

BLOC ARME® : OUVRAGE PASSIF DE PROTECTION CONTRE LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

BLOC ARME® : LANDSLIDES PASSIVE PROTECTIVE STRUCTURE

Julien LORENTZ¹, Jean Philippe JARRIN², Lucas MEIGNAN²

¹ Geolithe Innov, Crolles, France,

² Geolithe, Crolles, France.

RÉSUMÉ – L'ouvrage Bloc armé® a été mis place, en bordure amont d'une route dans les Alpes, comme ouvrage de protection passif contre les mouvements de terrain. Cet ouvrage est composé de blocs préfabriqués en béton, reliés par un réseau d'armatures métalliques modulaire et continu. L'ouvrage, d'une hauteur de 5 m, a été ancré au terrain avec des barres inclinées.

ABSTRACT – The Bloc armé® structure has been setup at the upstream edge of a road in the Alps, as a landslides passive protection. The Bloc armé® is composed of prefabricated concrete blocks connected by a network of steel reinforcements modular and continuous. The structure, with a height of 5 m, has been anchored to the ground with inclined rebars.

1. Introduction

Les gestionnaires des infrastructures sont confrontés à une demande sociétale de sécurisation accrue des enjeux et d'optimisation de l'utilisation des budgets alloués. Ils sont donc confrontés à gérer des situations d'urgence afin de permettre dans un délai très court, le rétablissement d'une exploitation partielle, l'intervention d'équipes d'urgence dans des conditions de sécurités satisfaisantes ou la protection provisoire et partielle de structures existantes.

Les gestionnaires sont donc intéressés par toute solution qui permettrait de garder un axe ouvert avec une protection simple qui garantirait un niveau de sécurité suffisant.

La solution de protection contre les risques naturels Bloc armé® s'inscrit dans cette demande (Fig. 1). Cette solution a fait l'objet d'un dépôt de brevet en 2017 par la société GEOLITHE INNOV.



Figure 1. Vue sur un ouvrage Bloc armé®

Tout d'abord, le concept du Bloc armé®, constitué de blocs préfabriqués liaisonnés par des armatures métalliques, sera abordé. Ensuite, l'article présentera l'ouvrage disposé en protection passive d'une route contre un glissement de terrain situé en amont. L'ouvrage sera décrit plus précisément : Les besoins en protection, les critères menant au choix de l'ouvrage, la justification et la réalisation seront détaillés.

2. Présentation du concept Bloc armé®

Le Bloc Armé® est constitué par des blocs préfabriqués liaisonnés par des armatures positionnées à mi épaisseur, modulaires et continues (Fig. 2). La solution est modulable en 3D. Les natures et les typologies des blocs ainsi que les possibilités de dimensionnement des armatures métalliques, permettent de s'adapter à des configurations et des besoins très divers allant du soutènement à la protection contre les éboulements.

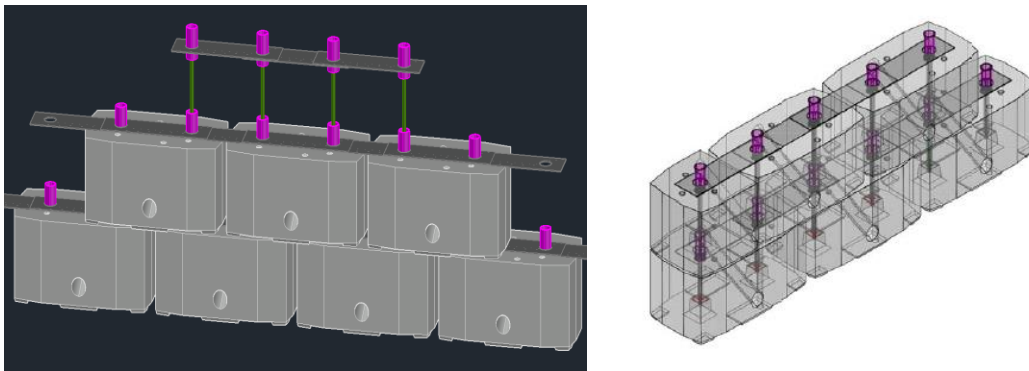


Figure 2. Bloc Armé® : Blocs reliés par un réseau d'armatures

Les armatures continues assurent un liaisonnement vertical et horizontal des blocs. En cas de sollicitation ponctuelle, la charge sera répartie sur de nombreux blocs ce qui assure une résistance au glissement et au basculement important tout en gardant seulement une seule rangée de blocs et donc une faible emprise au sol. Il a été choisi un procédé simple avec des éléments modulaires, ce qui permet une rapidité de mise en œuvre et un démontage partiel de la structure en cas de besoin de réparation.

