



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema

Commune de Bouillonville (54) - Etude de protection contre les risques rocheux

C20LL0185

Octobre 2021

Crédit photo : © Laurent Dubois/Cerema



Commune de Bouillonville (54) - Etude de protection contre les risques rocheux

Octobre 2021

DDT de Meurthe-et-Moselle
Place des Ducs de Bar
Case officielle n°60025
54035 Nancy Cedex

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
15/02/21	v1	Version initiale validée
01/10/21	v2	Prise en compte des observations de la DDT54 transmises par courriel le 07/04/2021, des observations réalisées sur le terrain le 23/09/21 et des conclusions de la réunion du 23/09/21 entre la mairie de Bouillonville, la DDT54, l'entreprise Roc Aménagement et le Cerema.

Récapitulatif de l'affaire

Objet de l'étude :	Commune de Bouillonville (54) - Etude de protection contre les risques rocheux
Résumé de la commande :	Etude de protection contre les risques rocheux à Bouillonville (54)
Référence dossier :	Affaire C20LL0185
Communicabilité :	<input type="checkbox"/> Libre (avec acceptation préalable du commanditaire dans le contrat) <input type="checkbox"/> Contrôlée (communiquée uniquement avec l'autorisation du commanditaire à posteriori) <input type="checkbox"/> Confidentielle (non référencée dans IsaWeb)
Chargé d'affaire :	Laurent Dubois DRIM / Risques Naturels Tél. +33 (0)4 72 14 33 00 / Fax +33 (0)4 72 14 30 77 Courriel : drim.dterce.cerema@cerema.fr
Autres membres de l'équipe :	Mathieu Mlynarski
Mots Clés :	Risques Naturels

Liste des destinataires

Contact	Adresse	Nombre - Type
Mme Angélique Masson-Poyac	DDT de Meurthe-et-Moselle Place des Ducs de Bar Case officielle n°60025 54035 Nancy Cedex	1 fichier .pdf
M. Gérard Renouard	Mairie de Bouillonville 9 rue sur l'Eau 54470 Bouillonville	1 fichier .pdf

Conclusion – Résumé

L'étude spécifique de protection contre les risques d'éboulements rocheux au niveau des propriétés situées entre le n°7 et le n°55 de la rue principale (RD28, côté nord) a mis en évidence des instabilités potentielles liées à la nature et à la structure du massif rocheux sus-jacent.

Les mesures de protection qui peuvent être mises en œuvre se traduisent :

- par des purges ponctuelles, spécifiques ou non,
- par des confortements ponctuels à l'aide d'ancrages passifs et de contreforts en béton ou maçonneries,
- par des protections surfaciques par grillages plaqués-ancrés et filets plaqués-ancrés.

Ces protections ont été pré-implantées sur planches photographiques, quantifiées, et priorisées (voir annexes A à D).

Les principales préconisations techniques nécessaires à la réalisation de ces ouvrages ont également été détaillées.

Bron le 15/10/2021

Le Directeur du Département Risques Infrastructures
Matériaux

P.O. La Directrice adjointe du Département

Sommaire

1 - Généralités.....	6
2 - Contexte géotechnique.....	7
2.1 - Données géotechniques.....	7
2.2 - Connaissance d'aléas « mouvements de terrain » récents au cours des hivers 2019-2020 et 2020-2021.....	7
3 - Définition des risques d'éboulements rocheux.....	14
4 - Travaux de protection.....	15
4.1 - Tableaux récapitulatifs des travaux de protection.....	15
4.2 - Définition des travaux de protection.....	16
4.3 - Gestion et surveillance des ouvrages de protection.....	21
5 - Conclusion.....	21
Annexes.....	23
Annexe A - Tableau récapitulatif des travaux de protection pour les falaises inférieures.....	23
Annexe B - Planches des travaux de protection pour les falaises inférieures.....	23
Annexe C - Tableau récapitulatif des travaux de protection pour les falaises supérieures.....	23
Annexe D - Planches des travaux de protection pour les falaises supérieures.....	23

1 - Généralités

Le village de Bouillonville (54) occupe la rive concave du Rupt-de-Mad, bordée de falaises calcaires hautes d'une dizaine de mètres, présentant une morphologie en vaste fer à cheval sur un linéaire d'environ 600 mètres (voir photographies aériennes en annexe D) :

- falaises dites « inférieures », discontinues, pouvant être d'origine anthropique (anciennes carrières, aménagement d'entrées de cavités souterraines) et surplombant directement les jardins et les bâtiments des propriétés riveraines de la rue principale,
- falaises dites « supérieures », généralement continues, d'origine naturelle et souvent en position déportée au sommet d'un talus d'éboulis raide en amont des propriétés riveraines de la rue principale.

Les falaises génèrent régulièrement des chutes de pierres et de blocs atteignant les enjeux (bâtiments et autres) présents en pied. Une étude des aléas rocheux présents sur l'ensemble des falaises a été réalisée par le BRGM en 2012 (cf. rapport du BRGM intitulé « Étude de l'aléa "chutes de blocs" - Proposition de parades - Commune de Bouillonville (Meurthe-et-Moselle) » référencé n°RP-60164-FR de septembre 2012). Suite aux recommandations du rapport du BRGM, un système de surveillance de certains compartiments rocheux potentiellement instables a été mis en place en juin 2016 par la société spécialisée Myotis pour le compte de la Mairie de Bouillonville : deux capteurs extensométriques équipent une fracture ouverte montrant des indices nets d'instabilité en amont des propriétés situées aux n°29 et n°31 de la rue principale.

À la demande de la Direction Départementale des Territoires (DDT) de Meurthe-et-Moselle, le Cerema Centre-Est - groupe Risques Naturels du Département Risques Infrastructures Matériaux - a réalisé une étude spécifique de protection contre les risques d'éboulements rocheux au niveau des propriétés situées entre le n°7 et le n°55 de la rue principale (RD28, côté nord), en complément de celle réalisée par le BRGM en septembre 2012.

Cette étude spécifique a pour objet, d'une part, d'apprécier les risques potentiels de chutes de blocs pour chaque propriété concernée et, d'autre part, de définir les mesures de protection à mettre en œuvre (définition, dimensionnement et chiffrage) afin d'améliorer les conditions générales de sécurité. Elle est basée sur les observations réalisées sur le terrain par MM. Mathieu Mlynarski et Laurent Dubois, géologues-géotechniciens au Cerema Centre-Est, entre les 26 et 30 octobre 2020, puis le 22 janvier 2021. La campagne de terrain de fin octobre 2020 a permis de mettre en évidence deux compartiments potentiellement instables à très court terme :

- compartiment A d'un volume d'environ 1,5 m³ en amont du n°21 de la rue principale,
- compartiment B d'un volume d'environ 3 m³ en amont du n°41 de la rue principale.

