



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

## RiskYdrogé

“Risques hydrogéologiques en montagne : parades et surveillance »

### Activité 5. Systèmes de parades

### Parade 9 – Ancrages

#### 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 9

## Ancrages

### 1. DESCRIPTION

#### 1.1. Objectif

Parade active visant à la stabilisation de pentes en terrain meuble, de talus rocheux ou des parois d'une fouille.

#### 1.2. Principe

Les ancrages agissent à la surface du massif rocheux. Une fois installés, ils contribuent à améliorer les caractéristiques géotechniques globales du versant. Ils transmettent les efforts auxquels ils sont soumis au terrain qui, pour sa part, fournit la résistance nécessaire pour la réaction à l'équilibre. Selon la typologie de l'ancrage (ponctuel ou réparti), la transmission des efforts de l'ancrage au terrain s'effectue à travers:

- Un système mécanique, réalisé avec des dispositifs d'expansion qui agissent lors du vissage de l'écrou. On parle alors d'**ancrages ponctuels**.
- Le scellement de l'espace situé entre le trou du forage et la barre d'ancrage. Le scellement de la barre peut être effectué soit seulement au fond du trou de forage, soit sur toute la longueur de la barre. On parle alors d'**ancrages répartis**.

#### 1.3. Description technique

En fonction de leur typologie et du travail qu'ils vont exercer, les ancrages se classifient en clous, boulons et tirants d'ancrage.

Les clous et les boulons sont des barres métalliques insérées dans des trous forés dans le rocher ou directement fichés dans le terrain. Ils sont sollicités lors des efforts de cisaillement. Les clous et les boulons sont fixés à la surface extérieure par une plaque de répartition et un dispositif de blocage (écrou) et scellés au terrain à l'aide d'une cimentation (mélanges de ciment divers ou résines), ou par l'intermédiaire de moyens mécaniques. Les clous ont un diamètre inférieur à 25 mm, et peuvent parfois être construits en plastique renforcé de fibres de verre. Ils sont scellés sur toute leur longueur au terrain (Figure 5.9. 1). Les boulons ont un diamètre supérieur à 25 mm et des longueurs variables (maximum 12 m)(Figure 5.9. 1 et Figure 5.9. 3.)

Les tirants d'ancrage sont sollicités lors des efforts de traction. Ils sont capables de transmettre les forces résistantes au massif rocheux ou au terrain dans lequel ils sont insérés. Un tirant d'ancrage est constitué par une tête équipée d'une plaque de répartition et d'un système de blocage. Ces éléments sont liés à une partie libre, qui comprend la portion qui peut être mise en tension, et la gaine de revêtement, et à une fondation armée (Figure 5.9. 4). La tête du tirant est d'habitude cimentée à une structure de soutènement (mur, barrière ou poteau).

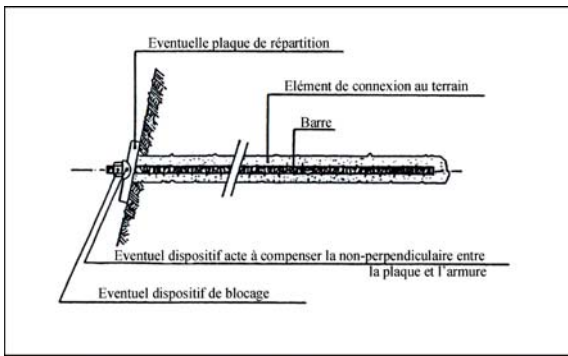


Figure 5.9. 1: *Clou d'ancrage (AICAP, 1993). Cliquer pour agrandir*

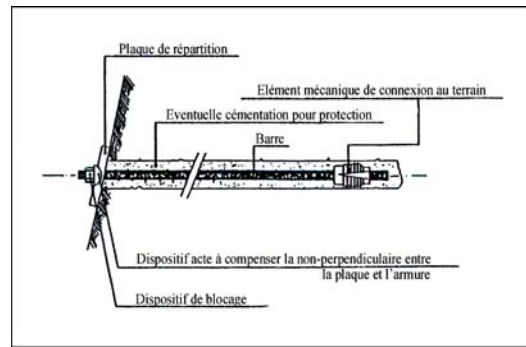


Figure 5.9. 3: *Boulon d'ancrage: ancrage par expansion mécanique (AICAP, 1993). Cliquer pour agrandir*

