

BLOC ARMÉ : UNE TECHNOLOGIE INNOVANTE POUR UNE PROTECTION OPTIMISÉE CONTRE LES RISQUES NATURELS

BLOC ARMÉ: AN INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR AN OPTIMIZED PROTECTION AGAINST NATURAL HAZARDS

Agathe FURET, Nicolas FLEURY, Julien LORENTZ, Lucas, MEIGNAN

¹ Géolithe, 181 rue des Bécasses, 38920 Crolles, France, agathe.furet@geolithe.com

² Géolithe, 181 rue des Bécasses, 38920 Crolles, France

³ Géolithe Innov, 181, rue des Bécasses, 38920 Crolles, France

⁴ Géolithe, 181 rue des Bécasses, 38920 Crolles, France

RÉSUMÉ – La technologie Bloc Armé[®], constituée de blocs préfabriqués en béton liaisonnés entre eux par des armatures métalliques, permet la construction d'ouvrages modulaires de faible emprise au sol. Au travers de la présentation de deux ouvrages, cette communication s'intéresse aux avantages opérationnels de la technologie concernant la sécurisation rapide des zones à risques et la réduction des interruptions d'exploitation des enjeux.

ABSTRACT – Bloc Armé[®] technology, consisting of prefabricated concrete blocks linked together by metal reinforcements, allows the construction of low footprint modular structures. Through the presentation of two cases, this communication focuses on the operational advantages of the technology concerning the quick securing of exposed areas and the reduction of service interruptions.

1. Introduction

La technologie Bloc Armé[®] est proposée dans un contexte où l'augmentation des risques naturels gravitaires et le besoin de rétablir rapidement l'exploitation des infrastructures affectées exige le développement de nouvelles solutions agiles de protection. Constituée de blocs préfabriqués en béton liaisonnés entre eux par des armatures métalliques, cette technologie modulaire permet la construction d'ouvrages de faible emprise au sol, particulièrement bien adaptés à la protection contre les aléas gravitaires, dont la chute de blocs rocheux. Des essais d'impact à haute énergie (plusieurs milliers de kJ) sur des ouvrages à échelle réelle utilisant cette technologie ont permis de démontrer la forte résistance de l'ouvrage (Furet et al., 2021a).

Au travers de la présentation de deux ouvrages construits dans des contextes différents, cette communication s'intéresse aux avantages opérationnels de la technologie permettant la réduction des interruptions de service.

D'abord, un chantier de protection d'un linéaire routier suite à un évènement de lave torrentielle sur la chaussée est présenté. L'exposé s'attache à décrire comment l'utilisation de la technologie comme ouvrage provisoire a permis de sécuriser la route contre les répliques de l'évènement sans exposer les opérateurs et comment le montage rapide de l'ouvrage a permis de limiter la durée de fermeture de la route.

Ensuite, la protection d'un Établissement Recevant du Public (ERP) commercial soumis à l'aléa chute de blocs par un ouvrage définitif est présentée. Cette solution a été proposée pour répondre au besoin de résister à des impacts de l'ordre de 500 kJ dans un contexte urbain avec une emprise au sol limitée. L'intérêt principal de la solution concernant la continuité d'exploitation en cas d'évènements et lors de la maintenance est détaillé.

2. Présentation de la technologie

2.1. Module constitutif

La technologie se compose d'un assemblage de blocs de béton empilés en quinconce, reliés entre eux par des tubes métalliques et éventuellement par des élingues et un câble (Figure 1a). L'innovation réside dans la présence des armatures métalliques et dans le jeu donné à la structure, résultant de l'espace laissé entre les tubes et les blocs de béton et entre les blocs de béton contigus. Les éléments métalliques assurent une continuité mécanique horizontale et verticale, permettant aux ouvrages de se comporter, telle une "cotte de maille", comme un corps unique et déformable. Cet assemblage augmente la masse associée à la réponse à l'impact, tout en limitant le développement de forces d'impact élevées en favorisant le transfert d'effort au sein de la structure. La technologie permet de mettre en œuvre facilement des ouvrages de formes et configurations diverses (rectilignes, courbes, en zigzag, avec ou sans contrefort...) avec une largeur de 0,8 m à moins de 2 m, adaptable en fonction des caractéristiques morphologiques du site, des phénomènes dont l'énergie d'impact et des besoins opérationnels.