Une note du Cerema Centre-Est en date du 4 novembre 2020 décrivant les mesures préconisées pour ces deux compartiments (purges contrôlées) a été transmise à la DDT de Meurthe-et-Moselle. La consultation des entreprises spécialisées pour la réalisation de ces purges est en cours. Le traitement de ces deux compartiments n'est pas chiffré dans le présent rapport.

La présente étude correspond à des missions de type G5 (diagnostic géotechnique) et G2 phase projet (étude géotechnique de conception) conformément à la nomenclature de la norme NF P94-500 de novembre 2013 relative aux missions géotechniques. Elle sera intégrée au futur Plan de Prévention des Risques naturels « Mouvements de terrain (chutes de blocs) » de la commune.

2 - Contexte géotechnique

2.1 - Données géotechniques

D'après la carte géologique au 1/50000^e de Pont-à-Mousson, les formations sédimentaires constituant les falaises en bordure des propriétés situées le long de la rue principale appartiennent au Bajocien Supérieur. Il s'agit principalement de haut en bas (cf. figure 1) :

- de calcaires oolithiques fins (Oolithe Miliaire Supérieure),
- de calcaires oolithiques grossiers avec des interbanks d'argiles feuilletées grises ou jaunes (Oolithe terreuse à Clypeus Ploti), constituant principalement les falaises supérieures,
- de calcaires bioclastiques oolithiques à passées d'argilites et de calcaires gréseux (complexe à bancs gréseux),
- et de calcaires oolithiques fins (Oolithe Miliaire Inférieure), localement avec des faciès sableux, constituant principalement les falaises inférieures.

Il s'agit de calcaires relativement poreux et tendres, sensibles à l'action des agents climatiques extérieurs (lessivage des parois par les eaux de pluie, alternances gel/dégel). Quatre essais au scléromètre (ou marteau de Schmidt) ont été réalisés au niveau des falaises inférieures et supérieures : les valeurs de résistance à la compression déduites de ces essais sont relativement homogènes et comprises entre 20 MPa et 25 MPa (typiques d'une résistance relativement faible pour un matériau rocheux).

Les bancs calcaires sont naturellement fissurés :

- la stratification présente une faible pendage en direction du nord-ouest (0 à 15°),
- deux familles de fractures verticales (diaclasses conjuguées, sans mouvement relatif) de directions moyennes N70°E et N145°E sont connues.

Aucune faille notable au niveau des falaises ne figure sur la carte géologique au 1/50000^e de Pont-à-Mousson ou n'est observée sur le terrain. Les calcaires peuvent être localement karstifiés et recouverts par une mince couche d'éboulis. Les fissures naturelles sont à l'origine du découpage du massif rocheux en blocs, écailles et colonnes, qui peuvent être amenés en limite de stabilité sous l'effet d'actions extérieures (notamment climatiques). Au niveau des falaises supérieures, la déstabilisation des compartiments rocheux est aggravée par la présence de lits argileux, parfois épais, plus tendres et déformables (développement d'une érosion différentielle favorisant la formation de surplombs).

2.2 - Connaissance d'aléas « mouvements de terrain » récents au cours des hivers 2019-2020 et 2020-2021

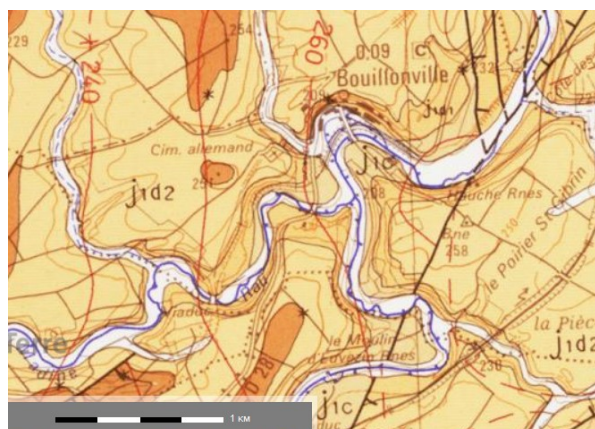
a) Contexte climatique de l'hiver 2019-2020

Le contexte météorologique à la fin de l'hiver 2019-2020 et au début du printemps 2020 a été favorable au déclenchement d'éboulements (données Infoclimat à Nancy-Essey) :

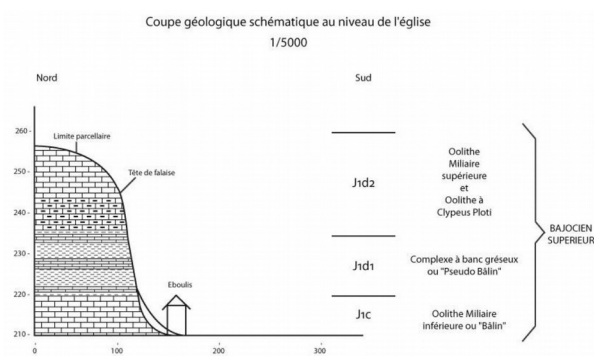
- du 19/01/2020 au 26/01/2020 : 8 jours consécutifs avec température minimale négative (jusqu'à -5,6°C),
- du 27/01/2020 au 12/03/2020 : longue période très pluvieuse (hauteur cumulée de précipitations égale à 238 mm en 46 jours avec précipitations quotidiennes maximales égales à 29 mm/j),
- du 23/03/2020 au 05/04/2020 : 14 jours consécutifs avec température minimale négative ou proche de 0 (jusqu'à -4,7°C),

- à partir du 05/04/2020 : 8 jours consécutifs avec variations quotidiennes de température élevées et température maximale supérieure à 20°C.