L'ouvrage peut être utilisé sous différentes formes :

- Kit d'urgence : L'ouvrage est prêt à l'emploi pour des protections de chantier ou suite à un évènement naturel. La simplicité de la solution permet de mettre en place l'ouvrage rapidement. Ainsi, les gestionnaires de réseaux sont en mesure de réduire au maximum le temps de fermeture d'un axe. De plus, la faible emprise au sol de l'ouvrage permet, dans de nombreux cas, une implantation en bordure de route tout en gardant un gabarit suffisant pour assurer un trafic sur l'ensemble des voies de circulation.
- Mur de soutènement : L'ouvrage peut être constitué de blocs béton dont la densité permet facilement d'être utilisé en mur poids. De plus, les blocs peuvent être percés par des trous plus ou moins inclinés par rapport à l'horizontal. Ceux-ci permettent d'insérer des ancrages et des outils de forage afin de renforcer la stabilité de l'ouvrage en le fixant dans le terrain. Ces trous peuvent aussi servir de barbacanes pour le drainage.

- Ecran pare blocs : Le liaisonnement par les armatures métalliques permet de mobiliser de nombreux blocs afin de dissiper l'énergie par frottement bloc à bloc et par déformation des armatures.

Il faut noter que les armatures sont incorporées dans l'épaisseur de l'ouvrage, ce qui limite le risque d'endommagement. Avec une protection des éléments contre le vieillissement (galvanisation des éléments métalliques), l'ouvrage peut être utilisé en protection définitive avec une pérennité importante. Enfin l'ouvrage peut être ancré ponctuellement, au sol verticalement, ou en tête grâce à des haubans. Cela permet un renforcement significatif en cas d'impact.

- Parement de merlon : La capacité du mur poids associée au liaisonnement des blocs permet à l'ouvrage d'être utilisé en tant que parement amont ou aval de merlon. Ce parement réduit l'emprise au sol et améliore les capacités de dissipation par diffusion des efforts. Des travaux de recherche en lien avec le projet national C2ROP sont en cours à ce sujet.

3. Protection d'une route par le procédé Bloc Armé®

3.1. Besoins d'un ouvrage de protection passif

La route à protéger est affectée, du côté amont, par un glissement de terrain en constante évolution due à une érosion régressive du versant. Celui-ci mobilise des paquets rocheux ou meubles qui se décrochent lors des phases de mouvements. Ces derniers temps, des éboulements de plusieurs centaines de mètres cube deviennent des événements courants.

Pour sécuriser la route, il est nécessaire de construire un ouvrage de protection passif résistant à un éboulement de 1 000 m³, en réalisant un minimum de terrassement dans la zone de glissement. L'ouvrage doit avoir une emprise au sol faible afin de garder la route ouverte sur les 2 chaussées. La conception de cet ouvrage doit prendre en compte le fait que des éboulements puissent l'impacter. Il est donc envisageable que certains éléments soient endommagés sans remettre en question l'intégrité globale de l'ouvrage. Sa conception doit permettre un montage rapide, afin de limiter l'exposition du personnel. Le principe de protection et de traitement proposé doit permettre de s'affranchir au maximum des interventions humaines en amont des dispositifs de protection.

La maintenance devra être possible et consistera en une purge des matériaux éboulés, depuis la chaussée via une benne preneuse. Ponctuellement, il pourra s'agir d'une réparation / remplacement de certains blocs du mur par levage depuis la route et accès du personnel par nacelle ou ligne de vie au sommet du mur.

3.2. Choix de l'ouvrage

Le procédé Bloc armé® a été retenu comme ouvrage de protection, car il répond aux besoins définis au paragraphe 3.1 :

- Il se monte rapidement grâce aux éléments en béton préfabriqué. Ses éléments métalliques sont simples à mettre en œuvre, ce qui permet de limiter le temps d'exposition du personnel (Fig. 3).



