



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

RiskYdrogé

«Risques hydrogéologiques en montagne : parades et surveillance »

Activité 5. Systèmes de parades

Parade 14 – Drainage profond

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



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 14

DRAINAGE PROFOND

1. DESCRIPTION

1.1. Objectif

Parade active ayant comme objectifs de:

- Contrôler et diminuer les pressions d'eau à l'intérieur du massif rocheux ou dans des terrains de fondation à consolider ou à améliorer.
- Abaisser le niveau de la nappe afin de garantir la stabilité des ouvrages importants.

1.2. Principe

Il s'agit de capter et de réduire la quantité d'eau à l'intérieur d'un massif rocheux ou d'un terrain meuble en favorisant l'écoulement gravitaire à l'aide de réseaux de drains subhorizontaux ou d'ouvrages de grande extension et/ou de grand diamètre (drains ou puits verticaux, galeries drainantes, etc.).

1.3. Description technique

Les types de drainages profonds le plus couramment utilisés sont:

- Les drains subhorizontaux: ce sont généralement des tubes en PVC crépinés d'un diamètre de 44 à 118 mm, introduits dans des forages de diamètre approprié et inclinés de 5 à 10°, afin d'assurer l'écoulement gravitaire et l'autocurage. Les drains sont généralement revêtus de nappes géotextiles pour éviter l'engorgement ou le colmatage par les particules fines. Les profondeurs maximales atteignables sont de l'ordre de 50 à 60 m.
- Les galeries drainantes (Figure 5.14. 1) ont en général des sections modestes (hauteur 1.80 à 2.00 m, largeur 1 à 2 m) afin de permettre le contrôle et la maintenance des ouvrages. La base de la galerie est positionnée à une profondeur légèrement inférieure à celle du niveau moyen des eaux souterraines, tandis que son sommet intercepte ce niveau. Dans certains cas, un réseau de drains subhorizontaux peut être foré à partir de la galerie pour rendre le drainage plus efficace. Les galeries drainantes peuvent soit être laissées vides, soit être remplies avec du matériel drainant.

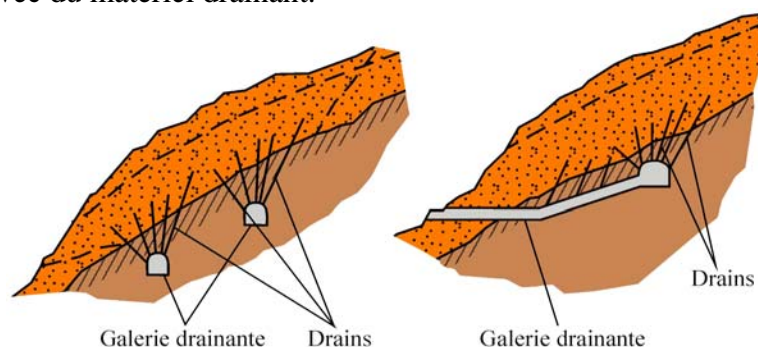


Figure 5.14. 1 – Galerie drainante (APAT, 2001).

- Les éperons drainants (Figure 5.14. 2) sont des excavations étroites (environ 1 m) mais pouvant atteindre une profondeur supérieure à 7 m, qui comportent une cunette bétonnée surmontée par un système de drainage de section variable et par une structure porteuse perméable. Les éperons drainants sont disposés selon la plus grande ligne de pente du

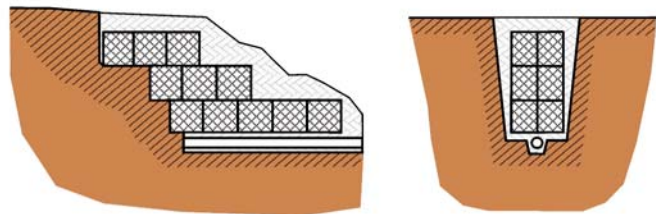
versant, avec une distance entre eux qui dépend à la fois de la hauteur de l'éperon, de la longueur du drainage et de la profondeur de la surface de glissement. La structure porteuse de l'éperon peut être constituée par:

- Un mur en pierres sèches, disposées en couches inclinées d'environ 30° vers le terrain, avec un niveau de graviers et de sable entourant le tube drainant.
- Un écran de gabions revêtu d'une couche de sable ou protégé par un géotextile.
- Une cloison centrale en béton séparant des parties latérales en matériel drainant sablo-graveleux, protégée ou non par du géotextile.

