

## 1.3. Annexes



**Les mesures de prévention**  
susceptibles de réduire les conséquences du risque

Mesures de prévention susceptibles de réduire les conséquences du risque.

- 1 - Les déboisements sont à proscrire et au contraire il y aura tout intérêt d'effectuer des plantations en utilisant des espèces à enracinement profond et des espèces recouvrantes.
  - pour les parcelles construites, il convient de planter au maximum les espaces libres (30 % de la parcelle au moins devraient être plantés) à raison de 1 arbre pour 10 m<sup>2</sup>.  
En cas de parcelles bâties contigues, les propriétaires auront intérêt à se concerter de manière à regrouper ces plantations pour qu'elles constituent un espace boisé substantiel.
  - A plus grande échelle, sur les parcelles vierges, les groupements de propriétaires ou les collectivités pourront effectuer des boisements plus denses et donc plus efficaces, sur la base de 1 arbre pour 5 m<sup>2</sup>.
- 2 - Il y a lieu d'entretenir et de surveiller les conduits d'évacuation des eaux pluviales et des sources captées.

Ces conduits pourront être prolongés jusqu'au bord de la côte en utilisant des modèles souples acceptant les déformations.
- 3 - En ce qui concerne les eaux usées, les propriétés qui ne pourront être raccordées au réseau, utiliseront de préférence des procédés tels que filtre à sable avec récupération des eaux après traitement et évacuation selon le même principe que pour les eaux pluviales.
- 4 - Les propriétaires ou leur groupement pourront procéder au drainage renforcé de leurs terrains (captage des nappes).
- 5 - Les propriétaires pourront conforter leurs constructions par une reprise en sous-oeuvre :
  - . rigidification des structures
  - . fondations profondes atteignant les terrains non glissés dimensionnées pour résister aux efforts latéraux,
  - . murs de soutènement drainés,
- 6 - Enfin, il y a tout intérêt d'assurer la protection de la côte au moyen de digues en enrochements.

## **Les stratégies de prévention**

## GLISSEMENTS DE TERRAINS - COULEES LENTES

La stratégie de prévention doit se baser sur :

- une étude et un diagnostic ;
- des tentatives de prévision et une surveillance des zones sensibles;
- des mesures passives ;
- des mesures actives.

### 1. Etude et diagnostic

Bien que l'étude et le diagnostic d'un glissement de terrain soient considérés comme étant le fait de spécialistes, une véritable prévention nécessite la participation de toutes les personnes morales ou physiques concernées. Les conséquences de tels mouvements affectent les réseaux et les structures ; c'est généralement par les premières traces visibles de désordres que l'attention est attirée sur un glissement de terrain (fissuration de chaussée, rupture de canalisation, décrochement dans une clôture, désordres dans les constructions). Dès les premières manifestations recensées, il est fondamental de rassembler des observations tendant à répondre aux questions suivantes :

- quelle est la superficie concernée ?
- quels sont les ouvrages existant ou futurs implantés dans la zone intéressée ?
- quelle est, en ordre de grandeur, la vitesse d'évolution ?
- quelle est la masse de terrain concerné ?
- quels sont les éléments moteurs agissant sur le phénomène ?

La définition de mesures passives ou actives de prévention dépend essentiellement de la réponse à ces questions, bien qu'il s'agisse pour certaines d'appréciations sans caractère très rigoureux.

### 2. Prévision et surveillance

La prévision concerne deux aspects : quelles peuvent être l'amplitude et les vitesses d'évolution des mouvements à venir, et quelles peuvent être leurs incidences sur les équipements, les biens et les personnes.

La prévision doit s'accompagner d'une surveillance qui fait partie intégrante de la stratégie de prévention, car elle permet de vérifier et de corriger les prévisions et de juger des effets des mesures actives de prévention, donc de les adapter suivant les cas .

Il faut attirer l'attention sur le fait que l'efficacité de ces études et mesures n'est pas toujours liée à leur volume ou à leur coût ; l'expérience locale, la participation de chacun, l'utilisation de moyens rustiques peuvent donner des résultats inattendus ; il est donc capital, dans toute stratégie de prévention, de se poser les questions correspondantes, même s'il paraît difficile d'y apporter une réponse précise.

### 3. Mesures passives

Les mesures passives de prévention visent les travaux, constructions et aménagements à faire dans une zone reconnue comme présentant un risque potentiel (glissement ancien stabilisé, versant non affecté par un mouvement mais jugé vulnérable), ou les confortements ou réparations d'ouvrages dans des zones reconnues comme stabilisées ou en voie de stabilisation.

Ce sont des mesures ayant pour but de maintenir ou améliorer les conditions de stabilité (terrassements, soutènements, drainage, maîtrise des ébranlements ou vibrations, reports de charges des structures sur des fondations profondes ou semi-profondes intéressant des terrains réputés stables), ou de renforcer ou adapter les structures (radiers, contreventements, rigidification, disposition de joints de rupture, conception, adaptation, surveillance et entretien de réseaux).