Figure 3. Vue sur l'ouvrage

- Il est facilement démontable grâce à sa conception modulaire et à son système d'éléments métalliques qui peuvent s'emboîter et se désemboîter très facilement. En cas d'évènement important, il peut être réparé rapidement après un endommagement d'un ou plusieurs blocs, ce qui réduit le temps de fermeture de la route. Des essais de démontage sur le site ont été réalisés et ont été concluants.
- Sa résistance mécanique est plus importante qu'une solution de blocs béton posés les uns sur les autres sans renforcement métallique ou même qu'une solution de lego blocs présentant des ergots permettant d'emboîter les blocs les uns sur les autres. La liaison continue des armatures métalliques garantit une résistance au cisaillement et au renversement de l'ouvrage, ce qui évite le risque de chute d'un bloc sur la chaussée. De plus, les blocs présentent des réservations prévues pour faire passer des ancrages afin de fixer l'ouvrage au terrain de la même manière qu'une paroi clouée.
- Il présente une faible emprise au sol, limitant les terrassements pour sa mise en place et garantissant un gabarit suffisant pour le passage des véhicules sur la route. (Fig. 3).

3.3. Justification de l'ouvrage

L'ouvrage est dimensionné en prenant comme hypothèse de calcul, en arrière du mur, un volume de remplissage de matériaux de 1 000 m³ disposés selon une pente de 3H/2V (Fig. 4).

Les calculs sont réalisés selon les normes en vigueur. La stabilité externe vis-à-vis du glissement, du renversement et du poinçonnement est vérifiée avec le logiciel GEOMUR. Les calculs de stabilité générale de l'ouvrage sont menés aux ELU avec le logiciel Talren.

Ces calculs conduisent à définir l'ouvrage suivant :

- Le mur a une épaisseur de 0,8 m.
- La hauteur maximale du mur est de 5,6 m. Cette hauteur est celle nécessaire pour contenir un volume de matériaux de 1 000 m³.
- L'ouvrage est fixé au terrain par des ancrages inclinés à 27° avec une longueur de scellement de 6 m (Fig. 4). Ces ancrages sont situés au niveau de la deuxième rangée de blocs depuis le bas avec un espacement horizontal de 1,6 m. Les ancrages, en 32 mm de diamètre, sont constitués par des barres en acier Fe500 à filetage continu renforcé. Le diamètre de forage est de 115 mm, ce qui permet de mobiliser un frottement suffisant dans les terrains. La partie libre des ancrages est

protégée par des tubes PVC afin d'éviter tout endommagement lorsque la fosse se remplit de matériaux (Fig. 4).

- La première rangée de blocs est crayonnée avec des armatures de 25 mm de diamètre. La longueur de scellement dans le terrain est de 1 m.

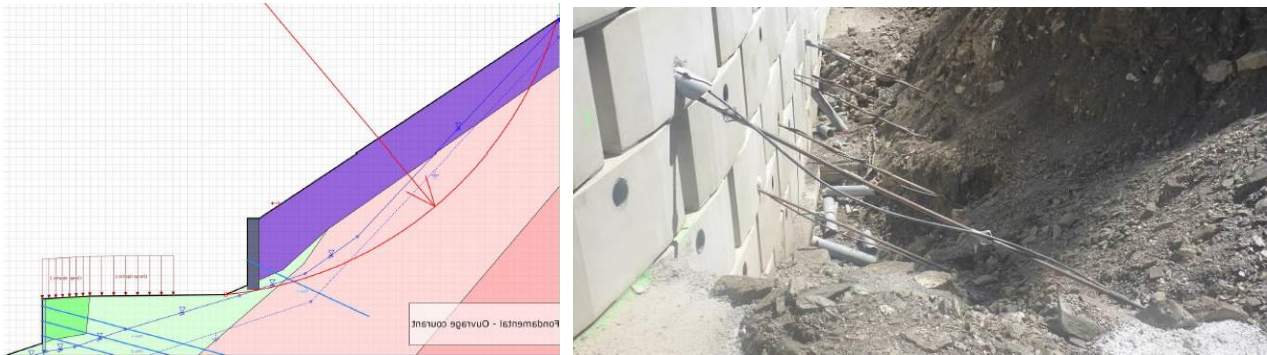


Figure 4. Vue sur le profil de dimensionnement et vue sur les ancrages inclinés

Les calculs de stabilité interne conduisent à définir la géométrie et la nature des matériaux constituant l'ouvrage : bloc et réseau d'armatures.

