

RECENTS DEVELOPPEMENTS DANS LA GESTION DU RISQUE ROCHEUX LE LONG DES ROUTES EN WALLONIE



DELVOIE Simon

Géologue

SPW MI - Direction de la Géotechnique

Rue côte d'or 253, 4000 LIEGE

Tél. : +32 479 86 73 10

Email : simon.delvoie@spw.wallonie.be



MARRA Joseph

GDTech, Ingénieur Civil des Constructions

Business Development

Avenue de l'expansion 7, 4432 Alleur

Tél. : +32 479 43 04 59

Email : joseph.marra@gdtech.eu

Résumé :

Le réseau routier wallon est, de manière récurrente, confronté à la problématique d'instabilités rocheuses (Figure 1 et Figure 2).

Figure 1. Éboulement rocheux survenu en septembre 2023 à Huy (N641).



Figure 2. Éboulement rocheux survenu en mars 2020 sur la N623 à Ouffet



Le SPW Mobilité et Infrastructures (SPW MI) a décidé d'accroître sa vigilance vis-à-vis de cette problématique. La Direction de la Géotechnique (DGéo) est de plus en plus fréquemment sollicitée par les Directions Territoriales (DT) dans le cas d'instabilités rocheuses. Dans ce contexte, la DGéo réalise les études nécessaires à la compréhension de la problématique et propose les solutions adéquates, en fonction des exigences des DT. C'est ainsi que la DGéo a réalisé près d'une cinquantaine d'études et avis techniques en lien avec les instabilités rocheuses au cours des 5 dernières années.

La gestion du risque rocheux passe notamment par le développement d'outils d'aide à la décision, par la gestion des actifs (parois rocheuses et ouvrages de sécurisation) et par une meilleure connaissance du comportement des ouvrages sollicités par un impact de rocher.

I. Gestion des actifs « parois rocheuses » : projet CLADAROC :

Le SPW-MI prend en considération la problématique de chutes de rochers de manière régionale 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 (CLAssement de DAngerosité des parois ROcheuses). Les développements relatifs à ce projet sont réalisés par la Cellule Télédétection et Géodonnées de l'ISSEP, supervisés par la DGéo, avec le soutien technique de la Direction des Risques géologiques, industriels et miniers (SPW ARNE) et du SPW Digital.

Une valeur de l'aléa de projection de masses rocheuses sur la route (aléa rocheux) est déterminée à partir de 6 paramètres géométriques caractérisant le versant, le long de profils topographiques de 200 m de longueur, répartis tous les 10 m de chaque côté de la route (**Figure 3**). Les 6 paramètres considérés sont :

- F1a et F1d : la présence d'une pente locale maximale, pouvant être à l'origine des blocs rocheux instables. F1a représente l'**angle de la pente locale maximale** et F1d correspond à la distance entre la pente locale maximale et le pied du versant ;
- F2 : l'**angle « moyen » de la pente**, déterminé à partir du pied du versant ;
- F3 : la **hauteur totale** du versant ;
- F4 : la **distance horizontale** entre le bord de route et le pied du versant ;
- F5 : l'**angle de la ligne d'énergie** utilisé pour déterminer la zone pouvant être impactée par les instabilités rocheuses. Cet angle est déterminé à partir du bord de route. Sur base de données de la littérature, il est relativement sécuritaire de considérer la valeur limite de 25° pour cet angle. Ceci signifie que pour des valeurs inférieures à 25° , le risque de projections de masses rocheuses sur la route peut être considéré comme nul.