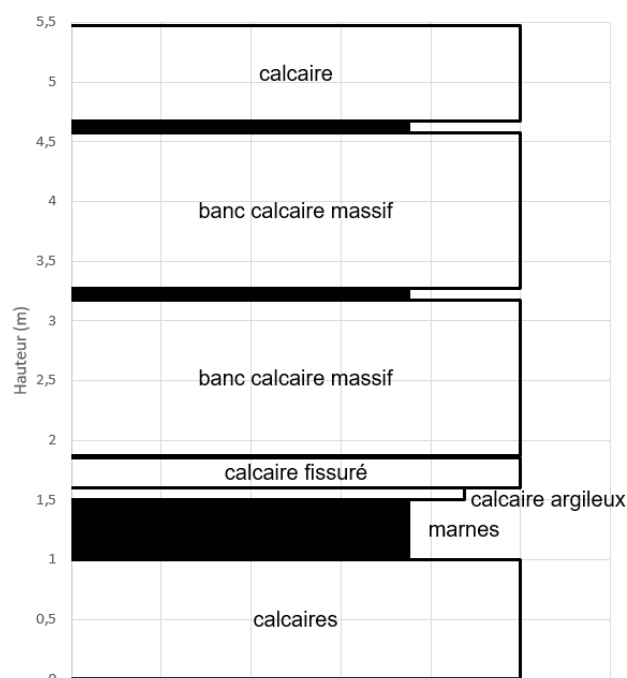
Ces successions de périodes climatiques contrastées ont pu fortement solliciter certains compartiments rocheux parmi les plus instables.



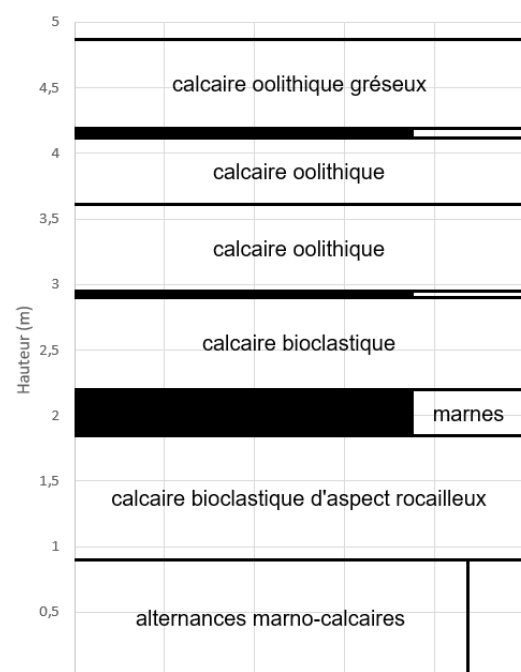
(a) Extrait de la carte géologique de Pont-à-Mousson au 1/50 000^e (source : BRGM)



(b) Coupe géologique schématique extraite du rapport du BRGM de septembre 2012.



(c) Coupe géologique au niveau du pied de la falaise supérieure au PM920 (compartiment G)



(d) Coupe géologique au niveau du pied de la falaise supérieure entre les PM30 et PM45 (entre les compartiments P et Q)

Figure 1 : extrait de la carte géologique de Pont-à-Mousson au 1/50000^e (a), coupes géologiques générale (b) et locales (c et d).

b) Éboulements récents observés fin 2020 et début 2021

Les observations réalisées fin 2020 et début 2021 permettent de compléter les données historiques concernant l'activité de chutes de blocs sur le site de Bouillonville, présentées dans le rapport du BRGM de septembre 2012. Les éboulements récents observés fin octobre 2020 et en janvier 2021 se sont tous détachés des falaises supérieures :

- en amont du n°11 de la rue principale (cf. figure 2) :



Figure n°2 : cicatrice de l'éboulement récent s'étant propagé jusqu'à proximité immédiate du mur arrière du n°11 et dans la cour en arrière du n°13 (30/10/2020).

- en amont du n°17 de la rue principale (cf. figure 3) :



Figure 3 : falaise supérieure montrant quelques indices d'évolution récents, traduisant probablement la chute de petits éléments (27/10/2020).

- à la limite de propriété entre le n°21 et n°23 de la rue principale (cf. figure 4) :



Figure 4 : chute de blocs d'un volume total compris entre 100 L et 200 L le 01/01/2021 (22/01/2021).

- en amont du n°23 de la rue principale (cf. figure 5) :



Figure 5 : cicatrice de l'éboulement récent s'étant propagé jusqu'à proximité immédiate du mur arrière du n°23 (29/10/2020).

- en amont du n°41 de la rue principale (cf. figure 6) :



Figure 6 : falaise supérieure montrant des indices d'évolution récents (28/10/2020).

Dans deux cas (n°11 et n°23), les éboulements ont décapé entièrement les éboulis de pente et la terre végétale et ont mis à nu les roches calcaires plus argileuses et moins résistantes situées sous la falaise supérieure.

Des indices d'évolution ont également été observés à la limite de propriété entre les n°29 et n°31 de la rue principale avec des départs de matériaux (notamment des éboulis de pente raides et des calcaires très altérés) au pied du compartiment surveillé G entre les PM920 et PM930.

c) Cas particulier du compartiment G surveillé

Le système de surveillance extensométrique mis en place en juin 2016 permet de surveiller deux compartiments en amont des propriétés des n°29 et n°31 de la rue principale (propriétés Soltani et Laruelle).

Les capteurs extensométriques BC1 et BC2 équipent la fracture latérale « ouest » d'un panneau calcaire de dimensions approximatives $l \approx 6 \text{ m} \times h \approx 4 \text{ m} \times e \approx 2 \text{ m}$ (volume total de l'ordre de 50 m^3), situé au niveau de la falaise supérieure (cf. figure 7). Le panneau repose sur un pied peu résistant constitué de 25 cm de calcaires fissurés surmontant 50 cm de marnes plus déformables. Compte-tenu de mouvements d'affaissement différentiels au sein des marnes, le panneau se détache progressivement du massif rocheux en place en arrière et l'amplitude de ce mouvement semble être plus élevée côté « ouest » (capteurs BC1 et BC2) que côté « est » où la fracture latérale est moins bien exprimée. Les mouvements d'affaissement différentiels au sein des marnes peuvent expliquer le comportement relativement désordonné de la fracture surveillée et notamment son changement de comportement suite au passage de la tempête Eleanor début janvier 2018.