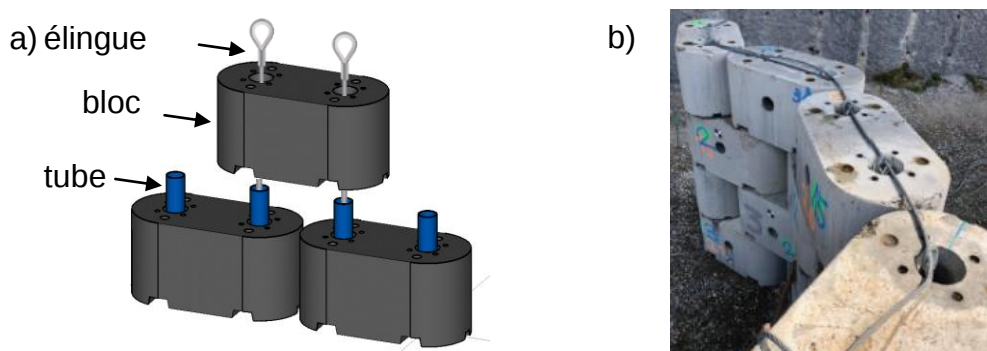


Figure 1. Technologie Bloc Armé® a) Composants principaux b) Couronnement d'un mur expérimental : câble de tête maintenant les élingues verticales

2.2. Montage et utilisation

Les ouvrages utilisant la technologie s'installent sur une surface globalement plane horizontale ou inclinée, pouvant être la chaussée existante, une longrine béton ou une assise terrassée. Les blocs sont progressivement montés en quinconce en faisant coïncider les réservations verticales sur toute la hauteur du mur. Les tubes sont insérés dans les réservations afin de limiter le déplacement horizontal entre les blocs empilés. Des élingues formées par un câble en acier galvanisé peuvent être ajoutées pour des énergies d'impact élevées. Les élingues, installées dans les réservations verticales sont maintenues par une barre métallique à la base du mur et par un câble en tête (Figure 1b), permettent de limiter les mouvements verticaux des blocs.

Une équipe de 4 personnes utilisant un engin manuscopique rotatif classique équipé d'un treuil et une nacelle, peut mettre en œuvre un ouvrage simple d'une centaine de blocs en une journée de travail.

2.3. Caractérisation dynamique

Des essais d'impact ont été réalisés à 1,7m de haut sur des murs en zig-zag de 3,2 m de haut (Furet et al., 2021a). Ces essais ont démontré la capacité de tels murs à résister à des impacts de plus de 1 000 kJ seul et à plus de 3 000 kJ avec un parement souple en gabion. L'instrumentation lors des essais a permis :

- 1) d'identifier le comportement dynamique des ouvrages : déplacements relatifs des blocs les uns par rapport aux autres parallèlement à la fracturation des blocs impactés, glissement du mur sur la base accompagnée d'un léger soulèvement puis d'un léger basculement du mur au droit de l'impact,
- 2) de quantifier les déplacements maximaux résiduels, par exemple de 0,9m et 1,4m respectivement pour des impacts de 520 kJ et 1020 kJ sur les ouvrages sans parement.