Les mesures passives peuvent parfois avoir un rôle actif, en améliorant quelque peu la stabilité générale des terrains ; cet effet n'est sensible que pour les mesures améliorant le drainage de manière permanente, et on doit se persuader qu'en règle générale, un renforcement de structure (fondations profondes), compte-tenu des efforts susceptibles de se développer, ne peut avoir qu'un rôle passif et non actif.

#### 4. Mesures actives

Les mesures actives de prévention visent à agir sur les éléments moteurs qui sont à l'origine des mouvements et à améliorer la stabilité ou obtenir la stabilisation. Elles sont de trois types principaux : drainage, remodelage de la topographie, contention ou renforcement.

Le drainage (tranchées drainantes, drains subhorizontaux, recueil et évacuation des eaux vives en dehors de la zone d'instabilité potentielle ou déclarée, rabattement de nappes) a toujours un effet stabilisateur sur les glissements de terrain, en réduisant les efforts globaux moteurs dûs aux poussées de l'eau, et en contribuant à améliorer la résistance au cisaillement des terrains par consolidation. Dans le premier cas, l'action s'exerce surtout sur les glissements de terrains proprement dits; dans le second, l'efficacité concerne les coulées lentes, mais elle peut alors être difficile à obtenir, suivant les conditions des terrains (perméabilité) et le caractère plus ou moins évolutif de la coulée, ce qui peut être dommageable pour la conservation du système mis en place.

Le remodelage de la topographie doit chercher à diminuer la masse amont de la partie en mouvement (motrice et/ou à augmenter la masse aval (stabilisatrice). Le but est d'obtenir un profil de terrain plus stable ; cette action peut s'accompagner de drainage (masques drainants). Elle est très efficace, mais limitée par les volumes de terrassement mis en jeu lorsque les glissements sont de grande étendue ; par ailleurs, l'incidence des modifications apportées à la topographie doit être étudiée dans tous ses aspects, pour acquérir la certitude qu'une amélioration locale n'amène pas une aggravation à l'entour de la zone. Enfin, on doit se préoccuper de la protection contre l'érosion tant des parties terrassées ou remblayées que dans celles qui sont soumises à l'action permanente ou temporaire de flots qui provoquent un salement à la base de versants ou talus.

Les mesures de contention ou renforcement comportent la réalisation d'ouvrages (contreforts, murs de soutènement, murs ancrés, clouage, pieux) qui tendent à retenir la masse en mouvement potentiel en s'appuyant sur la masse stable ou en s'accrochant à elle. Ces dispositifs ne sont efficaces que pour les glissements de terrain proprement dits dans une phase d'activité faible ou nulle, ou pour éviter leur déclenchement. Elles sont inefficaces pour les coulées lentes non stabilisées.



## 5 Bibliographie

ECKEL E.B. (Editor)

Landslides in engineering practice  
Nat. Res. Council, Nat. Acad. Sc. (Washington)  
Highway research board (U.S.A.) Special report 29, 1958

Document sur les glissements et les interventions techniques dont ils font l'objet

CAMBEFORT H.

Reconnaissance des sols et fondations spéciales  
1 vol., Paris, Eyrolles, 3e éd., 1966, 208 p.

Dispositions constructives adoptées sur sols instables

ZARUBA Q. , MENCL V.

Landslides and their control  
1 vol., Amsterdam, Elsevier, 1969, 205 p.

Mesures correctives (chap. 8, pp. 138-163) : remodelage, drainages, soutènements et confortation

TER STEPANIAN G., TER STEPANIAN H.

Analysis of landslide deformation of buildings and engineering structures  
C.R. 1er Cong. Assoc. int. Géol. Ing. Paris, 1970, pp. 155-162

Types de constructions adaptés en cas d'instabilité du sous-sol

CAMBEFORT H.

Géotechnique de l'Ingénieur  
1 vol. Paris, Eyrolles, 3eme éd., 1972

Méthodes de stabilisation : les drainages, les murs de soutènement, le clouage ...

LOUIS C.

Le drainage dans les roches fissurées  
Bull. B.R.G.M., (2), III n° 1, 1972, pp. 3-11

Drainage des talus - Efficacité nécessaire - Comparaison des solutions types (drains horizontaux, galerie, puits de pompage)

SCHLOSSER F.

La terre armée - Recherches et réalisations  
Bull. Liaison Labor. Ponts et Chaussées, 62, 1972, p. 79

Murs de soutènement sur sols de faible portance

S.E.T.R.A.

Ouvrages de soutènement : MUR 73  
Dossier technique, SETRA, Division des ouvrages d'art, B 1973

Référence pratique pour tous types de murs de soutènement

L.C.P.C.

La Terre Armée - Note d'information technique - 1973

Différentes variantes - Mode d'exécution - Contrôle

FRIES C.K.

Experiences with slides in decomposed schists and phyllites  
C.R. 2eme Cong. Assoc. int. Géol. Ing., San Paulo, 1974, t; II  
V - PC 2, 13 p.

Comportement satisfaisant de nombreux murs de soutènement ancrés, retenant des glissements de produits d'altération sur schistes

AMAR S., BLONDEAU F., FOLLACCI J.P., GAUDIN B., et SCHLOSSER F.