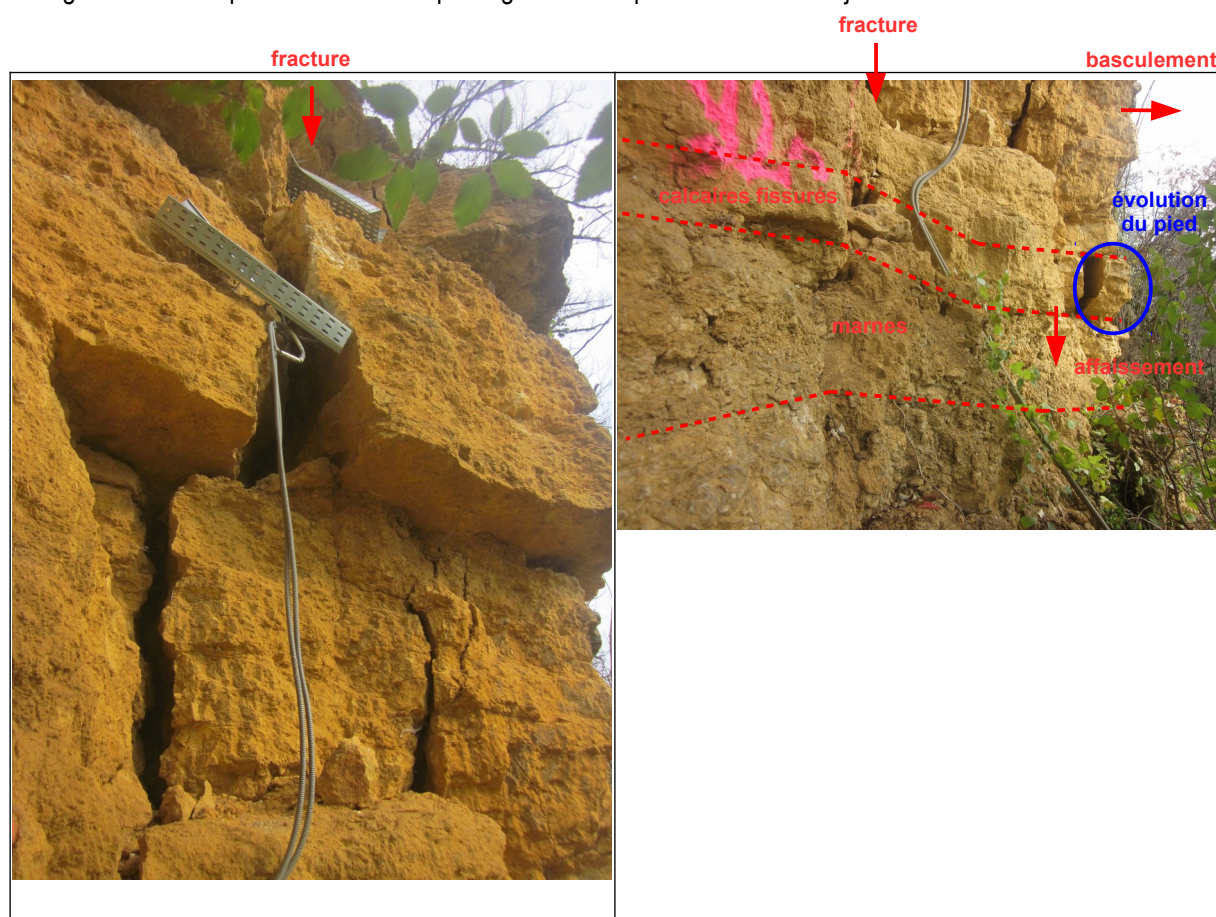


Figure 7 : capteurs extensométriques BC1 (en haut) et BC2 (en bas) équipant la fracture latérale « ouest » du compartiment G (29/10/2020).

Les résultats des mesures extensométriques au 17/05/2021 montrent (cf. figure 8) :

- une évolution de la fracture équipée par les capteurs BC1 et BC2 s'inscrivant dans la tendance identifiée depuis mi-2018 (avec un léger ralentissement au cours de l'année 2020), actuellement sans indice de divergence. Les mesures confirment le caractère instable du compartiment G : l'aléa d'éboulement (ou aléa de départ) de ce compartiment peut être qualifié de « moyen à élevé à court terme » à « très élevé à moyen terme »,
- une stabilité relative depuis début 2018 de la fracture équipée par le capteur BC3 au niveau de la falaise inférieure.

La surveillance a été arrêtée le 17 mai 2021 suite à la mise en œuvre de travaux de sécurisation par l'entreprise Roc Aménagement (filet plaqué-ancré et boulons).