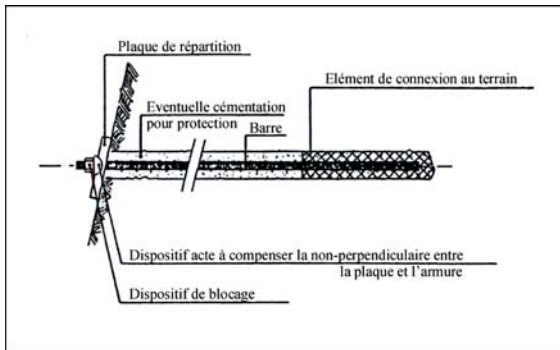


Figure 5.9. 2: *Boulon d'ancrage: ancrage par cimentation (AICAP, 1993). Cliquer pour agrandir*

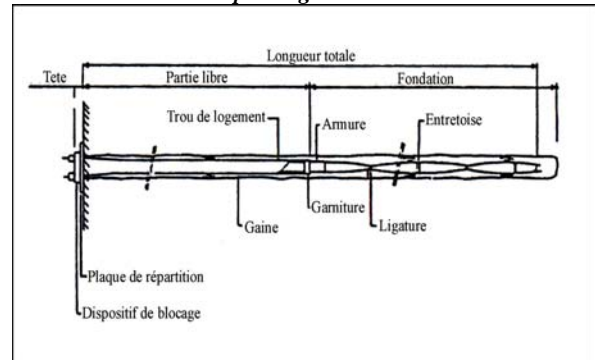


Figure 5.9. 4: *Tirant d'ancrage (AICAP, 1993). Cliquer pour agrandir*

Les tirants d'ancrage peuvent être:

- **Présollicités** (ou actifs): quand ils sont mis en tension lors de la réalisation de l'ancrage.
- **Non présollicités** (ou passifs): quand ils sont sollicités par des efforts de traction liés à des mouvements ou des déformations du massif rocheux.
- **Partiellement présollicités**: quand ils sont mis en tension lors de la réalisation de l'ancrage, avec une tension inférieure à celle prévue durant le fonctionnement.

## 2. DOMAINE D'UTILISATION

Les ancrages sont largement utilisés pour la stabilisation et le renforcement des structures (murs de soutènement, barrières, quais portuaires, palplanches, digues, pylônes), des pentes et des talus rocheux, ainsi que des terrains meubles. En particulier, les ancrages sont efficaces dans:

- Des terrains naturellement cohésifs (argiles et silts à basse plasticité et donc peu déformables).
- Des terrains naturellement cimentés ou des sables et des graviers présentant une cohésion réelle (due à la fraction fine) ou apparente (fournie par l'humidité).
- Des roches disloquées.
- Des terrains situés au-dessus de roches de mauvaise qualité.

L'utilisation des ancrages est au contraire moins indiquée pour les interventions qui concernent la stabilisation des terrains meubles présentant un comportement cohésif.

### 2.1. Performances

Les performances des ancrages sont liées au diamètre des barres utilisées et à la résistance de l'acier. La résistance peut atteindre plusieurs centaines de kN. L'impact visuel des ancrages est généralement limité, à cause des caractéristiques intrinsèques de ce type d'ouvrage, qui se

développe principalement à l'intérieur du massif rocheux ou du terrain meuble. L'impact visuel peut par ailleurs être facilement minimisé au travers de l'emploi des mêmes techniques utilisées pour les murs de soutènement.

Les limites des ancrages sont principalement:

- L'impossibilité de réaliser des forages dans des terrains saturés.
- Les difficultés associées à l'érosion des terrains peu cohésifs constitués principalement de sables et de graviers.
- Les problèmes liés à une grande densité de lignes souterraines (réseau électrique, téléphone, gaz, etc.).
- Des problèmes potentiels de fonctionnement optimal en terrain gelé.

## 2.2. Techniques associées

Cette technique est souvent associée à des interventions qui modifient la résistance mécanique du massif rocheux (emmaillotage, béton projeté) et/ou à des mesures de soutènement (poutre et piliers en béton). Toutes ces mesures visent à la stabilisation de talus naturels ou artificiels constitués par des massifs rocheux fracturés et stratifiés, affectés par des glissements, des basculements et/ou des chutes des blocs. En outre, les ancrages sont associés à des interventions destinées à empêcher l'initialisation de phénomène d'altération superficielle du massif rocheux (filets et grillages plaqués).