Les blocs ont été réalisés en béton préfabriqué. Ils présentent une longueur de 1,6 m, une hauteur et une épaisseur égale à la moitié de la longueur, soit 0,8 m. Le béton retenu est un béton de classe de résistance à la compression C35/45 (résistance à la compression simple à 28 jours de 35 MPa). Les blocs béton ne sont pas ferrailés avec un dimensionnement spécifique. Ils possèdent néanmoins un ferrailage anti-fissuration.

Le réseau d'armatures métalliques permet de liasonner horizontalement et verticalement plusieurs blocs et donc de reprendre des efforts de traction et de cisaillement.

Verticalement, le réseau est constitué de barres métalliques traversant chaque bloc aux niveaux de 2 réservations verticales situées à mi épaisseur et distantes de la moitié de la longueur d'un bloc. Ces barres permettent de fixer les blocs grâce à des éléments de blocage disposés à chaque interface.

Horizontalement, les blocs sont fixés grâce à des tubes métalliques encastrés aux niveaux des 2 réservations verticales situées à mi épaisseur des blocs, où sont aussi insérer les barres verticales. Lorsque les blocs sont empilés, les tubes assurent un blocage latéral étant donné qu'ils sont encastrés au niveau de la face supérieure du bloc inférieur et la face inférieure du bloc supérieur. La liaison entre les tubes est assurée par des plaques métalliques d'une longueur sensiblement égale à la longueur d'un bloc. Celles-ci sont percées à chaque extrémités afin d'être insérées entre 2 tubes. Il y a donc une plaque reliant 2 tubes d'un même bloc et une autre plaque reliant 2 tubes de blocs latéraux assurant ainsi une liaison horizontale entre tous les blocs (Fig. 5). Il faut noter que les blocs présentent des pieds afin de pouvoir positionner les plaques métalliques.

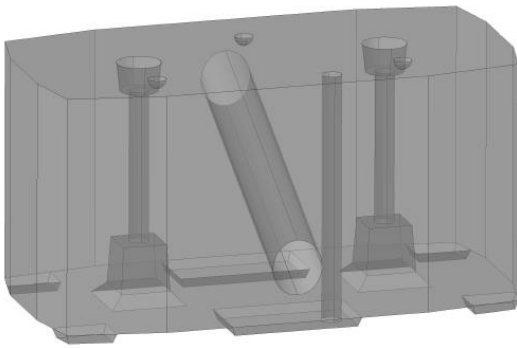


Figure 5. Blocs préfabriqués en béton avec réservations verticales de différents diamètres et renforcés par des armatures métalliques

Le moment de basculement est repris par le poids des blocs empilés et une mise en traction de barres verticales en diamètre 25 mm disposés à mi épaisseur de l'ouvrage à raison de 2 barres par bloc.

Le glissement entre les blocs est repris par le frottement béton entre les faces supérieures et inférieures des blocs et un effort de cisaillement des tubes métalliques de diamètre 121 mm, d'épaisseur 8 mm disposés à l'interface entre 2 niveaux de blocs à raison de 2 tubes par bloc.

3.4. Mise en œuvre de la protection

Pour une plus grande facilité de mise en œuvre, l'ouvrage a été posé sur une semelle d'assise horizontale d'épaisseur 15 cm, composée par du gros béton (Fig. 6). La route étant inclinée, plusieurs redans d'une hauteur égale à la hauteur des blocs, soit 80 cm, ont été créés. Avant de mettre en place la première rangée de blocs, des crayons d'ancrage ont été réalisés. Des gabarits, pour la pose des premiers blocs, ont été fabriqués afin de positionner précisément les crayons d'ancrage. L'objectif est que les blocs puissent s'emboîter sans difficulté dans la partie libre du crayon d'ancrage au-dessus du niveau supérieur de la semelle (Fig. 6).



Figure 6. Vue sur la semelle en béton et les crayons d'ancrage en attente

Après avoir positionné la première rangée de blocs, les crayons d'ancrage ont été scellés au terrain et aux blocs afin d'assurer une liaison entre les blocs et le sol.

Les blocs ont été mis en œuvre très rapidement. Plus de 100 blocs ont été installés en seulement quelques jours. Les blocs ont été levés grâce à une grue mobile. Le décrochage des élingues et la mise en place des accessoires métalliques ont été réalisés

par du personnel depuis une nacelle araignée (Fig. 3). Ponctuellement, des interventions de technicien avec des techniques de travaux en hauteur ont été nécessaires pour le réglage final de la position des blocs.