Eperon en maçonnerie recouvert par sable lavé et gravier. Le tube drainant est positionné au fond de l'excavation.



Eperon en gabions revêtu par géotextile.



Eperon avec cloison central en béton ; la cloison est réalisée au centre de l'excavation, tandis que les parois sont recouvertes par géotextile. Le matériel drainant est constitué par sable et gravier.

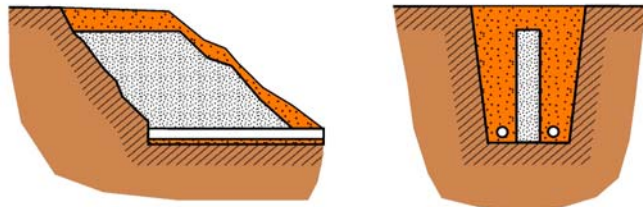


Figure 5.14. 2– Types d'éperons drainants (APAT, 2001).

- Les puits drainants (Figure 5.14. 3) sont constitués par une structure verticale en béton, armé ou non, et une couronne extérieure de drains forés subhorizontaux. Les puits drainants peuvent servir pour le drainage des nappes phréatiques à des fins de stabilisation ou pour l'alimentation en eau potable. Ils peuvent également avoir une fonction de soutènement dans les interventions de confortement et de stabilisation des pentes en mouvement.

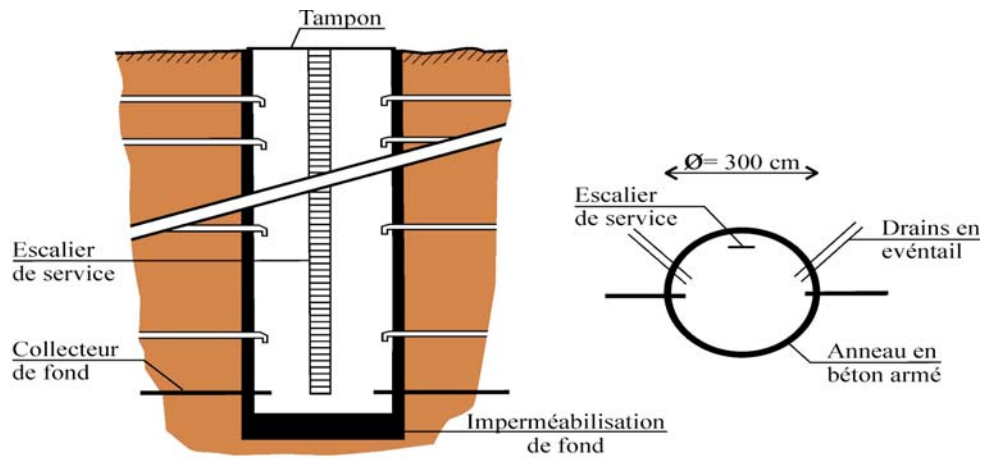


Figure 5.14. 3 – Puit drainant (APAT, 2001).

- Les tranchées drainantes (Figure 5.14. 4) sont des structures allongées, disposées perpendiculairement aux écoulements. Elles ont une profondeur de 4 à 6 m et une largeur d’environ un mètre (0.80 à 1.20 m). Dans le cas des versants peu inclinés (5 à 10°), le fond de l’excavation peut avoir une pente uniforme. Pour les pentes plus élevées ou pour des tranchées très longues, un terrassement doit être réalisé. Le fond de la tranchée est constitué par un exutoire en béton, sur lequel on dispose un tube en PVC, en béton ou en métal. Le tube est recouvert par un corps drainant, qui peut être constitué par:
 - Des graviers et des sables lavés, contenant peu de particules fines (< 3 % poids) recouverts par une couche de terrain végétal d’environ 50 cm d’épaisseur.
 - Une couche de graviers lavés d’une épaisseur de 5 à 20 mm, complètement enveloppée dans un géotextile mis à contact avec le terrain à drainer. Le remplissage de la tranchée est ensuite complété par une couche de sable, puis par du terrain végétal.