Menace d'effondrement d'un grand remblai routier en zone montagneuse.  
Bull. Liaison Labor. Ponts et Chaussées, 75, 1975, pp. 137-140

Glissement stabilisé par butée de pied et dispositif de drainage (galerie et forages rayonnants)

COLAS G., SIMON A., PAYANI M. et PILOT G.

Les glissements de terrain sur l'autoroute A 7 à Rognac, près de l'étang de Berre  
Bull. Liaison Labor. Ponts et Chaussées, n° spéc. III, 1976, pp. 70-80

Etude de la confortation - Réalisation par remodelage, drainage et butée de pied

RAT M.

Drainages

Bull. Liaison Labor. Ponts et Chaussées n° spéc. III, 1976, pp. 151-160

Dispositifs divers de stabilisation par drainage : tranchées, éperons, drains forés horizontaux, masques

HUTCHINSON J.N.

Assesment of the effectiveness of corrective measures in relation to geological conditions and types of slope movement.

Bull. Assoc. int. Géol. Ing. 16, 1977, ppp. 131-155

Référence fondamentale - Revue critique des types d'intervention corrective connus - Examen détaillé des problèmes de remodelage et de drainage - Bibliographie 166 titres

MENCL V., PAPOUSEK Z. et PASEKA A.

Building-up a landslide area situated on the boundary of the Carpathian foredeep.

Bull. Ass. int. Géol. Ing., 16, 1977, pp. 174-176

Reconnaissance du site - Travaux généraux de stabilisation - Détail des dispositions constructives adoptées

LOVENBURY, ROBINSON et Mc CLENAHAN

Hillside stabilisation using rock anchors at Grimwith reservoir  
Proceeding of 2nd Conference on Ground movements and structures, 1980  
Pentech Press, Londres

COLAS G. et PAYANI M.

Etude des glissements de terrain survenus dans la commune du Beausset, Var, France

Bull. Liaison Labor. Ponts et Chaussées, n° spéc. X, 1981, pp. 71-80

Schéma des dispositifs confortatifs envisagés : tranchées drainantes

COLAS G. et PAYANI M.

Lotissement des Heures Claires à Istres, Bouches-du-Rhône, France  
Glissements de terrain

Bull. Liaison Labor. Ponts et Chaussées, n° spéc. X, 1981, pp. 101-110

Description des dispositifs de confortation : tranchées drainantes et butées de pied

BLONDEAU F. et VIROLLET M.

Comportement des murs de soutènement en zone instable.  
Bull. Liaison Labor. Ponts et Chaussées, n° spéc. II, 1976, pp. 149-154

Glissement rocheux - Essai de stabilisation par murs.

CERCIELLO C.

Reinforcement of a sliding slope by means of "reticulated pali radice (root piles) structures".

C.R. 2e Cong. Assoc. int. Geol. Ing, Sa Paulo, 1974, t. II, V - 29, 10 p.

Clouage par pieux minces dont les sommets, solidarisés par des câbles, assujettissent une couverture continue de treillage.

FLIMMEL I.

Horizontal drainage borings and cast-in-situ pile walls as stabilization treatments of landslides in sedimentary rocks.

Bull. Assoc. int. Geol. Ing., 16, 1977, pp. 168-170.

Données pour l'utilisation des drains subhorizontaux - Id. sur les pieux moulés et parois de pieux destinées au blocage des mouvements.

HENKE D.F.

Stabilization of landslides in weathered clay-shale using pretensioned grouted anchors.

C.R. 2e Cong. Ass. int. Geol. Ing., Sao Paulo, 1974, t. II, V - 9, 8 p.

Contreforts de béton poreux, jouant simultanément le rôle de drains, et fixés par des tirants d'ancrage.

PILOT G.

Stabilité des talus routiers

Bull. Liaison Labor des Ponts et Chaussées, n° spéc. N, 1970, pp. 163-179

Divers dispositifs de drainage.

RICO A., SPRINGALL G., MENDOZA A.

Investigations of instability and remedial works on the Tijuana-Ensenada Highway, Mexico.

Geotechnique (Londres), 1976, XXVI, n° 4, pp. 577-590.

Glissements stabilisés essentiellement par drainage.

SCHUSTER R.L., KRIZEK R.J. (Editors)

Landslides. Analysis and control.

National Research Council. Nat. Acad. of Sc. (Washington).  
Transportation Research Board. Spec. report 176, 1978, 234 p.

Etude de dispositions techniques opposées aux glissements.

BARRETT, ROYSTER, RUFF, SMITH

Transportation Research Record, n° 783, 1981

Bilan de l'utilisation de drains subhorizontaux : méthodes d'exécution,  
efficacité, entretien, pérennité.

VEDER C, HILBERT F.

Landslides and their stabilization

1 vol., Vienne-New York, Springer-Verlag, 1981, 247 p.

Mesures de stabilisation, présentation de cas.

