fréquence avec laquelle les volumes de roches se mettent en mouvement qualifie un **indice d'activité** des zones de départ, défini à partir de la grille suivante établi par le groupe de travail MEZAP. 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

<sup>7</sup> Compte tenu des avancées en terme de loi empirique du type ligne d'énergie, la distinction entre dans la zone de propagation forte et très forte n'est pas encore réalisée

faites dans des contextes similaires ou s'appuyer sur des observations historiques lorsqu'elles existent.

Trois classes d'indice d'activité ont été définies pour cette étude en se basant sur les recommandations du MEZAP (Illustration 36).

Indice d'activité par zone 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 36 – Définition des classes d'indice d'activité (source : document MEZAP)*

La connaissance historique recensée dans le cadre de cette étude a été présentée précédemment. Un évènement significatif de chutes de blocs (plusieurs centaines de mètres cubes) est répertorié au sud du village en 1979 (environ 40 ans). D'autres phénomènes (inférieur au mètre cubes) ont été enregistrés plus récemment (2008 à 2016).

En dehors de cette activité, il n'est pas enregistré d'éboulements significatifs sur le secteur et les zones de départ ne font pas état de cicatrices fraîches de rupture.

Sur l'ensemble des différents sites de départ potentiels de blocs, une évaluation de l'activité a été faite à dire d'expert et consignée dans le tableau en annexe 3. Majoritairement, cette évaluation a conduit à un indice d'activité de niveau faible (de l'ordre d'un bloc tous les 100 ans) à moyen (de l'ordre d'un bloc tous les 10 ans) ponctuellement.

Les zones de départ où l'indice d'activité est supérieur à la période de référence de 100 ans, c'est-à-dire moins d'un bloc tous les 100 ans, sont considérées comme présentant un aléa nul sur cette période référence.

#### **4.6. SYNTHÈSE DES INDICES D'INTENSITÉ ET D'ACTIVITÉ**

La plupart des sites sont susceptibles de générer des phénomènes d'intensité élevée mais avec un indice d'activité le plus souvent faible (détaillé en annexe 3).

L'altération et la fracturation des escarpements de conglomérat est susceptible d'individualiser des blocs de taille très variable, pouvant être supérieure à 10 mètres cubes. Ces escarpements donnent de nombreuses colonnes qui se détachent de la paroi. Ce type de phénomène, bien que très représenté sur la commune, a un indice d'activité faible (de l'ordre d'un bloc tous les 100 ans). Des escarpements plus fracturés de conglomérat peuvent générer des blocs de plus petites dimensions (1 à 10 mètres cubes) dont l'indice d'activité est généralement faible (de l'ordre d'un bloc tous les 100 ans) à moyen (de l'ordre d'un bloc tous les 10 ans).

L'altération et la fracturation des escarpements de grès génèrent des blocs de plus petites dimensions (inférieures au mètre cubes). L'indice d'activité associé à ces escarpements varie de moyen à fort (de l'ordre d'un bloc tous les 1 à 10 ans) en fonction de l'état de la paroi. Certains escarpements de grès plus massifs et peu fracturés ont un indice d'activité faible (de l'ordre d'un bloc tous les 100 ans).

#### 4.7. PROBABILITE DE PROPAGATION

La probabilité de propagation caractérise la propagation des éléments rocheux en versant. Le volume rocheux du scénario peut se propager plus ou moins loin en fonction des caractéristiques du versant étudié (pente, présence d'obstacles, nature du sol...).

L'évaluation de la propagation de chutes de blocs en versant a été menée en suivant les étapes complémentaires suivantes :

- analyse de la répartition des blocs éboulés dans le versant ;
- analyse à partir de la méthode dite de la ligne d'énergie permettant la définition d'enveloppes de propagation en fonction des caractéristiques topographiques du site (annexe 6) ;
- cartographie de synthèse basée sur les résultats des méthodes précédentes enrichis d'une approche « experte ».

L'analyse géomorphologique du versant est réalisée dans l'objectif de cartographier les limites de propagation des phénomènes de chute de blocs (limites de l'aléa de propagation) selon une approche empirique dérivée de la ligne d'énergie (MEZAP). Pour cette étude, 53 profils ont été réalisés sur la commune de Val-et-Châtillon. Les profils topographiques sont définis :

- pour la partie supérieure, par les escarpements rocheux ;
- pour la partie inférieure, par la limite de propagation de 26° de la méthode de la ligne d'énergie, limite communément admise de propagation maximale du phénomène de chute de blocs (MEZAP).

Les profils ont été placés au niveau des escarpements les plus représentatifs et/ou au niveau des zones à enjeux.

Les profils de pente s'organisent majoritairement en deux types de pente :

- un profil de pente régulière en pied de zone de départ avec parfois la présence d'un replat marqué en fin de trajectoire ;
- un escarpement rocheux vertical avec une zone de replat marqué en fin de trajectoire (principalement les escarpements les plus proches des habitations).

Certains secteurs présentent des pentes irrégulières (replat, contre-pente, dépression...) notamment au niveau d'anciennes carrières, limitant ainsi la propagation des blocs vers l'aval. L'annexe 2 présente les résultats obtenus et l'illustration ci-dessous la synthèse des résultats.

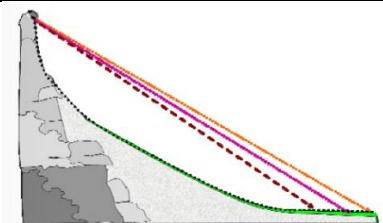
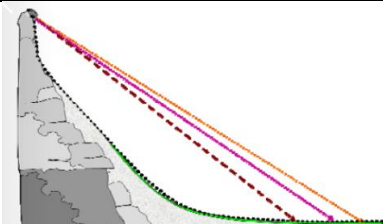
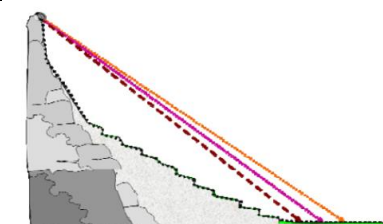
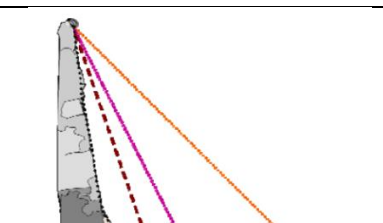
				Limite de propagation faible (°)	Limite de propagation moyenne (°)	Limite de propagation forte (°)
Profil A		Profil de pente régulière en pied de zone de départ	moyenne	32	40	48
			minimum	26	28	30
			maximum	53	56	59
Profil B		Profil de pente régulière en pied de zone de départ avec replat marqué en fin de trajectoire	moyenne	29	33	44
			minimum	26	28	35
			maximum	37	41	57
Profil C		Profil de pente irrégulière en pied de zone de départ	moyenne	36	40	46
			minimum	30	33	42
			maximum	40	45	51
Profil D		Falaise et replat marqué	moyenne	47	50	54
			minimum	39	42	45
			maximum	53	56	59

Illustration 37 – Synthèse des résultats obtenus



#### 4.7.1. Méthode de la ligne d'énergie

##### Principe de la méthode

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.

Le modèle de la ligne d'énergie est un modèle dit statistique qui permet d'estimer à partir d'une zone de départ la localisation du point d'arrêt maximal probable d'un projectile et qui ne nécessite pas à proprement parlé de détermination des coefficients de réponse des sols. Ce modèle est basé sur le principe de la ligne d'énergie développée par HEIM A. en 1932. Ce modèle repose sur le principe qu'un bloc ne peut progresser sur une pente que si celle-ci est suffisamment raide.

Ainsi, si la pente est supérieure à un angle limite  $\beta$ , il accélère. Si elle est inférieure à  $\beta$ , il ralentit. 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  $\beta$  avec l'horizontal (Illustration 38). Cette ligne est appelée la ligne d'énergie et l'angle  $\beta$ , l'angle de la ligne d'énergie.

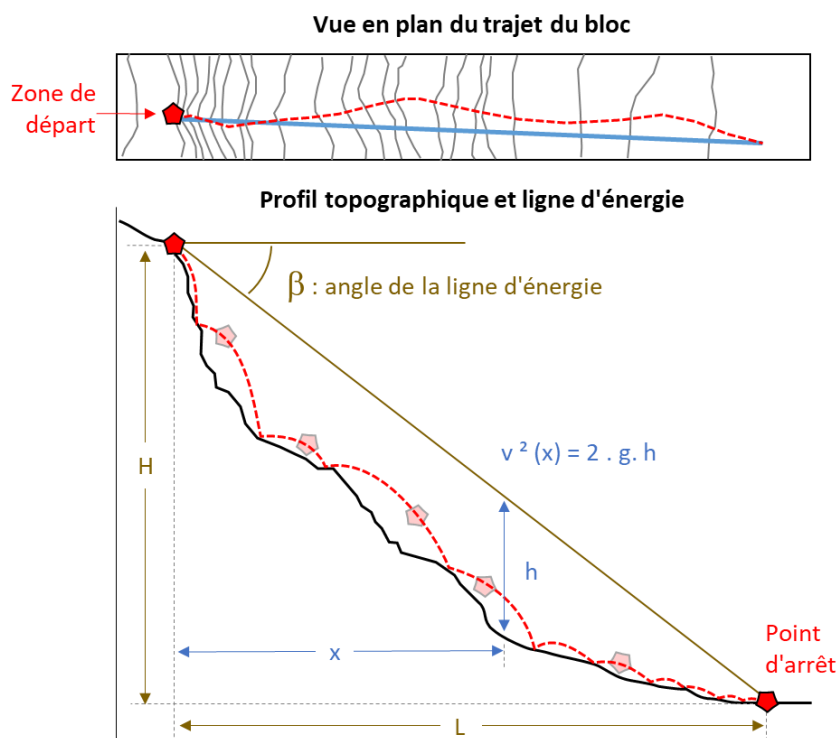
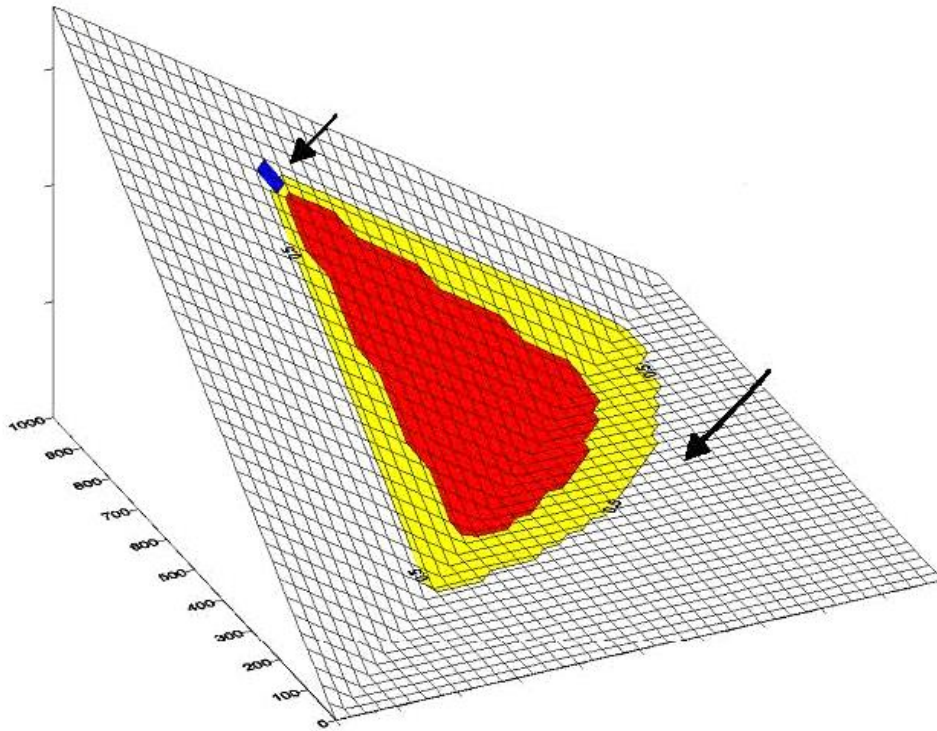


Illustration 38 – Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie et de la formule pour déterminer l'angle  $\beta$

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 sous forme de cônes de propagation s'appuie sur le calcul de l'intersection des lignes d'énergie avec la topographie en introduisant un paramètre de dispersion latérale des propagations des phénomènes de chutes de blocs (méthode aussi dite des cônes - Illustration 39).



*Illustration 39 – Représentation schématique de la méthode de cônes  
(d'après Jaboyedoff et Labiouse, 2011)  
(les flèches indiquent la zone de départ et la zone d'atteinte)*

La méthode de la ligne d'énergie permet d'obtenir une bonne estimation des enveloppes de propagation en cas de chute de blocs. Cependant la méthode est uniquement basée sur le profil topographique du versant et ne pas implicitement en compte :

- les caractéristiques des blocs (volume, forme...) ;
- le mécanisme de rupture ;
- la nature du sol au niveau de la zone de propagation (propriété mécanique et rugosité).

La précision de l'atteinte est conditionnée par la résolution et la qualité du MNT utilisé. Dans l'absolu, pour des scénarios de rupture différents on pourrait être amené à proposer des valeurs d'angles variables, dans un même contexte géomorphologique.

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 en œuvre de la méthode de ligne d'énergie réside dans le choix d'une valeur d'angle pour une probabilité d'atteinte donnée. Communément, le choix des valeurs d'angle retenues pour qualifier la propagation est évaluée en fonction :

- de l'expertise du site (campagne de terrain, phénomènes historiques, répartition des blocs éboulés, similarité avec d'autres cas d'études...);
- des plages indicatives de valeur d'angle proposées par le guide MEZAP en fonction des principaux types de profil topographique des versants ;
- de l'analyse probabiliste et de la relation statistique mise en évidence entre l'aire normalisée ( $A_n$ ) 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 d'évènement de chute de blocs (rapport BRGM RP-66589-FR).

C'est cette troisième approche qui a été utilisée pour cette étude.

### **Utilisation de l'outil ELANA**

Les calculs de probabilité d'atteinte ont été mises en œuvre en utilisant l'outil d'aide à la cartographie de la propagation des chutes de blocs ELANA (Energy Line Angle Normalized Area) développée par le BRGM (détaillé en annexe 4).

Cet outil a permis de définir trois probabilité d'atteinte : forte, moyenne et faible. Dans certains secteurs des motifs en « scie » aux bords et des enclaves sont visibles. Des traitements ont été réalisés sur ces enveloppes afin de lisser les données :

- application d'une zone de tampon +10 et -10 m aux zones de propagation estimées pour supprimer les zones de lacunes ;
- suppression des surfaces inférieures à 5 m<sup>2</sup> ;
- les enclaves d'un niveau donné, d'une largeur inférieure à 5 m, ou d'une aire inférieure à 5 m<sup>2</sup>, englobées dans un niveau différent plus fort, ont été rattachées à ce niveau ;
- application d'une incertitude de 1 m sur les données.

Les enveloppes de propagation ont été comparées aux profils topographiques.

### **Utilisation du logiciel Conefall**

Selon les configurations morphologiques établies précédemment, les reconnaissances de terrain et sur l'application de la méthode de la ligne d'énergie sur des profils topographiques ponctuels, la valeur d'angle de propagation maximum retenue est de 26° pour la commune de Val-et-Châtillon (Illustration 40) pour les profils A, B et C du MEZAP.

La délimitation de l'enveloppe de propagation maximum s'appuie sur les résultats du logiciel CONEFALL (Jaboyedoff M. et al., 2011) pour un angle de 26°.