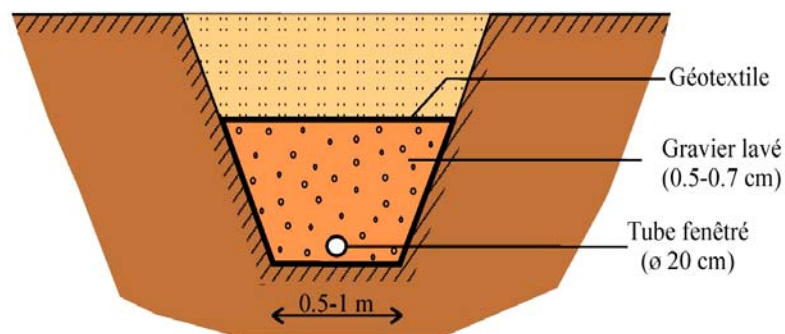


Figure 5.14. 4 – Tranchée drainante (APAT, 2001).

- Le principe des parois drainantes (Figure 5.14. 5) est identique à celui des tranchées drainantes. Par contre, les profondeurs atteignables sont supérieures à 30 m, pour une largeur de 60 à 120 cm. En fonction du type de soutènement adopté et du mode d’excavation, les parois drainantes peuvent être:
 - A poteaux: ce type est utilisé pour des sols qui peuvent être excavés sans soutènement. Un coffrage est ensuite introduit dans l’excavation, puis rempli avec du matériel drainant.
 - A panneaux: dans des terrains qui nécessitent de soutènement, l’excavation est réalisée avec de la bentonite. Le coffrage est ensuite introduit, puis rempli avec du

matériel drainant. L'excavation peut au besoin être réalisée à l'intérieur d'un coffrage rectangulaire enfoncé progressivement dans le terrain, à l'aide d'un jet d'eau à haute pression. Le matériel peut ensuite être extrait à l'air comprimé.

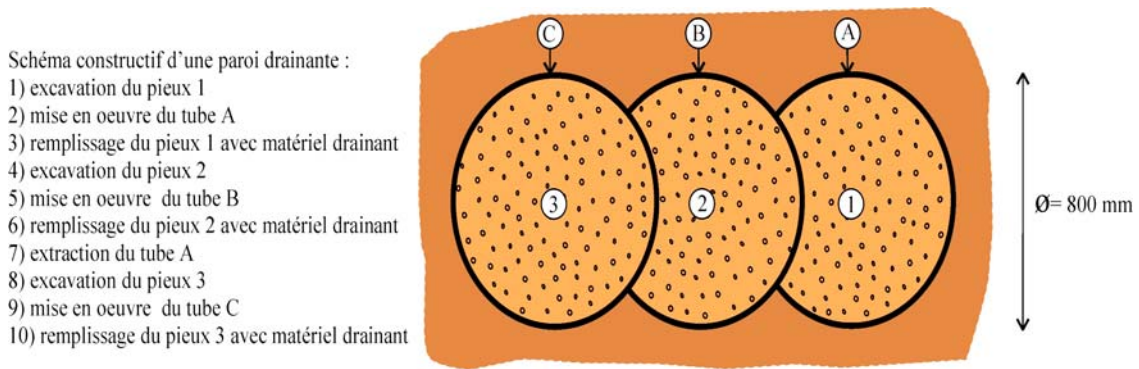


Figure 5.14. 5– Paroi drainante (APAT, 2001).

2. DOMAINE D'UTILISATION

Les drains subhorizontaux sont principalement utilisés:

- Dans les interventions de confortement des glissements rotationnels. Ils sont alors placés à la hauteur des zones d'arrachement.
- Dans tous les cas où l'inclinaison du versant est élevée.

Les drains subhorizontaux sont couramment associés à des puits verticaux de grand diamètre (Figure 5.14. 6) ou à des galeries drainantes. Ils sont alors disposés en éventail sur un ou plusieurs niveaux, ou parallèlement entre eux.