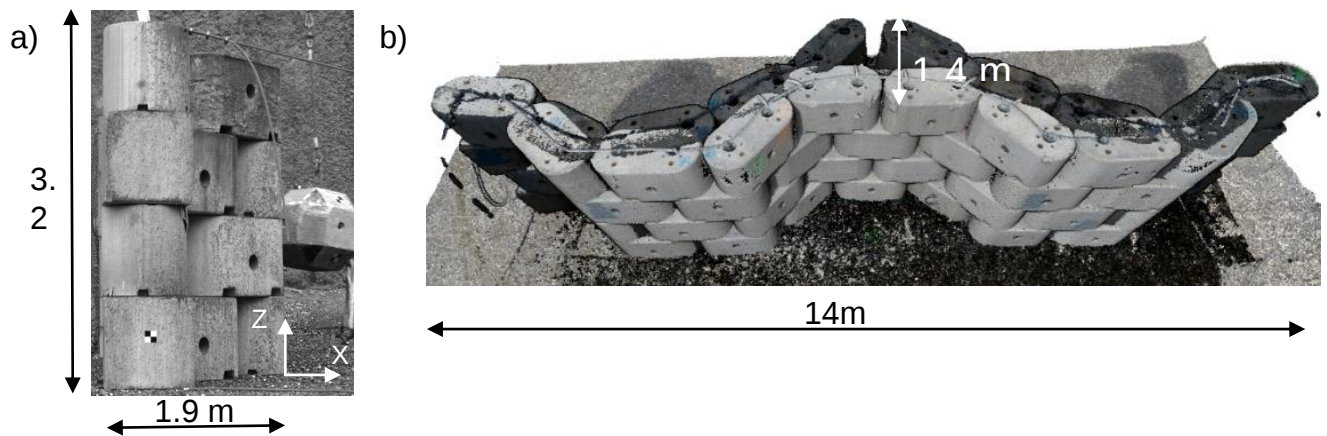


Figure 2. Essais d'impact sur ouvrage en zig-zag a) Vue en coupe du mur avant impact b) déformée du mur après impact à 1020 kJ superposée au mur avant impact

3. Protection temporaire déployée en urgence

3.1. Contexte

Le 31 juillet 2021, de fortes intempéries dans les gorges du Verdon ont provoqué une érosion importante et une lave torrentielle de grande ampleur (Figure 3a) sur la route départementale 952 peu avant Castellane (Figure 3b), contraignant à la fermeture de la route en pleine saison touristique. Le besoin de réouvrir cet axe majeur du département des Alpes de Haute Provence à la circulation impose la sécurisation provisoire rapide par le gestionnaire. Dans ce contexte, l'entreprise Géolithe a été sollicitée pour un diagnostic visant à caractériser les phénomènes, les aléas résiduels et proposer des mesures permettant la réouverture sécurisée de la route.

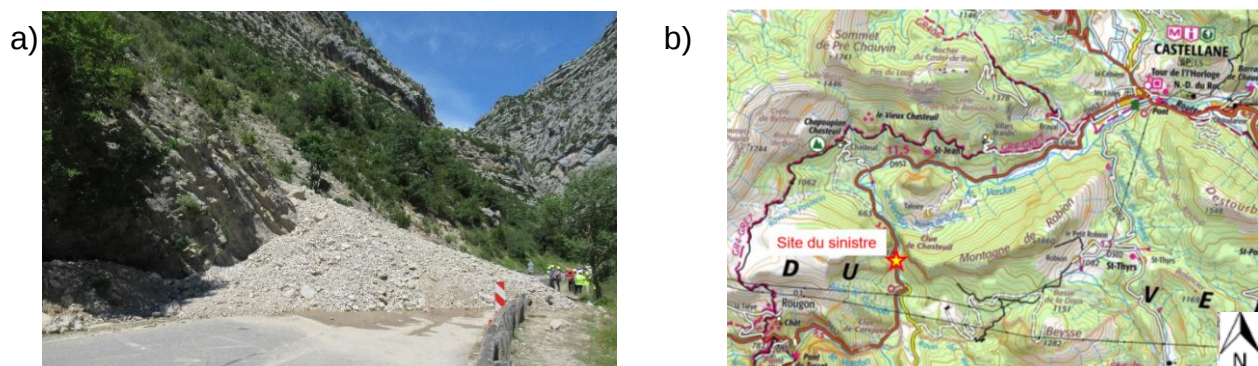


Figure 3. a) Lave torrentielle ayant coupé la RD952 le 31 juillet 2021 b) Carte des gorges du Verdon centrée sur le sinistre du 31 juillet 2021

3.2. Diagnostic et interventions

Le diagnostic réalisé le dimanche 1er août atteste d'un événement de grande ampleur provoquant le dépôt d'environ 1000 m³ de matériaux mixte (sol fin et blocs rocheux) sur la route. Des aléas résiduels de chutes de blocs rocheux de plusieurs centaines de litres et de répliques de lave torrentielle nécessite, en complément de l'évacuation des matériaux éboulés, une purge de la zone de départ et la mise en place d'un ouvrage provisoire d'interception et de stockage. En complément de l'ouvrage provisoire, une surveillance météorologique basée sur la pluviométrie est préconisée pour associer des mesures spécifiques de sécurisation (fermeture, vigilance renforcée) à certains seuils.

