



INTERREG III A Projet n° 179 (ex n° 046)

RiskYdrogé

«Risques hydrogéologiques en montagne : parades et surveillance »

Activité 5. Systèmes de parades

Parade 10 – Béton projeté

Partenaires et financeurs :



Région autonome Vallée d'Aoste
Assessorat du territoire,
de l'environnement et des ouvrages publics
Regione autonoma Valle d'Aosta
Assessorato del territorio,
ambiente e opere pubbliche



CANTON DU VALAIS
KANTON WALLIS



Bundesamt für Wasser und Geologie **BWG**
Office fédéral des eaux et de la géologie **OFEG**
Ufficio federale delle acque e della geologia **UFAEG**
Uffizi federal per aua e geologia **UFAEG**
Federal Office for Water and Geology **FOWG**

En collaboration avec :



Pôle Grenoblois
Risques Naturels



Parade 10

Béton projeté

1. DESCRIPTION

1.1. Objectif

Parade active utilisée en association avec d'autres mesures de confortement (tirants, boulons et clous) dans les interventions de stabilisation et de soutènement de parois rocheuses instables ou en terrains meubles liés à la construction d'ouvrages de génie civil (routes, galeries, chemins de fer, fouilles pour bâtiments, etc.).

1.2. Principe

Empêcher (ou limiter) l'altération due à l'action des agents atmosphériques (*splash-erosion*) ou les chutes de blocs superficielles dans un massif rocheux tendre ou fracturé, en projetant sur la paroi une couche de béton d'épaisseur variable (normalement 60-150 mm, mais pouvant atteindre jusque à 200 mm).

1.3. Description technique

Le béton projeté est constitué par un mélange de ciment, d'eau et de granulats (diamètre maximum 25 mm). Un additif accélérateur de prise (environ 5%) peut être ajouté lorsqu'une résistance élevée initiale pour la prise est requise. La gunite présente la même composition que le béton projeté, mais le diamètre maximal des agrégats est de 5 mm.

Composition	Kg/m ³	%
Ciment	420	18.6
Micro-silice	42	1.9
Mélange d'agrégats	1.735	76.9
Fibres	59	2.6

Mélange de béton projeté (*Hoek & Wood, 1988*)

Le béton est projeté sur une nappe de treillis soudés ancrée à la paroi. Il présente une flexibilité qui lui permet de s'adapter aux déformations du massif rocheux sans se fracturer. Actuellement, les nouvelles technologies ont permis d'utiliser un système de revêtement et de soutènement plus résistant et plus flexible. L'adjonction de micro-silice et de fibres en acier (longueur moyenne 20 à 38 mm, diamètre 0.5 mm) au mélange de ciment et de granulats, présente plusieurs avantages:

- La réduction du rebond du matériel projeté permet d'obtenir une meilleure qualité du revêtement à cause d'un meilleur remplissage et scellement des vides.
- L'augmentation des épaisseurs de la couche de béton (jusque à 200 mm).
- Une meilleure protection contre l'altération.
- L'augmentation de la résistance et des caractéristiques de déformabilité du revêtement, l'utilisation de la nappe de treillis soudés n'étant, dans certains cas, plus nécessaire.

2. DOMAINE D'UTILISATION

Cette technique de protection est utilisée en association avec d'autres interventions d'amélioration des caractéristiques géomécaniques, pour la stabilisation de talus naturels ou artificiels constitués par des massifs rocheux fracturés et stratifiés. Par exemple, le béton projeté sur une nappe de treillis soudé à mailles hexagonales peut être associé à des poutres en béton armé disposées (en sens horizontal ou vertical) sur une pente, afin de répartir les sollicitations provoquées par les ancrages qui sont mis en place pour le soutènement du talus.

Le béton projeté est souvent utilisé comme revêtement temporaire pour les parois d'un fouille ou pour les voûtes lors de la réalisation d'ouvrages souterrains (galeries, tunnels, etc.).