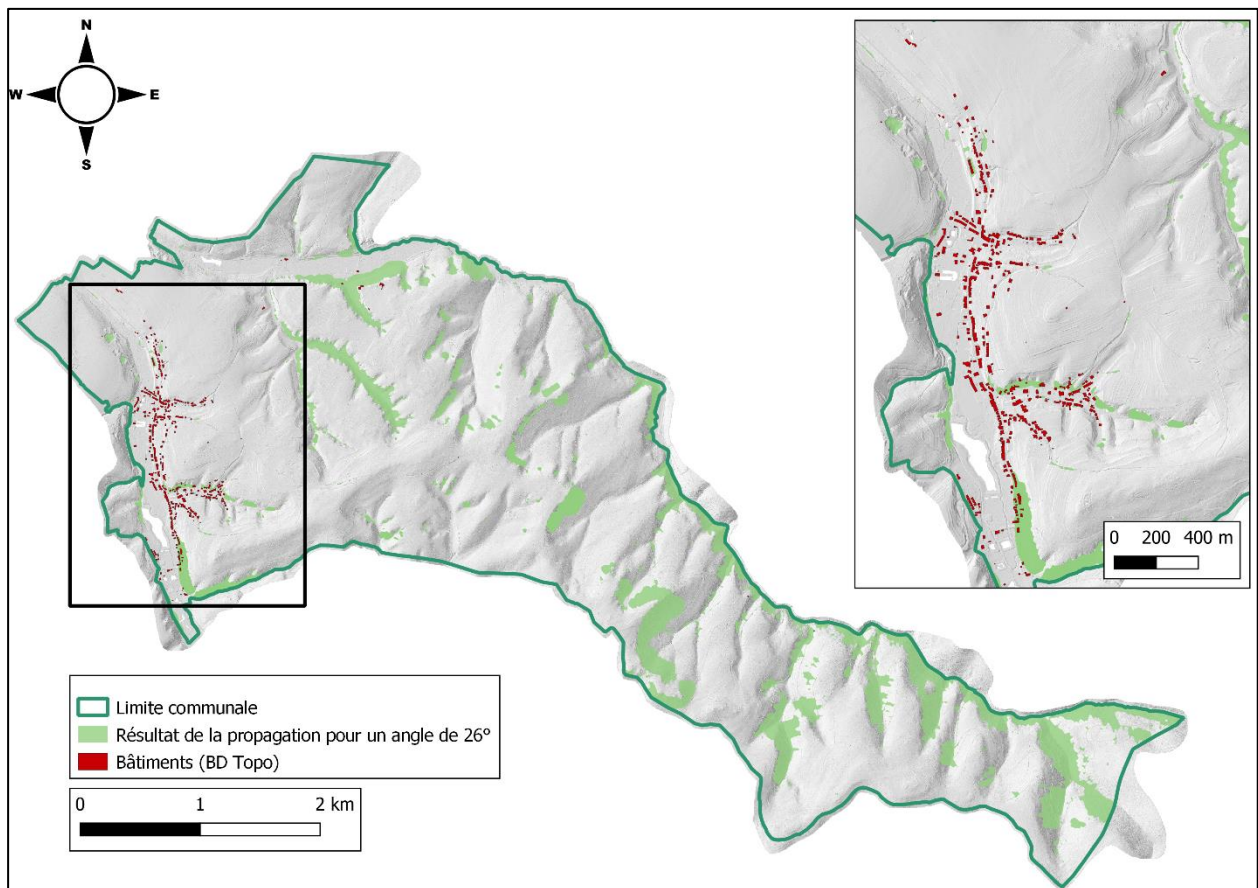


Illustration 40 – Limite de la propagation maximum selon un angle de 26°

#### 4.7.2. Synthèse aléa de propagation

L'analyse croisée des travaux réalisés permet de proposer une cartographie de l'aléa de propagation (Illustration 41). Afin d'aboutir à une hiérarchisation de l'atteinte potentielle de blocs rocheux en versant (blocs correspondants au scénario de référence), la démarche a été l'application du cône ELANA et la vérification à partir des profils de la probabilité de propagation faible, moyenne et forte. Pour les profils A, B et C, le logiciel CONEFALL a été utilisé pour atteindre l'angle de 26° (angle au-delà duquel la propagation de chutes de blocs n'est pas observé, quel que soit le contexte).

Il est important de rappeler 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 de propagation. Ces éléments sont considérés comme transparents à la propagation des événements de chute de blocs.



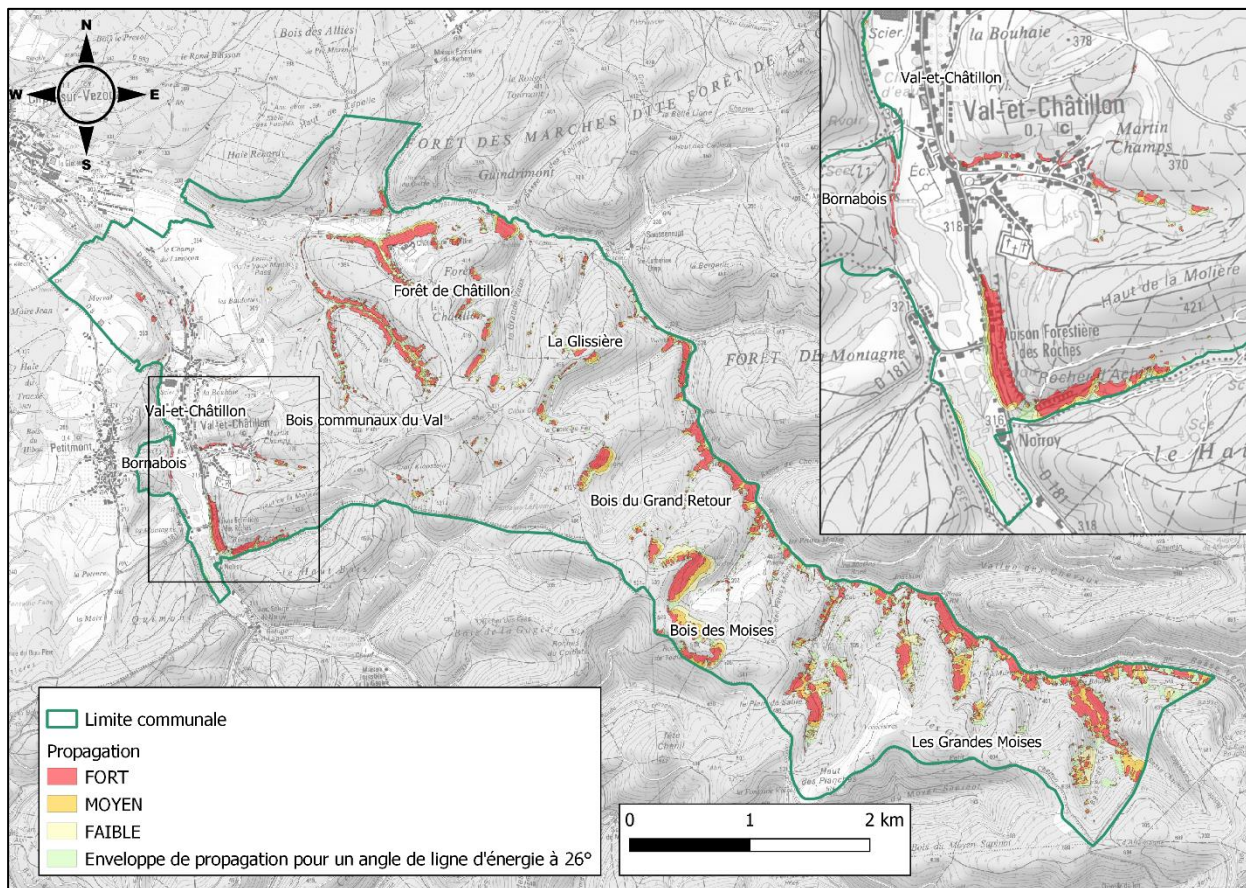


Illustration 41 - Cartographie des zones de propagation sur la commune de Val-et-Châtillon

La cartographie des zones de propagation est présentée en annexe 6 sur l'ensemble de la commune au 1/25 000<sup>ème</sup> et pour la zone urbaine au 1/5 000<sup>ème</sup>.

## 4.8. ZONE DE REcul

### 4.8.1. Recul brutal lié à un éboulement en masse

Sur la commune de Val-et-Châtillon, un seul évènement d'éboulement en masse a été observé, il s'agit du phénomène n°1, concernant un volume de 40 à 100 m<sup>3</sup> provenant d'un escarpement de conglomérat d'une hauteur de 6 à 8 m. Le recul de falaise observé sur le terrain est estimé à 4 m et correspond à un recul de type brutal.

Au vu des hauteurs (hauteur maximum sur la commune de 20 m : affleurement D7 et D8) et de l'intense fracturation de certaines zones de départ, les falaises de grès et/ou conglomérats ont été considérées comme potentiellement sensibles aux phénomènes d'éboulement en masse.

D'après des études réalisées dans divers contextes géologiques (Moon et Healy, 1994, Gutierrez et al., 2016, Vallet et Hannion, 2018), l'étendue maximale du recul de falaise lié aux éboulements en masse peut être estimée en considérant l'évènement brutal le plus gros possible pour une période de 100 ans, suivit de régression progressive.

Pour Val-et-Châtillon, l'étendue maximale du recul de falaise est estimée comme égale à 50 % de la hauteur de falaise (hauteur maximum de 20 m sur la commune), jusqu'à un maximum de 10 m, incluant le recul brutal, la régression progressive de la falaise et l'incertitude de positionnement.

#### **4.8.2. Recul progressif lié à des chutes de blocs successifs**

Tout comme pour le recul brutal lié à un éboulement en masse, l'étendue maximale du recul progressif peut être estimée en considérant l'évènement impliquant le plus gros volume unitaire possible pour une période de 100 ans, suivit d'une régression progressive.

Sur la commune de Val-et-Châtillon, les évènements connus impliquant le plus gros volume unitaire correspondent aux phénomènes n°9 et 12. Il s'agit de blocs de 20 à 25 m<sup>3</sup> provenant d'escarpements conglomératiques. Le phénomène 12 provient d'un escarpement d'environ 4 m de haut (Parent H., 2012).

Le recul engendré par cet évènement est inconnu mais doit sensiblement correspondre aux dimensions des blocs (2 m de largeur correspondant au surplomb).

La limite d'étendue maximale peut être fixée à 50 % de la hauteur de la falaise, comme pour le cas du recul brutal. Une zone de recul correspondant à 50 % de la hauteur de falaise, jusqu'à un maximum de 10 m, peut donc être appliquée sur l'ensemble des falaises incluant le recul attendu et l'incertitude de positionnement.

Les zones de départ de moins de 5 m de haut n'ont pas été considérées comme pouvant générer un phénomène de recul conséquent (maximum fixé à 50% de la hauteur, soit 2 m).

#### **4.8.3. Application d'une zone tampon pour le recul**

Le recul de falaise a donc été cartographié par l'application d'une zone tampon de :

- 10 m de large en amont des escarpements de plus de 10 m de hauteur. Cette configuration concerne trois escarpements sur la commune de Val-et-Châtillon :
  - D7 et D8 présentant une hauteur maximum de 20 m ;
  - C11 présentant une hauteur de 15 m.
- 5 m de large en amont des escarpements de plus de 5 m de hauteur ;
- 2 m pour les escarpements de moins de 5 m de hauteur.

Ces distances incluent une incertitude de positionnement des affleurements (estimée à 1 m).

La cartographie de l'ensemble des zones de propagations et de recul est présentée en Annexe 5.

#### 4.9. PROBALITE D'ATTEINTE DE CHUTE DE BLOCS

La qualification de la probabilité d'atteinte est définie à partir de la matrice de l'illustration 42, en croisant la probabilité de propagation en un point et la probabilité de départ qualifiée par l'indice d'activité.

		Probabilité de propagation			
		Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Indice d'activité	Faible	Faible	Modérée	Elevée	Très élevée
	Moyen	Modérée	Modérée	Elevée	Très élevée
	Fort	Modérée	Elevée	Elevée	Très élevée

Illustration 42 – Matrice de probabilité d'atteinte (source : document MEZAP)

L'application de cette grille conduit à considérer des zones de probabilité d'atteinte faible, modérée et élevée du phénomène de référence.

#### 4.10. ALEA DE CHUTE DE BLOCS

L'approche utilisée pour l'évaluation de l'aléa 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 s'est basée sur la méthode MEZAP adaptée au contexte local. La méthode de la ligne d'énergie a été mise en œuvre pour évaluer l'enveloppe des zones de propagation et les probabilités de propagation des blocs.

Le niveau d'aléa résultant est qualifié en tout point de la zone d'étude en utilisant la matrice ci-dessous (Illustration 43).

		Intensité			
		Faible	Modérée	Elevée	Très élevée
Probabilité de propagation	Faible	faible	moyen	fort	fort
	Modérée	faible	moyen	fort	fort
	Élevée	moyen	fort	fort	Très fort
	Très élevée	fort	fort	Très fort	Très fort

Illustration 43 – Matrice d'évaluation de l'aléa (source : modifié d'après document MEZAP)



Ces zones de départ potentiel de blocs ont dans un second temps été sectorisées en grands ensembles homogènes du point de vue de leurs principales caractéristiques géomorphologiques et structurales, et de leur activité potentielle vis-à-vis des chutes de blocs.

Les données récupérées sur le terrain et les données topographiques ont permis de définir pour chacune de ces zones de départ, la probabilité de propagation et l'indice d'intensité permettant ainsi d'obtenir l'aléa (Illustration 44).

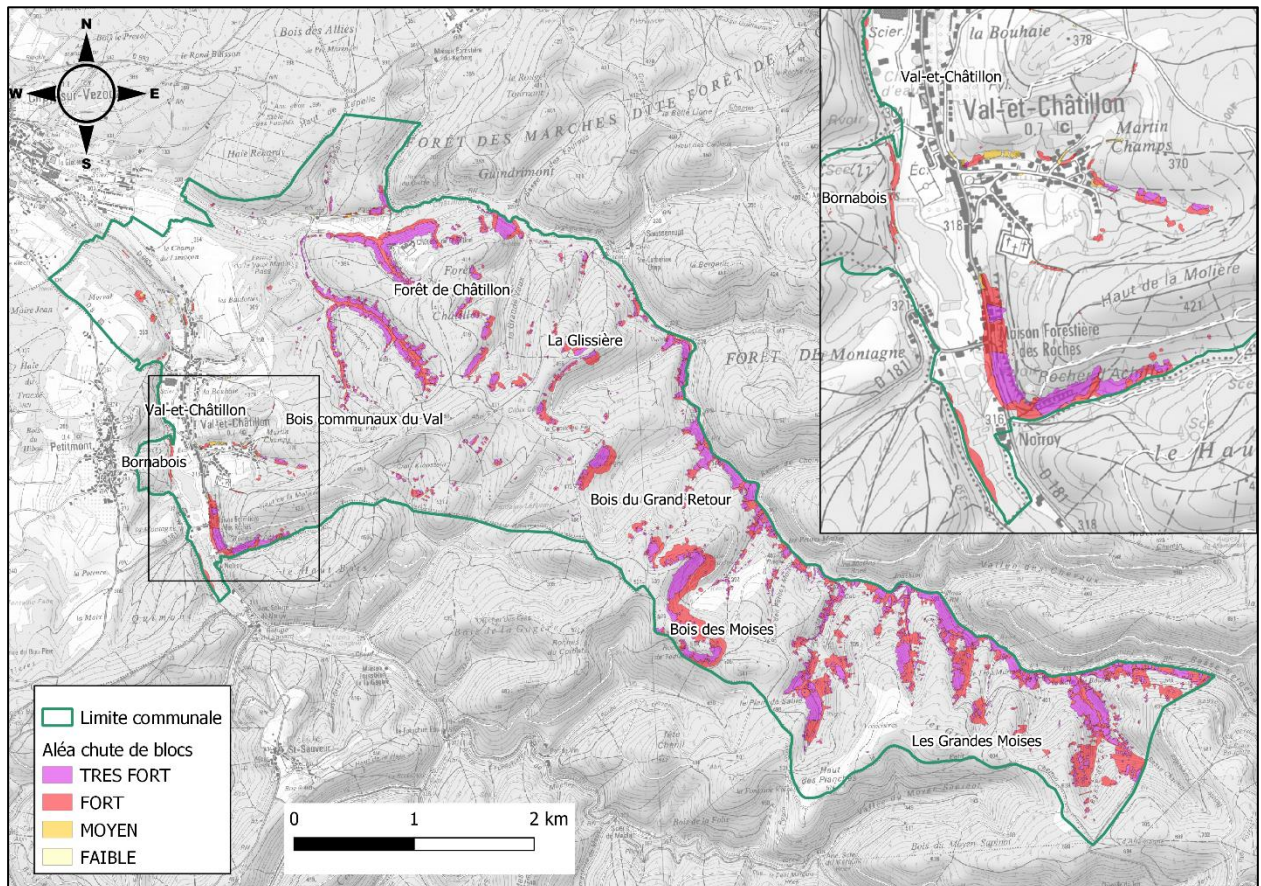


Illustration 44 - La cartographie des aléas est présentée en annexe 7 sur l'ensemble de la commune au 1/25 000<sup>ème</sup> et pour la zone urbaine au 1/5 000<sup>ème</sup>.

#### 4.11. LIMITE DE LA CARTE ET ECHELLE DE RESTITUTION

La carte établie dans ce contexte 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 ou de murs de soutènement. La cartographie de l'aléa ne concerne que les zones d'escarpements identifiés et repérés sur le terrain ou à partir des données des MNT et des cartes IGN. Le zonage est donc ponctuel à l'échelle communale.

La cartographie de l'aléa est basée sur l'analyse des sources documentaires disponibles (méthodologies, connaissances des mécanismes...) à la date de sa réalisation et sur l'exploitation des événements 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.

La carte d'aléa est restituée sur les fonds cadastraux à l'échelle du 1/5 000<sup>ème</sup>. La précision des limites des zones cartographiées au 1/5 000<sup>ème</sup> est de 5 m auxquels il faut associer l'épaisseur du trait de report des limites cartographiées qui correspond, par exemple, pour 1 mm d'épaisseur à 5 m. Enfin, toute opération de zoom sur une carte au 1/5 000<sup>ème</sup> pour en agrandir l'échelle est à proscrire.



## 5. Evaluation du risque et parades associées

### 5.1. EVALUATION ET HIERARCHISATION DU RISQUE

Les secteurs à enjeux situés dans les zones de propagation sont hiérarchisés en fonction du niveau de risque (croisement entre le niveau d'aléa et la vulnérabilité des enjeux).

#### 5.1.1. Vulnérabilité des enjeux

La vulnérabilité d'un enjeu se caractérise par sa capacité de résistance à un impact d'intensité donnée (type de maçonnerie, ouverture...). L'évaluation de la vulnérabilité intègre également des notions fonctionnelles incluant, par exemple, la fréquence d'exposition de l'enjeu face à l'aléa.

Dans le cadre de cette étude, l'évaluation de la vulnérabilité des enjeux a été mise en œuvre pour les bâtiments et les voies de communication. L'analyse réalisée exclut :

- les terrains de sport et les jardins (publics ou privés) ;
- les autoroutes et les voies de chemin de fer, car la responsabilité incombe au gestionnaire du réseau.