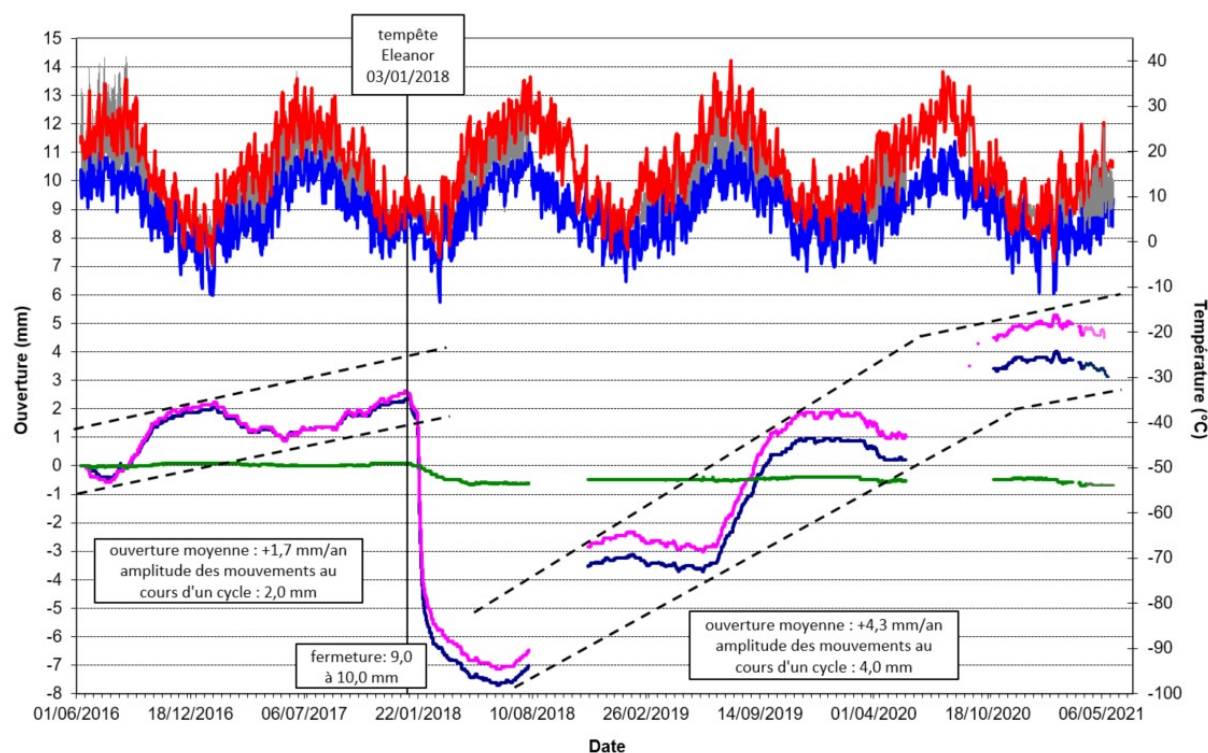


Figure 8 : résultats des mesures extensométriques au 17/05/2021 (BC1 en rose, BC2 en bleu foncé et BC3 en vert). Les courbes des températures journalières minimales (en bleu) et maximales (en rouge) mesurées à Nancy-Essey (source : Infoclimat) figurent également sur le graphique. Les interruptions des mesures extensométriques en 2018 et en 2020 sont liées à des dysfonctionnements du système de surveillance (Cerema d'après les données Myotis).

3 - Définition des risques d'éboulements rocheux

La détermination des aléas et des risques d'éboulements rocheux est faite par traitement individuel des éléments ou ensembles potentiellement instables identifiés fin octobre 2020 et présentés dans les tableaux récapitulatifs joints en annexe. Le repérage des compartiments a été effectué à partir du clocher de l'église (PMO) pour les falaises supérieures et par propriété pour les falaises inférieures. Depuis fin octobre 2020, les principales évolutions concernent les compartiments suivants :

- compartiment A au repère 842 : purge par l'entreprise Roc Aménagement au printemps 2021,
- compartiment H au repère 948 : éboulement constaté sur le terrain le 23/09/2021. Des purges manuelles complémentaires et une sécurisation des éboulis sont recommandés dans les meilleurs délais,
- compartiment T au repère 90 : indices d'évolution récents (ouverture de la fracture arrière) constatés sur le terrain le 23/09/2021. Une purge est recommandée dans les meilleurs délais.

Pour les notions de probabilité d'occurrence de l'aléa et de délai de réalisation, il sera fait référence aux définitions suivantes utilisées par le Cerema :

Probabilité d'occurrence (notion qualitative)	
très élevée (te) :	la non réalisation de l'événement serait considérée comme exceptionnelle
élevée (e) :	la probabilité de réalisation de l'événement est plus élevée que la probabilité de non-réalisation
modérée (m) :	la probabilité de réalisation de l'événement est équivalente à la probabilité de non-réalisation
faible (f) :	la probabilité de non-réalisation de l'événement est plus élevée que la probabilité de réalisation
très faible (tf) :	la réalisation de l'événement serait considérée comme exceptionnelle

Délai d'occurrence	
imminent (i) :	risque immédiat
très court terme (tct) :	dans les 2 ans
court terme (ct) :	dans les 10 ans
moyen terme (mt) :	dans les 30 ans
long terme (lt) :	au delà des 30 ans

Les aléas permanents (notés *perm*) correspondent à des éléments généralement de petite taille, qui se mobilisent sous l'action de l'érosion, de l'altération ou des cycles gel / dégel, et qui se renouvellent de manière continue.

L'*aléa* éboulement correspond à la probabilité (notion qualitative) intrinsèque d'éboulement de l'ensemble ou du compartiment considéré. L'*aléa* propagation correspond à la probabilité de propagation des éboulis lorsque l'éboulement est réalisé. Le *risque* (*stricto sensu*) est une notion qui résulte du produit de l'aléa éboulement par l'aléa propagation par la *vulnérabilité* des infrastructures menacées. Pour un *aléa* très élevé d'éboulement, un *aléa* nul de propagation induit un *risque* nul pour l'infrastructure. A contrario, dans le cas d'une paroi qui domine directement une infrastructure sensible, et pour lequel l'*aléa* de propagation des éboulis est généralement élevé à très élevé, le *risque* peut alors être confondu avec l'*aléa* d'éboulement.

4 - Travaux de protection

4.1 - Tableaux récapitulatifs des travaux de protection

La définition des mesures de protection, avec ordre de priorité, est indiquée dans les tableaux récapitulatifs des travaux présentés en annexes A à D. Depuis les observations de terrain réalisées fin octobre 2020, l'entreprise Roc Aménagement a réalisé les travaux suivants au printemps 2021 :

- compartiment A au repère 842 : purge,
- compartiment B au repère 100, compartiment G entre les repères 920 et 930, compartiment I entre les repères 960 et 963 : mise en œuvre de trois filets plaqués-ancrés.



Figure 9 : filets plaqués-ancrés des compartiments B, G et I (Cerema, 23/09/2021).

Les implantations et les caractéristiques des travaux de confortement ont été figurées directement sur les planches photographiques en annexes. Pour la protection générale par nappe de grillage plaquée, la définition des travaux est précisée sur les mêmes planches photographiques.

4.2 - Définition des travaux de protection

L'examen des tableaux récapitulatifs fait apparaître plusieurs types différents de traitements à mettre en œuvre : purges, grillages plaqués-ancrés, filets plaqués-ancrés, ancrages passifs et contreforts.

Toutes les protections dimensionnées dans le présent rapport du Cerema sont des protections actives (boulons, grillages et filets plaqués-ancrés, contreforts en béton, purges) : elles sont à réaliser au niveau des fronts rocheux pour empêcher le départ des blocs instables. Les purges entraînent la suppression définitive des compartiments rocheux concernés. L'évolution naturelle des fronts rocheux, très sensibles aux actions climatiques extérieures, conduira au renouvellement au cours du temps de blocs rocheux potentiellement instables en arrière des compartiments rocheux identifiés dans le présent rapport et purgés. Pour un front rocheux non recouvert d'un grillage plaqué-ancré, des purges régulières (à renouveler tous les 5 ans) font ainsi partie de l'entretien courant de la falaise.