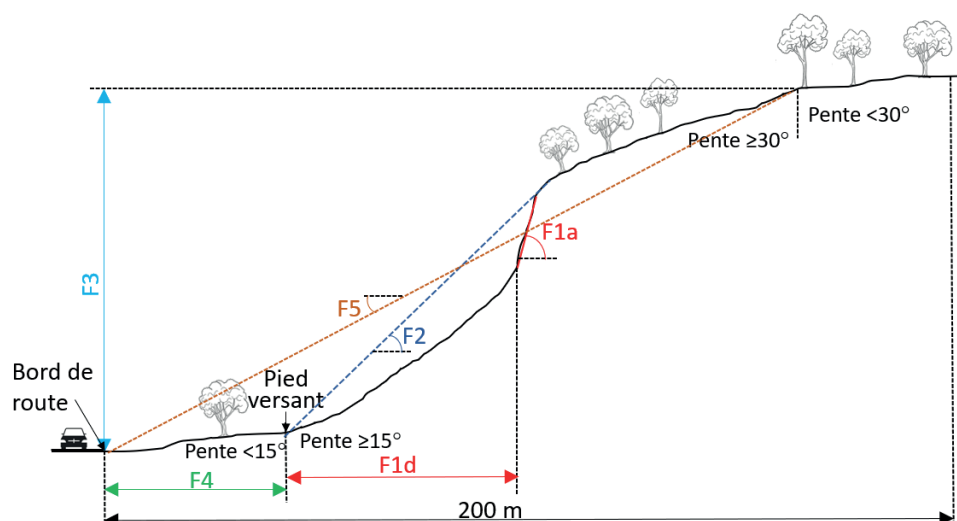


Figure 3. Schéma illustrant les différents paramètres géométriques utilisés dans le calcul de l'aléa rocheux.

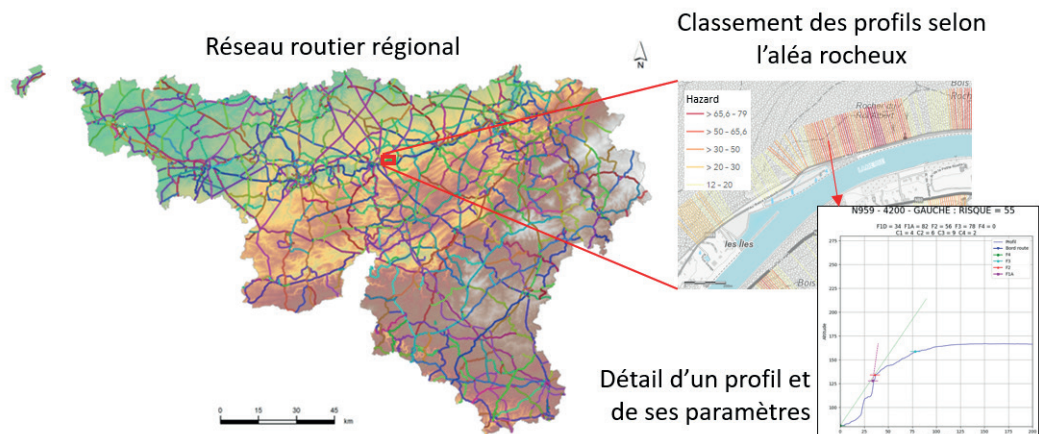
Au final, l'aléa rocheux (R) est déterminé comme suit :

$$R = \begin{cases} \frac{(F1a.F1d)/3 + 2.F2 + F3}{F4}, & F5 \geq 25 \\ 0, & F5 < 25 \end{cases}$$

Les résultats sont accessibles sur un portail cartographique (**Figure 4**), également visualisable sur le terrain via une application sur tablette ou smartphone. L'aléa rocheux peut être arbitrairement classé en 3 catégories sur base des valeurs calculées :

- R ∈ [12 ; 30] : aléa faible ;
- R ∈]30 ; 50] : aléa modéré ;
- R ∈]50 ; 74] : aléa élevé ;

Figure 4. Illustration de la visualisation cartographique de l'aléa rocheux et de ses paramètres



D'après les résultats obtenus, le réseau routier régional se compose notamment d'environ 9,3 km cumulés caractérisés par un aléa rocheux élevé (R>50) (**Figure 5a**). Certaines de ces routes ont déjà fait l'objet de travaux de sécurisation.

Une manière de valider les valeurs d'aléa rocheux calculés est de les comparer avec des événements connus de chutes de rochers ayant atteint la route. Un total de 37 événements bien documentés a été utilisé, survenus entre 1988 et 2023 et répartis sur l'ensemble de la Wallonie (**Figure 5b**). En toute logique, ces chutes de rochers devraient se produire préférentiellement aux endroits caractérisés par un aléa rocheux élevé. Cette hypothèse est confirmée à la suite de cette analyse. Les résultats sont présentés à la **Figure 5c**.