2.1. Performances

Les limites liées à cette technique sont principalement:

- Le risque de corrosion de l'armature.
- Les limites des autres parades avec lesquelles elle est associée.
- Les risques liés à l'étanchéification du front de falaise par le béton.
- Les irrégularités de la couche en béton.
- Un fort impact visuel; le recouvrement par une végétation grimpante contribue à camoufler l'intervention, en favorisant une meilleure intégration environnementale de l'ouvrage.

2.2. Techniques associées

Cette technique est utilisée pour la stabilisation des talus naturels ou artificiels constitués par des massifs rocheux fracturés ou du terrain meuble. Elle est souvent utilisée en association avec des interventions qui modifient la résistance mécanique du massif rocheux (ancrages) et/ou appliquent des efforts de soutènement (poutre et piliers en béton). De plus, le béton projeté peut être utilisé en association avec des interventions qui modifient les conditions piézométriques d'un versant rocheux (drainage par drains forcés).

3. REALISATION

3.1. Conception

Les études à réaliser avant la mise en œuvre de la parade sont:

- Une étude géomécanique, devant définir l'état de fracturation de la roche, ainsi que la stabilité du massif rocheux ou du talus;
- Une étude hydrogéologique, destinée principalement à fournir des valeurs de perméabilité de la roche ou du talus. Cette étude doit permettre de réaliser un système de drainage approprié pour l'évacuation des eaux.

3.2. Mise en œuvre

Les recommandations suivantes sont à suivre pour l'application du béton projeté, soit renforcé avec fibres en acier, soit projeté sur une nappe de treillis soudés:

- Un nettoyage eau-air doit être réalisé avant l'application de la couche de béton;
- L'application du béton sur une surface sèche, sale ou congelée doit être évitée;
- Un approvisionnement constant d'air comprimé doit être garanti durant l'application du béton;
- L'application du béton projeté sur une surface déjà consolidée doit être évitée;
- Une distance de jet constante, inférieure à 1.0 m, voire 1.5 m doit être maintenue;
- Dans le cas de venues d'eau dans le massif rocheux, un drainage doit être réalisé avant

l'application du béton (par exemple barbacanes en plastique ou natte avec exutoire) pour éviter une mise en charge.

Si le béton est projeté sur une nappe de treillis soudé, on devrait en plus veiller à:

- Garantir l'absence d'air ou d'eau entre la couche de béton et le massif rocheux, afin d'éviter la corrosion du treillis soudé.
- Vérifier que le béton projeté est directement en contact avec le massif rocheux et recouvre suffisamment le treillis.

La mise en œuvre du béton projeté peut être réalisée selon deux techniques:

- Par **voie sèche**: les composants solides sont malaxés, puis le mélange sec est expulsé par un flux d'air comprimé jusqu'au gicleur de la pompe, où l'eau est ajoutée avant la projection. Les premières applications de cette technique, appelée gunite (de l'anglais *to gun*), datent de 1910;
- Par **voie humide**: tous les composants, y compris l'eau, sont malaxés, puis le mélange humide arrive jusqu'au gicleur de la pompe, où il est projeté. Les premières applications de cette technique, appelée shotcrete (de l'anglais *to shot concrete*), datent des années 1960.

3.3. Éléments de coût

Le coût peut être décomposé de la manière suivante:

- Béton de résistance garantie (R_{ck} variable entre 20- 40 N/mm²): 115.18-136.60 €/m³
- Additif liquide pour béton (accélérateur de prise): 2.47 €/Kg
- Treillis soudé en acier: 1.30-5.40 €/Kg

Selon l'accessibilité du site, la typologie et la mise en œuvre des ouvrages, les coûts peuvent subir une majoration moyenne de l'ordre de 3 à 4 %.

4. ENTRETIEN

La durée du béton projeté est variable selon la qualité de la mise en œuvre. Les défauts suivants peuvent se produire:

- Dégradations dues aux agents atmosphériques (surtout aux cycles de gel-dégel): écaillage, décollement, gonflement de la couche de béton sous l'action des pressions hydrauliques agissants à l'intérieur de l'amas rocheux.
- Tous les problèmes liés à une mise en œuvre non optimale.