D'éventuelles solutions de parades passives de type barrière pare-pierre et écran de filets n'ont pas été retenues dans le cadre du présent rapport :

- la configuration du site entre les zones de départ sur les fronts rocheux et les enjeux ne permet pas une implantation optimale de parades passives (risque de lob, risque de dépassement de la capacité d'arrêt par certains événements, *etc.*),
- la fiabilité (sûreté de fonctionnement) des ouvrages métalliques de type barrière pare-pierre et écran de filets est inférieure à celle des parades actives (possibles erreurs de montage, possible défaillance des fondations scellées dans des éboulis comportant des vides, possible défaillance de certains constituants essentiels des ouvrages passifs, *etc.*),
- pour des fronts rocheux de hauteur inférieure à 10 m, le coût de la mise en œuvre d'une barrière pare-pierre n'est pas plus avantageux que celui de la mise en place d'une protection surfacique par grillage plaqué-ancré,
- la durée de vie des ouvrages métalliques de type barrière pare-pierre et écran de filets, garantie par les fabricants (25 ans), est inférieure à celle attendue pour les ouvrages métalliques actifs. Pour ces derniers, le choix des fournitures et la maîtrise de la qualité d'exécution sur le chantier (grillage galvanisé Zn95Al5, câbles galvanisés classe A, serre-câbles galvanisés, écrous et plaques galvanisés, barres certifiées NF-AFCAB, peinture anti-corrosion des extrémités des barres), associés à une maintenance préventive courante simple, permettent d'envisager raisonnablement une durée de vie minimale de l'ordre de 40 ans à 50 ans (catégorie de durée d'utilisation de projet 4) en classe de corrosivité atmosphérique C2. L'objectif de la maintenance préventive est de prolonger au maximum la durée de vie des ouvrages, même au-delà de la durée indicative d'utilisation de projet,
- les ouvrages métalliques de type barrière pare-pierre et écran de filets demandent un entretien et une maintenance renforcés par rapport aux parades actives (mise en place d'une surveillance stricte, nécessité d'opérations de maintenance fréquentes pour remplacer des constituants métalliques corrodés ou détériorés et pour purger les éléments rocheux arrêtés, remplacement partiel ou total en cas d'évènement proche ou dépassant la capacité d'arrêt),

- en raison des contraintes techniques présentées ci-dessus, les parades passives ne seront pas considérées comme les parades actives dans le règlement du futur PPR « chute de blocs » de Bouillonville. Une augmentation de la vulnérabilité ne sera pas acceptée en aval de parades passives (constructibilité dans les dents creuses, changement de destination des bâtiments existants, etc.).

a) Purges

Outre les purges de sécurité nécessaires pour les phases de chantier, des purges spécifiques de compartiments rocheux bien définis sont préconisées et pourront être réalisées à l'aide de moyens :

- manuels (canne à purger),
- et/ou mécaniques (coussin pneumatique, vérin écarteur hydraulique, voire localement BRH).

Les purges spécifiques nécessiteront une protection provisoire des enjeux, qui sera définie par l'entreprise en charge de la réalisation des travaux.

b) Grillages plaqués-ancrés

Ce type de protection concerne l'ensemble des falaises supérieures. Le but de la protection par grillage plaqué-ancré est double :

- maintenir les éléments rocheux en place grâce aux ancrages et aux câbles qui confinent les matériaux de surface,
- contrôler la chute des blocs en les freinant grâce à la relative déformabilité de la nappe grillagée, dans les zones où la nappe est laissée libre.

PHASAGE DES TRAVAUX DE POSE D'UNE NAPPE DE GRILLAGE :

- élagage des têtes des fronts rocheux, limité à l'emprise de la nappe (2 m en amont de la crête des fronts),
- réalisation des travaux éventuels devant être effectués avant la pose de la nappe de grillage (purges, etc.),
- exécution des ancrages d'amarrage de tête de nappe et mise en place du câble porteur environ 2 m en amont de la crête des fronts rocheux,
- exécution des ancrages de placage intermédiaires et mise en place des câbles verticaux, horizontaux ou obliques, selon spécification, avec fixation sur les ancrages par pontages ou boucles d'arrêt. Les câbles peuvent indifféremment être positionnés sur ou sous la nappe de grillage, moyennant une ligature sur chaque maille,
- mise en place de la nappe grillagée avec ligature maille à maille au niveau du câble porteur de tête après retournement et entre nappes voisines,
- ligature de la nappe sur les câbles de placage,
- réalisation des ancrages passifs, conformément aux spécifications, directement à travers les nappes de grillage pour une transformation locale en grillage plaqué-ancré,
- exécution des ancrages de placage de pied de nappe,
- mise en place des câbles horizontaux de pied de nappe en tronçons démontables permettant la purge éventuelle des poches susceptibles de s'être formées. Ces câbles seront fixés sur les ancrages de placage de pied, avec fixation sur les ancrages par pontages ou boucles d'arrêt.

PRODUITS UTILISÉS :

Les produits suivants sont recommandés :

- câbles porteurs de tête en acier galvanisé Ø15,7 mm à âme métallique (AM) pour limitation de la corrosion interne et pérennité du serrage des serre-câbles),
- ancrage de tête de nappe par barres HA Ø25 mm (cf. paragraphe ci-après relatif aux ancrages passifs), profondeur 2 m au rocher, scellées au ciment avec plaque de 200 mm x 200 mm x 10 mm et écrou. Espacement moyen entre ancrages : 2 m en projection sur un plan horizontal,
- ancrage de pied de nappe par barres HA Ø25 mm, profondeur 1,5 m, scellées au ciment avec plaque de 200 mm x 200 mm x 10 mm et écrou. Espacement moyen entre ancrages : 3 m en projection sur un plan horizontal, à réduire à 2 m si le pied de grillage est en hauteur par rapport au pied du front rocheux. L'espacement horizontal pourra être adapté, notamment en privilégiant une implantation dans les creux de relief,
- ancrage de placage par barres HA Ø25 mm, profondeur 1,5 m, scellées au ciment avec plaque de 200 mm x 200 mm x 10 mm et écrou,
- grillage double torsion à maille hexagonale 60 mm x 80 mm, fil Ø2,7 mm, avec protection anti-corrosion aluminé-zingué (alliage Al-Zn + mischmetal),
- ligature maille à maille par fil Ø2,7 mm de même nature que le grillage ou agrafes spécifiques,
- placage horizontal de pied de nappe et placages intermédiaires (verticaux ou obliques) par câbles en acier galvanisé AM Ø12 mm, démontables en tronçons de 12 m pour le pied de nappe,
- ligature de tous les câbles par serre-câbles de type A ou B au sens de la norme NF-EN 13411-5.

c) Filets plaqués-ancrés

Au niveau des falaises supérieures, des compartiments potentiellement instables plus fracturés et plus volumineux (compartiments G, I, W et peut-être F si nécessaire après purges dans ce dernier cas) devront être stabilisés par la mise en place de filets métalliques plaqués-ancrés destinés à prévenir des éboulements des éléments qui ne peuvent être ancrés directement, et à maintenir en place les éventuels matériaux éboulés.

