

STABILISATION DES PAROIS ROCHEUSES LE LONG DES ROUTES EN WALLONIE

	<p>FUNCKEN Luc Ingénieur civil des Mines S.P.W. Mobilité Infrastructures, Direction de la Géotechnique Adresse : Rue Côte d'Or, 253 à 4000 LIEGE Tél. : 0475/75.48.02 Email : luc.funcken@spw.wallonie.be</p>
---	--

<p>DELVOIE Simon Géologue S.P.W. Mobilité Infrastructures, Direction de la Géotechnique Adresse : Rue Côte d'Or, 253 à 4000 LIEGE Tél. : 0479/86.73.10 Email : simon.delvoie@spw.wallonie.be</p>	
---	--

Résumé :

1. La problématique des effondrements de rochers

Le réseau routier de Wallonie est fréquemment confronté à la problématique de chutes de blocs rocheux. Ces effondrements se produisent principalement le long des routes localisées dans les vallées (Figures 1 et 2).



Figure 1. Effondrements rocheux survenus en 2017 sur la N96 à Anhée.



Figure 2. Effondrements rocheux survenus en 2008 sur la N647 à Lustin.

D'anciens dispositifs de confortements sont régulièrement observés lors d'inspections de rochers réalisées par la Direction de la Géotechnique. La plupart du temps, ces dispositifs sont trop légers, vétustes et endommagés (Figures 3 et 4).



Figure 3. Anciennes barres d'ancrage sur les Rochers de Frêne, le long de la N647 à Lustin.



Figure 4. Anciennes plaques métalliques fixées par des ancrages verticaux, le long de la N947 à Godinne.

Les dispositifs de confortements classiquement utilisés en Wallonie sont :

- des grillages pendants, habituellement ancrés dans le massif rocheux en tête et en pied, dont le rôle est de guider les blocs rocheux instables au pied du grillage ;



Figure 5. Grillage double torsion posé sur la paroi de Thon (Andenne)

- des grillages ou filets plaqués et ancrés dans le massif rocheux par un réseau d'ancrages ponctuels, dont le rôle est de maintenir en place les blocs rocheux instables ;



Figure 6. Filet plaqué et ancré.



Figure 7. Filet plaqué et ancré.

- des écrans pare-blocs constitués de filets relativement déformables, fixés à une série de poutres métalliques ancrées dans le massif rocheux, elles-mêmes reliées à plusieurs câbles métalliques de haubanage également ancrés dans la roche. Ces écrans pare-blocs sont dimensionnés pour intercepter des blocs ayant une énergie cinétique prédéfinie ;



Figure 8. Filet pare-blocs dimensionné pour résister à une énergie de 3.000 kJ et merlon de gabions (partie centrale de la figure) posés le long de la N90 à Thon (Andenne).

- des merlons de gabions jouant le rôle d'écrans pare-blocs plus rigides ;
- des ancrages passifs ponctuels dont la résistance dépend essentiellement de leurs caractéristiques mécaniques en cisaillement. Ces ancrages servent à stabiliser des blocs rocheux de grandes dimensions (plurimétriques) et des strates rocheuses instables ;



Figure 9. Ancrages passifs ponctuels le long de la N90 à Thon (Andenne).

- des écrans défecteurs constitués d'un grillage ou d'un filet fixé dans sa partie supérieure à une série de poutres verticales métalliques ancrées dans le massif rocheux. Ces poteaux sont eux-mêmes reliés à un système de câbles d'haubanage également fixés dans la roche. La partie inférieure du grillage ou du filet est ancrée dans le massif rocheux. Avec ce dispositif de confortement, les blocs instables venant de plus haut, sont d'abord interceptés dans la partie haute du grillage ou du filet, puis guidés au pied de celui-ci.

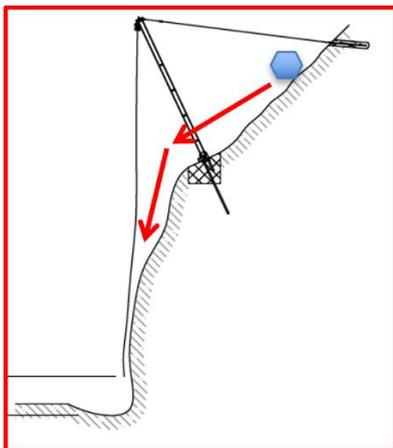


Figure 10. Coupe schématique transversale d'un écran défecteur.