La définition d'un seuil de vulnérabilité nécessite une connaissance des modes de construction (matériaux utilisés, agencement des bâtiments en fonction de la propagation, annexe éventuelle comme des vérandas particulièrement vulnérables au chute de blocs, régularité des bâtiments en élévation...). Ne disposant pas de ces informations, l'analyse proposée repose sur une approche fonctionnelle à partir des données de la BDtopo de l'IGN (couches bâtis et infrastructures routières).

La hiérarchisation du risque est évaluée en croisant l'aléa chute de bloc avec les enjeux afin d'établir des priorités d'intervention pour la mise en place des parades. Ce croisement permet de mettre en évidence les principaux secteurs à risque.

#### 5.1.2. Analyse des enjeux

Un traitement a été réalisé sous Qgis pour reprendre les données de la table bâtiment de la BDtopo et les faire correspondre à l'orthophotographie acquise en 2017. Les bâtiments dont la superficie totale dans la BDtopo est inférieure à 10 m<sup>2</sup> ont été supprimés de l'analyse.

A l'issue du traitement, un total de 41 bâtiments a été conservé.

La commune de Val-et-Châtillon comprend :

- priorité très forte : 6 bâtiments (dont 1 bâtiment impacté par le recul de l'aléa) ;
- priorité forte : 30 bâtiments impactés par un aléa chute de blocs fort (dont 1 bâtiment impacté par le recul de l'aléa) ;
- priorité moyenne : 5 bâtiments impactés par un aléa chute de blocs moyen (dont 1 bâtiment impacté par le recul de l'aléa).

Les priorités sur les voies de communication ont été établies à partir des données de la BDtopo. Les données n'ont pas été mises à jour avec l'orthophotographie levée lors de l'acquisition LIDAR. Les niveaux de priorités sur les voies de communication sont d'un cran inférieur à celle des bâtiments (Illustration 45).

Aléa	Voies de communications (route départementale et communale)
Faible	Priorité très faible
Moyen	Priorité faible
Fort	Priorité moyenne
Très fort	Priorité forte

*Illustration 45 – Définition des zones de priorités des voies de communication pour la mise en place de parades*

### 5.1.3. Hiérarchisation des secteurs

En fonction de la localisation des bâtiments, des voies de communication et du type d'affleurement, des secteurs ont été définis sur le site d'étude. Ces secteurs sont hiérarchisés par nombre de priorités (Illustration 46 et Illustration 47).

Numéro du secteur	Nombre de bâtiments en priorité très forte	Nombre de bâtiments en priorité forte	Nombre de bâtiments en priorité moyenne	Linéaire de route concernée en priorité forte (m)	Linéaire de route concernée en priorité moyenne (m)	Linéaire de route concernée en priorité faible (m)	Linéaire de route concernée en priorité très faible (m)	Commentaire
1	4	15	0	253	175	0	0	
2	1	5	0	0	0	0	0	
3	1	0	0	0	0	0	0	Aléa de recul – bâtiment inaccessible
4		4	1	0	0	10	0	
5		4	0	0	0	47	0	
6		1	0	0	0	0	0	
7		1	0	0	0	0	0	Aléa de recul – Bâtiment isolé
8			2	0	0	0	0	
9			1	0	0	0	0	Aléa de recul
10			1	0	0	0	0	
11				609	305	0	0	Route privée inaccessible
12				80	43	76	68	
13					60	61	0	
14						30	0	

*Illustration 46 – Hiérarchisation des secteurs pour l'évaluation du risque en fonction des niveaux de priorités*



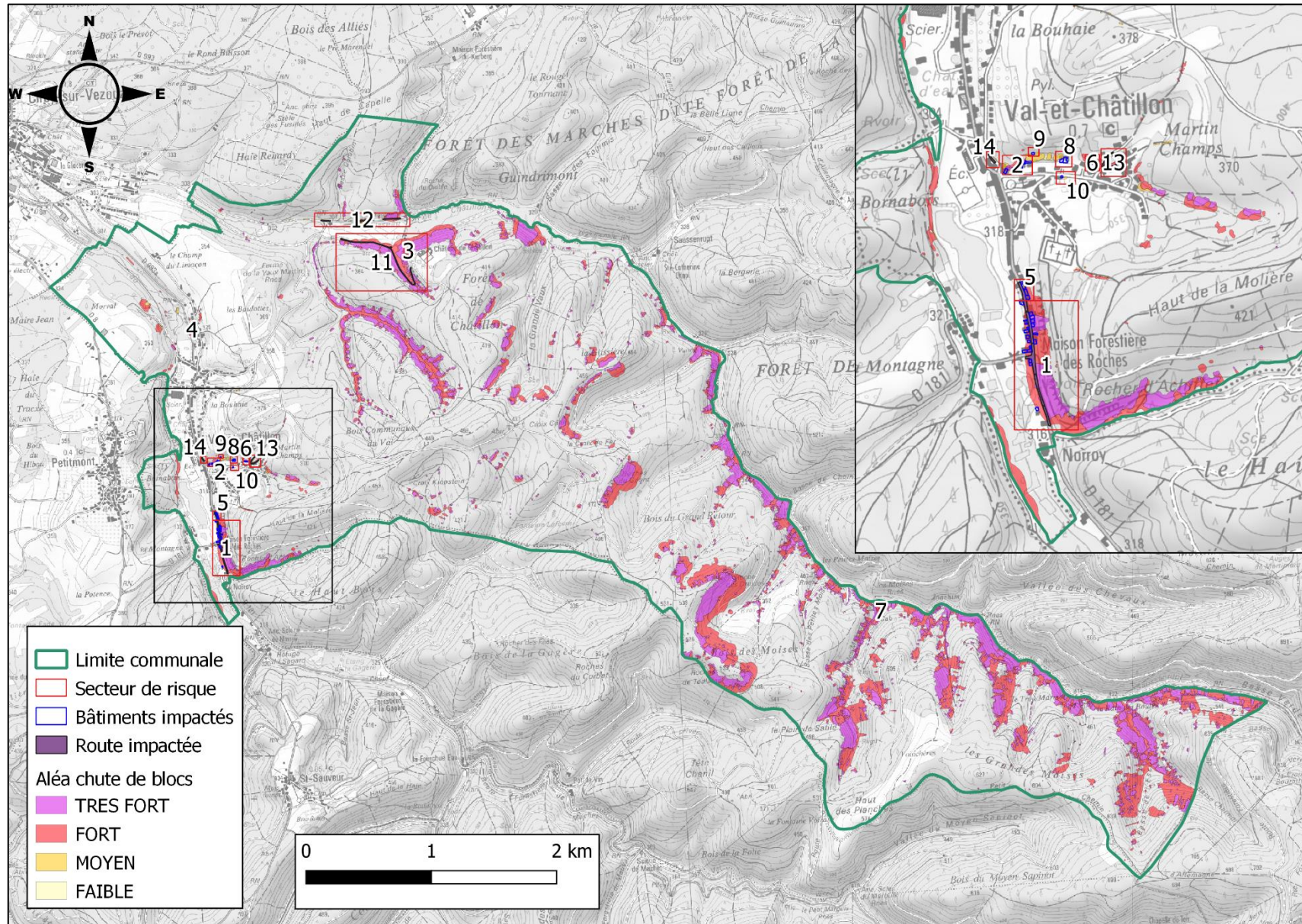


Illustration 47 - Localisation des secteurs pour l'évaluation du risque sur la commune de Val-et-Châtillon



## 5.2. PROPOSITION DE PARADES PAR SECTEUR

### 5.2.1. Méthode

Une proposition de parades est donnée pour toutes les zones de départ où un enjeu est concerné par un aléa chute de blocs. La hiérarchisation des priorités de mise en place des solutions de parade a pour seul objectif de fournir une aide à la décision aux administrateurs.

Les parades existantes n'ont pas été prises en compte dans l'analyse.

Dans les zones à enjeux, des propositions de parades sont données à titre informatif.

Le choix de la parade la plus appropriée se fait en fonction des instabilités constatées sur la paroi, de la configuration du site, de sa faisabilité et de son coût. 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 novembre 2013.

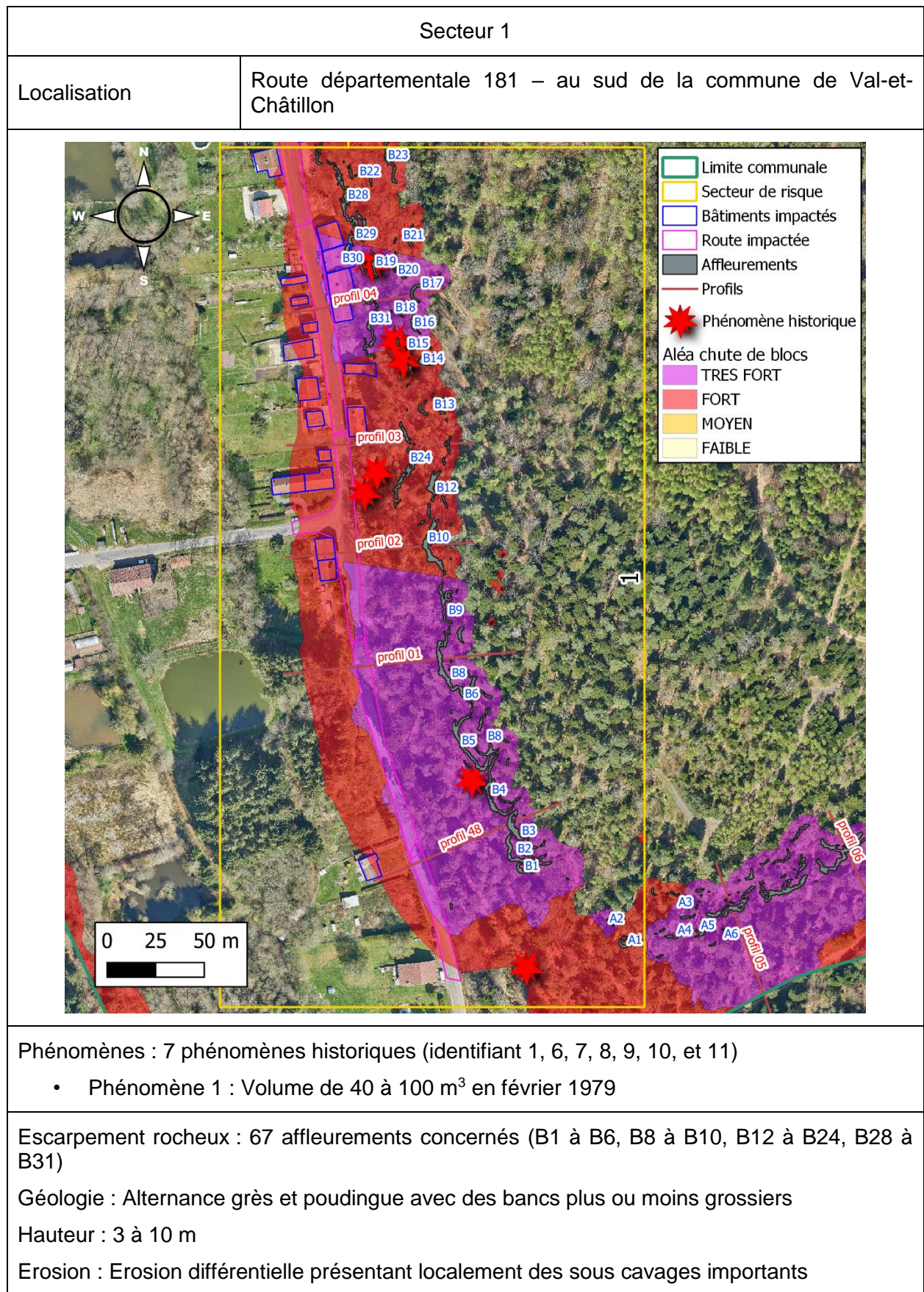
Ces propositions, dans tous les cas, nécessiteront ultérieurement d'être validées et dimensionnées par un bureau d'étude spécialisé. De plus, les choix définitifs dépendent de rapports coûts/bénéfices ne faisant pas l'objet de cette étude.

Les types de parades peuvent être classés en deux principales catégories (tableau en annexe 8) :

- **Parades actives : action sur le départ de l'objet instable :**
  - augmenter les forces résistantes (ancrage, contrefort, mur, filet, grillage plaqué) ;
  - diminuer les contraintes motrices/aggravantes (drainage, limitation de l'érosion) ;
  - éliminer l'objet instable (purge, reprofilage...).
- **Parades passives : action sur la propagation de l'objet instable :**
  - arrêter le mouvement (écran, merlon, fosse) ;
  - guider le mouvement (grillages, filets pendus, casquette).

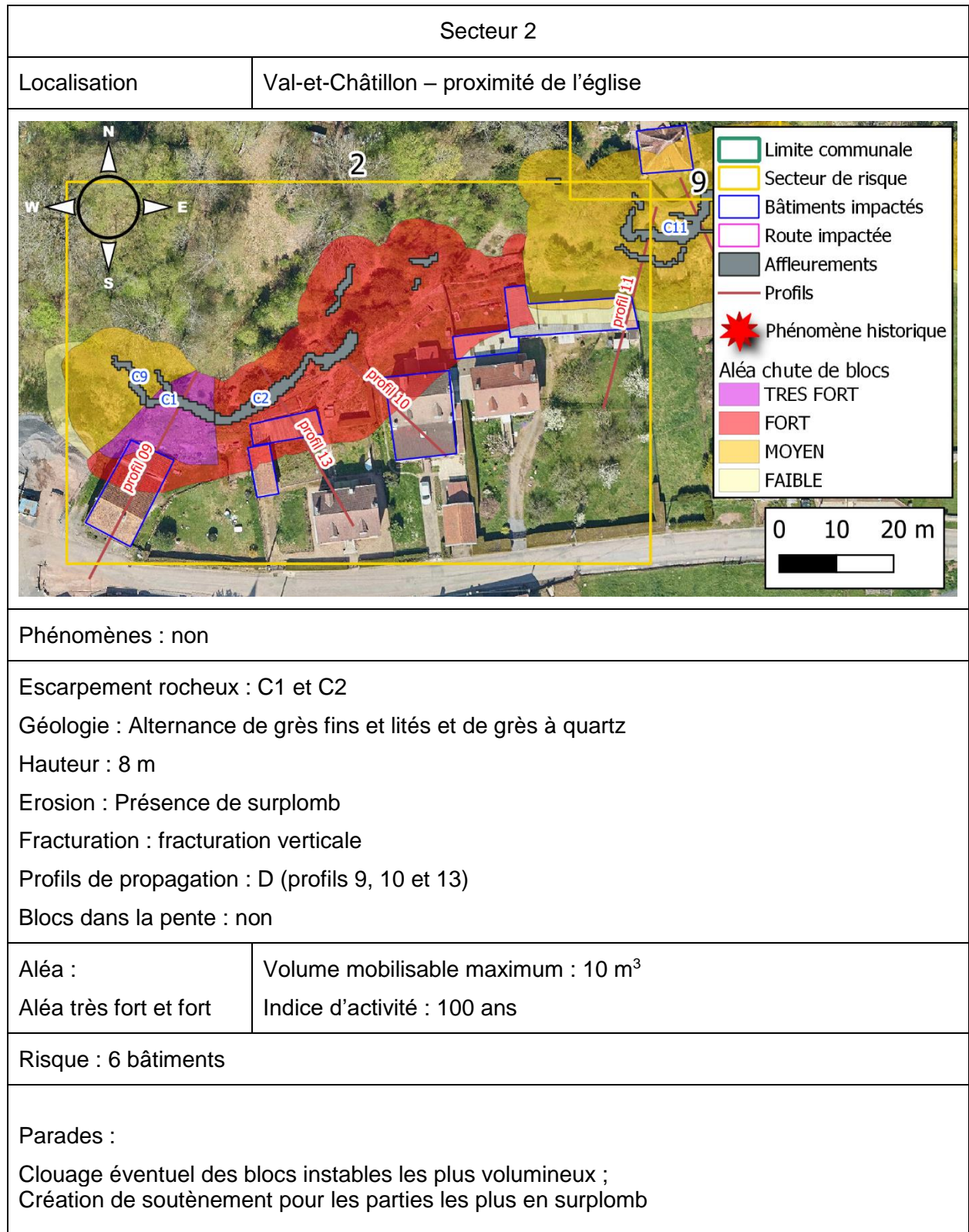
### 5.2.2. Fiche synthétiques des secteurs et des parades associées