-- Tableau de synthèse --

	Définition	Nature	Identification	Appréciation du coût	Glissements circulaires	efficacité		solifluxion	
						Glissements plans	coulées lentes		
Mesures actives Méthodes de prévention visant à la non apparition, la limitation ou la disparition du phénomène	Dispositions législatives ou réglementaires existantes de l'espace  Mesures visant à un rééquilibrage des masses  Mesures visant à modifier dans un sens favorable le régime des eaux de surface et souterraines	-Réglementation de la gestion forestière	-Interdiction de défrichement -Création de forêts de protection -Soumission au régime forestier -Création d'espaces boisés classés	nul pris en charge par l'Etat nul nul variable	+ à +++ + à +++ + à +++ + à +++	+ à +++ + à +++ + à +++ + à +++			
		-Travaux de terrassement	-Remodelage	20 à 50 F/m <sup>3</sup>	++	peu adapté	Impraticable	Inopérant	
		-Travaux de terrassement et de génie civil -Petits travaux de génie civil	-Protection contre l'érosion en pied -Collecte des eaux provenant de l'amont	variable suivant aménagement 150 - 200 F le ml	++	++	Inopérant	Inopérant	Inopérant
		-Travaux de drainage	-Collecte des eaux de surface -Tranchées drainantes perpendiculaires à la pente -Tranchées drainantes suivant la pente -Éperons drainants -Mâcles drainants -Galeries drainantes	150 - 200 F le ml 300 à 400 F le ml pour une profondeur de 3 m 100 à 400 F le m <sup>2</sup> + collecteur 200 à 200 F le m <sup>2</sup> très élevé	+ ou ++ + ou ++ + ou ++ +++	+ ou ++ + ou ++ + ou ++ +++	+ ou ++ + ou ++ + ou ++ +++	+ ou ++ + ou ++ + ou ++ +++	Inopérant Inopérant Inopérant Inopérant Inadapté Inadapté Inadapté
		-Travaux de végétalisation	-Travaux de végétalisation	variable suivant méthode	+ à ++	+++	+++	+++	+++
Mesures passives Méthodes de prévention visant à éviter ou à réduire les dommages aux biens ou aux personnes sans agir sur l'origine ou les causes du phénomène constituant le risque	Mesures visant à augmenter la butée en pied  Mesures visant à augmenter la résistance au cisaillement  Mesures visant à éviter de compromettre l'équilibre par apport de surcharges	-Travaux de génie civil -Travaux de génie civil	Murs de soutènement autostables Murs de soutènement ancrés	très variable suivant hauteur élevée  modéré relativement élevé très variable	+ à +++ suivant volume + à +++	+++	peu adapté peu adapté	Inadapté Inadapté	
		-Travaux de fondations	-Fondations profondes	élevé	++	++	Inadapté	Inadapté	
	Optimisation de la localisation des ouvrages	Etude de site	Conditions d'implantation	faible	fonction de l'extension de la zone critique				
		Travaux de bâtiment	Renforcement de structure Fondations profondes	majoration de 5 à 15 % élevée	++	+++	+++	+++	Inadapté
		Travaux de VRD	Conception des réseaux Surveillance et entretien des réseaux	modéré faible	++	+++	+++	+++	Inadapté

## CHUTES DE PIERRE OU DE BLOCS

### ECROULEMENTS ROCHEUX

#### 1. Dispositions constructives

=====

Ces dispositions sont adoptées soit pour protéger les constructions par leur seule présence, soit pour leur assurer une défense supplémentaire, en dépit de dispositifs de ralentissement, de détournement et de blocage déjà mis en place à l'amont.

Dans ce dernier cas, leur mise en oeuvre tient compte du fait qu'au-delà des limites que le P.E.R. fixe aux zones à coup sûr menacées (zones rouges), un événement exceptionnel (bloc de taille anormale, trajectoire aberrante) n'est jamais strictement exclu.

Dans ces conditions, à part un choix, le plus judicieux possible, de l'emplacement de la construction (forme protectrice de la topographie à l'amont, rideau forestier dense...), la prévention consiste en un renforcement des fondations et murs porteurs côté amont (surépaisseur et ferrailage), cette façade aveugle étant éventuellement pourvue d'un matelas amortisseur (remblai de terre ou de matériaux divers, tels troncs d'arbres, pneus, etc...).

Il arrive également qu'en présence d'une construction existante, aux murs normaux, on reporte cette protection à faible distance, en établissant, en regard du bâtiment, un mur renforcé parallèle, pourvu sur son autre face d'un remblai, et qui joue alors un rôle comparable à celui d'un écran massif.

A la limite, on peut enfin envisager le cas de très grands rebondissements, les blocs atteignant les toitures avec un trajectoire quasi verticale. Des expériences menées pour étudier la protection de galeries routières en béton armé ont révélé la grande efficacité, vis-à-vis d'impacts dont l'énergie atteignait 50 tm, de nappes superposées de troncs d'arbres, portées par des poutres horizontales métalliques ou de béton. Mais il ne peut s'agir là que d'un dispositif tout à fait exceptionnel, si l'on reste dans le domaine des constructions courantes.

#### Travaux de protection

Il existe une grande diversité d'interventions possibles pour cette catégorie de risques. Le choix dépend, d'une part, des volumes susceptibles d'être mis en mouvement (pierres, blocs plus ou moins importants, voire pans entiers de falaise), d'autre part, soit du site sur lequel on peut efficacement intervenir (amorce du mouvement ou trajectoire des blocs), soit de l'incapacité où l'on se trouve de maîtriser un mouvement déjà déclenché que l'on se contentera alors de diriger.