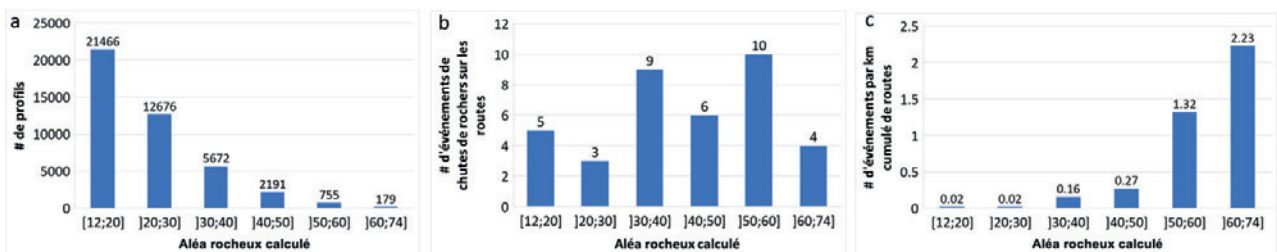


Figure 5. Résultats de l'aléa rocheux calculé. (a) nombre de profils ; (b) nombre d'événements de chutes de rochers sur les routes ; (c) nombre d'événements de chutes de rochers par kilomètre cumulé de routes.

De futurs développements envisagés afin d'approcher encore plus l'aléa rocheux calculé aux réalités du terrain, sont la prise en compte de caractéristiques relatives au massif rocheux (fracturation, stratification, surplomb). Ces informations peuvent être recueillies sur le terrain et au moyen de données géologiques existantes.

II. Sollicitation de barrières de sécurité routière à des impacts de rochers :

Les barrières de sécurité routière sont conçues et dimensionnées pour contenir des véhicules sur la route et minimiser les dégâts corporels des usagers en cas d'accident. En Europe, elles sont développées et testées selon la norme EN 1317. Il existe classiquement deux principales catégories de barrières : barrières métalliques et barrières en béton.

Ce second projet a pour objectif d'investiguer plusieurs modèles de barrières de sécurité routière couramment placées le long du réseau routier régional et d'évaluer leur résistance face à un impact de rocher venant d'un versant rocheux tel qu'il en existe en de nombreux endroits en Wallonie, le long de routes de vallées encaissées. Dans de nombreux cas, ces barrières peuvent en effet réduire significativement le risque de projection de masses rocheuses sur les routes. Leur application en tant qu'écran pare-blocs s'adresse plus spécifiquement aux situations où le phénomène de rebond du bloc rocheux durant sa chute est limité, et pour des énergies d'impact relativement faibles, allant jusqu'à quelques dizaines de kJ au maximum (**Figure 6** et **Figure 7**). Cette étude est réalisée par le Crash and Dynamics Department de GDTech S.A., supervisée par la DGéo, en collaboration avec la Direction des Techniques routières (SPW MI).



Figure 6. Dispositif de retenue en béton le long de la N4e à Martelange.



Figure 7. Dispositif de retenue en acier le long de la N971 à Denée, impacté par un rocher en 2023.

Dans le cadre de cette étude, le comportement des barrières vis-à-vis d'un impact de rocher venant de derrière est analysé numériquement par la méthode des éléments finis. Le bloc rocheux impactant est modélisé avec une géométrie définie dans l'EAD 340059-00-0106, de manière comparable à l'équipement utilisé dans le cadre de la certification d'écrans pare-blocs de filets. Les propriétés mécaniques du bloc rocheux correspondent à celles des roches de types calcaire et très couramment rencontrées en Wallonie.

Au total, un modèle de barrière en acier et deux modèles de barrières en béton sont investigués au travers d'une vingtaine de simulations numériques. Au terme de chaque simulation, la barrière est considérée comme satisfaisante pour la retenue du bloc rocheux si les trois conditions suivantes sont rencontrées :

- La barrière contient le bloc ;
- La déflexion permanente de la barrière est inférieure à 500 mm ;
- L'absence de basculement ou d'arrachement d'éléments constitutifs principaux de la barrière.

II.1. Évaluation de barrières en acier :

La barrière en acier (dénommée « barrière 1 » ci-après) analysée dans le cadre de cette étude est testée selon 3 configurations :

- Barrière 1, simple face + lisse de sécurité pour motocyclistes côté route ;
- Barrière 1, simple face + lisse de sécurité pour motocyclistes côté route et côté versant ;
- Barrière 1, double-faces + lisse de sécurité pour motocyclistes côté route et côté versant ;

La longueur totale modélisée du dispositif de retenue correspond à 48 m. L'influence des paramètres suivants est analysée :

- L'emplacement de l'impact (sur le rail principal, sur la lisse moto) ;
- Les conditions limites (extrémités fixes ou libres) ;
- L'énergie d'impact (variant entre 10 et 40 kJ). Pour ce faire, la vitesse d'impact est fixée à 14 m/s (50 km/h) et la masse du bloc varie entre 100 et 400 kg.