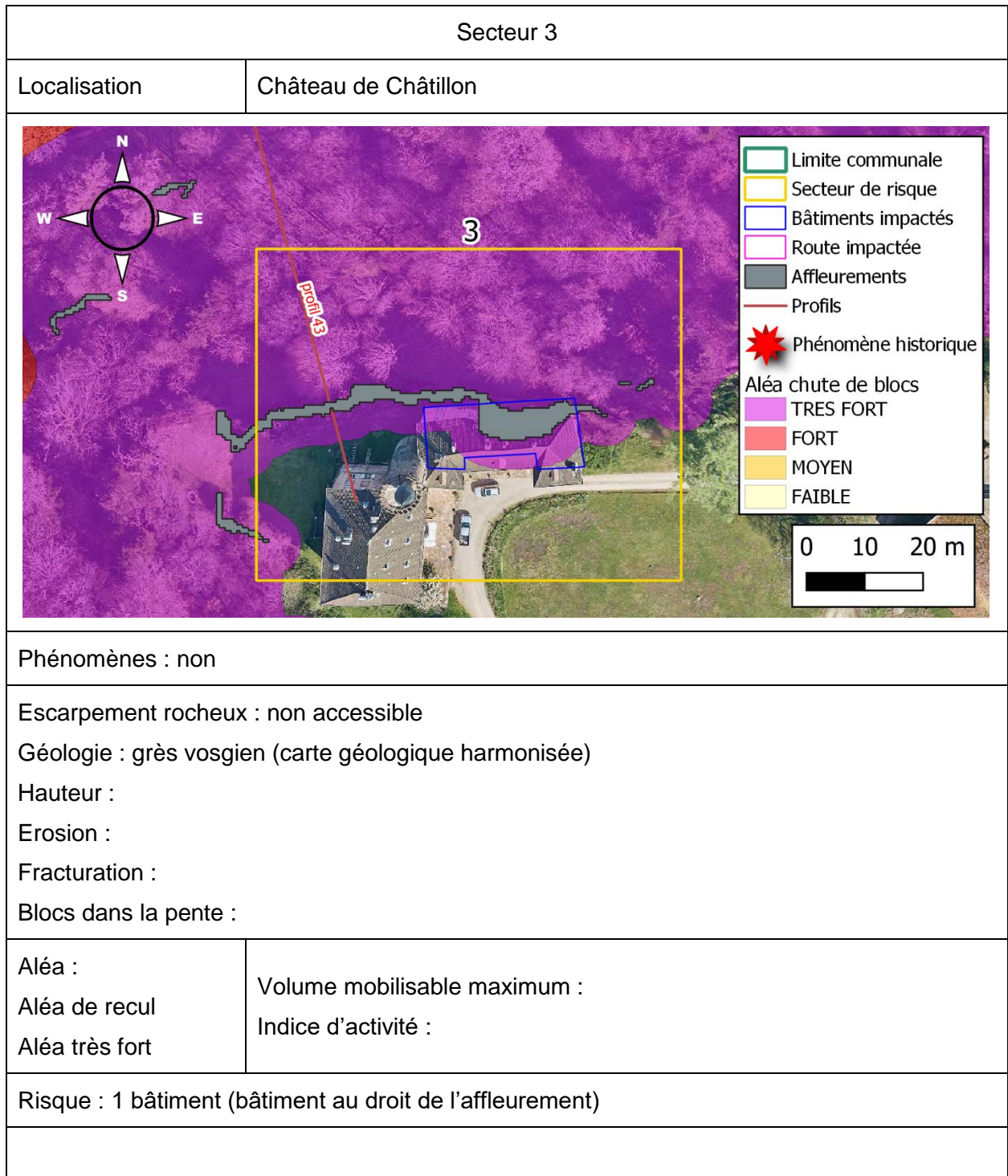






<p>Fracturation : nombreuses facturation, dont des fracturation nord-sud (parallèles à l'affleurement)</p> <p>Profils de propagation : B et C, sol forestier</p> <p>Blocs dans la pente : nombreux blocs de moins de 1 m<sup>3</sup>, quelques blocs de plus de 10 m<sup>3</sup></p>	
<p>Aléa :</p> <p>Aléa très fort et fort</p>	<p>Volume mobilisable maximum : 10 m<sup>3</sup></p> <p>Indice d'activité : 100 ans</p>
<p>Risque : 19 bâtiments et 340 m linéaire de route départementale</p>	
<p>Parades :</p> <p>Maintien de la végétation ;</p> <p>Clouage éventuel des blocs instables les plus volumineux ;</p> <p>Purge ou suppression des blocs individualisés de faible volume (environ 1 m<sup>3</sup>) ;</p> <p>Création de soutènement pour les parties les plus en surplomb ;</p> <p>Ecrans pare-blocs dimensionnés par un bureau d'étude dans les secteurs les plus exposés.</p>	







Secteur 4	
Localisation	Route départementale 993a – au nord de la commune de Val-et-Châtillon
Phénomènes : n°2	
Escarpement rocheux : D2 Géologie : grès Hauteur : 6 à 10 m Erosion : Présence de surplomb de 1 à 2 m Fracturation : peu fracturé Profils de propagation : D (profils 37 et 38) Blocs dans la pente : non	
Aléa :	Volume mobilisable maximum : 0.25 à 1 m <sup>3</sup>
Aléa fort et moyen	Indice d'activité : 10 ans
Risque : 5 bâtiments et 10 m linéaire de route départementale	
Parades : Les recommandations du rapport BRGM RP-65848-FR restent en vigueur, notamment : Purge ou suppression des blocs individualisés de faible volume (environ 0,25 m <sup>3</sup> ) ; Création de soutènement pour les parties les plus en surplomb	



Secteur 5	
Localisation	Route départementale 181 – au sud de la commune de Val-et-Châtillon
Phénomènes : non	
<p>Escarpement rocheux : B26 et B27</p> <p>Géologie : Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers</p> <p>Hauteur : 6 m</p> <p>Erosion : Présence de surplomb au nord – partie supérieure de l’affleurement plus altérée</p> <p>Fracturation : affleurement massif peu fracturé</p> <p>Profils de propagation : B et C (profils 49 et 50)</p> <p>Blocs dans la pente : blocs de moins de 0,05 m<sup>3</sup></p>	
Aléa :	Volume mobilisable maximum : 0.25 à 1 m <sup>3</sup>
Aléa fort et moyen	Indice d’activité : 10 ans
Risque : 4 bâtiments et 47 m linéaire de route départementale	
Parades :	
Création de soutènement pour les parties les plus en surplomb	

Secteur 6	
Localisation	Val-et-Châtillon – Martin Champs
Phénomènes : non	
Escarpement rocheux : C6 Géologie : alternance de grès fins et lités et de grès à quartz Hauteur : 8 m Erosion : Fracturation : fracturation N 120 verticale entre les deux parties de l’affleurement Profils de propagation : D (profil 19) Blocs dans la pente : non	
Aléa :	Volume mobilisable maximum : 1 à 10 m <sup>3</sup>
Aléa fort	Indice d’activité : 100 ans
Risque : 1 bâtiment	
Parades : Purge ou suppression des blocs individualisés de faible volume (environ 1 m <sup>3</sup> ) ; Filets pare-blocs dimensionnés par un bureau d’étude.	



Secteur 7	
Localisation	Basse des Grandes Moises
Phénomènes : non	
Escarpement rocheux : E2 et E3 Géologie : grès Hauteur : 2 m Erosion : surplomb important sur E3 Fracturation : absence de fracturation Blocs dans la pente : 0.25 à 1 m <sup>3</sup>	
Aléa :	Volume mobilisable maximum : 1 à 10 m <sup>3</sup> Indice d'activité : 100 ans
Aléa de recul	
Aléa fort	
Risque : 1 bâtiment (bâtiment au droit de la zone en surplomb de l'affleurement)	

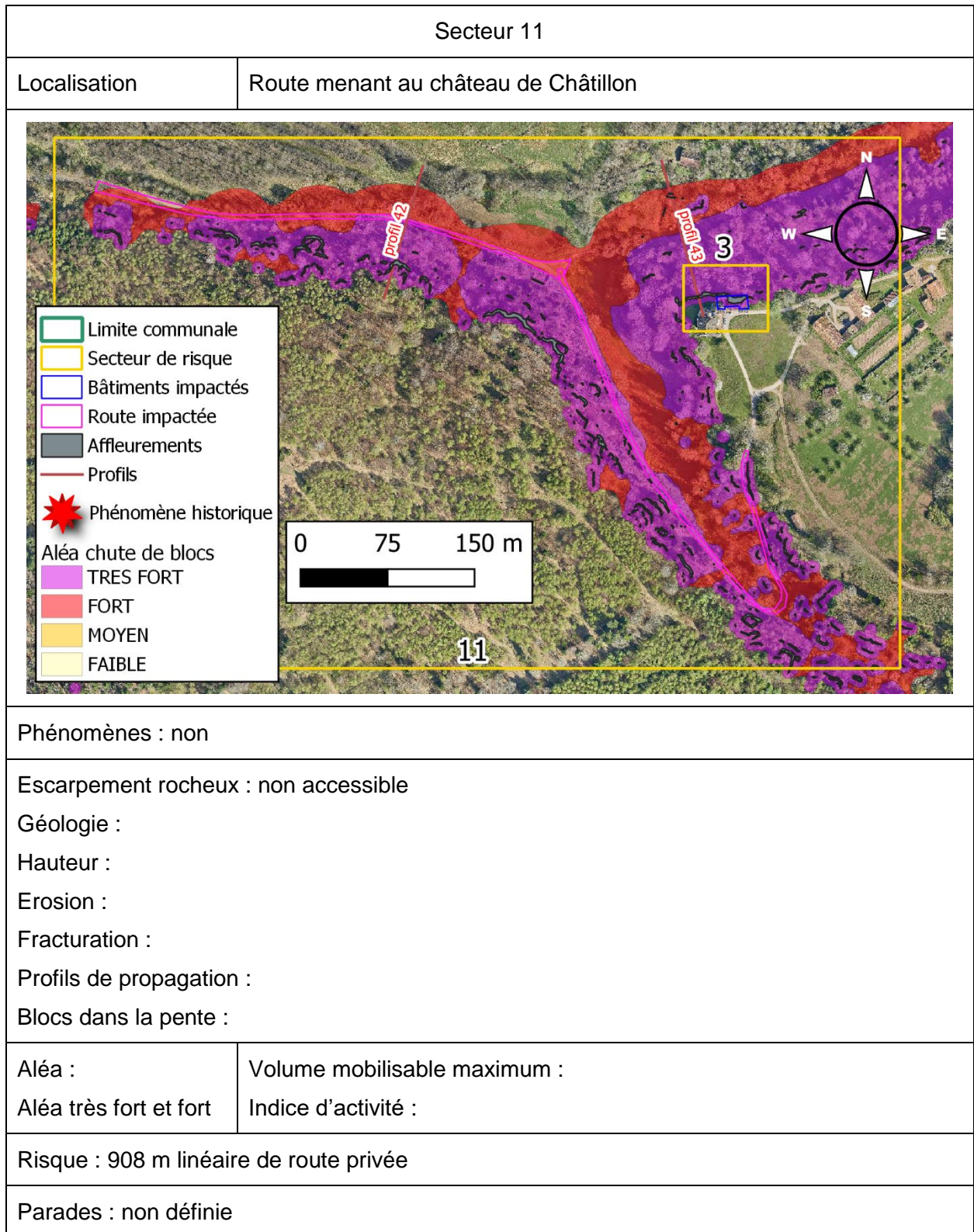
Secteur 8	
Localisation	Val-et-Châtillon
Phénomènes : non	
Escarpement rocheux : C5 Géologie : Alternance de grès fins et lités et de grès à quartz Hauteur : 8 m Erosion : peu d'érosion Fracturation : affleurement massif, peu fracturé Profils de propagation : D (profil 17) Blocs dans la pente : non	
Aléa :	Volume mobilisable maximum : inférieur à 0,25 m <sup>3</sup>
Aléa moyen	Indice d'activité : 1/an
Risque : 2 bâtiments	
Parades :	
Purge ou suppression des blocs individualisés de faible volume (environ 0,25 m <sup>3</sup> )	



Secteur 9	
Localisation	Val-et-Châtillon
Phénomènes : non	
Escarpement rocheux : C11 Géologie : alternance de grès fins et lités et de grès à quartz Hauteur : 15 m Erosion : zones en surplomb Fracturation : peu fracturé Blocs dans la pente : non	
Aléa :	Volume mobilisable maximum : inférieur à 0.25 m <sup>3</sup> Indice d'activité : 1/an
Aléa de recul	
Aléa moyen	
Risque : 1 bâtiment (4 m en recul de l'affleurement)	

Secteur 10	
Localisation	Val-et-Châtillon
Phénomènes : non	
Escarpement rocheux : C15 Géologie : alternance de grès fins et lithés et de grès à quartz Hauteur : 2 à 3 m Erosion : Fracturation : Profils de propagation : D Blocs dans la pente : bloc de 0,01 m <sup>3</sup> en bas de pente	
Aléa :	Volume mobilisable maximum : inférieur à 0.25 m <sup>3</sup>
Aléa moyen	Indice d'activité : 1/an
Risque : bâtiment (à la marge)	
Parade : aucune	





Secteur 12	
Localisation	Rue de Chatillon (à proximité du ruisseau de Châtillon)
Phénomènes : non	
Escarpement rocheux : E4 et E5 Géologie : conglomérat Hauteur : 2 à 3 m Erosion : érosion différentielle Fracturation : peu de fracturation, excepté sur E5 présence de colonne Profils de propagation : Blocs dans la pente : non	
Aléa :	Volume mobilisable maximum : 0.25 à 1 m <sup>3</sup>
Aléa très fort, fort, moyen et faible	Indice d'activité : 10 ans
Risque : 260 m linéaire de route	
Parades : aucune	



Secteur 13	
Localisation	Val-et-Châtillon
Phénomènes : n°3	
<p>Escarpement rocheux : C7 et C8</p> <p>Géologie : Alternance poudingues à galets de quartz centimétrique et grès</p> <p>Hauteur : 4 à 6 m</p> <p>Erosion : altéré – zones en surplomb</p> <p>Fracturation : présence de quelques fractures</p> <p>Profils de propagation : D (profils 20, 21 et 22)</p> <p>Blocs dans la pente : bloc de moins de 0.25 m<sup>3</sup></p>	
Aléa :	Volume mobilisable maximum : 1 à 10 m <sup>3</sup> (partie sud) et inférieur à 0.25 m <sup>3</sup> (partie nord)
Aléa fort et moyen	Indice d'activité : 1/100 ans (partie sud) et 1/10 ans (partie nord)
Risque : 121 m linéaire de route	
<p>Parades :</p> <p>Purge ou suppression des blocs individualisés de faible volume (environ 1 m<sup>3</sup>) ;</p> <p>Création de soutènement pour les parties les plus en surplomb</p>	

Secteur 14	
Localisation	Val-et-Châtillon
Phénomènes : non	
Escarpement rocheux : C10 Géologie : alternance de grès fins et lités et de grès à quartz Hauteur : 3 m max (affleurement surmonté d'un muret en pierre) Erosion : Fracturation : Profils de propagation : D (profil 14) Blocs dans la pente : non	
Aléa :	Volume mobilisable maximum : inférieur à 0.25 m <sup>3</sup>
Aléa moyen	Indice d'activité : 1/an
Risque : 30 m linéaire de route	
Parades : aucune	

## 6. Conclusion

La cartographie de l'aléa sur la commune de Val-et-Châtillon 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 69 escarpements (inventaire non exhaustif des escarpements inférieurs à 3 m et situés en zone non urbaine) sur la commune de Val-et-Châtillon. Bien que cet inventaire ne soit pas exhaustif, il permet de cibler les zones particulièrement exposées et permet de quantifier les volumes potentiellement mobilisables.

Les données récupérées sur le terrain et les données topographiques ont permis de définir pour chacune des zones de départ, la probabilité d'atteinte et l'indice d'intensité. Le croisement de ces deux indices a permis d'évaluer l'aléa chute de blocs.

Le territoire communal de Val-et-Châtillon d'une surface de 18,5 km<sup>2</sup> est impacté par de l'aléa chute de blocs sur moins de 13 % de sa surface :

- 0,01 % du territoire communal en aléa faible ;
- 0,06 % du territoire communal en aléa moyen ;
- 6,34 % du territoire communal en aléa fort (1,17 km<sup>2</sup>) ;
- 6,24 % du territoire communal en aléa très fort (1,15 km<sup>2</sup>).

Sur la base de la cartographie de l'aléa, un ciblage des zones à risque a été réalisé et des propositions de parades ont été formulées. Pour ce faire, la vulnérabilité des enjeux, scindés en deux catégories, bâtiment et voie de communication, a été évaluée. Le croisement des classes d'aléa et de vulnérabilité a permis de hiérarchiser les zones par priorité de mise en œuvre des solutions de parade. 14 secteurs ont été hiérarchisés avec les priorités suivantes au niveau communal (Illustration 48) :

- 6 bâtiments sont classés en priorité très forte ;
- 30 bâtiments sont classés en priorité forte ;
- 5 bâtiments sont classés en priorité moyenne ;
- 942 m de voie de communication sont classés en priorité forte ;
- 583 m de voie de communication sont classés en priorité moyenne ;
- 224 m de voie de communication sont classés en priorité faible ;
- 68 m de voie de communication sont classés en priorité très faible.