Compte tenu de ce qui précède, on peut caractériser quatre modes d'intervention :

### 2.1. Elimination

=====

Elle consiste à déloger une fois pour toutes les projectiles potentiels :

- par purge manuelle. Celle-ci ne peut concerner que de petits éléments, dans une paroi dont l'état ne justifie pas un traitement généralisé, mais seulement des opérations ponctuelles.
- par abattage à l'explosif, pour des masses plus ou moins importantes, lorsque leur position peu accessible, leur manque de cohésion ou les mouvements qu'elles ont déjà subis rendent irréalisable toute tentative de consolidation sur place.

### 2.2 Stabilisation et contention

=====

Cela consiste soit à améliorer en quelque sorte la qualité de la masse rocheuse, soit à prévenir la poursuite de sa dégradation :

- les murs de revêtement ou le béton projeté concernent des surfaces plus ou moins étendues, qui émettent, de façon régulière et généralisée, des débris et jusqu'à des petits blocs, mais qu'il suffit de protéger superficiellement pour contenir celle-ci et éviter que l'altération et l'érosion ne progressent en profondeur,
- les piliers, butons et contreforts prennent appui sur la paroi elle-même pour assurer un soutènement ponctuel à des masses individualisées qui, pour des raisons diverses (forme en surplomb, décollement au long de grandes fissures limitantes), tendent à se désolidariser du relief ;
- les boulons, épingles et tirants renforcent également la stabilité de masses rocheuses relativement superficielles, mais en les solidarissant, par ancrage, avec le massif sain situé en profondeur ;
- enfin, la réduction du ruissellement tend, pour sa part, à protéger autant que possible l'aflèurement rocheux, si celui-ci est constitué par un matériau altérable, délitable ou gélif.

A côté de ces diverses techniques, qui connaissent parfois un emploi combiné, la contention peut encore être assurée par deux méthodes très simples :



- le câble de ceinturage, assujettissant un bloc instable à un point fixe situé plus haut ;

- le filet métallique (du type utilisé pour les écrans souples), plaqué sur une protubérance rocheuse disloquée qu'il enveloppe, et raidi à partir de pitons scellés et éventuellement renforcé par des câbles tendus.

### 2.3. Déviation de la trajectoire, freinage

=====

Ce type d'intervention assure un certain guidage de l'élément rocheux mobile, et sa force vive s'en trouve plus ou moins réduite. Les modes d'intervention sont divers :

- une couverture grillagée métallique est suspendue au sommet de l'escarpement d'où s'échappent des pierres ou des blocs relativement petits. Ces blocs s'écoulent donc entre le treillage et le rocher, ce qui ne va pas sans chocs et coincements. Finalement, ceux qui aboutissent au pied de la paroi, pris sous le filet, ne peuvent rebondir plus loin. Le filet peut également être en plastique, type filet de camouflage. Certaines qualités ont les mêmes performances mécaniques que le treillage métallique et supportent de plus grandes déformations avant rupture. Sur des talus à matrice terreuse, un filet plastique peut favoriser la revégétalisation ;

- les étraves et tournes sont disposées dans un versant pour détourner les blocs dévalant vers un point ou une zone sensible. En même temps, l'impact sur un obstacle meuble (remblai) absorbe une portion notable de leur énergie cinétique, et les ralentit. Dans des couloirs suffisamment bien dessinés, des groupes de tiges métalliques verticales scellées dans le rocher forment des obstacles ponctuels aboutissant au même résultat, en obligeant les blocs à ricocher d'une rive à l'autre, ce qui peut contribuer aussi à les fractionner.

### 2.4. Interception

=====

Il s'agit d'interrompre le mouvement des blocs en barrant la pente ou la surface de moins en moins inclinée qu'elle domine. Les modes d'intervention diffèrent par leur localisation et par leur nature :

- les écrans verticaux peuvent être construites même dans les parties raides du versant, et fondés sur le rocher si cela est nécessaire. On distingue les écrans rigides ou rateliers, et les nappes de filets, qui amortissent l'impact par leur déformation propre ;

- les écrans massifs ne concernent que les pentes suffisamment faibles et meubles, où on les érige à la façon de barrages en remblais. Les blocs qu'ils arrêtent s'y enfouissent en partie ;

- les plages d'arrêt augmentent la capacité de capture des écrans par la diminution de l'énergie des blocs au moyen d'une aire horizontale ou d'une tranchée disposées au long de la face amont du barrage.

Pour un rôle de butoir ou au moins de ralentisseur, on peut également avoir recours à des gabions, disposés en murs massifs ou en rangées parallèles.

Enfin, dans le cas où l'on est certain de n'avoir affaire qu'à des pierres, on peut dresser, dans une pente ou au sommet d'un ressaut, un écran grillagé vertical de type léger (modèle clôture de jardin ou de tennis)

### 3 Gestion des ouvrages existants

Il existe peu de cas où un ouvrage risque, par sa présence dans un versant, d'influer défavorablement sur la stabilité d'une paroi rocheuse. Les ouvrages implantés dans ces conditions topographiques sont, au contraire, pour leur économie propre, conçus de telle façon qu'ils ne risquent pas d'aggraver l'équilibre naturel et tendent plutôt à l'améliorer.