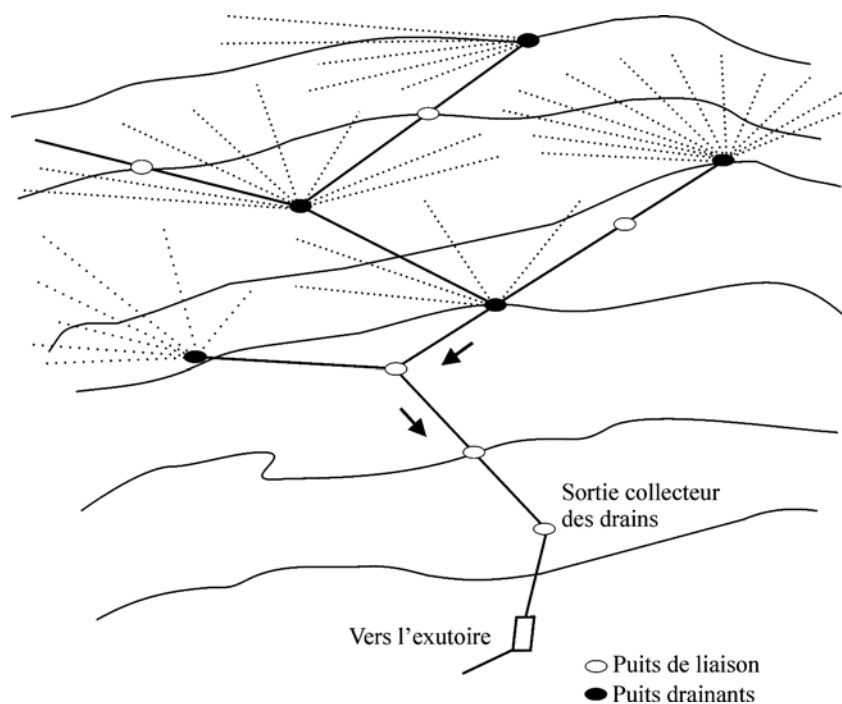


Figure 5.14. 6 – Association de drains subhorizontaux et puits drainants (APAT, 2001).

Les éperons drainants sont utilisés dans les interventions de confortement des pentes en mouvement qui nécessitent, à cause de la profondeur du plan de glissement, des caractéristiques lithologiques ou de l'inclinaison du terrain, l'association d'une action résistante par rapport aux poussées des terrains en mouvement à l'action drainante elle-même. Un système auto-consolidant peut ainsi être réalisé sans faire appel à d'autres ouvrages de soutènement.

Les galeries drainantes sont couramment associées aux drains subhorizontaux et aux puits. Elles sont utilisées dans les interventions de confortement et de stabilisation des pentes en mouvement, dans le cas de conditions hydrogéologiques particulières (présence de zones de failles ou d'intense fracturation, contact entre le substratum rocheux et les dépôts de couverture, etc.). Afin de garantir la stabilité des ouvrages importants, ces situations requièrent toutes un abaissement du niveau de la nappe.

Les tranchées drainantes sont utilisées pour le drainage des eaux d'infiltration et de la nappe. L'abaissement du niveau piézométrique et la réduction des pressions d'eau dans le terrain permettent d'obtenir une augmentation de la cohésion, améliorant ainsi les conditions de stabilité du versant.

Les tranchées drainantes, de même que les éperons et les parois drainantes sont utilisées dans les interventions de confortement des glissements rotationnels et/ou des glissements peu profonds.

2.1. Performances

De par leur méthode de réalisation, les drains subhorizontaux ont un impact esthétique et paysager limité. Cependant, leur mise en œuvre peut provoquer des effets négatifs sur le régime des écoulements souterrains et des aquifères concernés, si ils ont été réalisés sans une étude et une surveillance appropriées.

Les éperons drainants ont un impact visuel important, qui peut néanmoins être partiellement réduit par la végétation qui tend à masquer les ouvrages. En outre, ils sont caractérisés par des coûts de réalisation élevés.

Les galeries drainantes ont l'avantage:

- D'abaisser considérablement le niveau de la nappe à l'intérieur des éboulements en utilisant exclusivement l'écoulement gravitaire. Il est néanmoins parfois nécessaire de vidanger les drains par pompage.
- D'être réalisées entièrement dans le terrain stable situé au-dessous de la masse en mouvement. Elles ne la traversent donc pas et n'ont pas de risque d'être endommagées.
- De permettre la multiplication des éléments de drainage sans toucher la surface du sol.
- D'avoir un impact visuel limité.