PHASAGE DES TRAVAUX DE POSE D'UNE NAPPE DE FILET :

La pose d'un filet plaqué ancré se décompose selon les phases suivantes :

- positionnement du filet, avant réalisation des ancrages d'amarrage périphériques définitifs, avec une fixation provisoire à l'aide de chevilles expansives par exemple,
- exécution des ancrages de fixation du filet suivant spécifications, avec une implantation qui permettra un placage optimal, notamment en pied,
- amarrage du filet aux ancrages définitifs par boucles de câble reprises sur le câble périphérique (câble de rive du filet), ou directement par pontages, notamment pour les fermetures inférieures,
- mise en tension des amarres au tire-fort de 1 tonne,
- exécution à travers le filet des ancrages de placage du filet et/ou de confortement des masses, suivant spécifications, avec une implantation qui permettra un placage optimal.

PRODUITS UTILISÉS :

Les produits suivants sont recommandés :

- filet métallique type à anneaux 4 contacts. Anneaux Ø350 mm, torons Ø12 mm en fils répondant à la norme EN 10016.2 et galvanisés A au sens de la norme EN 10244-2. L'utilisation d'autres types de filets sera soumise préalablement à l'approbation du Maître d'Ouvrage ou de son représentant. Les modules de filets seront fabriqués aux dimensions spécifiées au dossier,
- câble de ceinture en acier galvanisé AM Ø16 mm,
- les liaisons de câbles se feront à l'aide de serre-câbles de type B au sens de la norme NF EN 13411-5. Le serrage sera effectué à la clé dynamométrique, selon les indications du fabricant. La qualité des serre-câbles et le respect des dispositions de mise en œuvre sont des critères fondamentaux pour assurer le bon fonctionnement et la pérennité de l'ouvrage,
- boucles de câble en acier galvanisé AM Ø12mm, ligaturées par serre-câbles. Les boucles de câble latérales et de pied du dispositif devront être les plus courtes possibles. Les boucles de tête seront adaptées en conséquence, et pourront être très longues (ancrages de tête en dehors de la zone potentiellement instable),
- câble en acier galvanisé AM Ø20 mm pour le pontage des amarrages courts de pied de filet, avec ligature par serre-câbles,
- ancrages : cf. paragraphe ci-après relatif aux ancrages passifs.

d) Ancrages passifs

Les ancrages seront de type haute adhérence (noté HA), de nuance B500B, avec des nervures qui constituent un filetage continu et qui permettent le tronçonnage direct des barres à la longueur voulue sur le chantier.

Les diamètres des barres seront : 25 mm et 32 mm (uniquement confortement du compartiment G pour le diamètre 32 mm).

Les profondeurs d'ancrage varieront de 1,50 m à 5 m. Les profondeurs de 1,50 m sont réservées aux ancrages d'amarrage et de placage intermédiaire du grillage.

Pour éviter la corrosion, les têtes de barres d'ancrage de type HA classiques et leurs écrous devront être protégés par un traitement antirouille agréé par le Maître d'Ouvrage ou son représentant, avant la mise en œuvre et sur une longueur minimale de 1,50 m. Après mise en place de la plaque et de l'écrou, une nouvelle couche de protection sera appliquée sur la tête d'ancrage. Les plaques de répartition seront galvanisées. En cas d'utilisation de plaques planes, les écrous devront être à rotule (hémisphériques).

Il est à noter que la profondeur des ancrages (notée prof.) correspond à la longueur de barre scellée dans la roche. La longueur totale de l'ancrage doit impérativement tenir compte, en plus, de la longueur nécessaire à la plaque et à l'écrou (environ 0,2 m), et de la longueur scellée hors rocher, dans la couverture éluviale pour les amarrages d'ouvrages par exemple.

La profondeur de scellement a été fixée par défaut à 70 fois le diamètre de la barre (70Ø). Des essais de convenance (un par diamètre de barre) pourront être réalisés afin de déterminer les longueurs minimales de scellement en fonction du produit utilisé. Si cette profondeur est inférieure ou égale à 70Ø, les longueurs de barres spécifiées au dossier seront conservées. Si la profondeur résultant des essais est supérieure à 70Ø, la longueur des barres sera augmentée de la valeur correspondante.

La foration des ancrages sera réalisée avec une inclinaison aval de 5 à 10° maximum par rapport à l'horizontale. Pour un même compartiment, les ancrages de confortement devront être rigoureusement parallèles, sous peine de non-additivité des forces d'ancrage. Afin de pouvoir respecter cette prescription importante, les forages devront être réalisés à l'aide de marteaux sur glissière et non pas manuellement. Le plongement des forages sera calé au clinomètre.

Les barres devront être scellées sur toute leur longueur au ciment (coulis de ciment à valider par un essai de convenance conforme à la norme en vigueur), en injection fond de trou par canules perforées (si besoin) uniquement sur le dernier mètre, avec centreurs (ou distanceurs), plaque et écrou. Le rôle des centreurs est primordial pour assurer un enrobage régulier et, par voie de conséquence, la passivation de l'acier par le ciment, malgré la prise en compte d'une épaisseur sacrificielle à la corrosion dans le dimensionnement.

Dans le cas où l'utilisation de gaines de scellement en géotextile serait rendue nécessaire par la présence de grandes fractures ouvertes, les scellements seront effectués avec du coulis de ciment, malaxage haute turbulence et pompe appropriée.

Le diamètre de foration des trous destinés aux ancrages sera dimensionné en fonction des prescriptions du fabricant, et en fonction du type de centreur utilisé. L'espace annulaire ne devra pas être inférieur à 15 mm pour les barres de 25 mm de diamètre et 20 mm pour les barres de diamètre supérieur.

Le scellement à la résine est proscrit en raison d'une utilisation très délicate (problèmes de remplissage).

Dans le cas de plusieurs traitements différents sur un même compartiment, les ancrages passifs seront toujours à effectuer en dernier lieu. D'autre part, afin de limiter le risque d'accident, le scellement des ancrages devra autant que possible s'effectuer au fur et à mesure de leur exécution.