## 3. REALISATION

### 3.1. Conception

La conception d'ancrages se base sur des études qui concernent:

- La définition du modèle géologique et géotechnique du sous-sol.
- L'identification des conditions environnementales (agressives ou non) dans lesquelles seront mis en place les ancrages.

Les éléments de base à définir sont:

- La situation topographique, qui doit être préalablement définie à l'aide d'un relevé planimétrique et altimétrique.
- La situation géologique, à travers la définition des caractéristiques:
  - Géomorphologiques du milieu, contenant un repérage des éventuelles instabilités existantes ou potentielles et une estimation de leur évolution.
  - Lithologiques des terrains ou des roches.
  - structurales, autant à l'échelle du volume de sous-sol concerné par l'ouvrage à bâtir, que par celle du volume de terrain concerné par l'ancrage.
  - Hydrogéologiques générales du milieu, avec des indications sur les caractéristiques des aquifères (libre ou en pression).
- La situation géotechnique, avec définition des propriétés physiques et mécaniques des terrains (résistance au cisaillement, déformabilité et perméabilité) et des pressions hydrauliques dans le sous-sol.
- La situation environnementale, avec l'identification d'éventuelles conditions agressives (risque de corrosion) de l'environnement dans lequel seront mis en place les ancrages.

### 3.2. Mise en œuvre

Dans le cas de terrains à cohésion nulle ou faible ou dans le cas de roches disloquées, deux méthodes différentes de forage peuvent être utilisées:

- Le **chemisage des trous**: afin de stabiliser les parois du trou de forage, on réalise une

chemise temporaire, à l'intérieur de laquelle seront introduites la barre et l'injection. Après avoir positionné correctement la barre à l'intérieur de la chemise, on extrait cette dernière.

- Le **Self Drilling Anchors (SDA)**: la barre de forage se comporte comme une barre installée et injectée. Ce système est constitué par une barre qui peut être utilisée soit pour le forage, soit pour l'injection à l'intérieur de terrains à faible cohésion sans l'utilisation d'un chemisage. Cette barre est caractérisée par la présence d'un trou longitudinal pour l'injection et un filetage pour le montage sur le matériel de forage standard.

### 3.3. Eléments de coût

**Clou d'ancrage**: fourniture et installation de clous d'ancrage, qui comprend l'enfoncement et la cimentation de barres de fer rondes type Fe 32K de 30 mm de diamètre, de longueur variable, à l'intérieur de forages de 40 mm de diamètre et de profondeur moyenne équivalente au 2/3 de la longueur de barres de fer rondes: 14,60 Euros/m'.

**Tirant d'ancrage**: fourniture et installation de tirants d'ancrage, qui comprend le forage par roto-percussion en terrains de n'importe quelle nature ou consistance, même en présence d'eau à une profondeur de 30 m, l'éventuelle utilisation de boues de bentonite, la fourniture et la mise en œuvre de l'armure en acier harmonique constituée de torons de 6,6" de diamètre revêtus à l'origine par des gaine en P.V.C. et le matériel anticorrosif. Sont en outre compris les têtes des ancrages complètes avec les dispositifs de blocage, les opérations d'enfoncement des câbles, les injections du mélange de ciment, la mise en tension du tirant à l'aide de marteaux oléopneumatiques et le scellement final de la tête du tirant. Selon la mise en tension du tirant (entre 60 T et 150 T), les prix sont variables:

- Mise en tension 60 T: 105,27 Euros/m'.
- Mise en tension 150 T: 176,46 Euros/m'.

## 4. ENTRETIEN

Les tirants d'ancrage se classifient, selon la durée d'exercice, en:

- **Provisoires**: tirants destinés à exercer leur fonction pendant une période inférieure à deux ans.
- **Permanents**: tirants destinés à exercer leur fonction pendant une période égale ou supérieure à deux ans. Pour cette catégorie, un plan de surveillance de l'ouvrage dans le temps doit être prévu. Ce plan doit faire partie du projet complet, qui doit en outre comprendre:
  - La typologie et la durée de fonctionnement du tirant.
  - Le nombre et la distance entre les tirants.
  - La longueur de la fondation et celle de la partie libre du tirant.
  - La position et inclinaison des tirants.
  - Le diamètre du forage.
  - Les mesures de protection anticorrosion.
  - Les caractéristiques des mélanges d'injection, etc.