Par contre, les galeries sont des ouvrages très coûteux. Elles sont généralement mises en œuvre seulement dans le cas où des infrastructures ou des agglomérations sont menacées par des éboulements de grandes dimensions. Dans des conditions particulières, les galeries peuvent en outre provoquer une modification des conditions hydrogéologiques (variations du débit des puits d'eau potable, appauvrissement ou tarissement des sources situées à proximité de la zone d'influence des puits) ou de stabilité (phénomènes de subsidence) dans la zone d'intervention.

Les puits drainants sont utilisés dans des zones où:

- Les lignes d'écoulement des eaux souterraines ne sont pas connues avec suffisamment de précision.

- Les terrains, hétérogènes, sont constitués par une alternance d'horizons de perméabilités différentes se traduisant par des conditions hydrogéologiques complexes.

Les puits drainants peuvent avoir un impact visuel important en fonction de leur méthode de construction. Dans des conditions hydrogéologiques particulières, ils peuvent en outre modifier les écoulements en surface ou souterrains.

Par rapport aux drainages de surface, les tranchées drainantes ont un impact important sur l'environnement (en particulier sur le régime des eaux souterraines). L'intégration de ce système de drainage dans le paysage est en générale bonne, compte tenu que la couche de remplissage superficiel peut être constituée par du terrain végétal ou des pierres.

Les parois drainantes ont un impact important sur l'environnement, de par leur mode de construction (vibrations et bruits désagréables) et du fait de l'introduction de mélanges de ciment dans le sous-sol (risques de pollution de la nappe).

2.2. Techniques associées

Les drainages profonds sont couramment associés aux drainages de surface et à toutes les techniques de stabilisation ou de confortement (Figure 5.14. 7).

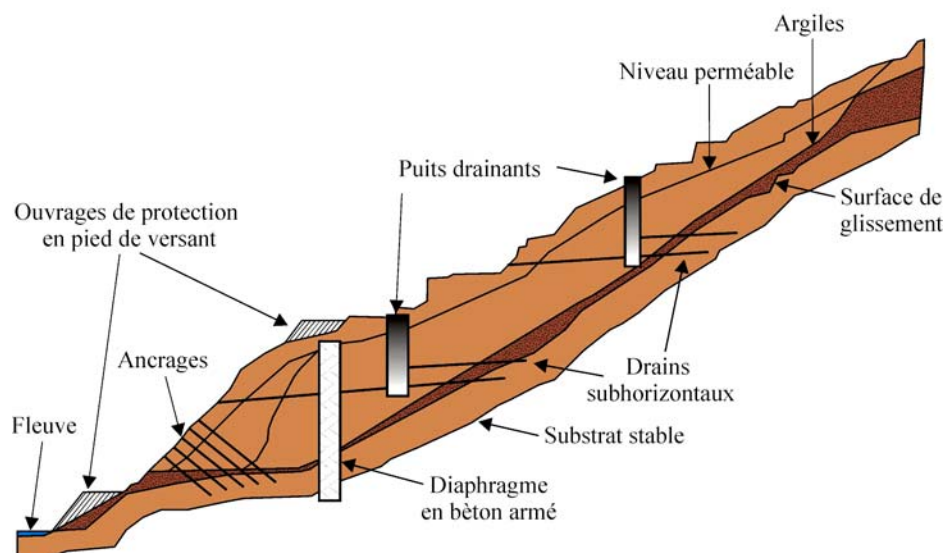


Figure 5.14. 7 – Aménagement d'une pente avec techniques de confortement et drainages profonds (APAT, 2001).

3. REALISATION

3.1. Conception

L'évaluation de l'efficacité d'un système de drainage est très souvent difficile durant la phase de projet. Il est par conséquent nécessaire de prévoir la réalisation d'un réseau de piézomètres en même temps que le système de drainage lui-même. Les relevés piézométriques périodiques permettront d'évaluer les réactions de la nappe, de vérifier le bon fonctionnement du système de drainage et éventuellement d'envisager son amélioration.

Le dimensionnement, le nombre, la disposition et la profondeur des drains subhorizontaux doivent en outre être réalisés sur la base d'une étude géologique et hydrogéologique visant à acquérir les paramètres hydrogéologiques de terrain.