Priorité pour la mise en place de parade	Nombre de bâtiments			Linéaire voie de communication (m)				Commentaire	Total secteur	
	Très forte	Forte	Moyenne	Forte	Moyenne	Faible	Très faible		Nombre de bâtiments	Linéaire route (m)
Secteur 1	4	15	0	253	175	0	0		19	428
Secteur 2	1	5	0	0	0	0	0		6	0
Secteur 3	1	0	0	0	0	0	0	Aléa de recul – bâtiment inaccessible	1	0
Secteur 4	0	4	1	0	0	10	0		5	10
Secteur 5	0	4	0	0	0	47	0		4	47
Secteur 6	0	1	0	0	0	0	0		1	0
Secteur 7	0	1	0	0	0	0	0	Aléa de recul	1	0
Secteur 8	0	0	2	0	0	0	0		2	0
Secteur 9	0	0	1	0	0	0	0	Aléa de recul	1	0
Secteur 10	0	0	1	0	0	0	0		1	0
Secteur 11	0	0	0	609	305	0	0	Route privée inaccessible	0	914
Secteur 12	0	0	0	80	43	76	68		0	267
Secteur 13	0	0	0	0	60	61	0		0	121
Secteur 14	0	0	0	0	0	30	0		0	30
Total commune	6	30	5	942	583	224	68		41	1817

Illustration 48 – Tableau de hiérarchisation des risques



## 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 ».
- Bonvallet J.** (1979) – Compte rendu des interventions effectuées à la suite de l'éboulement du 10.02.79. Rapport BRGM 79SGN115LOR. 17p.
- Chèvremont Ph.** (2004) – Carte géologique harmonisée du département de Meurthe-et-Moselle. Rapport BRGM/RP-53501-FR, 100 p., 3 fig., 18 tabl., 1 ann., 3 pl. hors texte
- Colas B.** (2015) – Commune d'Ocana (2A). Cartographie de l'aléa chute de blocs. Rapport final. BRGM/RP-65423-FR
- Colas B.** (2003) - Cartographie départementale de l'aléa mouvement de terrain, Corse du Sud. Rapport BRGM RP-52097-FR, 21 pages, 9 planches cartographiques annexées
- Effendiantz L., Guillemain P., Pauly J.C., Payany M., Rochet L.** (2004) – Les études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux – Guide technique – LCPC.
- Hantz D., Guillemot A., Epinat C., D'Amato J., Guerin A., Jaboyedoff M., Alber S., Abellan A.** (2018) – Rockfall release frequency for different rock wall types. 4<sup>th</sup> International Symposium Rock Slope Stability, Chambéry 83-84.
- Jaboyedoff M., Labiouse V.** (2011) - Technical Note: Preliminary estimation of rockfall runout zones. NHESS.
- Grabenstaetter L.** (2016) – Expertise suite à une chute de blocs sur la commune de Val et Chatillon (54). Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-65848-FR. 24p., 17 ill., 2 ann.
- Gutierrez T., Garnier C., Colas B.** (2016) – Cartographie de l'aléa chute de blocs de l'ancienne carrière de Casevecchie (Ville-di-Pietrabugno, Haute Corse). Rapport final. BRGM/RP-65916-FR, 105 pages, 74 illustrations, 2 annexes.
- Maquaire O. et Gigot P.** (1998) – Reconnaissance par sismique réfraction de la décompression et de l'instabilité des falaises vives du Bessin (Normandie, France). Geodinamica Acta (Paris) 2, 3, 150-159.
- MARCOT N., GIRARD A.** (2013) – Projet Massa Alcotra n°65 (Medium and Small Size rock fall hazard Assessment) : Evaluation de l'aléa lié aux chutes de blocs et aux éboulements de volume intermédiaire. 186 p.
- Ménillet F., Durand M., Clermonté J. et al.** (1978) – Carte géologique France (1/50 000), feuille Cirey-sur-Vezouze n° 270. Orléans : BRGM. Notice explicative par Ménillet F., Durand M., Clermonté J., Von Eller J.P., Juteau T., Hollinger J., Maiaux C., Lougnon J. (1978) 48 p.
- Moiriat D., S. Colin et R. Dufrenoy** (2008) – Aléa chutes de blocs sur le territoire départemental de Meurthe et Moselle (54) : Etat des connaissances et cartographie de l'aléa au 1/ 50 000 – Rapport BRGM/RP-56628-FR, 65 p, 23 ill., 6 tabl., 53 planches cartographiques hors texte, 2 CD-ROM.

**Moon V.G. et Healy T.** (1994) – Mechanisms of coastal cliff retreat and hazard zone delineation in soft flysch deposits. *Journal of Coastal Research* 10, 3, 663-680.

**Parent H.** (2012) – Etude relative aux phénomènes d'éboulements rocheux. Commune de Val-et-Châtillon. Rapport CEREMA. Dossier 2009-65-133. 92 p.

**Rabin M., Le Goff J.** (2019) – Inventaire des zones de départ de chute de blocs sur la commune d'EPINAL (88 – Vosges). Rapport BRGM/RP-69020-FR, 84 p., 59 ill., 11 ann., 1 carte hors-texte (A0).

**Société Suisse de Géomorphologie** (Août 2009) – Fiches géomorphologique de la montagne, les mouvements gravitaires – 15 p.

**Vallet A., 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., 4 ann., 1 CD

**VINCENT M., ZORNETTE N.** (2001) – Projet PACTES – Modules cartographique du risque potentiel de mouvement de terrain. BRGM/RP-51327-FR, 44p., 24 fig.

## **Annexe 1 :**

### **Identification de quelques escarpements sur le terrain (liste non exhaustive)**





ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
A1	20/03/2020	Escarpement isolé de 8 m de hauteur et 5 m de longueur, d'un volume de 100 m <sup>3</sup> environ. Présence de zone d'érosion préférentielle avec formation de surplomb et de fracturation délimitant des blocs de plus d'un mètre cubes. Roche remarquable nommée roche de l'Ecureuil. niveaux d'érosion préférentielle en pied	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	8 m	2 fractures N05 verticale	Basculement, rupture en pied	A	sol forestier	2 blocs basculés (0,25 m <sup>3</sup> et 1 m <sup>3</sup> )	type 6
A2	20/03/2020	Affleurement de conglomérat de 2 à 3 m de hauteur avec surplomb	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	2 à 3 m					bloc de plus d'1 m <sup>3</sup>	type 3
A3	20/03/2020	Affleurements de faible hauteur, tout en longueur, qui disparaissent et réapparaissent dans la pente sous forme de dalles subhorizontales légèrement sous-cavés par endroit. Présence de végétation.	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	2.5 m maximum		basculement, surplomb	A	sol forestier	blocs inférieurs à 0,01 m <sup>3</sup>	type 0

ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
A4	20/03/2020	deux gros blocs basculés de 6 et 4 m de long. Végétation	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	3 à 5 m		basculement	A	sol forestier	un bloc de 0,25 m3	type 9
A5	20/03/2020	Affleurement présentant un surplomb - détachement de blocs plurimétriques. Présence de végétation. 1 bloc quasiment détaché du reste	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	6 m		basculement	A	sol forestier	galets	type 3
A6	20/03/2020	Affleurements dispersés dans la pente formée en grande partie de blocs plurimétriques en place, tombés ou basculés. Présence de végétation	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	2.5 m maximum		basculement	A	sol forestier	Présence de blocs tombés jusqu'à 10 m3	type 0 et 9
B1	20/05/2020	Affleurement présentant plusieurs parties distinctes. Deux parties de l'affleurement sont détachées de l'affleurement principal. Zone de surplomb important avec érosion différentielle selon les bancs de conglomérats. Creusement de la paroi formant des pieds très étroits.	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	5 m	N100 vertical					type 3

ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
B10	25/06/2020	Un gros banc massif de 3 à 4 m d'épaisseur, peu fracturé, très légèrement sous-cavé au centre, avec un autre banc plus petit au-dessus (2m) un peu en retrait et un peu plus fracturé. arbres au-dessus	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	8 m maximum	NO verticale	Basculement	B	sol de forêt	blocs inférieurs à 0,01 m3	Type 4
B11	25/06/2020	Blocs tombés dans la pente.	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	3 m			B		Bloc d'environ 15m3, les autres environ 1m3	Type 9
B12	25/06/2020	Affleurement massif au Nord, plus fracturé au Sud. arbres au-dessus	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	6 m	N25 verticale au Sud	Basculement	B	sol forestier	Non	type 4
B13	25/06/2020	Affleurement massif, peu fracturé. Peu d'érosion différentielle.	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	2 m au Sud, 3 m au Nord		Basculement	B	sol forestier	Quelques blocs d'un m3 environ, très anciens	type 0

ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
B14	25/05/2020	Affleurement en deux parties séparé par une fracture sur toute la hauteur. La première partie, la plus proche de la pente aval, forme un bloc de 1,5 m d'épaisseur, 5 m de hauteur et 6 m de longueur. La deuxième partie présente une hauteur de 3,5 m pour une épaisseur d'au moins 6 m (ancré dans la pente amont). arbres au-dessus et dans fracture	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	5 m	N30-20W entre mur et socle	basculement	B	sol forestier, rochers	Présence de nombreux blocs récents de 0,01 m3. Quelques blocs plus anciens de 0,25 à 1 m3.	type 4
B15	25/05/2020	Affleurements massifs ou blocs, peu marqués, max 3 m hauteur, bien ancrés dans la pente. Présence de végétation	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	3 m max		Glissement plan	B	sol forestier, rochers	Ancien bloc entre 0,25 et 1 m3 dans la pente	type 0
B16	25/05/2020	Affleurement massif bien ancré dans la pente, petit niveau sup. Se termine par muret en pierre.	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	6 m		basculement	B	sol forestier, rochers	blocs inférieurs à 0,01 m3	type 1



ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
B17	01/07/2020	Affleurement sous-cavé dans sa partie Nord, l'un des blocs menaçant de tomber du surplomb est soutenu par un pilier en parpaings (2m3 pour la partie basse, environ 10m3 avec la partie haute). arbres au-dessus	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	8 m	N270-40W, NO verticale	surplomb, basculement	B	sol forestier	bloc de moins de 0,25m3 relativement récent	type 3
B18	01/07/2020	Affleurement très massif	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	3 m		basculement	B	sol forestier	Non	type 0
B19	01/07/2020	Affleurement avec un surplomb à environ 3m de hauteur, profondeur maximale 1.5m. Autre affleurement juste en dessous. arbres au-dessus	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	5 m	N270-60W	surplomb, basculement	B	sol forestier, conglomérat	blocs inférieurs à 0,01 m3	type 3
B2	25/05/2020	Affleurement massif vertical avec un gros banc plus induré qui forme un toit au Sud à 3.5m de haut (profondeur 2.5m). La partie Sud est divisée par 3 fractures et séparée de B1 par une fracture N100. fractures verticales, passage d'eau, arbres au-dessus du surplomb	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	5 m	NO verticale	surplomb, basculement	B	sol forestier	blocs inférieurs à 0,01 m3	type 4

ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
B20	01/07/2020	Partie Sud-Est : bloc de 30m3 environ basculé mais en place ou tombé de longue date. Partie Nord-Ouest : affleurement avec surplomb (2m hauteur, 1.5m profondeur), très fracturé	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	3m / 5m	N170-80W				bloc de 30 m3	type 4
B21	01/07/2020	Affleurement très massif, peu fracturé	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	5 m (Est) / 2 m (Ouest)		basculement	B	sol forestier		type 1
B22	11/07/2020	Affleurement avec un pied en surplomb. Erosion différentielle des blancs. Peu fracturé. Grosse dalle posée dans la pente, stable (Ouest)	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	3 m						type 3
B23	11/07/2020	Affleurement massif peu fracturé, en longueur, divisé en deux par une ravine. Présence d'arbres.	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	5m maximum	N10 verticale	basculement	C	sol forestier, cour	une grosse dalle ancienne basculée au pied (5 à 10m3)	type 1

ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
B24	06/02/2021	Affleurement fracturé en gros blocs en profondeur et en petits blocs proches de la surface (<m3). Fracturation remplie d'altération. Léger sous-cavage à 2 m de hauteur (20cm hauteur et profondeur). Passages d'eau, racines dans les fractures. Fracturation verticale et érosion horizontale.	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	6 m	verticale	basculement	B	sol forestier	beaucoup de blocs en dessous de toutes tailles (B25) dont certains récents (événement historique d'une centaine de m3)	type 6
B25	06/02/2020	Blocs tombés dans la pente mais non remobilisables, dont ceux de l'évènement historique de février 1979.	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	5 m		basculement	B	sol forestier	Un bloc de 200m3 environ et blocs de toutes tailles (0,1m3 à 10m3).	type 9
B26	18/02/2021	Derrière maison. 2 parties : partie basse compacte de 2,5 maximum de hauteur pas fracturée, sous-cavage au Nord de faible importance. Partie haute beaucoup plus altérée, pas de vrai accès, hauteur 3 m diffus dans la pente, hauteur depuis le bas :	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	6 m						type 5

ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
B27	18/02/2021	Affleurement massif formé par deux bancs métriques à deux mètres de hauteur, sous-cavés au niveau de la maison nord. Au-dessus, bancs disséminées dans la pente. altération en partie haute	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	6 m		basculement, remobilisation	D		4 blocs de 0,01 à 0,02 m <sup>3</sup>	type 4
B28	18/02/2021	Affleurement en gros bancs métriques, fracturés, individualisés en gros ensembles.	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	7 à 8 m	N140-70E					type 6
B29	18/02/2021	Affleurement comprenant plusieurs blocs très individualisés, en équilibre instable	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	6 m	N140 verticale					type 6
B3	25/05/2020	Affleurement peu massif à environ 75°, végétalisé (arbres, mousses) qui surplombe en partie B2. Dans sa partie supérieure, surplomb (1m profondeur, 1m hauteur). très végétalisé, beaucoup d'arbres, racines dans fractures	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	5 m		basculement, surplomb	B	sol forestier	Anciens dans la pente. basculé d'un volume de 0,2 m <sup>3</sup>	type 3



ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
B30	18/02/2021	Escarpement plurimétrique basculé dans la pente de 3 à 4 m en aval pendage. Niveaux d'érosion préférentielle qui se retrouve suite au basculement à environ 45° en aval pendage	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	4 m		basculement	B	sol forestier	blocs de 0,05 m <sup>3</sup>	type 7
B31	18/02/2021	Affleurement discontinu avec des blocs bien individualisés. Sous cavage des affleurements. Présence de bloc chaotique dans la pente (supérieur à 1 m <sup>3</sup> ). Fractures avec altération importante, arbres avec racines dans les diaclases	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	3 à 5 m	N15-55E, N110 verticale, N130 verticale, N10 verticale	basculement, remobilisation, glissement	B	sol Forestier	nombreux blocs de 0,01 m <sup>3</sup>	type 6
B4	25/05/2020	Affleurement très massif avec un petit banc en léger surplomb au-dessus (1m prof / 2 m H) et sous-cavage dans la partie Nord. arbres et végétation pour la partie sup (banc en surplomb)	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	7 m	N100 verticale	basculement, surplomb	B	sol forestier	blocs de 0,25 m <sup>3</sup> dans la fracture	type 3
B5	25/05/2020	Affleurement très massif séparé de B4 par une ravine N40 avec un sous-cavage important qui abrite un banc de repos. Moins massif au Nord. arbres au-dessus	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	10 m	N0 verticale	surplomb, basculement				type 4

ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
B6	25/06/2020	Grand affleurement bien découpé comprenant notamment la grotte au renard. Grandes écailles verticales, fracturé en haut, pieds amincis avec cavités derrière. Fracturé, arbres au-dessus. L'eau doit ruisseler dans les fractures qui remontent en tête.	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	10 m	N0 verticale, N155 verticale, N25 verticale	rupture en pied (>10m3), surplomb (250L à 10m3), basculement (<250L)	B	sol forestier puis route	nombreux blocs de 0,01 m3, quelques blocs de moins de 1 m3 bloqués dans les fractures, présence d'un bloc de plus de 10m3 en bas de la pente, juste au-dessus de la route (B7)	type 4
B7	25/06/2020	Ensemble de petits affleurements/gros blocs (max 2m) soit en place, soit basculés, soit chutés non remobilisables	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	2 m		basculement	B	sol forestier	Non	type 0
B8	25/06/2020	Long banc qui surplombe B5 et B6. Plutôt bas (3m) culmine à 5m entre B5 et B6. Plutôt massif. Si chute de bloc, saut du haut de B5 ou B6. Arbres, végétation	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	2 à 5 m, 3 m en moyenne.	N0 verticale (partie Sud)	Basculement, rupture en pied pour B8*	C (affleurements B5 et B6 en contrebas)	sol forestier	blocs inférieurs à 0,01 m3	type 3

ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
B9	25/06/2020	Un gros banc relativement massif de 2 à 3 m d'épaisseur, peu fracturé, sous-cavé au centre de l'affleurement et surplombé d'un bloc isolé au centre. arbres au-dessus	Grès vosgien supérieur (Buntsandstein moyen)	Alternance grès et poudingue avec des bancs plus ou moins grossiers	4 m maximum pour le gros banc, 8 m au sommet du bloc isolé.	NO verticale dans le sous-cavage	Basculement, surplomb	B	sol forestier	blocs inférieurs à 0,01 m <sup>3</sup>	type 3
C1	09/07/2020	Affleurement massif présentant un sous cavage. Présence de fractures verticale ouverte qui découpe l'affleurement.	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	alternance de grès fins et lités et de grès à quartz	8 m	130N25SW					type 3
C10	18/02/2021	Affleurement compact surmonté d'un muret en pierre	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	alternance de grès fins et lités et de grès à quartz	3 m max						type 0
C11	18/02/2021	Falaise qui forme une avancée en forme de demi-cercle et séparée verticalement en trois affleurements. Recul entre le bas et le haut de la falaise de 5 m environ. Peu fracturée dans l'ensemble. Développement herbacé entre les affleurements	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	alternance de grès fins et lités et de grès à quartz	15 m	N 170 à la base					type 4

ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
C12	18/02/2021	Affleurement présentant un banc massif de 2 m d'épaisseurs, quelques bancs moins indurés décimétriques et un autre banc massif de 1,5 m d'épaisseur. Présence de blocs plurimétrique au pied de l'affleurement dont l'un avec une passerelle pour accéder au-dessus. Présence de colluvions au-dessus de l'affleurement.	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	alternance de grès fins et lités et de grès à quartz	8 m		basculement, surplomb	D	sol herbacé	12 m3 et 1 m3	Type 5 et 2
C13	18/02/2021	Plusieurs affleurements de conglomérat dans une pente de 20 m de hauteur au total. Affleurement très altéré avec des surplombs.	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	alternance de grès fins et lités et de grès à quartz	5 m			B		à définir	type 1
C14	18/02/2021	Affleurement d'une vingtaine de mètres, fortement altéré dans sa partie supérieure	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	alternance de grès fins et lités et de grès à quartz	7 m		Basculement, surplomb	D	sol herbacé		type 6
C15	15/04/2021	Affleurement de 2 à 3 m de hauteur avec recouvrement de colluvions. Affleurement de conglomérat très altéré.	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	alternance de grès fins et lités et de grès à quartz	2 à 3 m			D		bloc de 0,01 m3 en bas de pente	
C16	15/04/2021	Affleurement de 2 à 3 m de hauteur	Couches intermédiaires : grès prédominants, argilites (Buntsandstein sup.)	grès	2 à 3 m						



ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
C17	15/04/2021	Affleurement vertical de grès en bordure d'un ruisseau de 6 à 8 m de hauteur. L'affleurement est très altéré avec présence de ruissellement sur les parois et de développement de végétation hydrophile (notamment mousse). Ancienne niche d'arrachement de 2 m de long, 0,2 de large et 0,3 de hauteur. Présence de trou dans la roche d'origine anthropique.	Couches intermédiaires : grès prédominants, argilites (Buntsandstein sup.)	grès	6 à 8 m			D	Eau	non	
C18	15/04/2021	Affleurement en bordure du ruisseau de 6 m de hauteur maximum (sud) à 2 m de hauteur (au nord). Affleurement massif avec quelques zones en surplomb de 0,3 m. Fracturation parallèle à l'affleurement (écaille de 2 m de long, 10 cm de large et 0,5 m de haut). Phénomène (bloc dans le ruisseau) supérieur à 0,25 m <sup>3</sup>	Couches intermédiaires : grès prédominants, argilites (Buntsandstein sup.)	grès	2 à 6 m				eau	bloc de 0,3 m <sup>3</sup>	
C19	15/04/2021	Affleurement de 8 m de hauteur avec un surplomb de 0,5 m	Couches intermédiaires : grès prédominants, argilites (Buntsandstein sup.)	grès	8 m						

ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
C2	09/07/2020	Affleurement massif avec surplomb et fractures ouvertes.	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	alternance de grès fins et lités et de grès à quartz	8 m						type 4
C20	15/04/2021	Affleurement en bord d'un chemin forestier. Affleurement de 2 à 4 m de hauteur, très altéré. Présence de colluvions en tête de l'affleurement.	Couches intermédiaires : grès prédominants, argilites (Buntsandstein sup.)	grès	4 m						
C3	09/07/2020	Falaise assez discontinue, vieux évènement qui l'interrompt.	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	alternance de grès fins et lités et de grès à quartz	7 m	N20					type 4
C4	09/07/2020	Affleurement présentant des érosions différentielles entre les bancs formant localement des sous cavages. Présence de quelques fractures verticales.	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	alternance de grès fins et lités et de grès à quartz	8 m	N140 verticale					type 4
C5	09/07/2020	Affleurement massif, pas de fracture, peu d'érosion.	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	alternance de grès fins et lités et de grès à quartz	8 m						type 1

ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
C6	09/07/2020	Falaise massive d'une quarantaine de mètres de long. En deux parties, l'une derrière les garages (Est), l'autre suite à un décrochement de la falaise vers le Nord (Ouest)	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	alternance de grès fins et lités et de grès à quartz	8 m	N120 verticale entre les deux parties de la falaise					type 3
C7	29/07/2020	Affleurement altéré, très végétalisé. Bancs décimétriques à métriques. Zone en surplomb. Présence de quelques fractures au sein de l'affleurement.	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	Alternance poudingues à galets de quartz centimétrique et grès.	6 m	N270XN10				bloc effondré de moins de 0,25 m <sup>3</sup>	type 4
C8	29/07/2020	Affleurement altéré, très végétalisé de 4 à 5 m de hauteur. Bancs décimétriques à métriques présentant des fractures et des zones en surplomb.	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	Alternance poudingues à galets de quartz centimétrique et grès.	4 à 5 m	N270XN10				à définir	type 0
C9	18/02/2021	Affleurement massif présentant de l'érosion différentielle. Présence d'une fracturation N130	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	alternance de grès fins et lités et de grès à quartz	6 m	N130 verticale					type 4
D1	06/02/2020	Affleurement de 8 m de hauteur qui semble être un ancien front de taille. Couches de grès d'épaisseurs variables (métriques, à centimétriques). La fracturation délimite des blocs au sein de l'affleurement.	Grès arkosique à Voltzia (Buntsandstein sup.)	grès	8 m		Basculement	D		Non	type 6

ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
D10	15/04/2021	Affleurement massif de grès de 2 m de hauteur avec un banc de 0,5 m sous cavé sur 0,3 à 0,5 m. Très altéré en partie supérieur (plaquette). Evènement récent de 0,2 m3 en volume total avec des volume unitaire de 0,1 m3	Couches intermédiaires : grès prédominants, argilites (Buntsandstein sup.)	grès	2 m						
D11		Affleurement de grès de 2 m de hauteur.	Couches intermédiaires : grès prédominants, argilites (Buntsandstein sup.)	grès	2 m						
D2	15/04/2021	Affleurement de grès avec en surplomb 1 à 2 m d'argiles d'altération peu cohésives. L'affleurement mesure entre 6 et 10 m de hauteur environ. Des traces de ruissellement sont observés sur la falaise au sein des interbancs gréseux et des argiles d'altération. Les grès forment des bancs massifs recoupés de chenaux érosifs présentant une structure litée. deux zones de sous cavages sont observés	Couches intermédiaires : grès prédominants, argilites (Buntsandstein sup.)	grès	10 m			D			type 4



ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
D3	15/04/2021	Affleurement recouvert par des éboulis et colluvions et de la végétation. Présence de sous cavage de 0,3 m.	Couches intermédiaires : grès prédominants, argilites (Buntsandstein sup.)	grès	3 m			B	sol forestier	blocs de moins de 0,05 m3	type 0
D4	15/04/2021	Ancienne décharge. L'affleurement n'est pas visible : il est recouvert par les remblais divers et par une végétation importante.	Couches intermédiaires : grès prédominants, argilites (Buntsandstein sup.)	non visible	6 à 7 m						
D5	15/04/2021	Affleurement discontinu de 6 à 8 m de hauteur. Existence de sous cavage de 1 m maximum sous des bancs compacts de 0,5 à 1 m d'épaisseur. La roche est très altérée. Présence de fractures verticales et des racines se sont développées entre les blocs.	Couches intermédiaires : grès prédominants, argilites (Buntsandstein sup.)	grès	6 à 8 m					Plusieurs blocs entre 0,01 m3 et 0,05 m3 et entre 0,05 m3 et 0,25 m3. Bloc de 0,3 m3	
D6	15/04/2021	Colluvions en bord de chemin	Grès arkosique à Voltzia (Buntsandstein sup.)	grès	2 à 3 m						

ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
D7	15/04/2021	Ancienne carrière. Quelques affleurements de blocs massif de grès visible dans la pente de façon discontinu. Les affleurements sont très recouverts par un sol forestier avec des colluvions. Présence d'un bloc supérieur à 1 m3 non mobilisable. Quelques blocs isolés dû à l'altération inférieurs à 1 m3 mobilisable.	Grès arkosique à Voltzia (Buntsandstein sup.)	grès	10 à 20 m						
D8	15/04/2021	Ancienne carrière de grès. Présence de sous cavage de 0,5 à 1 m de profondeur et de fracturation avec délimitation de blocs de 0,25 à 1 m3. La hauteur totale est de 10 à 20 m. Ancien éboulement de volume total supérieur à 1 m3 et de volume unitaire de 0,05 à 0,25 m3	Grès arkosique à Voltzia (Buntsandstein sup.)	grès	10 à 20 m						
D9	15/04/2021	Eboulis et colluvions en bord d'un chemin forestier. Ancien phénomène de glissement de terrain qui a entraîné des blocs de 0,05 à 0,25 m3 en volume unitaire	Couches intermédiaires : grès prédominants, argilites (Buntsandstein sup.)	grès	2 m						

ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
D10	15/04/2021	Affleurement massif de grès de 2 m de hauteur avec un banc de 0,5 m sous cavé sur 0,3 à 0,5 m. Très altéré en partie supérieur (plaquette). Evènement récent de 0,2 m3 en volume total avec des volume unitaire de 0,1 m3	Couches intermédiaires : grès prédominants, argilites (Buntsandstein sup.)	grès	2 m						Type 0
D11	15/04/2021	Affleurement de grès de 2 m de hauteur très altéré en partie recouvert de colluvions.	Couches intermédiaires : grès prédominants, argilites (Buntsandstein sup.)	grès	2 m						Type 0
E1	09/07/2020	Falaise qui s'étend sur une centaine de mètres. Nombreuses fractures parallèles à la falaise, en " pelure d'oignon" (N35 à N45). Présence de sous-cavage en pied et de corniches en tête. Très fracturé, arbres en tête. quelques blocs (0,25 à 1 m3) coincés dans des fractures en équilibre précaire et d'autres blocs de même volume bien individualisés	Conglomérat principal (Buntsandstein moyen)	Alternance de grès fins, de grès à galets de quartz et de poudingues de galets de quartz	10 m	N35 à N45 vertical	basculement, surplomb	A	sol forestier	Quelques blocs de 1 m3, jusque 10m3	type 6
E2	01/06/2021	Affleurement inférieur à 2 m composé de deux bancs de grès superposés. Absence de fracturation verticales.		grès	Inférieur à 2 m	Pas de fracturation verticale			Sol forestier	Présence d'un bloc de 0.25 m3 et de 1 m3	Type 0

ID	Date de visite de terrain	Description	information carte géologique harmonisée	Formation géologique visible sur le terrain	Hauteur de l'escarpement	Fracturation	Mécanisme de rupture	Profil de propagation	Sol de propagation	Présence de blocs dans la pente	Typologie
E3	01/06/2021	Affleurement de grès de 2 m de hauteur en surplomb sur une profondeur de 2 à 3 m (Le surplomb est profond d'environ 2 m, mais une ouverture horizontale de 20 cm de haut s'étend sur encore au moins 1 m en profondeur)		grès	2 m	Pas de fracturation verticale	basculement		Sol forestier	Bloc de 0,25 m <sup>3</sup>	Type 0
E4	01/06/2021	Affleurement de conglomérat sans fracturation verticale		conglomérat	3 m	Pas de fracturation verticale			Sol forestier	Absence de blocs	Type 1
E5	01/06/2021	Affleurement de conglomérat de 2 m de hauteur avec présence de racines au sein de l'affleurement. Présence de colonnes détachées latéralement du massif (volume 1 m <sup>3</sup> ) et fracturées en 2 à 4 blocs superposés.		conglomérat	2 m				Sol forestier	Absence de blocs	Type 0

*Illustration 49 – Description des escarpements sur le terrain*



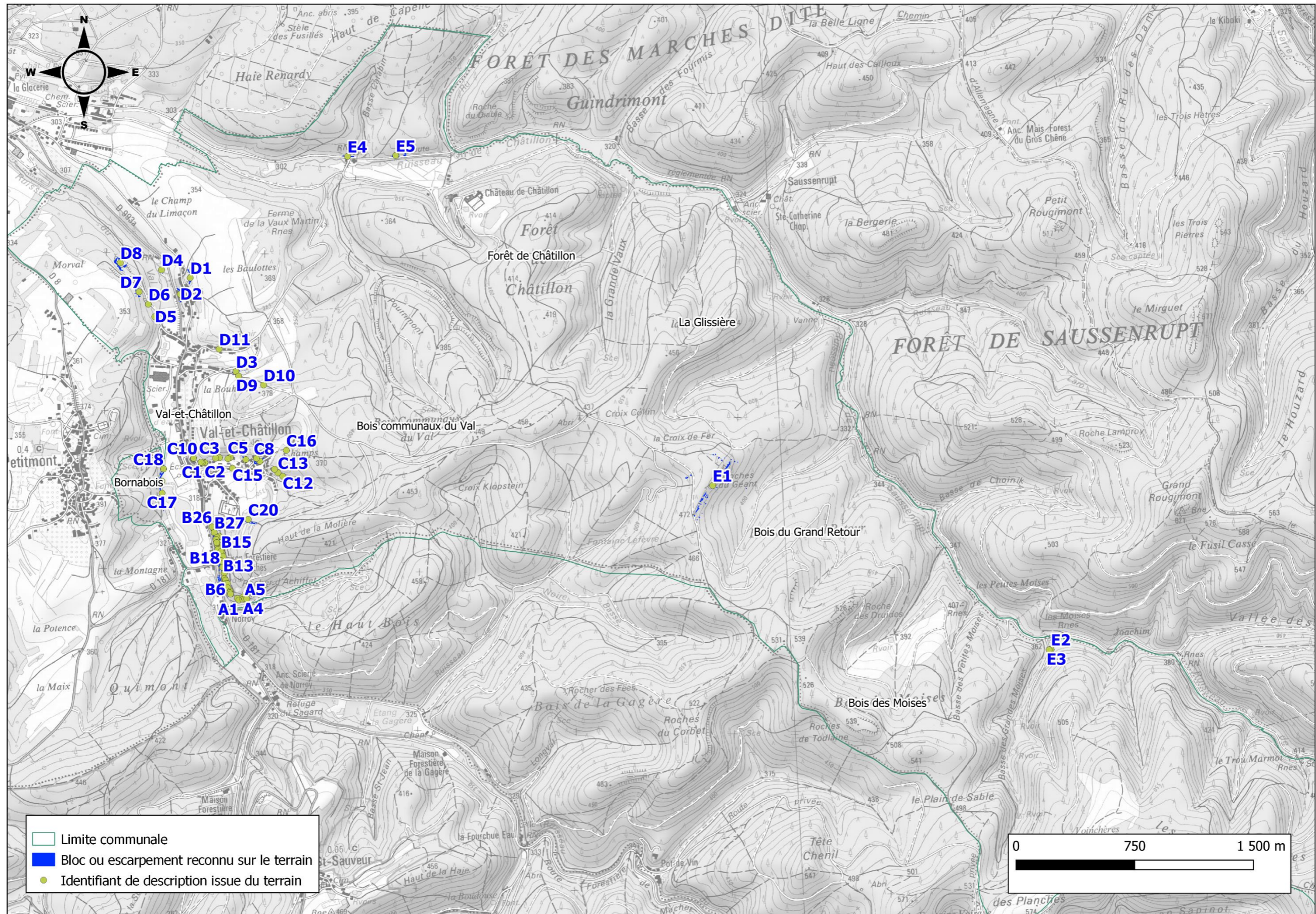


Illustration 50 – Localisation des escarpements décrits





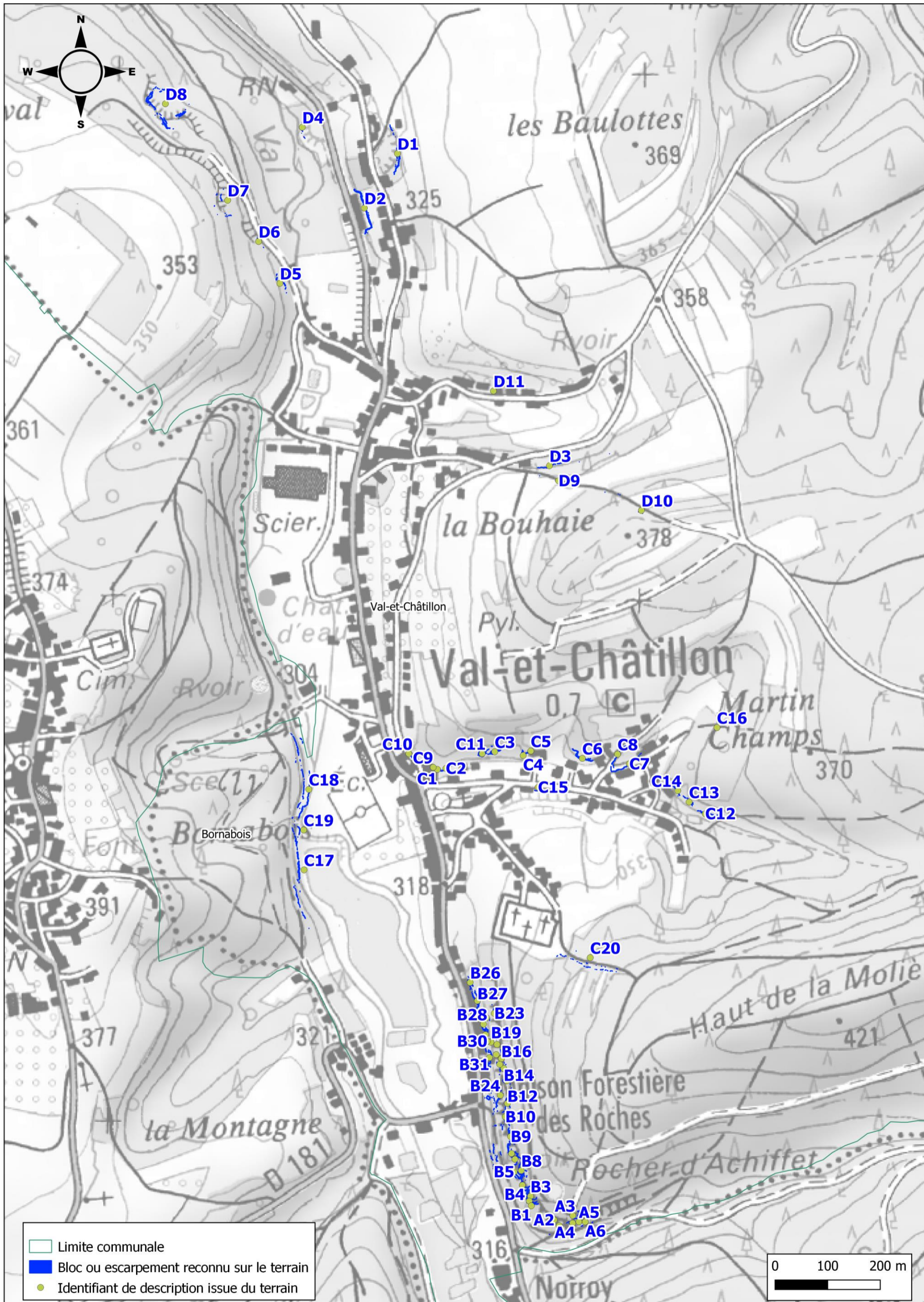


Illustration 51 – Localisation des escarpements décrits (zoom en zone urbaine)