5. EXEMPLES

5.1. Bourg de Chatillon, vallée d'Aoste.

Suite à la chute d'un bloc de gneiss (volume d'environ 0.5 m³) en 1992, la commune de Châtillon a décidé de projeter, sur la paroi très fracturée, une couche de béton sur une nappe de treillis soudé afin de prévenir de nouveaux dégâts. Malheureusement, une chute de bloc a eu lieu dans le seul endroit où aucune projection de béton n'a été faite. Le bloc, d'un volume de 1 m³, s'est arrêté près de la maison située au premier plan sur la photo 5.10.1.



Photo5.10.1 – Paroi rocheuse stabilisée à l'aide de gunite dans le bourg de Châtillon. Cliquez pour agrandir

5.2. RN 26 (Km.112+100), commune de Villeneuve, vallée d'Aoste.

Pour éviter la chute de blocs en provenance du talus rocheux à l'amont de la RN 26, environ 500 m² de calcschistes fracturés ont été recouverts de gunite. Cette couche de béton a été projetée sur un treillis d'armature ancré au talus. La sécurisation de la route nationale a été complétée par la réalisation d'une barrière fixe de grillage positionnée en tête du mur de soutènement.



Photo5.10. 2 – Talus rocheux stabilisé à l'aide d'une couche de béton projetée sur un treillis d'armature ancré au talus. On observe, au premier plan de la photo, la barrière fixe de grillage. Cliquez pour agrandir

5.3. Route cantonale Vouvry – Chavalon, commune de Vouvry, Valais.

Pour éviter la chute de blocs en provenance du talus rocheux à l'amont de la route, environ 3'000 m² de calcaires fracturés ont été recouverts de gunite. Cette couche de béton ayant malheureusement été projetée sur une majeure partie de la surface sans treillis d'armature, de

nombreuses plaques sont actuellement décollées et menacent de tomber sur la route. La faiblesse du réseau de drainage est également à l'origine du démantèlement de la gunite.



Photo 5.10.3: Talus rocheux calcaire stabilisé à l'aide de gunite sur la route Vouvry – Chavalon (commune de Vouvry). On observe le décollement de plaque de béton et l'absence de treillis d'armature. Cliquez pour agrandir

6. BIBLIOGRAPHIE

- Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (APAT, 2003): "*Atlante delle opere di sistemazione dei versanti*". Manuali e linee guida 10/2002, pp 74-75.
- Brawner, C.O., 1994. Rockfall hazard mitigation methods, NHI course 13219, Participants workbook.
- Colleparidi M. (2001): "*Il nuovo calcestruzzo*". Edizioni Tintoretto, Treviso, pp. 281-291.
- Cravero M., Iabichino G., Oreste P.P., Teodori S.P.: "*Metodi di analisi e dimensionamento di sostegni e rinforzi per pendii naturali o di scavo in roccia*". Atti Convegno su "Bonifica di versanti rocciosi per la protezione del territorio", Trento, 2004.
- Ente Nazionale per le Strade - Gruppo Tecnico per la Sicurezza Stradale (2001) – "*La protezione del corpo stradale contro la caduta massi*". ANAS.
- Hoek E. & D. Wood (1988): "*Rock support*". Article publié sur le magazine "Gallerie e grandi opera sotterranee", 4, pp. 47-48, 1990.
- Liste des prix de la Région Autonome Vallée d'Aoste, dernière mise à jour janvier 2006
- Pelizza S., Peila D., Oggeri C.: "*Tipologie di intervento per la bonifica di versanti rocciosi*". Atti Convegno "Bonifica di versanti rocciosi per la protezione del territorio", Trento, 2004.
- Willie, D.C. and Norrish, N.I., 1996. Stabilization of rock slopes. In: A.K. Turner and R.L. Schuster (Editors), Landslides, Investigation and Mitigation. National Academy Press, Washington, D.C., pp. 474-504.