Le lundi 2 août, à la demande du maître d'ouvrage, le bureau d'étude de Géolithe conçoit un ouvrage utilisant la technologie adaptée aux contraintes anthropiques du site et aux aléas naturels. Quatre jours ont été nécessaires pour procéder aux purges, au dégagement de la route et pour acheminer sur site les éléments préfabriqués de l'ouvrage de protection depuis un autre département. Le vendredi 6 août 2021, le mur de protection constitué de 67 blocs est mis en œuvre dans la journée, permettant la réouverture de la route en fin d'après-midi, avant le week-end.

3.3. Zoom sur l'ouvrage de protection provisoire

Au vu des phénomènes redoutés et du contexte, les spécifications de la solution sont :

- un ouvrage provisoire de protection rectiligne avec faible pente longitudinale,
- une hauteur minimale de 4 m, une longueur de 20 m,
- permettant de reprendre des sollicitations à la fois quasi-statiques (liées à une accumulation de matériaux) et dynamiques (liées aux impacts des blocs rocheux),
- de forte résistance mécanique, pour le maintien de la stabilité en cas de remplissage,
- de faible emprise au sol permettant d'optimiser la largeur de la fosse en amont et de conserver une largeur de circulation suffisante à l'aval

Compte tenu du caractère provisoire et de l'intervention en urgence, l'ouvrage n'a pas fait l'objet d'un dimensionnement. Les essais d'impact sur ouvrage (paragraphe 2.3) et le retour d'expérience concernant un ouvrage Bloc Armé[®] sollicité à plusieurs reprises sur la RD328 en Haute-Savoie entre 2017 et 2021, atteste de l'adéquation de la technologie aux besoins. Pour parer à un chargement progressif ou soudain, la structure est ancrée au moyen de 13 crayons de 1,5m (scellés à 1m dans la chaussée) et reprise aux extrémités par deux haubans ancrés dans la paroi rocheuse en amont de l'ouvrage (Figure 4a).

L'entreprise Eiffage Route sous supervision de Géolithe a procédé à la réalisation des ancrages et au montage de l'ouvrage. L'ouvrage de 20 m (Figure 4b) a été construit dans la journée par une équipe de 6 personnes.

L'utilisation de modules préfabriqués et la simplicité de mise en œuvre ont permis de sécuriser le site en limitant la durée de coupure de l'axe de communication. Par ailleurs, l'attribut modulaire de la technologie, permettant une déconstruction facile des ouvrages et une réutilisation des éléments, prend en compte le caractère temporaire de l'ouvrage et plus généralement les contraintes économiques et environnementales du maître d'ouvrage.

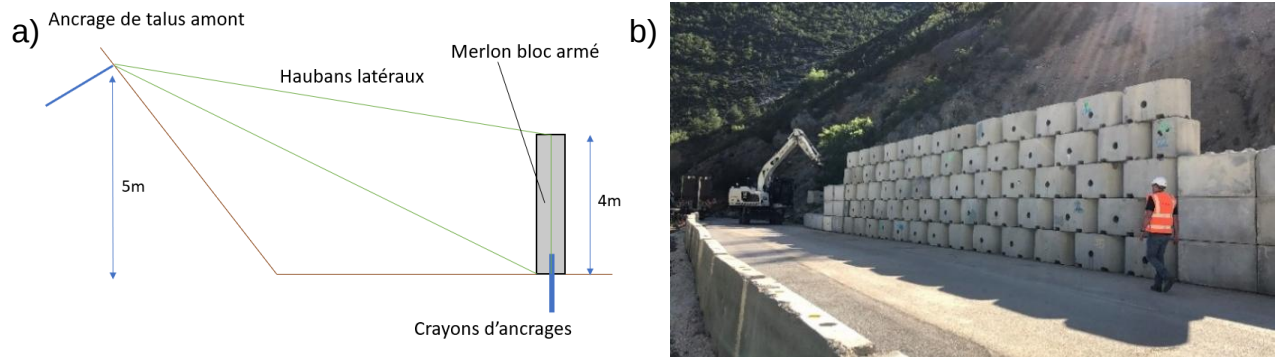


Figure 4 a) Schéma de l'ouvrage implanté b) Mur lors de la réouverture de la route

4. Protection permanente en contexte urbain

4.1. Contexte

Le site des Moulins, sur le flanc ouest du Mont Faron, surplombant une zone commerciale (Figure 5a) insérée dans un environnement urbain dense, présente un fort aléa gravitaire du fait de la décompression des fronts de taille d'une ancienne carrière de calcaire. La mise en œuvre de parades classiques (écrans de filets, filets plaqués) n'était pas adaptée à la configuration du site du fait de l'espace restreint et de l'état de déstructuration du parement rocheux. En complément des risques liés aux enjeux humains et aux infrastructures, la prise en compte du risque lié aux enjeux économiques conduit la collectivité à envisager des parades rapides à remettre en état après un événement, afin de maintenir une continuité de service optimale. La technologie, de par son installation facile, sa modularité, son emprise au sol réduite et la conservation optimale de ses caractéristiques après une sollicitation initiale répond aux besoins.