## **Annexe 2 :**

### **Profils réalisés sur la commune de Val-et-Châtillon**



N° ligne	Angle pour une probabilité de propagation faible	Angle pour une probabilité de propagation moyenne	Angle pour une probabilité de propagation forte	Type
profil 01	42	48	56	A
profil 02	32	34	38	B
profil 03	26	28	57	B
profil 04	31	34	49	B
profil 05	26	28	47	A
profil 06	36	40	46	A
profil 07	53	56	59	A
profil 08	42	43	49	A
profil 09	45	53	57	D
profil 10	39	46	49	D
profil 11	39	42	45	C
profil 12	49	52	56	D
profil 13	40	49	54	D
profil 14	53	56	59	D
profil 15	43	46	50	D
profil 16	40	45	51	C
profil 17	42	47	52	D
profil 18	53	56	59	D
profil 19	53	56	59	D
profil 20	53	55	59	D
profil 21	45	50	54	D
profil 22	53	56	59	D
profil 23	49	52	55	D
profil 24	42	49	53	A
profil 25	26	42	46	A
profil 26	26	31	48	A
profil 27	26	43	46	A
profil 28	26	28	30	A
profil 29	44	49	55	A
profil 30	28	46	50	A
profil 31	50	53	57	D
profil 32	48	51	54	D
profil 33	42	45	48	D
profil 34	46	49	52	D
profil 35	26	32	35	B
profil 36	42	45	48	D
profil 37	39	42	45	D
profil 38	50	53	56	D
profil 39	26	48	54	A
profil 40	26	28	41	A
profil 41	27	40	50	A
profil 42	35	39	48	A

N° ligne	Angle pour une probabilité de propagation faible	Angle pour une probabilité de propagation moyenne	Angle pour une probabilité de propagation forte	Type
profil 43	26	36	47	B
profil 44	26	32	34	A
profil 45	26	45	49	A
profil 46	26	31	44	A
profil 47	26	42	47	A
profil 48	26	28	40	B
profil 49	30	33	42	C
profil 50	37	41	43	B
profil 51	45	48	51	D
profil 52	53	55	59	D
profil 53	43	46	49	D

*Illustration 52 – Liste des profils réalisés et des angles obtenus*



## **Annexe 3 :**

# **Caractérisation de l'aléa des escarpements rocheux**



Identifiant	Indice d'activité pour un volume inférieur à 0,25 m <sup>3</sup>	Indice d'activité pour un volume de 0,25 à 1 m <sup>3</sup>	Indice d'activité pour un volume de 1 à 10 m <sup>3</sup>	Indice d'activité pour un volume supérieur à 10 m <sup>3</sup>	Aléa pour une probabilité de propagation forte	Aléa pour une probabilité de propagation moyenne	Aléa pour une probabilité de propagation faible
A1	annuel	10 ans	Non	100 ans	très fort	fort	fort
A2	10 ans	10 ans	100 ans	100 ans	très fort	fort	fort
A3		100 ans	100 ans (bloc sous-cavé)	non	fort	fort	fort
A4	annuel	100 ans	non	non	fort	moyen	moyen
A5	annuel	non	10 ans	non	fort	fort	fort
A6		10 ans	non	non	fort	moyen	moyen
B1		non	non	100 ans	très fort	fort	fort
B10	10 ans	10 ans dans le banc supérieur	non	non	fort	moyen	moyen
B11	10 ans	10 ans	Non	non	fort	moyen	moyen
B12	10 ans au Sud	10 ans	non	non	fort	moyen	moyen
B13	annuel	non	non	non	moyen	moyen	faible
B14		niveaux sup plus altérés : 10 ans	non	non	fort	moyen	moyen
B15	annuel	non	non	non	moyen	moyen	faible
B16		100 ans	non	non	fort	moyen	moyen
B17	annuel (à l'arrière de l'affleurement)	100 ans	100 ans	non	fort	fort	fort
B18	annuel	non	Non	non	moyen	moyen	faible
B19	10 ans	100 ans	100 ans	non	fort	fort	fort
B2		écailles des surplombs dans les 100 ans sans propagation (sol plat)	non	non	fort	moyen	moyen
B20		non	non	100 ans	très fort	fort	fort
B21	annuel	non	Non	non	moyen	moyen	faible

Identifiant	Indice d'activité pour un volume inférieur à 0,25 m <sup>3</sup>	Indice d'activité pour un volume de 0,25 à 1 m <sup>3</sup>	Indice d'activité pour un volume de 1 à 10 m <sup>3</sup>	Indice d'activité pour un volume supérieur à 10 m <sup>3</sup>	Aléa pour une probabilité de propagation forte	Aléa pour une probabilité de propagation moyenne	Aléa pour une probabilité de propagation faible
B22	Annuel	10 ans	100 ans	non	fort	fort	fort
B23	annuel	non	non	non	moyen	moyen	faible
B24	annuel	10 ans	10 ans	non	fort	fort	fort
B25	annuel	non	non	non	moyen	moyen	faible
B26	10 ans	10 ans	non	non	fort	moyen	moyen
B27	Annuel	10 ans	non	non	fort	moyen	moyen
B28	10 ans	10 ans	non	non	fort	moyen	moyen
B29	annuel	10 ans	10 ans	non	fort	fort	fort
B3		10 ans	10 ans (au niveau du surplomb)	non	fort	fort	fort
B30	10 ans	10 ans	non	100 ans	très fort	fort	fort
B31	annuel	annuel	10 ans	100 ans	très fort	fort	fort
B4	10 ans (dans le banc en surplomb)	100 ans (Dans le banc en surplomb)	non	non	fort	moyen	moyen
B5	10 ans (au nord)	10 ans (au Nord) + 1 bloc dans le surplomb du banc (100ans)	100 ans (dans le surplomb au-dessus du banc)	non	fort	fort	fort
B6	10 ans	10 ans	10 ans	100 ans par rupture en pied	très fort	fort	fort
B7	annuel	non	Non	non	moyen	moyen	faible
B8	10 ans	100 ans entre B5 et B6	100 ans : 1 gros bloc en surplomb de B5 identifié par B8*	non	fort	fort	fort
B9	10 ans	100 ans	non	100 ans (B9)	très fort	fort	fort



Identifiant	Indice d'activité pour un volume inférieur à 0,25 m <sup>3</sup>	Indice d'activité pour un volume de 0,25 à 1 m <sup>3</sup>	Indice d'activité pour un volume de 1 à 10 m <sup>3</sup>	Indice d'activité pour un volume supérieur à 10 m <sup>3</sup>	Aléa pour une probabilité de propagation forte	Aléa pour une probabilité de propagation moyenne	Aléa pour une probabilité de propagation faible
C1	non	non	100 ans	100 ans	très fort	fort	fort
C10	annuel	non	Non	non	moyen	moyen	faible
C11	annuel	non	Non	non	moyen	moyen	faible
C12	annuel	10 ans	100 ans	100 ans	très fort	fort	fort
C13	annuel	10 ans	non	non	fort	moyen	moyen
C14	Annuel	10 ans	100 ans	non	fort	fort	fort
C15	annuel	non	non	non	moyen	moyen	faible
C16	annuel	non	non	non	moyen	moyen	faible
C17	annuel	10 ans	non	non	fort	moyen	moyen
C18	annuel	10 ans	non	non	fort	moyen	moyen
C19	non	non	100 ans	non	fort	fort	fort
C2	Annuel	10 ans	100 ans	non	fort	fort	fort
C20	annuel	10 ans	Non	non	fort	moyen	moyen
C3	Annuel	non	Non	non	moyen	moyen	faible
C4	annuel	non	Non	non	moyen	moyen	faible
C5	annuel	non	Non	non	moyen	moyen	faible
C6	10 ans	10 ans	100 ans	non	fort	fort	fort
C7	annuel	10 ans	100 ans	non	fort	fort	fort
C8	annuel	non	Non	non	moyen	moyen	faible
C9	annuel	non	Non	non	moyen	moyen	faible
D1	Annuel	10 ans	non	non	fort	moyen	moyen
D10	annuel	non	non	non	moyen	moyen	faible
D11	10 ans	non	non	non	moyen	moyen	faible
D2	annuel	10 ans	non	non	fort	moyen	moyen
D3	annuel	non	non	non	moyen	moyen	faible
D4	non visible	non visible	non visible	non visible	moyen	moyen	faible

Identifiant	Indice d'activité pour un volume inférieur à 0,25 m <sup>3</sup>	Indice d'activité pour un volume de 0,25 à 1 m <sup>3</sup>	Indice d'activité pour un volume de 1 à 10 m <sup>3</sup>	Indice d'activité pour un volume supérieur à 10 m <sup>3</sup>	Aléa pour une probabilité de propagation forte	Aléa pour une probabilité de propagation moyenne	Aléa pour une probabilité de propagation faible
D5		10 ans	non	100 ans (bloc de 8 m de long - 4 m de large - 3 m de hauteur)	très fort	fort	fort
D6	annuel	non	non	non	moyen	moyen	faible
D7		10 ans	non	non	fort	moyen	moyen
D8	annuel	10 ans	non	non	fort	moyen	moyen
D9	annuel	10 ans	non	non	fort	moyen	moyen
D10	10 ans	non	non	non	moyen	moyen	faible
D11	10 ans	non	non	non	moyen	moyen	faible
E1	annuel	annuel	10 ans. Quelques blocs bien découpés.	100 ans : certaines Fractures ( N40) sont très profondes	très fort	fort	fort
E2	10 ans	non	non	non	moyen	moyen	faible
E3	10 ans	10 ans	100 ans	non	fort	fort	fort
E4	annuel	non	non	non	moyen	moyen	faible
E5	10 ans	10 ans	non	non	fort	moyen	moyen

*Illustration 53 – Détail des aléas obtenus par zone d'affleurement*

## **Annexe 4 :**

### **ELANA**

(Energy Line Angle Normalized Area)





ELANA a été développé pour utiliser les lois empiriques 2D afin de cartographier spatialement la probabilité de propagation des chutes de blocs. ELANA utilise les données topographiques d'un Modèle Numérique de Terrain, ainsi qu'un raster de même dimension ou l'utilisateur déclare les pixels qu'il considère comme zone de départ. ELANA permet d'obtenir le raster des zones de propagation faible, moyenne et forte à partir des lois empiriques proposées. Ces lois empiriques étant applicables sur des profils 2D, le logiciel interpole des profils autour de chaque pixel de départ afin de pouvoir déterminer l'emplacement des limites de propagation pour chaque profil. Afin d'optimiser le temps de calcul, ELANA classe les pixels de départ en pixels « sélectionnées » et « non pris en compte » afin que l'évaluation de la propagation soit effectuée sur un nombre limité mais représentatif de pixels de départ. Les pixels « sélectionnées » comprennent les pixels les plus en amont de zones de départ, les plus favorables à la propagation.

Les étapes de suivantes de calculs sont :

- la recherche de la direction de plus grande pente autour de chaque pixel de départ « sélectionnés » par pas de  $1^\circ$  ;
- la sélection des directions autour de la plus grande pente dans un cône d'ouverture 2 fois  $\alpha$  ( $\alpha$  étant défini par l'utilisateur) et pour des pentes initiales supérieures à  $26^\circ$  ;
- l'interpolation de profils topographiques depuis le pixel de départ pour toutes les directions sélectionnées et avec une discrétisation horizontale de la taille de la maille ;
- le calcul des coupes ( $A_n, \beta$ ) obtenus pour chaque point des profils topographiques et leur comparaison avec les lois empiriques. En chaque point du profil, on précise la probabilité de propagation (forte, moyenne, faible ou nulle) ;
- le report des probabilités de propagation obtenues pour chaque profil dans un raster de propagation. Les résultats sont conservateurs vis-à-vis de l'aléa de propagation : la probabilité retenue pour chaque pixel est la valeur la plus défavorable obtenue pour tous les profils interceptant le pixel.

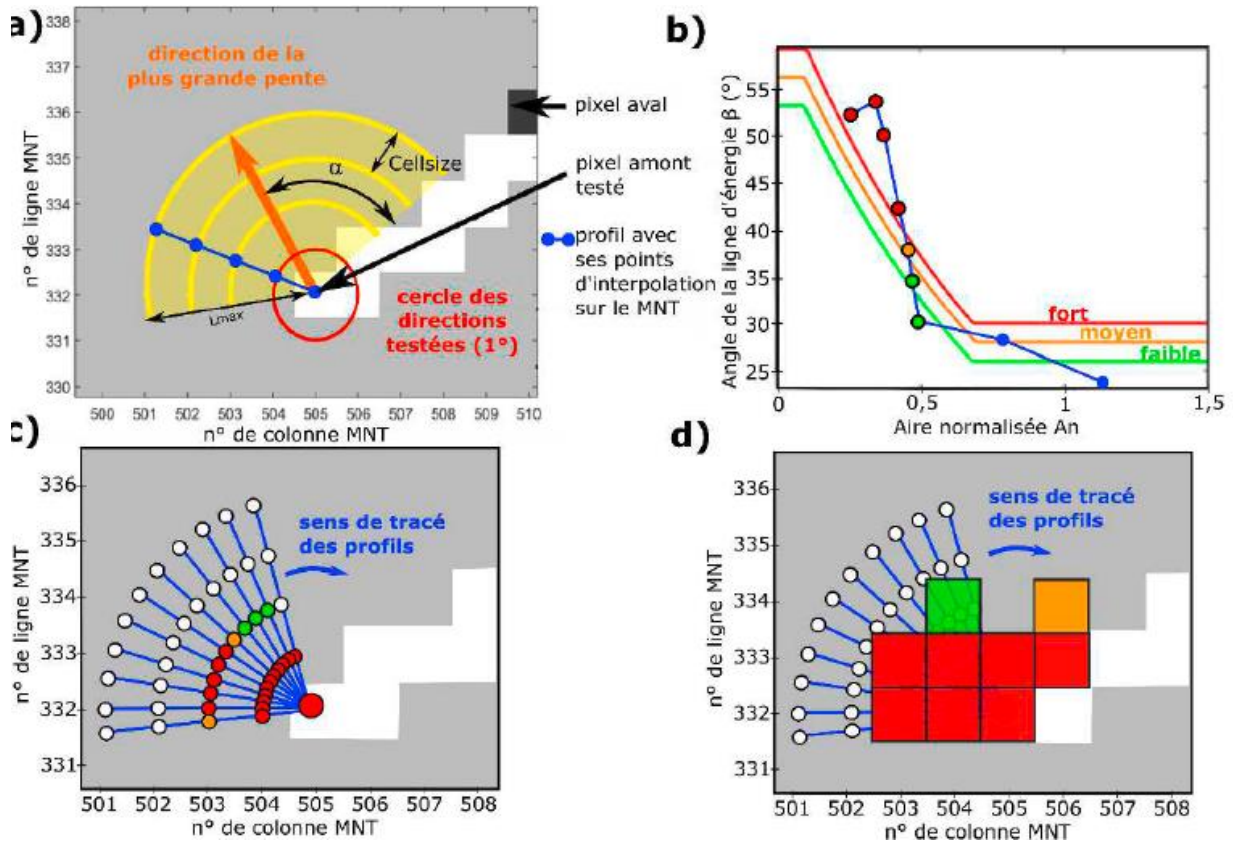



Illustration 54 – a) exemple des étapes d'ELANA pour un pixel de départ en chute de blocs : recherche de la direction de plus grande pente autour du pixel, sélection des directions autour de la plus grande pente dans un cône d'ouverture de 2 fois  $\alpha$  et exemple de l'interpolation d'un profil topographique de longueur  $L_{max}$ . B) calcul des couples  $(A_n, \beta)$  pour chaque point du profil et comparaison avec les lois empiriques de propagation. En chaque point du profil, on précise la probabilité de propagation (forte, moyenne, faible ou nulle). C) et D) reports des probabilités de propagation obtenues pour différents profils dans le raster des probabilités de propagation. La probabilité retenue est la plus défavorable obtenue pour tous les profils interceptant le pixel.