Le projet d'une galerie drainante requiert une étude préliminaire visant à définir l'évolution de l'éboulement. Les zones de drainage préférentielles doivent être mises en évidence pour positionner et dimensionner la galerie drainante et le réseau de drains subhorizontaux .

3.2. Mise en œuvre

Les techniques de construction modernes permettent la réalisation d'interventions composites, constituées par des puits drainants verticaux reliés entre eux par des forages équipés de drains subhorizontaux disposés en éventail sur plusieurs niveaux. La zone d'influence du système drainant peut ainsi être élargie.

Les puits drainants peuvent être réalisés de manière isolée ou être rapprochés pour former une paroi drainante. Dans ce cas, il est nécessaire de remplir le forage avec du matériel drainant pour garantir l'écoulement gravitaire.

La réalisation des tranchées drainantes dépend de la profondeur et des conditions géologiques et hydrogéologiques locales. L'excavation doit être réalisée en avançant de l'amont vers l'aval, de sorte que les tranchées puissent exercer leur fonction drainante dès la phase de construction.

3.3. Éléments de coût

Pour la fourniture et la pose d'un drain subhorizontal constitué d'un tube en PVC crépiné transversalement, entouré d'une couche de protection filtrante et insérée dans un forage, selon le diamètre extérieur du tube (diamètre de 44, 90 ou 118 mm), les prix varient entre 25.43 et 38.16 €/m'.

4. ENTRETIEN

La pérennité de ces ouvrages dépend essentiellement de la nature du massif rocheux ou du terrain dans lequel ils sont réalisés. En particulier, dans les massifs calcaires, les drains peuvent se colmater rapidement à cause du dépôt de calcite.

L'entretien concerne principalement les drains subhorizontaux, qui doivent être décolmatisés régulièrement avec des jets à haute pression d'eau ou d'air, et remplacés lorsqu'ils sont hors d'usage. De plus, l'exutoire et les collecteurs qui peuvent être endommagés doivent régulièrement être nettoyés et curés.

5. EXEMPLES

5.1. Eboulement du couloir Belvédère de Gimillian, commune de Cogne, vallée d'Aoste.

L'éboulement du couloir Belvédère (Figure 5.14. 8) est un phénomène ancien qui s'est réactivé suite aux intempéries d'octobre 2000. Cet éboulement est caractérisé par une zone d'arrachement, située entre 1700 et 1750 m, et une zone de glissement et d'accumulation à l'aval, ayant une forme triangulaire. Le corps principal de l'éboulement est affecté par différents mécanismes: la zone d'arrachement est caractérisée par la présence d'une surface de cisaillement ayant un pendage d'environ 50°, tandis que le mécanisme principal est du type rotationnel à partir

de 1580 m. Le phénomène affecte les dépôts formant la terrasse glaciaire sur laquelle est bâtie l'agglomération de Gimillan. Ces dépôts, qui ont une épaisseur variant entre 17 et 35 m, recouvrent des lithologies de l'unité Ligure-Piémontaise, constituées en particulier de calcschistes, de marbres, de cargneules et de gypse.

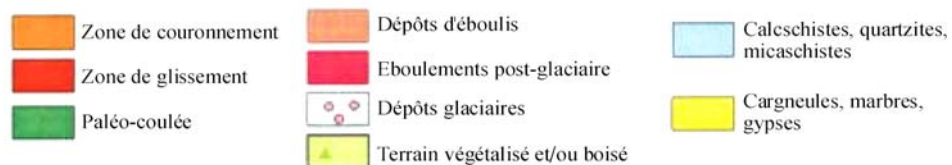
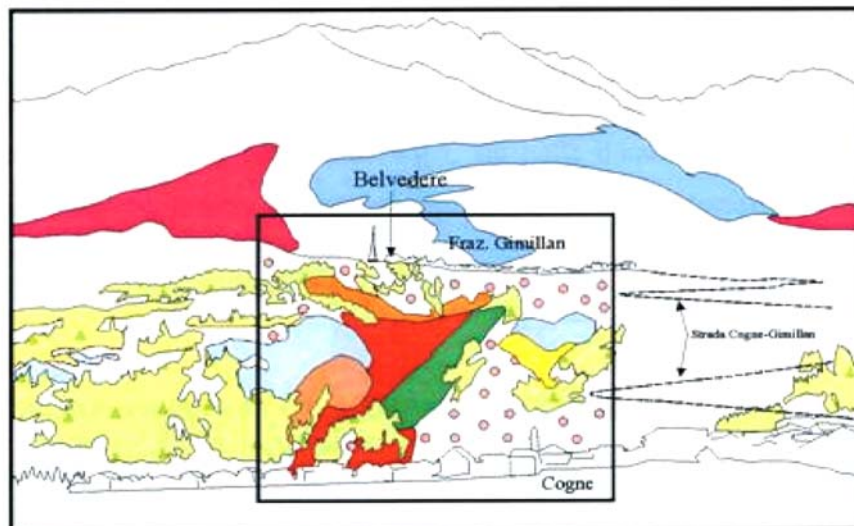