Par contre, l'installation de résidences ou d'établissements industriels situés en retrait du bord supérieur d'une falaise, peut être à l'origine de rejets d'eaux, volontaire ou non, dans le sous-sol fracturé et perméable.

Si cette injection artificielle ne représente qu'une petite fraction de l'apport météorique naturel auquel elle s'ajoute, cela est sans inconvénient pour la stabilité générale. Il en irait autrement dans le cas de rupture ou de fuites persistantes d'une canalisation enterrée, et on retiendra dans ce domaine, l'éventualité de pertes affectant un transit important, comme il s'en produit parfois au long de galeries hydroélectriques anciennes tracées dans un versant. Cette dernière cause d'instabilité conduit toutefois beaucoup plus fréquemment à des glissements qu'à des écroulements caractérisés.

Les mesures de prudence préconisées au niveau des implantations ou aménagements situés à l'amont de talus ou d'escarpements rocheux doivent donc concerner :

- la surveillance et le maintien de l'étanchéité de toutes les conduites et canalisations présentes ;

- l'acheminement, vers des zones non sensibles, des débits de ruissellement rassemblés au niveau des surfaces construites et imperméabilisées, ces débits, particulièrement élevés en période de précipitations importantes ou de fonte des neiges, ne devant pas pénétrer dans le sous-sol.

#### 4 Bibliographie

CAMBEFORT H.

Injection des sols T. II : Applications  
Paris, Eyrolles, 1964, 177 p.

Scellement de barres (épingles) et câbles d'ancrage

PRICE D.G., PLAISTED A.C.

Epoxy resins in rock slope stabilization works  
Symp. Soc. intern. Méc. Roches, Nancy, 1971, III-9, 11 p.

Régénération d'un relief rocheux urbain (Edimbourg) par injections et par boulons et épignales collés à la résine

C.E.T.E.G.R.E.F. Division Nivologie

Ancrages en sol rocheux  
Dossier technique, 53 p., Juillet 1972

Détails techniques pour la mise en oeuvre de boulons et barres d'ancrage

LAZERGES J. et CABROL E.

Protection de la voie ferrées Paris-Rome contre les chutes de rochers  
Travaux, 463, Oct 1973, pp. 25-29

Sautage d'un pan de falaise - Galerie couverte ancrée

LITTLEJOHN

Rock anchors - State of the art - Part 2 - Construction  
Ground Engineering - Sept 1975 - p. 34 à 45  
Nov. 197 - p. 36 à 45

Groupe d'Etudes des Falaises (GEF)  
Éboulements et chutes de pierres sur les routes  
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées - rapport de recherche n° 81 -  
1978 - recensement des parades - nombreux exemples

ALLOMBERT J, DESSENNE J.L. et GOUNON A.

Exemples de traitement de versants rocheux instables  
Colloque "Connaître le sous-sol...", Lyon. Edit. B.R.G.M., 1979, t. I,  
pp; 13-31

Stratégie de l'étude - Critères de choix des décisions -  
Exemples : Nice, Cavaillon, Lyon-St-Clair  
ROCHET L.

Protection contre les éboulements rocheux par filets métalliques  
Bull. Liaison Labor. Ponts et Chaussées, 101, 1979, pp. 21-28

Nappes de filets métalliques en écrans verticaux pour amortissement et  
blocage des blocs - En écrans horizontaux pour protection en pied de paroi-  
Amarrage de blocs isolés ou contention de reliefs disloqués par filets  
plaqués et ancrés

ROCHET L.

Protection contre les éboulements rocheux. Méthodologie des études  
spécifiques.  
Bull. Liaison Labor. Ponts et Chaussées, 106, 1980, pp. 57-68

HERAUD H. et RESTITUITO J.

Dynamitage des rochers de Coursavy, Cantal, France  
Bull. Liaison Labor. Ponts et Chaussées, n° spéc. X, 1981, pp. 87-92

Abattage dirigé - Fragmentation assez fine de 1000 m<sup>3</sup> de roche - Merlon  
pour protection temporaire

AZIMI C., DESVARREUX P., GIRAUD A. et MARTIN-COCHER J.

Méthode de calcul de la dynamique des chutes de blocs. Application à l'étude du versant de la montagne de la Pale (Vercors)  
Bull. Liaison Labor. Ponts et Chaussées, 122, 1982, pp. 93-102

Trajectographie : approche statistique de la distance maximale parcourue par les blocs et de leur poids résiduel

SCHWARTZMANN R. , TRITSCH J.J., et LE BOUAR C.

Abattage d'une falaise dangereuse en site urbanisé  
Colloque "Mouvements de terrain", Caen, 1984. Document B.R.G.M. n° 83, pp. 429-441

Abattage orienté d'un panneau de 30.000 m<sup>3</sup> - Aperçu du schéma de tir

COUVREUR S.

Les forêts de protection contre les risques naturels  
Mémoire Ec. nat. des Ing. des travaux des Eaux et Forêts  
C.E.M.A.G.R.E.F., 1 vol, 89 + 40 p.

ZAJIC J.