## **Annexe 5 :**


### **Photographies des escarpements type**




Type	Description	Exemple	Photographies
3	<p>Escarpement (&gt; 3 m) présentant des zones d'érosion différentielle et des zones de surplomb important</p>	B1	



Type	Description	Exemple	Photographies
4	Escarpement (> 3 m) présentant des zones d'érosion différentielle et des zones de surplomb important et de nombreuses fissures	B14	

5	Escarpement rocheux (> 3 m) présentant de nombreuses fissures	B26	 A photograph showing a steep, layered rock face. The rock is dark brown and shows signs of weathering and fracturing. Sparse vegetation, including grasses and small plants, grows on the upper part of the cliff. At the base of the rock, there is a concrete or paved area with some equipment, including a white bucket and yellow cables.
---	---	-----	---



6	Escarpement rocheux (> 3 m) présentant une individualisation de blocs	B24	
---	---	-----	--

7	Zone d'escarpement (> 3 m) basculé en versant	B30	
---	---	-----	---



9	Blocs importants dans le versant	B11	 A photograph showing a large, light-colored, moss-covered boulder situated in a forest. The boulder is the central focus, with smaller rocks scattered around its base. The surrounding area is filled with green foliage, including trees and ferns, and the ground is covered with fallen leaves and twigs. The lighting suggests a sunny day with dappled shadows.
---	----------------------------------	-----	---



## **Annexe 6 :**

### **Carte de propagation**





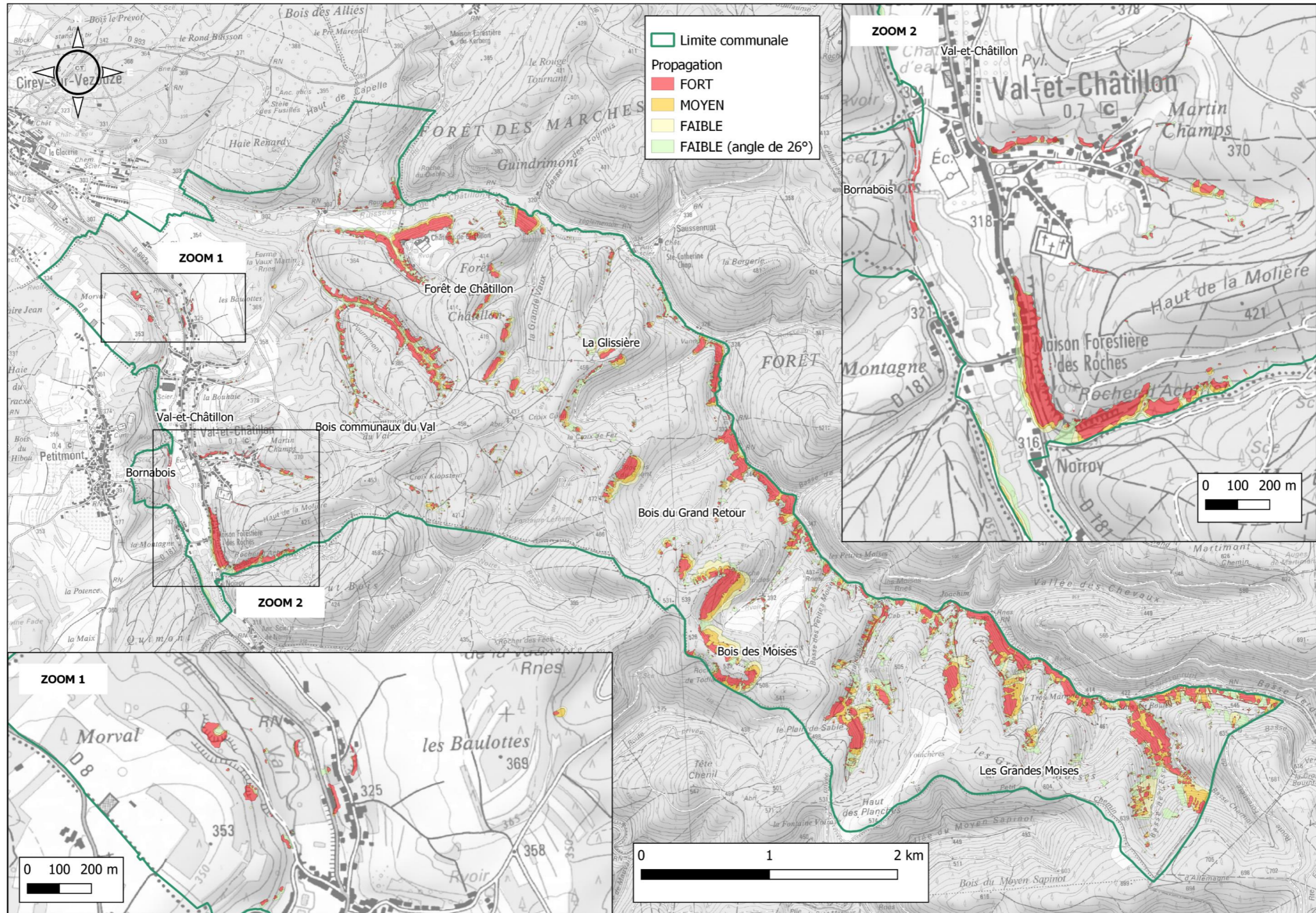


Illustration 55 – Carte de propagation









Illustration 56 – carte de propagation – zoom 1



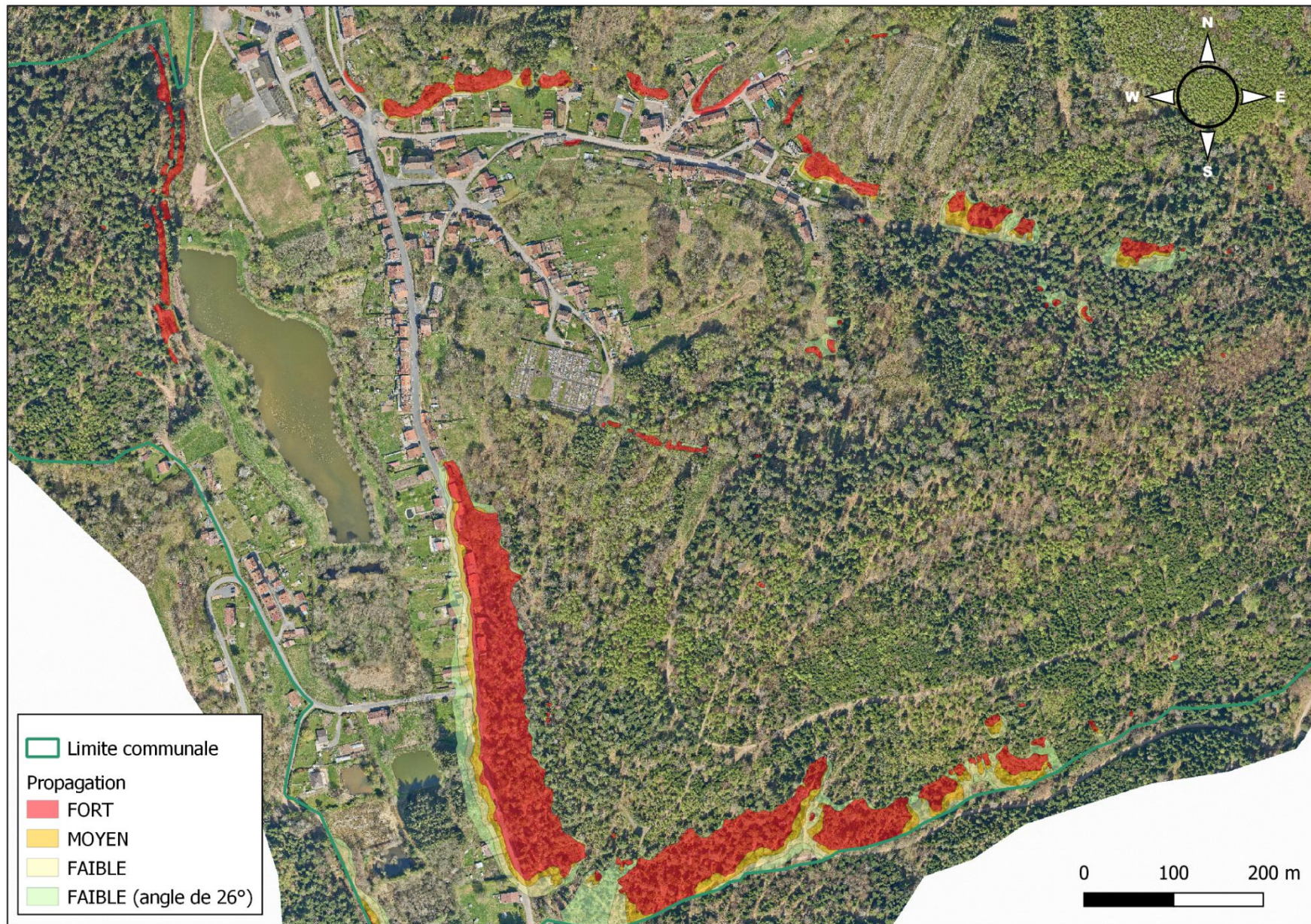


Illustration 57 – carte de propagation – zoom 2



## **Annexe 7 :**

### **Carte de l'aléa chute de blocs**





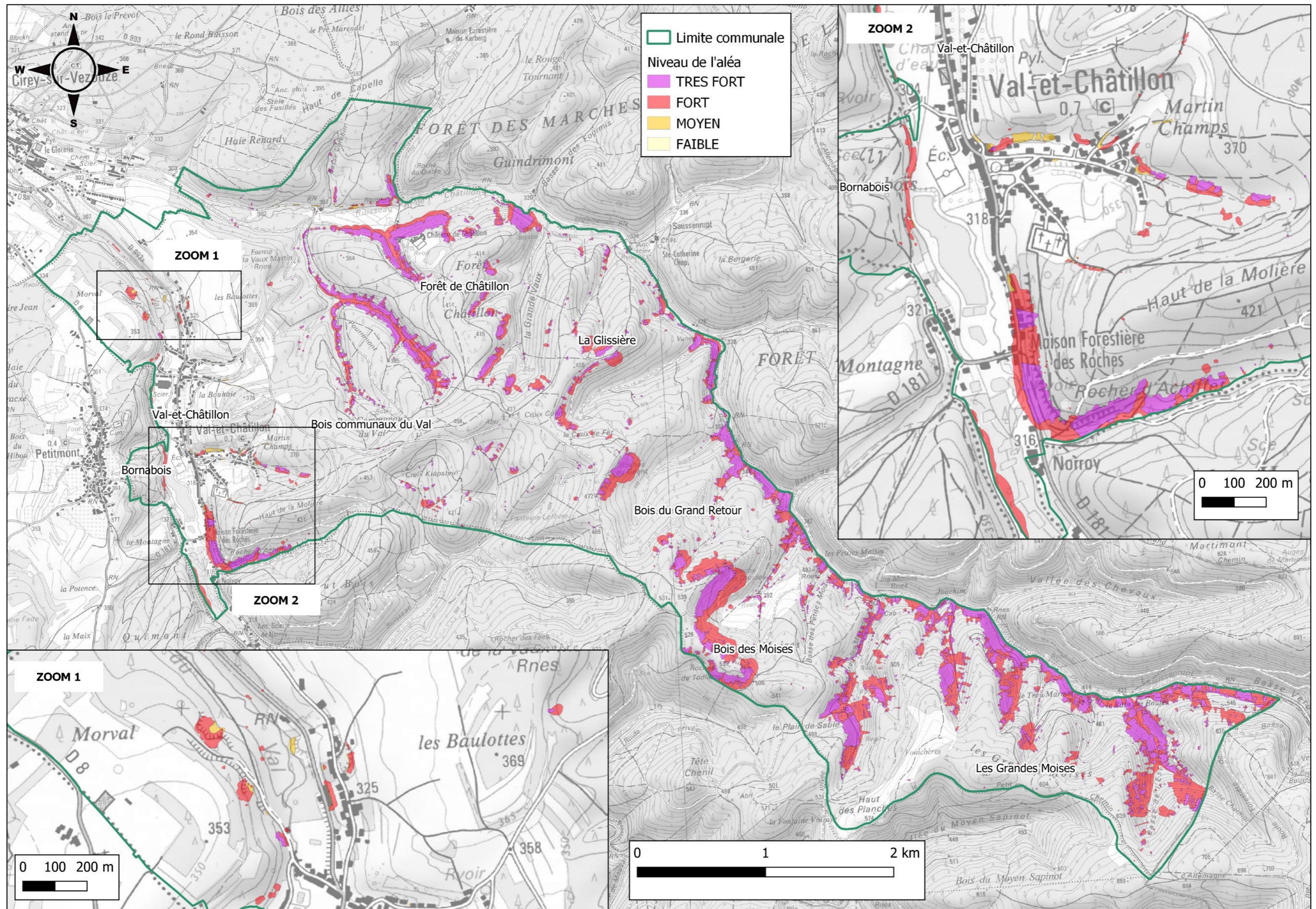


Illustration 58 – Carte de l'aléa chute de blocs





Illustration 59 – Carte de l'aléa chute de blocs – zoom 1



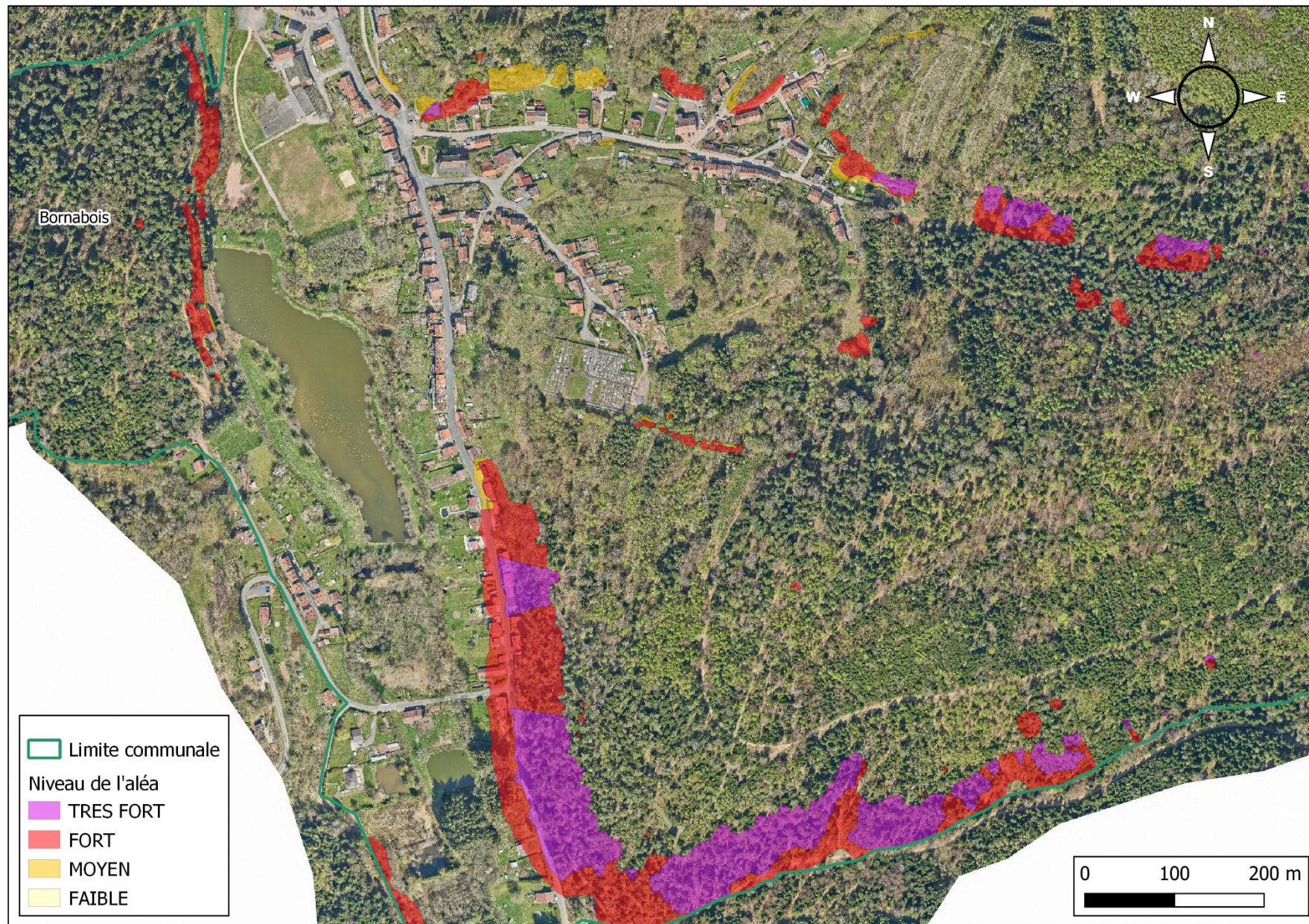


Illustration 60 – Carte de l'aléa chute de blocs – zoom 2





## **Annexe 8 :**

# **Tableaux synthétiques des parades pour les chutes de blocs**





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

*Illustration 61 - Exemple de parades actives*

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

Illustration 62 - Exemple de parades passives







**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude-Guillemin - BP 36009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34 - [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**Direction régionale Grand Est – Site de Nancy**  
1 rue Jean Zay  
54500 – Vandœuvre-lès-Nancy – France  
Tél. : 03.83.44.81.49