La **Figure 8** synthétise les résultats obtenus pour chacune des 10 simulations réalisées sur les barrières en acier (test 1 à test 10). Les illustrations représentées sur cette figure correspondent à la situation modélisée juste après impact. Les valeurs des paramètres utilisées pour chacune de ces simulations sont indiquées sur cette figure, tout comme les résultats obtenus après l'impact (déflexion dynamique (DD), déflexion permanente (DP) et capacité de la barrière à résister à l'impact (« succeeded » ou « failed »)).

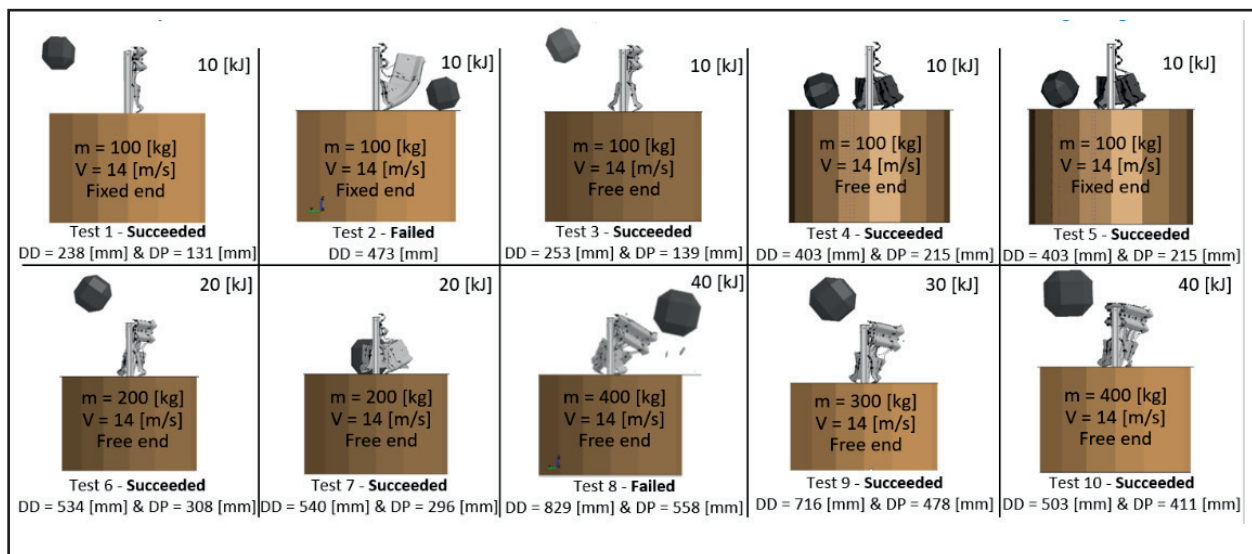


Figure 8. Synthèse des résultats des simulations numériques obtenus sur les barrières en acier (DD = déflexion dynamique ; DP = déflexion permanente)

Sur base des résultats obtenus, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Les conditions limites définies aux extrémités de la barrière ne modifient pas significativement les résultats obtenus en termes de retenue du bloc (comparaison test 1 / test 3 et test 4 / test 5) ;
- Pour une barrière simple face, lorsque l'impact a lieu au niveau du rail métallique principal, le bloc peut être contenu jusqu'à une énergie d'impact de 30 kJ (comparaison test 1 / test 3 / test 6 / test 8 / test 9). Une barrière double-faces permet d'augmenter sa résistance en réussissant à contenir un bloc ayant une énergie d'impact de 40 kJ (comparaison test 8 / test 10) ;
- Lorsque l'impact se produit au niveau de la lisse moto, il est impératif de munir la barrière d'une lisse moto fixée des deux côtés (route et versant). Dans cette configuration, la barrière est capable de contenir un bloc ayant une énergie de 20 kJ. Dans le cas contraire, où une seule lisse moto est présente, côté route, le dispositif ne résiste pas à un impact de 10 kJ en raison des fixations trop peu résistantes de la lisse moto en cas d'impact par l'arrière (comparaison test 2 / test 4 / test 5 / test 7).