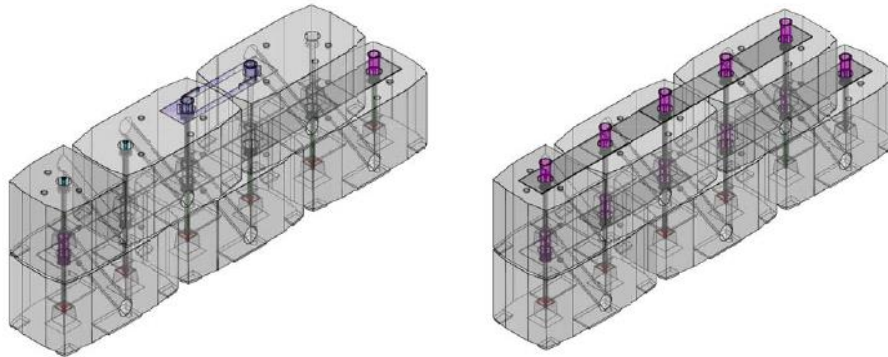


Figure 7. a. Armature verticale : 2 barres par bloc, b. Armature horizontale : plaques reliant 2 tubes encastrés dans les blocs

A chaque niveau de blocs, des barres verticales, avec un manchon soudé en partie haute, sont insérées dans les 2 réservations verticales traversant chaque bloc. Les barres sont vissées aux manchons des barres du niveau inférieur (Fig. 7a). Ce vissage permet de plaquer le manchon soudé de la barre sur le bloc.

Pour le premier niveau de blocs, la partie inférieure des barres est fixée au bloc à l'aide d'un écrou soudé à une plaque carrée. Cette plaque est alors bloquée dans la réservation inférieure carrée du bloc lors du vissage de la barre.

Une fois les barres verticales fixées, les tubes métalliques sont insérés dans des réservations verticales suivant le même axe que celui des barres, mais présentant une hauteur de quelques centimètres et un diamètre plus important que le diamètre des réservations des barres. Les plaques sont alors insérées entre 2 tubes ce qui permet d'avoir une continuité métallique horizontalement entre tous les blocs (Fig. 5, fig. 7b).

Ce procédé est réalisé pour chaque niveau de blocs. Il faut noter que les blocs sont installés en quinconce, ce qui contribue à une meilleure diffusion latérale des efforts.

Pour assurer la sécurité du personnel, le forage des ancres inclinés à 27° a été réalisé une fois que l'ensemble des blocs avait été posé et liaisonné. Le diamètre des réservations avait préalablement été défini pour faire passer l'outil de forage permettant d'aboutir à un diamètre de forage de 115 mm conformément au dimensionnement (Fig. 8). Les blocs non concernés par ces ancres ont mis en œuvre avec une rotation de 180° selon un axe vertical, afin que les réservations inclinées permettent un drainage efficace de l'ouvrage.



Figure 8. Vue sur l'ouvrage avec les barres inclinées

Grâce à la présence de barres verticales avec des manchons en partie haute, le dispositif peut facilement être complété par une barrière grillagée en tête d'ouvrage (Fig. 8).

Il faut noter que les blocs sont espacés de 5 cm et présentent des chanfreins au niveaux des arêtes verticales. Ces dispositions permettent à l'ouvrage de suivre des courbures de la route qui peuvent parfois être très importantes. De plus, cela permet à l'eau de s'écouler facilement. Afin d'assurer la bonne réalisation de l'assemblage des blocs sur plusieurs niveaux avec un pas de pose de 80 cm, un outil spécifique de calage a été fourni à l'entreprise de montage.

4. Conclusion

L'ouvrage bloc armé® a été retenu comme ouvrage de protection passif d'une route dans les Alpes contre un mouvement de terrain.

Cet ouvrage a été choisi pour sa rapidité de mise en œuvre du fait de sa simplicité afin de limiter le temps d'exposition du personnel. Plus de 100 blocs ont été installés en quelques jours sur le site. Il a aussi été choisi, car sa résistance mécanique est plus importante que des blocs béton posés les uns sur les autres, grâce à son réseau d'armatures, mais aussi grâce à la possibilité d'ajouter des ancrages inclinés assurant sa stabilité.

Ce chantier a montré l'intérêt du Bloc armé®. Cette solution est prometteuse et pourra être utilisée pour d'autres routes en zone de montagne. D'autres cas d'application pourraient être envisagés, comme par exemple, l'ouvrage Bloc armé® utilisé en écran pare blocs.