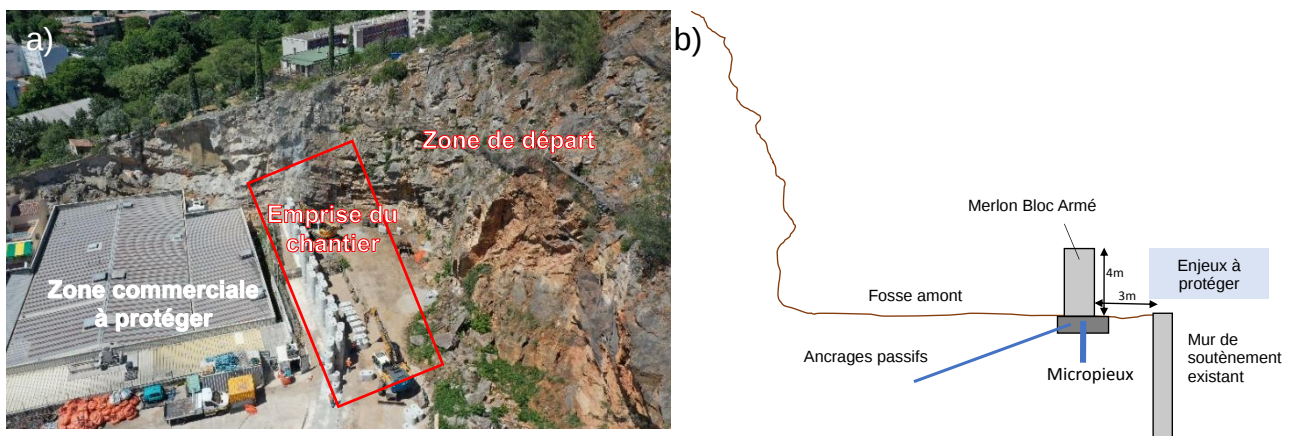


Figure 5 a) Zone de départ de l'aléa et zone à protéger lors de la construction de l'ouvrage, montrant l'emprise du chantier b) Vue en coupe de la protection : ouvrage et fosse

4.2. Dimensionnement de l'ouvrage sous impact

La faible emprise au sol de l'ouvrage rend possible une implantation au plus près de la zone à protéger qui permet de conserver une fosse amont (Figure 5b), de réduire les énergies et hauteurs de passage des blocs rocheux ainsi que d'assurer la continuité de service de l'ouvrage durant sa maintenance.

L'étude trajectographique anticipe, au droit de l'ouvrage, des impacts de 450 kJ à une hauteur de 1,6m sur l'ouvrage et de 350 kJ à une hauteur de 2,7m. Le dimensionnement sous impact est réalisé à l'aide d'un modèle numérique développé sous Flac3d (Furet et

al., 2021b) et validé par confrontation aux résultats issus de la campagne d'essai d'impact sur ouvrage.

Les simulations ont permis de valider la conception : un ouvrage en créneaux de 4m de hauteur, avec une emprise au sol réduite à 1,65m capable de reprendre de telles sollicitations dynamiques (Figure 6).