Stabilisation of the rockwall "Pastyraska Stena" by anchoring.  
Bull. Assoc. Int. Géol. Ing., 16, 1977, pp. 180-183

Dans une falaise de grès. Câbles tirants de 10 à 30 m.



**AFFAISSEMENTS ET EFFONDREMENTS**  
**LIES A L'EXISTENCE DE CAVITES NATURELLES OU ARTIFICIELLES**

1. Mesures de prévention passives et actives  
=====

Pour résoudre le problème posé par la présence de cavités souterraines, on peut rendre les ouvrages à protéger insensibles aux conséquences de la dégradation des cavités, (mesures passives), soit éviter cette dégradation (mesures actives).

Relèvent de la protection passive :

- Les dispositions constructives qui rassemblent un ensemble de mesures conduisant à modifier la conception des ouvrages par rapport à ce qu'elle serait normalement : renforcement de la structure des bâtiments, réalisation de fondations profondes, adoption de techniques et de matériaux pour la réalisation des réseaux adaptés au risque de mouvement des terrains ;
- La surveillance ultérieure de l'intégrité des réseaux, dont la dégradation peut être une cause aggravante du risque.

Relèvent de la protection active toutes les méthodes qui ont pour but d'assurer un soutien du ciel de la cavité afin d'éviter son effondrement.

2. Principales méthodes de prévention  
=====

Le choix d'une stratégie de protection doit être fait en fonction des réponses :

- Les cavités sont-elles évolutives : par exemple, dans les zones comprenant des matériaux fortement solubles dans un contexte hydrogéologique favorisant une évolution rapide (nappes comportant des circulations importantes)
- Quelle sont la position et la dimension de la ou des cavités?
- Quelles sont les dimensions probables en surface des affaissements et des effondrements susceptibles de se produire ?
- Quelle est l'utilisation prévue des terrains au-dessus de la cavité ?
- Quelle est la nature et la résistance des terrains limitant la cavité au-dessus (ciel ou toit) et en-dessous (sol ou mur) ?

- Le ciel de la cavité est-il en bon état ou disloqué ?
- Est-il possible d'accéder à la cavité de façon économique ?
- L'état de la cavité permet-il le travail des personnes sans risque ?

Le choix entre deux solutions possibles se fera en général en fonction de leurs coûts respectifs, ceux-ci pouvant varier dans le temps selon le contexte économique et les moyens disponibles. C'est ainsi que l'on constate une désaffection à l'heure actuelle pour les consolidations par piliers en maçonnerie, technique courante il y a une dizaine d'années, au profit des consolidations par injections.

En règle générale, les techniques ou méthodes décrites ne s'excluent pas. C'est ainsi que l'on pourra être amené à prévoir un renforcement des structures en cas de réalisation d'injection de remplissage. De la même façon, boulonnage et béton projeté sont souvent associés et l'une de ces techniques ou les deux peuvent être utilisées pour renforcer un ciel de carrière entre des piliers. Il est également fréquent de procéder à un remblaiement entre ces mêmes piliers. Le remblaiement peut aussi être envisagé dans le cas de fondations profondes par pieux forés afin de stabiliser la cavité elle-même.

### 3. Le traitement de l'environnement des cavités

=====

La présence d'une cavité entraîne en général une désorganisation au moins locale des couches de terrain qui la surmontent. Cette désorganisation est évolutive et liée aux circulations d'eau dans le sous-sol. Aux premiers stades, elle se traduit par des phénomènes de décompression ou de décollement de bancs suivant que les matériaux sont déformables ou rigides. Par la suite, les déformations s'amplifient jusqu'à provoquer l'affaissement des couches les plus proches de la cavité. Ce phénomène se propage vers le haut jusqu'à ce qu'il s'arrête soit parce qu'il atteint la surface du sol, soit parce que, à la suite du foisonnement des matériaux éboulés, le ciel de la cavité retrouve un soutien. Les endroits où ceci se produit sont des points susceptibles de présenter des mouvements, rapides si l'évolution peut atteindre la surface, plus lents s'ils sont la conséquence du tassement d'éboulis. Il est souvent nécessaire de traiter ces zones de façon à leur donner des caractéristiques compatibles avec les déformations acceptables pour les ouvrages sus-jacents, en complément des dispositions prises au niveau de la cavité proprement dite. Seules les injections de consolidation sont susceptibles d'atteindre ce but. Néanmoins, l'appréciation des risques qui peuvent résulter de ces évolutions est toujours difficile, tout comme la prévision de leur activité et de leur amplitude.



#### 4 Bibliographie

PRICE, MALKIN, KNILL

Foundations of multi-storey blocks on the Coal Measures with special reference to old mine workings  
Quart. Journ. Eng. Geol., 1969, vol. 1, N° 4, pp. 271-322

Cavités souterraines : dispositions constructives

LEPLAT J.

Les cavités souterraines de la craie dans le Nord de la France  
Bull. Liaison Labor. Ponts et Chaussées, 63, 1973, pp. 29-56  
ou ibid., n° Spéc. V, 1973, pp. 123-148

Techniques de comblement : remblai pneumatique par granulats ou injections de coulis (plus sûres mais plus coûteuses)

JARDIN J.