Figure 11. Écran défecteur posé en Suisse.

2. Évolution dans la recherche des solutions : projet CLADAROC

Jusqu'à présent, les solutions étaient souvent prises au cas par cas et les interventions de la Direction de la Géotechnique sont réalisées de manière ponctuelle à la demande des Directions territoriales. Le S.P.W. a pris en considération la problématique de chutes de rochers de manière globale en mettant au point une procédure d'inventaire, de classement automatique et de priorisation des parois rocheuses localisées en bordure des routes régionales. Cette procédure est définie et appliquée dans le cadre du projet CLADAROC.

Un facteur de dangerosité est calculé sur base de 4 critères géométriques pondérés différemment dans une formule empirique :

- la distance entre le bord de la route et le pied de versant ;
- la « pente locale » maximum dans le versant ;
- la « pente moyenne » du versant ;
- la hauteur du versant.

Le projet CLADAROC entre dans sa phase finale. Des travaux d'optimisation du temps de calcul sont en cours en raison des volumes importants de données à traiter. Les résultats devront par la suite être incorporés dans la banque de données du S.P.W. Une série de contrôles sur site devront également être réalisés afin de valider les résultats.

Un fichier partagé devra être créé entre les Directions Territoriales et la Direction de la Géotechnique. Ce fichier reprendra, sur base d'un levé précis des bornes kilométriques, les informations suivantes :

- les chutes récurrentes de blocs rocheux ;
- les coulées de boue et/ou arrivées d'eau ;
- les dispositifs de confortement existants ;
- le relevé des accidents suite aux chutes de blocs rocheux.

À titre d'exemple, le relevé de la fréquence des chutes de blocs en fonction des bornes kilométriques (BK), permet de cerner les zones à risques.

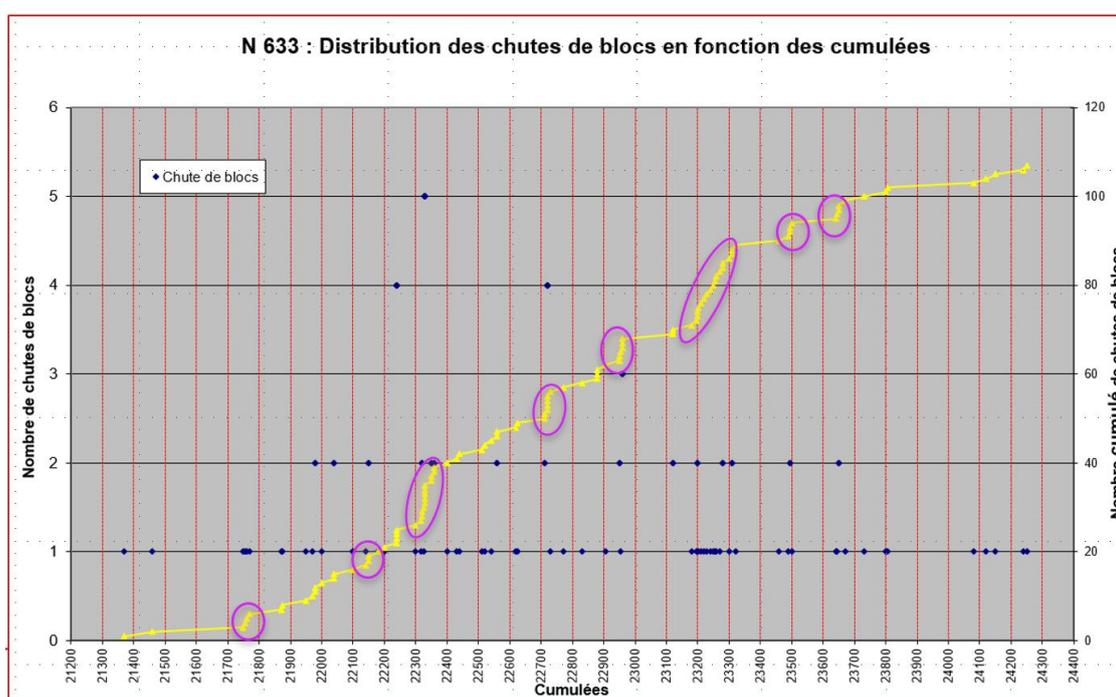


Figure 12. Distribution des chutes de blocs en fonction des cumulées.