Déplacement dans
l'axe d'impact X

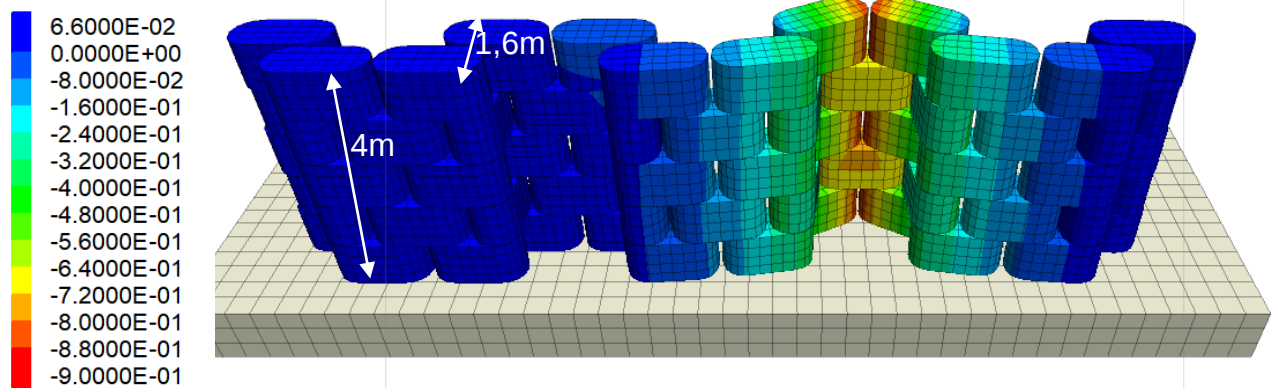


Figure 6. Exemple de résultat de simulations sous impact (450 kJ à 1,6 m de hauteur) pour la géométrie de mur retenue

4.3. Chantier et maintenance

Le dimensionnement structurel statique et dynamique, a conduit à la construction d'un ouvrage d'une longueur totale de 50m en créneaux, fondé sur une longrine béton avec micropieux du fait de la résistance incertaine du mur de soutènement aval existant. De plus, la configuration du site a nécessité de construire l'ouvrage sur deux niveaux altimétriques différents (redan vertical) et avec une angulation sur son profil en long. L'entreprise Guintoli a réalisé le chantier durant le mois de Juin 2021 en assurant la continuité d'exploitation des commerces situés directement en contrebas.

Dans le cas d'un événement nominal, une inspection détaillée et éventuellement la remise en géométrie des blocs permettra de reconstituer des capacités minimales de l'ouvrage dans un délai court. En cas d'endommagement d'un ou plusieurs blocs béton ou d'armatures métalliques, leur remplacement pourrait être différé. Le démontage et remontage de l'ouvrage pourrait nécessiter d'intervenir sur une longueur d'ouvrage de 13m. Seuls les blocs et les tubes fortement endommagés nécessitent d'être remplacés. La maintenance pourrait être réalisée avec une protection provisoire complémentaire de type merlon de matériaux et surveillance.



Figure 7 : Montage du mur a) Empilement des blocs au niveau du redan vertical b) Placement d'un bloc avec l'engin de levage de type pelle mécanique

5. Conclusion

Les deux cas présentés montrent que la technologie Bloc Armé® permet de proposer un type d'ouvrage de protection innovant répondant à des besoins opérationnels émergents tels que : furtivité, réutilisation, réparabilité, adaptabilité et continuité de service.

La faible emprise au sol des ouvrages, la modularité de la technologie et l'outil de modélisation afférent permettent la conception et le dimensionnement d'ouvrages optimisés.

La préfabrication des éléments et la rapidité de montage avec des moyens courants permet la réalisation aisée et rapide d'ouvrage, notamment nécessaire pour des protections provisoires des enjeux en cas d'urgence ou de chantier.

De part sa conception, la technologie permet l'interception et le stockage provisoire des matériaux éboulés et une bonne conservation des capacités de l'ouvrage après sollicitation. Ces avantages sont le fait des principes de conception suivants : ouvrages élancés, massiques, auto stables et peu déformables. Ces ouvrages sont particulièrement efficaces pour la protection des enjeux soumis à des phénomènes récurrents. Ils sont implantables à proximité immédiate des enjeux permettant, le plus souvent, de limiter les sollicitations et de faciliter leur réalisation et leur maintenance.

Ces innovations permettent de limiter les interruptions d'exploitation des enjeux, en intégrant les besoins opérationnels émergents compatibles avec des principes de frugalité.

6. Références bibliographiques

Furet A., Lorentz J., Jarrin J-P., Sainte-Marie P., Lambert S., Bourrier F. (2021a). High energy impacts for assessing the Bloc Armé® technology as rockfall protection

Furet A., Jarrin J-P., Lambert S., Villard P. (2021b). Assessment of the robustness of a numerical model of Bloc Armé® rockfall protection walls considering high energies impacts on real-scale structures