Figure 5.14. 8 – Photo et carte géologique de la zone d'éboulement.

La stabilisation du versant a été réalisée à l'aide d'un système de drainage profond comprenant des drains subhorizontaux disposés en éventail, associés à cinq masques drainants et à trois puits drainants. La mise en œuvre du système de drainage a été réalisée en divisant l'éboulement en deux secteurs:

- La zone de couronnement, située à proximité du Belvédère de Gimillan, où la réalisation de petites places masques drainants (Photo 5.14.1) a été prévue. Les travaux ont consisté à:
 - Creuser et reprofiler le versant, pour permettre l'installation du chantier.
 - Forer et poser des tubes drainants.
 - Poser et remplir des gabions métalliques.
 - Mettre en place des collecteurs.



Photo 5.14. 1 – Place drainante

[Cliquer pour agrandir](#)

- Le corps de l'éboulement, où des puits drainants ont été construits suivant les étapes suivantes:
 - Excavation et reprofilage du versant pour permettre l'installation du chantier.
 - Réalisation de la couronne de micro-pieux.
 - Excavation des puits.
 - Revêtement en béton armé.
 - Réalisation des tirants d'ancrages permanents.
 - Forage et pose des tubes drainants.
 - Forage et mise en œuvre du tube d'évacuation des eaux de drainage.
 - Réalisation de l'escalier de service pour l'inspection.

La couronne des puits (Figure 5.14. 9) est constituée par 28 micro-pieux, de 159 x 10 mm, d'une longueur de 11 m, disposés chaque 60 cm sur un cercle de 5,32 m de diamètre. Les puits drainants (Photo 2) ont une profondeur d'environ 12 m. Ils se composent de:

- 28 drains subhorizontaux en HDPE (High Density PE), d'un diamètre extérieur de 80 mm et d'une longueur de 50 m, disposés sur trois niveaux, avec des inclinaisons comprises entre 6-15°.
- Un exutoire constitué par un tube en HDPE ayant un diamètre de 180 mm, qui est introduit à l'intérieur d'une conduite en acier (norme ERW UNI 6363 DN 200).