3. Études de cas concrets

3.1. Confortements sur la N633 à Esneux

Les informations des Directions Territoriales permettent de cerner des zones à risques. À Esneux, sur la N633, en rive gauche de l'Ourthe, diverses interventions ont été réalisées, menant à plusieurs types de confortements appropriés.



Figure 13. Effondrement d'une strate rocheuse : Filet plaqué ancré.



Figure 14. Chutes de blocs venant du versant : Ecran pare-blocs 50 kJ.

En contre-haut de la N633, un éperon rocheux décamétrique, résiduel d'une ancienne carrière, présentait un degré de stabilité inquiétant. Une fissure ouverte a été instrumentée et le suivi topographique réalisé a permis de démontrer l'absence de mouvement. Un écran déflecteur sera installé en contre-bas pour se prémunir de blocs instables issus du versant.



Figure 15. Eperon rocheux en contre-haut de la N633.



Figure 16. Fissure instrumentée.

3.2. Stabilisation des Rochers de Frêne sur la N647 à Lustin

3.2.1. Introduction

Les Rochers de Frêne se situent en rive droite de la Meuse, le long de la N647 à Lustin. Ils représentent un massif rocheux d'une hauteur variant entre 30 et 65 m et d'une longueur de près de 170 m.

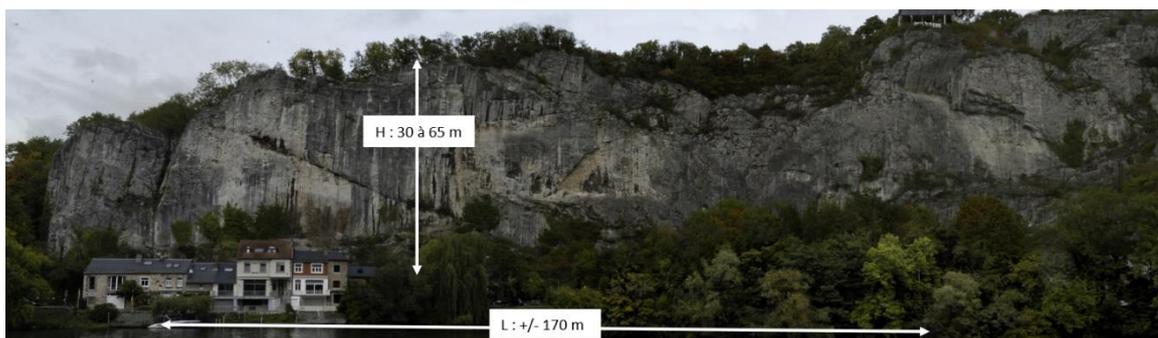


Figure 17. Vue générale des Rochers de Frêne situés en bordure de la N647 à Lustin.

D'un point de vue géologique, les Rochers de Frêne sont constitués de calcaires stratifiés et massifs appartenant à la Formation de Lustin (LUS, Frasnien, Dévonien supérieur, PALÉOZOÏQUE). La carte des thématiques du sous-sol wallon renseigne la présence de nombreux phénomènes karstiques (cavités, réseaux karstiques, résurgences) au droit du site.