SYSTÈME DE PEINTURE ANTICORROSION :

- choix d'une plaque et d'un écrou galvanisés,
- choix d'un système de peinture anticorrosion composé d'au moins 2 couches :
 - primaire de type résine riche en zinc métal (> 90 % dans le film sec), compatible avec la galvanisation de l'écrou, applicable à la brosse (afin d'obtenir une plus grande épaisseur sur les petites surfaces concernées),
 - couche de finition anti-UV,
- mise en oeuvre :
 - première couche de primaire sur l'extrémité libre de la barre métallique,
 - mise en place de la plaque et serrage de l'écrou,
- couche de primaire sur l'écrou et retouches sur l'extrémité de la barre au-dessus de l'écrou (sur les zones endommagées par le passage de la plaque et de l'écrou),
- couche de finition sur l'écrou et sur l'extrémité de la barre au-dessus de l'écrou.

e) Contreforts en béton armé ou maçonnerés

Plusieurs compartiments rocheux dans les propriétés situées aux n°9, n°17, n°41 et n°47 de la rue principale seront stabilisés par blocage de leur base. Pour cela, des contreforts seront réalisés en béton armé, projeté ou coffré, ou en maçonnerie au choix de l'entreprise en charge de la réalisation des travaux. Ces contreforts seront de plus ancrés au rocher.

Les fondations seront adaptées à la nature du terrain. La couverture terreuse et les éventuels éboulis seront décaissés jusqu'à la roche sous-jacente ou sur un mètre de profondeur au minimum si la roche n'est pas rencontrée.

Les ouvrages en béton armé seront réalisés soit par coulage du béton dans un coffrage, soit par projection de béton en couches successives. La résistance du béton à la compression sur éprouvette circulaire à 28 jours sera de 30 MPa au minimum (classe C30/37 selon la norme NF EN 206-1).

Le ferrailage des contreforts en béton sera dimensionné dans le cadre de l'étude d'exécution à réaliser par l'entreprise, en fonction des efforts verticaux et tangentiels à reprendre (déterminés à partir des volumes des compartiments à reprendre présentés en annexe). Il ne pourra en aucun cas être inférieur à 20 kg/m³.

Dans le cas de la propriété située au n°41 de la rue principale, les contreforts seront ancrés pour l'un à l'aide de 3 crayons de diamètre 16 mm et pour l'autre à l'aide d'ancrages passifs inclinés (barres HA de nuance B500B de diamètre égal à 25 mm). Le dimensionnement des ancrages sera vérifié dans le cadre de l'étude d'exécution à réaliser par l'entreprise.

4.3 - Gestion et surveillance des ouvrages de protection

La gestion et la surveillance d'un ouvrage d'art relève de la responsabilité du maître d'ouvrage qui doit établir dans cet objectif un référentiel technique. Pour les services de l'État (réseau routier national non concédé), ce référentiel est l'Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art version 2010, diffusée par le Cerema (anciennement SETRA). Les autres maîtres d'ouvrages peuvent s'inspirer de l'ITSEOA pour construire leur propre référentiel.

Les Ouvrages de Protection contre les Risques Rocheux (OPRR) étaient intégrés dans l'ITSEOA version 1979 (fascicule 53). Dans l'ITSEOA version 2010, seuls sont considérés comme ouvrages d'art relevant de l'ITSEOA les galeries pare-blocs et les écrans de filets. Pour les autres OPRR, les maîtres d'ouvrage peuvent s'inspirer de l'ITSEOA. Le fascicule 2 de l'ITSEOA version 2010 présente les généralités concernant la surveillance des ouvrages d'art sous forme d'obligations pour le maître d'ouvrage :

- un ouvrage d'art doit faire l'objet d'un contrôle annuel (page 11),
- un ouvrage d'art doit faire l'objet de visites d'évaluation type IQOA (Image Qualité des Ouvrages d'Art) tous les trois ans (page 12). Une visite d'évaluation consiste en un examen visuel portant sur l'état apparent de l'ouvrage d'art,
- un ouvrage d'art doit faire l'objet d'une inspection périodique détaillée (page 14) tous les six ans au plus. Une inspection détaillée consiste en un bilan complet de l'ouvrage d'art.

En synthèse, les maîtres d'ouvrage des OPRR réalisés à Bouillonville (mairie, particuliers) doivent établir leur propre référentiel technique. Compte-tenu des textes actuellement en vigueur et du contexte du site, seule une inspection détaillée périodique tous les six ans sans visite intermédiaire (contrôle annuel ou visite d'évaluation) est recommandée par le Cerema. Les inspections détaillées périodiques doivent déboucher sur la rédaction d'une fiche par ouvrage avec une note décrivant l'aptitude de l'ouvrage à assurer ses fonctions de protection et l'importance des éventuels travaux de maintenance et de remise à niveau nécessaires.

5 - Conclusion

L'étude spécifique de protection contre les risques d'éboulements rocheux au niveau des propriétés situées entre le n°7 et le n°55 de la rue principale (RD28, côté nord) a mis en évidence des instabilités potentielles liées à la nature et à la structure du massif rocheux sus-jacent.

Les mesures de protection qui peuvent être mises en œuvre se traduisent :

- par des purges ponctuelles, spécifiques ou non,
- par des confortements ponctuels à l'aide d'ancrages passifs et de contreforts en béton ou maçonneries,
- par des protections surfaciques par grillages plaqués-ancrés et filets plaqués-ancrés.

Certains ouvrages ont été réalisés par la mairie de Bouillonville au printemps 2021.

Ces protections ont été pré-implantées sur planches photographiques, quantifiées, et priorisées (voir annexes A à D).

Les principales préconisations techniques nécessaires à la réalisation de ces ouvrages ont également été détaillées.

Rédigé, le 04/10/2021

Les chargés d'affaire

signé

Mathieu Mlynarski et Laurent Dubois

Vu et approuvé, le 12/10/2021

Le chef du groupe Risques Naturels

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end.

Fabrice Rojat

Annexes

Annexe A - Tableau récapitulatif des travaux de protection pour les falaises inférieures

Annexe B - Planches des travaux de protection pour les falaises inférieures

Annexe C - Tableau récapitulatif des travaux de protection pour les falaises supérieures

Annexe D - Planches des travaux de protection pour les falaises supérieures



Cerema Centre-Est

Département risques, infrastructures et matériaux - 25, avenue François Mitterrand - CS 92803 - 69674 BRON CEDEX - +33 (0)4 72 14 33 00
Siège social : Cité des mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30
Établissement public - Siret 130 018 310 00099 - TVA Intracommunautaire : FR 94 130018310

www.cerema.fr