## 5. EXEMPLES

### 5.1. RN 26 (Km. 70+750) près de Montjovet , vallée d'Aoste.

Ancrages passifs en clouage sur une dalle rocheuse (" *Zone des calcschistes avec pierres vertes* ") à fort pendage. Les clous sont disposés selon une maille rectangulaire, avec une distance horizontale d'environ 50 cm, et une distance verticale d'environ 80 cm (photo 5.9.1). La partie gauche de la paroi a été recouverte par des grillages en acier inoxydable à double torsion à mailles hexagonales (60x80 mm), renforcés avec des câbles croisés entre eux et ancrés au massif.



*Photo 5.91: Vue d'ensemble de la paroi avec les ancrages passifs (au centre) et les grillages plaqués.*  
 Cliquer pour agrandir

### 5.2. RN 26 Km (83+600), commune de Chambave, valle d'Aoste.

L'alluvion de novembre 1994 a complètement emporté la route nationale sur une longueur d'environ 100 m et partiellement détruit le mur de soutènement situé à l'amont de celle-ci; dans le même temps, cet événement a provoqué un tassement de l'ensemble du versant et en particulier des bâtiments situés 30 m en amont de la route. Afin d'éviter une éventuelle accélération du phénomène, un nouveau mur de soutènement (photos 5.9.2 et 5.9.3) a été réalisé en 2004. Ce mur a été ancré, à l'aide de tirants, au mur qui avait été reconstruit suite aux événements de 1994. A noter, au dessus du mur, la présence de la terre armée.



*Photo 5.9.2: vue d'ensemble du mur de soutènement et des ancrages actifs (dans les trous).* Cliquer pour agrandir



*Photo 5.9.3: Détail du tirant avec les trois torons et la plaque de répartition.* Cliquer pour agrandir

### 5.3. A21 Martigny – Grand Saint Bernard, commune de Sembrancher, Valais.

Après l'éboulement dramatique de 600 m<sup>3</sup> de roche sur la galerie de la Monnaie en novembre 2001, la paroi instable a été stabilisée à l'aide de 46 ancrages passifs de 6 à 8 m de profondeur, composés de barres d'acier préinjectées de 32 mm de diamètre et équipées de chaussettes en coton. Les ancrages ont été implantés sur la base d'un modèle géomécanique et structural 3D obtenu par levé laser.

*Photo 5.9.4: Mise en place des ancrages passifs dans les parois surmontant la route Martigny – Grand Saint Bernard au lieu dit "Les Trappistes".*

Cliquer pour agrandir



## 6. BIBLIOGRAPHIE

- A.I.C.A.P. (1993): "*Ancoraggi nei terreni e nelle rocce: raccomandazioni*". Edigraf, Roma.
- Airoldi S. : "*I bulloni d'ancoraggio nel consolidamento delle scarpate*". Atti Convegno "Bonifica di versanti rocciosi per la protezione del territorio", Trento, 2004.
- Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (APAT, 2003): "*Atlante delle opere di sistemazione dei versanti*". Manuali e linee guida 10/2002, pp 71-73.
- Agostini R., P. Mazzalai, A. Papetti (1988): "*Le reti metalliche a maglie esagonali nella difesa dei versanti*". Officine Maccaferri S.p.A., pp. 25-31.
- Bidaut P., Durville J.-L., Guillemin P., Richard J.-C., Viktorovitch M.(2006). Essais de cisaillement sur discontinuités armées par ancrages passifs : utilisation d'une boîte de cisaillement de grandes dimensions. Bull. Labo. P. et Ch. n°spécial à paraître
- Brawner, C.O., 1994. Rockfall hazard mitigation methods, NHI course 13219, Participants workbook.
- 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 "Bonifica di versanti rocciosi per la protezione del territorio", Trento, 2004.
- Collectif (Mai 2004). *Guide technique : Protection contre les risques naturels – Ancrages passifs en montagne : conception, réalisation, contrôle*. MEDD, CEBTP et Cemagref. 146 p.
- 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 dans le magazine "*Gallerie e grandi opera sotterranee*", 4, pp. 39-44, 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.