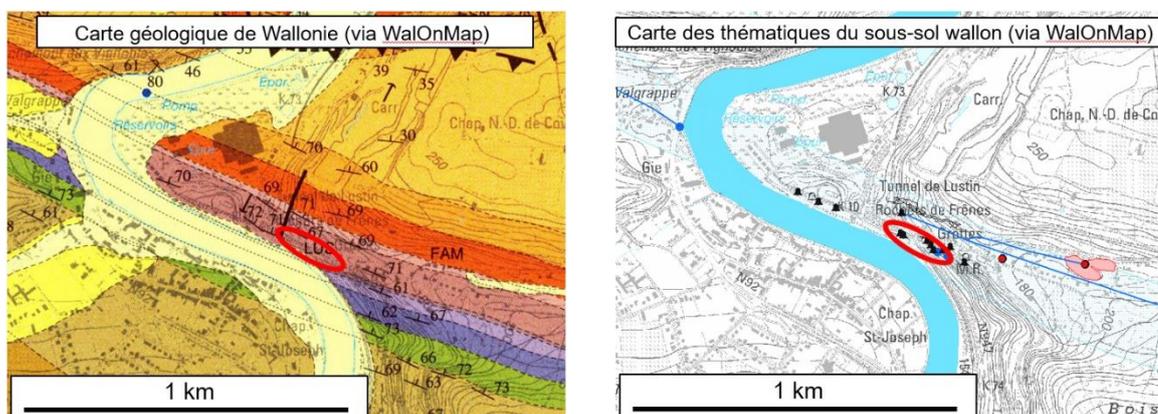


Figure 18 . À gauche, extrait de la carte géologique de Wallonie. À droite, un extrait de la carte des thématiques du sous-sol de Wallonie. Ces données sont issues du Géoportail de Wallonie (WalOnMap). Les Rochers de Frêne sont localisés au droit de l'ellipse.

Des chutes de masses rocheuses sur la N647 ont fréquemment lieu. L'événement le plus spectaculaire de ces 20 dernières années s'est produit en 2008, au cours duquel une importante strate rocheuse de plusieurs dizaines de m³ s'est déstabilisée de la paroi, condamnant ce tronçon de route pendant plusieurs jours.

Plus récemment, début 2018, plusieurs blocs rocheux décimétriques à pluridécimétriques se sont désolidarisés de la paroi et se sont immobilisés sur la route en contrebas.



Figure 19. Effondrement d'une strate rocheuse sur la N647 en 2008.



Figure 20. Chutes de blocs rocheux sur la N647 en 2018.

3.2.2. Travaux de confortement réalisés par le S.P.W.

Les différents événements de chutes de masses rocheuses rencontrés sur la N647, au droit des Rochers de Frêne, a fait réagir la Direction Territoriale concernée, sollicitant récemment l'expertise de la Direction de la Géotechnique. Cette dernière est intervenue sur place dans le courant de l'année 2018 afin d'évaluer la problématique et de proposer les moyens de confortements adéquats pour réduire le risque de projections de blocs rocheux sur la N647. Certains travaux de confortement ont été réalisés en 2019 et d'autres travaux devront encore être réalisés par la suite. Des études à ce sujet sont actuellement toujours en cours au sein de la Direction de la Géotechnique.

Les travaux de confortement des Rochers de Frêne se décomposent en trois phases.

La figure 21 indique la localisation des parties de la paroi ayant fait l'objet de confortement, ainsi que la chronologie des travaux.

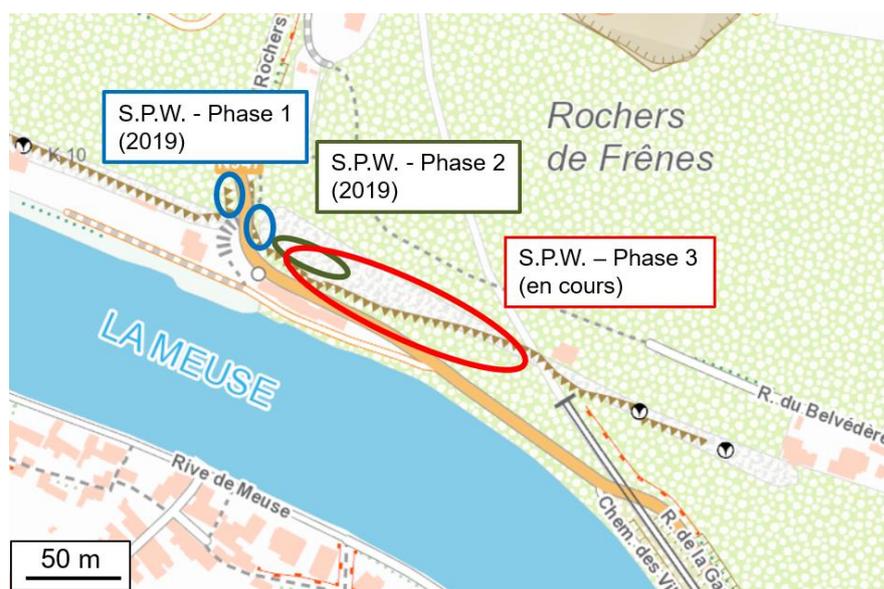


Figure 21. Phasage des travaux de confortement des Rochers de Frêne le long de la N647 à Lustin. Fond de plan IGN.