II.2. Évaluation de barrières en béton :

Deux modèles de barrières préfabriquées en béton sont utilisés dans le cadre de cette étude :

- « barrière 2 » : forme asymétrique avec une face plus verticale du côté du versant. Deux longueurs différentes des éléments constitutifs de cette barrière sont analysées : 3 m et 6 m ;
- « barrière 3 » : forme symétrique composée d'éléments de 6 m de longueur.

La longueur totale modélisée du dispositif équivaut à 42 m. L'influence des paramètres suivants est analysée :

- L'emplacement de l'impact (jonction entre deux éléments, au centre d'un élément) ;
- Les conditions limites (encastré dans le sol, posé sur le sol) ;
- L'énergie d'impact (variant entre 30 et 60 kJ). Pour ce faire, selon les cas, la vitesse d'impact est fixée à 14 m/s (50 km/h) ou à 20 m/s (72 km/h) et la masse du bloc équivaut à 300 ou 400 kg ;
- Double impact au même endroit.

La Figure 9 synthétise les résultats obtenus pour chacune des 10 simulations réalisées sur les barrières en béton (test 11 à test 20). Sur base des résultats obtenus, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Aucune des configurations testées ne parvient à contenir un bloc ayant une énergie d'impact supérieure à 40 kJ. Le principal problème réside dans la trajectoire du bloc après l'impact. Celui-ci tend en effet à rebondir sur la barrière et à passer par-dessus cette dernière après avoir été fortement ralenti. Ce résultat est rencontré quelle que soit la géométrie de la barrière testée (test 13, test 14, test 15, test 16, test 17, test 19 et test 20) ;
- En raison de sa plus faible déflexion, la barrière encastrée parvient à contenir des blocs ayant une énergie plus importante que dans la configuration sans encastrement (comparaison test 11 / test 13 et test 12 / test 14) ;
- L'endommagement des barrières est relativement limité, localisé essentiellement à la zone d'impact, et ce quel que soit son emplacement, à la jonction entre deux éléments ou au centre d'un même élément ;
- Dans le cas d'impacts à 40 kJ, lorsque la « barrière 3 » est impactée une seconde fois au même endroit que le premier impact, celle-ci ne parvient plus à contenir le bloc, alors qu'elle a réussi au premier impact (comparaison test 18 / test 20).

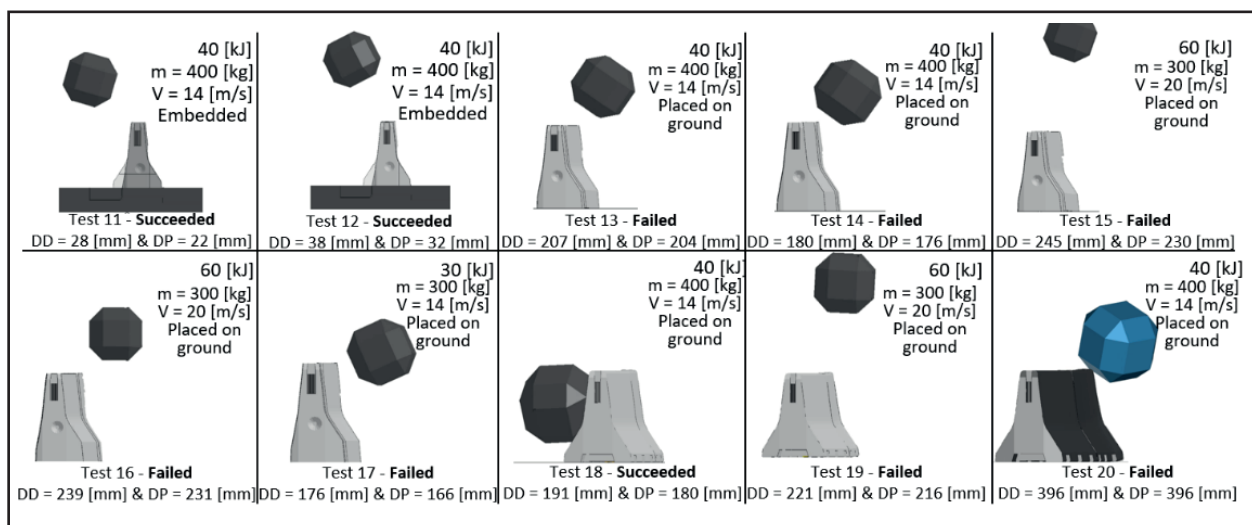


Figure 9. Synthèse des résultats des simulations numériques obtenus sur les barrières en béton (DD = déflexion dynamique ; DP = déflexion permanente).