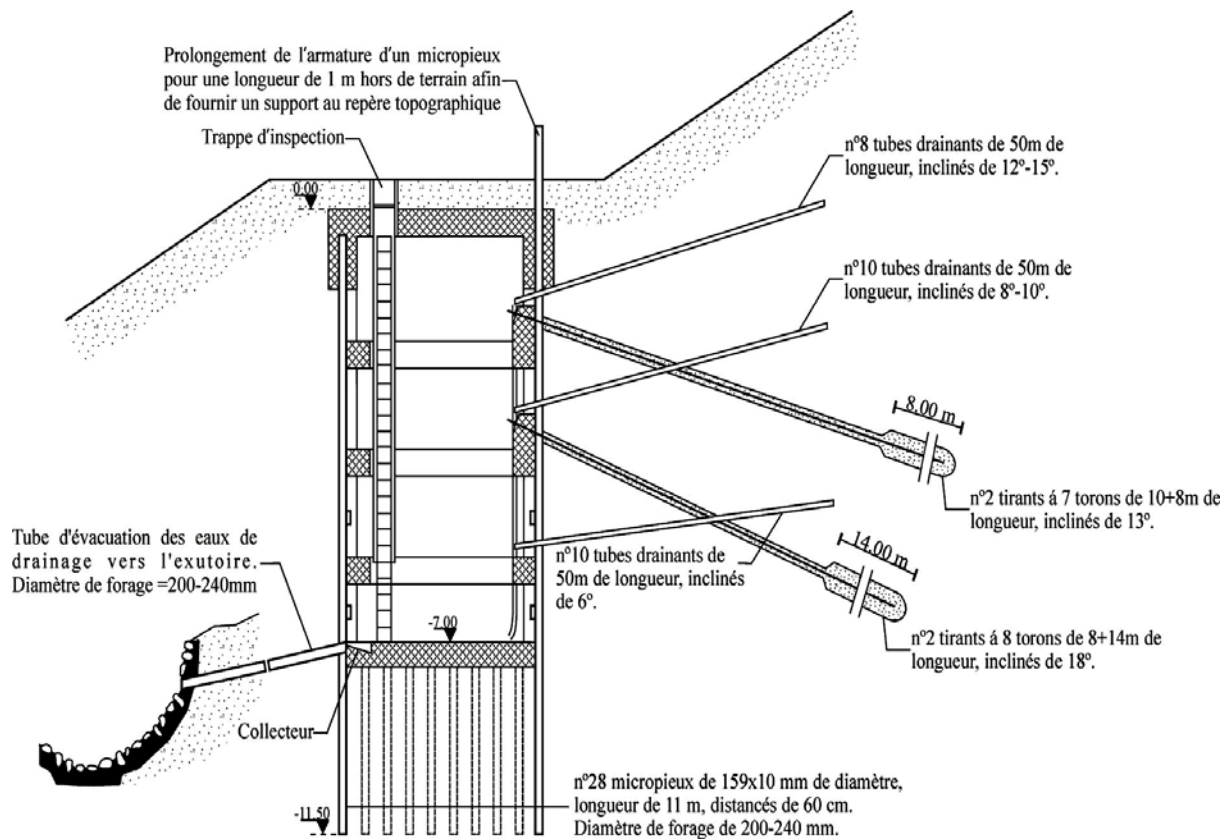


Figure 5.14. 9 – Schéma constructif du puit.



Photo 5.14.2 – Puits drainant en cours de réalisation

[Cliquer pour agrandir](#)

La réalisation, qui a débuté en 2004 n'est pas encore terminée. Le coût final de l'ouvrage, y compris l'aménagement extérieur (drainage de surface, végétalisation, etc.), devrait être supérieur à 2,5 millions d'euros.

5.2. Campo Vallemaggia, Canton du Tessin, Suisse

Le glissement de Campo Vallemaggia est localisé dans le canton du Tessin. Il affecte une série métamorphique composée d'amphibolites, de schistes et de gneiss, formant un assemblage complexe de blocs séparés par des accidents tectoniques qui drainent un aquifère fissural à forte anisotropie. Les études ont permis de mettre en évidence plusieurs plans de glissement sur une profondeur atteignant 300 m. Le volume délimité a été estimé à 800 millions de m³. Les mouvements mesurés atteignent 5 cm/an en moyenne. Ils occasionnent de nombreux dégâts aux deux villages situés au pied de la masse en glissement. Afin de diminuer les déplacements, une galerie drainante de 1800 m a été creusée. Elle comporte 30 forages secondaires dont la longueur varie entre 25 et 70 m. La mise en service de cette galerie a permis de réduire substantiellement les mouvements.

6. BIBLIOGRAPHIE

- Bonzanigo, L., Eberhardt, E. and Loew, S. (2001). "*Hydromechanical factors controlling the creeping Campo Vallemaggia landslide*". In: M. Kühne, H.H. Einstein, E. Krauter, H. Klapperich and R. Pöttler (Editors), International Conference on Landslides - Causes, Impacts, Countermeasures, Davos, Switzerland, pp. 13-22.
- Pelizza S. & Peila D. (2000): "*L'utilizzo di opere in sotterraneo per interventi di sistemazione idrogeologica*". *Geingegneria Ambientale e Mineraria*, 99, pp. 57-68, GEAM, Torino.
- Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (APAT, 2003): "*Atlante delle opere di sistemazione dei versanti*". *Manuali e linee guida 10/2002*, pg. 92-107.
- 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.
- Liste des prix de la Région Autonome Vallée d'Aoste, dernière mise à jour janvier 2006.