Phase 1 :

Inspection du massif rocheux les 8 mars et 30 mai 2018.
Travaux de confortement entre mai et juillet 2019.

Les travaux de confortement relatifs à la phase 1 concernent la partie avale des Rochers de Frêne. À cet endroit, la N647 s'écarte de la rive droite de la Meuse et est bordée à gauche et à droite par une paroi rocheuse. Les travaux comprennent :

- la stabilisation d'une importante strate rocheuse par des ancrages passifs ;
- la pose d'un filet plaqué et ancré dans le massif rocheux ;
- la pose d'un grillage pendant.

Phase 2 :

Inspection du massif rocheux les 19 décembre 2018 et 22 janvier 2019.
Travaux de confortement entre mai et juillet 2019.

La phase 2 des travaux concerne la partie sommitale des Rochers de Frêne. Les observations réalisées renseignent la présence d'un massif rocheux très fracturé, ainsi que d'anciens dispositifs de confortement relativement précaires. Des habitations sont également présentes en contrebas de la paroi rocheuse.



Figure 22. Anciens dispositifs de confortement (barres d'ancrage) observés sur la partie sommitale des Rochers de Frêne.



Figure 23. Partie sommitale des Rochers de Frêne très fracturée.

Un filet plaqué et ancré dans le massif rocheux a été préconisé dans cette zone de la paroi, afin de maintenir en place les blocs rocheux instables. Vu la difficulté d'accès au sommet de la paroi, le matériel de confortement a été acheminé par hélicoptage.



Figure 24. Pose d'un filet plaqué et ancré dans le massif rocheux.



Figure 25. Acheminement du matériel de confortement par hélicoptage.

Phase 3 :

Inspection du massif rocheux les 2 et 3 octobre 2019.

Étude toujours en cours au sein de la Direction de la Géotechnique.

La phase 3 du confortement des Rochers de Frêne est toujours en cours d'étude par la Direction de la Géotechnique. Cette phase représente une superficie de paroi à analyser de près de 8.500 m², nettement plus élevée que celles précédemment investiguées lors des phases 1 et 2.

L'inspection de cette section de la paroi a nécessité l'intervention simultanée de 4 équipes réparties comme suit :

- une équipe effectuant les descentes en rappel sur la paroi afin d'observer et d'évaluer au mieux les risques d'instabilités de masses rocheuses ;
- une équipe située sur l'autre rive de la Meuse pour bénéficier d'une vue générale de la paroi rocheuse à inspecter. Son rôle consiste en la prise de notes des observations communiquées par l'équipe en rappel, la prise de photographies et le guidage de l'équipe en rappel vers les endroits de la paroi à inspecter ;
- une équipe au pied de la paroi servant à la sécurisation du trafic routier sur la N647 ;
- une équipe en tête de la paroi servant de soutien logistique à l'équipe réalisant les descentes en rappel.

Une communication permanente entre les différentes équipes impliquées a été assurée par transmission radio.

Les observations ont permis de réaliser un zonage de la paroi rocheuse. La problématique d'instabilités de masses rocheuses est considérée comme étant identique au sein d'une même zone définie. Ainsi, 17 zones sont définies sur l'ensemble de la superficie de la paroi investiguée. Pour se prémunir de projections de blocs rocheux sur la route en contrebas, 5 catégories (ou types) de confortement sont proposées.

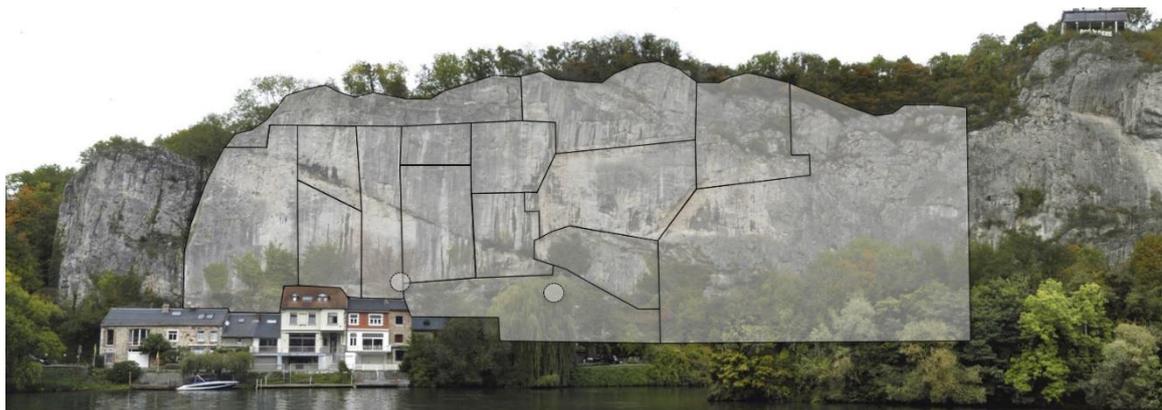


Figure 26. Zonage de la paroi rocheuse en 17 zones distinctes (phase 3).

La catégorie 1 concerne des zones présentant des blocs rocheux instables d'une masse maximale relativement limitée, correspondant à des blocs pluridécimétriques. Ces zones pourront être confortées au moyen d'un grillage pendant.

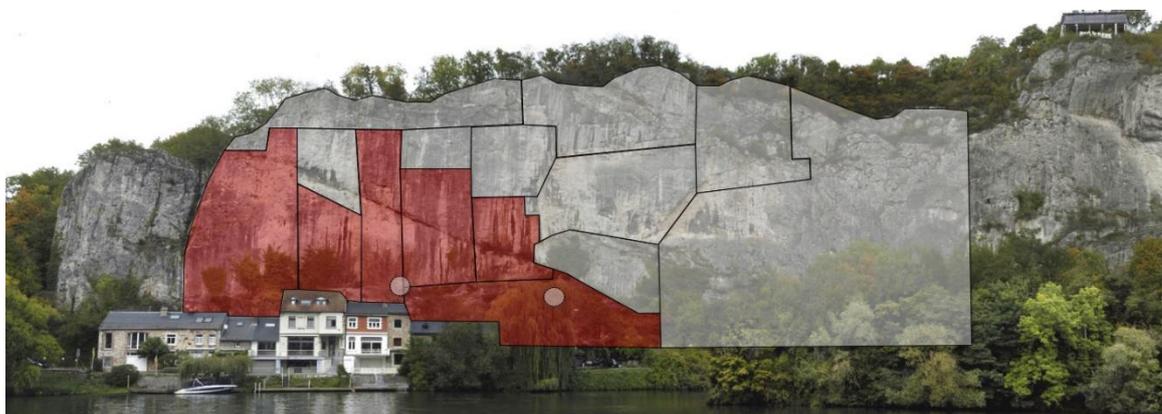


Figure 27. Zones concernées par le confortement de catégorie 1 (grillage pendant).

La catégorie 2 nécessite la pose d'un filet plaqué et ancré dans le massif rocheux, de résistance intermédiaire.

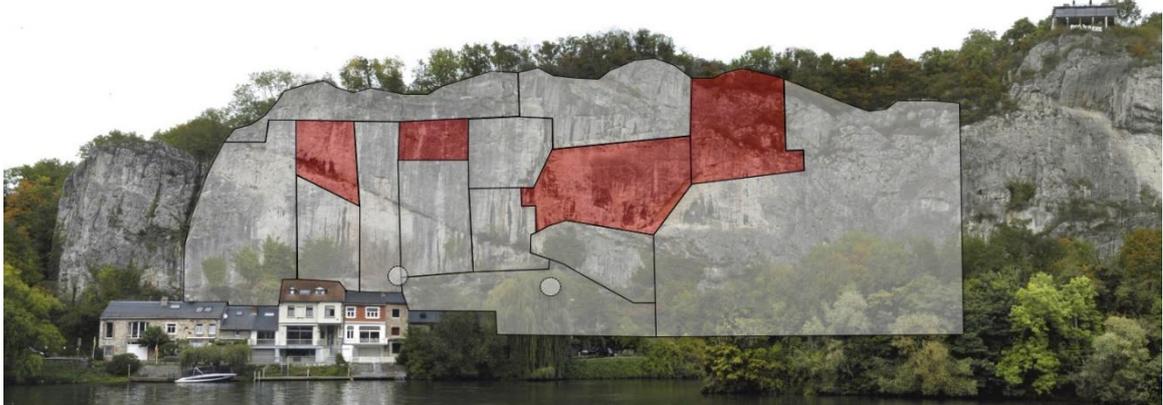


Figure 28. Zones concernées par le confortement de catégorie 2 (filet plaqué et ancré de résistance intermédiaire).

En raison de la taille importante de certains blocs rocheux, potentiellement instables, les zones situées dans la catégorie 3 devront être confortées au moyen d'un filet plaqué et ancré dans le massif rocheux, de résistance élevée. En outre, une strate rocheuse d'une masse estimée à près de 1.000 tonnes devra être ancrée dans le massif rocheux.

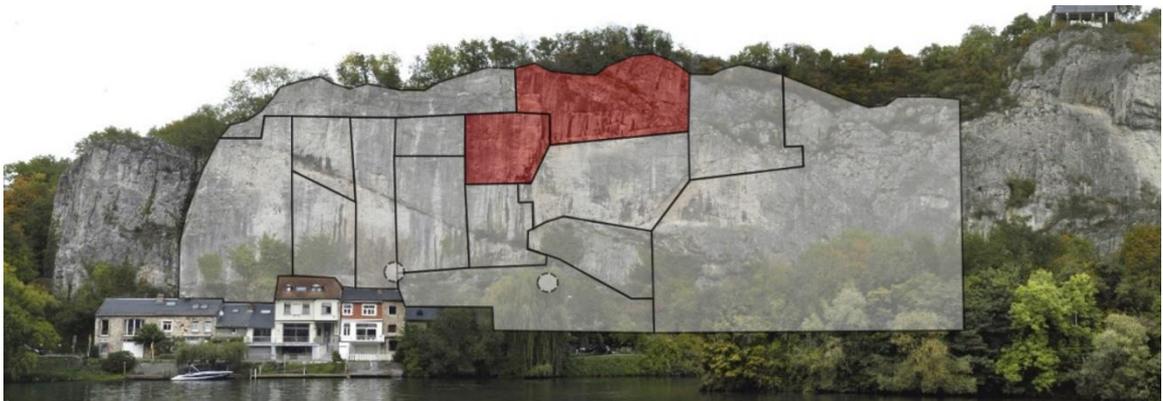


Figure 29. Zones concernées par le confortement de catégorie 3 (filet plaqué et ancré de résistance élevée).



Figure 30. Importante strate rocheuse instable, d'une masse estimée à 1.000 tonnes.

La partie amont de la paroi investiguée s'éloigne de la N647, laissant une place suffisante pour la pose d'un écran pare-blocs sur le versant en pied de la paroi. Cette zone est reprise dans la catégorie 4 des types de confortement à appliquer sur la paroi.

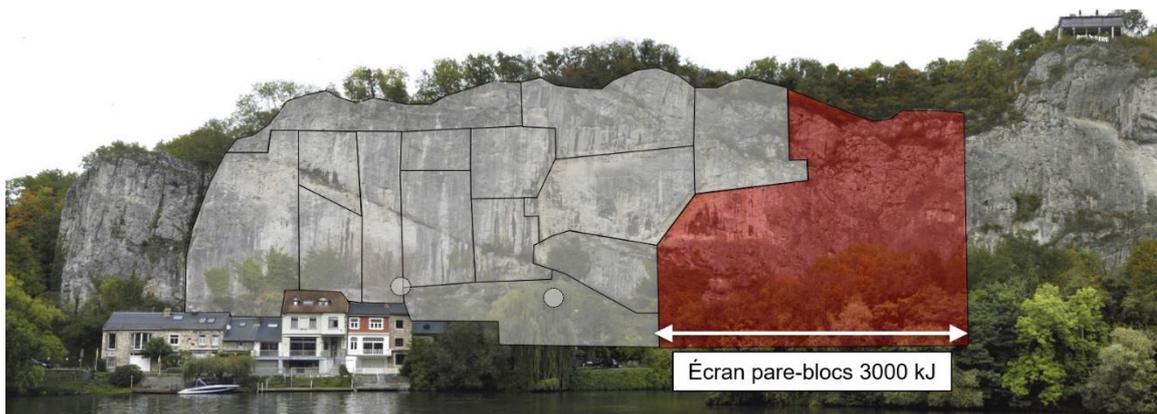


Figure 31. Zone concernée par la pose d'un écran pare-blocs (catégorie 4).

Deux blocs rocheux de près d'1 m³ chacun, reposent en contre-haut de la N647, au pied de la partie verticale de la paroi. L'un de ces blocs devra être ancré sur place et l'autre devra être évacué. Ils font l'objet de la catégorie 5.

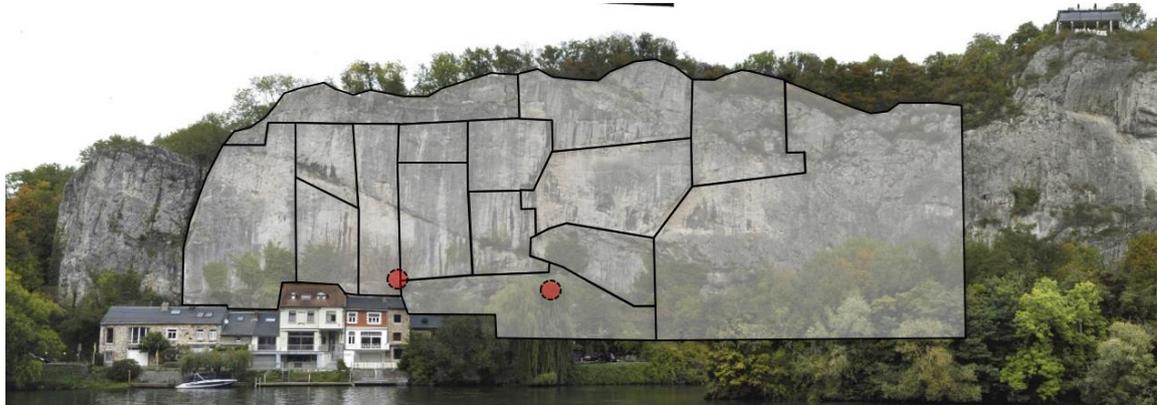


Figure 32. Présence de deux blocs rocheux métriques en contre-haut de la N647.

Par ailleurs, différents niveaux de priorité d'intervention ont été définis sur base des critères suivants :

- la présence ou l'absence d'habitations en contrebas ;
- l'estimation de l'énergie potentielle des blocs rocheux instables lors de l'impact sur les infrastructures en contrebas ;
- la distance entre le pied de la paroi et la N647.

Trois niveaux de priorité ont ainsi été définis ; le niveau de priorité 1 étant supérieur aux niveaux de priorité 2 et 3. Chacun de ces niveaux de priorité est également subdivisé en deux catégories (a et b) pour prendre en compte la présence d'habitations en contrebas. Dans cette logique, le niveau de priorité 1a (avec présence d'habitation en contrebas) est plus grand que le niveau de priorité 1b (absence d'habitation en contrebas).



	Présence d'habitations (a)	Absence d'habitations (b)
Priorité 1		
Priorité 2		
Priorité 3		

Figure 33. Attribution d'un niveau de priorité à chacune des zones de la paroi investiguée.

4. Conclusions

Le S.P.W. prend en considération la problématique de chutes de masses rocheuses le long du réseau routier régional. Dans ce cadre, la Direction de la Géotechnique est de plus en plus sollicitée par les Directions Territoriales concernées, pour la réalisation d'inspections de rochers et pour la proposition de solutions. Les moyens de confortement proposés sont définis sur base de la problématique locale et visent à minimiser le risque de projections de masses rocheuses sur le réseau routier à un niveau acceptable, dans un budget raisonnable.

Cette problématique est également prise en compte dans sa globalité. Dans cette optique, le S.P.W. investit également dans un outil d'aide à la décision, afin d'identifier les parois rocheuses considérées comme les plus à risque le long du réseau routier régional (projet CLADAROC). Une collaboration étroite entre les Directions Territoriales et la Direction de la Géotechnique sera également nécessaire pour mener à bien ce projet.