Fondations sur le gypse - Expérience acquise en région parisienne  
Bull. Liaison Labor. Ponts et Chaussées, 78, 1975, pp. 53-63

Karstification et fontis - exemples de divers types de fondations

MONOT

L'Inspection Générale des Carrières de Paris et les confortements du sous-sol  
Tunnels et ouvrages souterrains n° 26, Mars-Avril 1977

Méthodes de confortement d'anciennes carrières

CADILHAC, POUPELLOZ, TOULEMONT

Fondations d'ouvrage d'art en site karstique. Le viaduc de l'autoroute A 15.  
Bull. Liaison Labor. Ponts et Chaussées, 87, Janvier-Février 1977

Injections de cavités de dissolution du gypse

CAMBEFORT H.

The principles and applications of grouting  
Quart. Journ. Eng. Geol., 1977, vol. 10, N° 2, pp. 57-95

Application au comblement de cavités

LABATUT, GABIN

Construction de la gare souterraine du Paris Nord  
Tunnels et ouvrages souterrains n° 33, Mai-Juin 1979

Localisation et traitement par injections de cavité de dissolution du gypse

CARTER, JARMAN, SNEDDON

Mining subsidence in Bathgate, a town study  
Proceedings 2 nd Inter Conference on Ground Movements and Structures - 1980  
Pentech Press - Londres

Zonage et différentes solutions retenues pour l'aménagement d'un  
centre-ville au-dessus d'anciennes mines de charbon à faible profondeur -  
Adaptation en fonction de la nature des structures.

POUPELLOZ B. et TOULEMONT R.

Stabilisation des terrains karstiques par injection  
Bull. Ass. intern. Géol. Ing., 24, 1981, pp. 111-123

Etudes nécessaires pour mise au point du projet

ROQUES G. et ROZIERE A.

Cavités karstiques sous une voie ferrée à Beaucaire.  
Tunnels et ouvrages sout., Mai-Juin 1982, n° 51, pp. 128-137

Système d'alerte - Remblayage par coulis-mousse - Clavage par injections

Affaissements et effondrements liés à l'existence des cavités naturelles ou artificielles

— Tableau de synthèse —

	Définition	Nature	Identification	Appréciation du coût	Constructions cavités évolutives	Ouvrages sensibles aux déformations Cavités peu évolutives bon état	Ouvrages sensibles aux déformations aux mauvais état	Ouvrages peu sensibles aux déformations	Décompression induite ou liée aux cavités
Mesures actives Méthodes de prévention visant à la non apparition, la limitation ou la disparition du phénomène constituant le risque	Mesures visant à interdire le mouvement du ciel de la cavité  Mesure visant à limiter le mouvement du ciel Mesure visant à interdire le mouvement du ciel Mesure visant à limiter le tassement des terrains peu compacts entourant la cavité Mesures visant à éviter l'apparition ou l'accroissement d'un des facteurs de création ou d'instabilité des cavités	-Travaux en souterrain	-Consolidation par piliers en maçonnerie	500 à 800 F par m <sup>3</sup> de cavité + accès	Inadapté	+++	Inpraticable et Inadapté		Inadapté
		-Travaux d'injection	-Consolidation par plots en coulis	100 à 700 F par m <sup>3</sup> de cavité	Inadapté	++ à +++	Inopérant	techniques efficaces mais généralement trop onéreuses	Inadapté
		-Travaux en souterrain	-Boulonnage	500 à 800 F par m <sup>2</sup> de surface en plan	Inadapté	++ à +++	Inadapté	Inadapté	+ suivant hauteur
		-Travaux en souterrain	-béton projeté	150 à 250 F par m <sup>2</sup> traité + accès	+ à ++ selon conditions	++	Inadapté	Inadapté	Inadapté
		-Travaux en souterrain	-Remblaiement	100 à 200 F par m <sup>3</sup> + accès	Inadapté	Inadapté	+++	Inadapté	+++
Mesures passives Méthodes de prévention visant à éviter ou à réduire les dommages aux biens ou aux personnes sans agir sur l'origine ou les causes du phénomène constituant le risque	Mesure visant à éviter l'effondrement et limiter la fissuration Mesure visant à rendre l'ouvrage indépendant des mouvements Mesures visant à réduire la gravité des dommages en cas d'accidents	-Travaux de VRD	-Injections de remplissage	200 à 800 F par m <sup>3</sup> selon teneur en ciment	++ à +++	+++	+++	+++ mais Inadapté	+ à associer à inj. sons. ++ à +++
		-Travaux de VRD	-Injections de consolidation	très variable	Inadapté	Inadapté	Inadapté	++	++
		-Travaux de VRD	-Conception des réseaux -Surveillance des réseaux	modéré faible	++ ++	+	++ ++	++ ++	++ ++
		-Travaux de bâtiment	-Renforcement de structure	5 à 15 % du coût de l'ouvrage	fonction	des dimensions de l'accident possible et de la mise en oeuvre de mesures actives si nécessaire			
		-Travaux de fondations	-Fondations profondes	élevé	+++	+++	+++	+++ mais Inadapté	+++
		-travaux de VRD	-Conception des réseaux -Surveillance des réseaux	modéré faible	fonction	des dimensions de l'accident possible et de la mise en oeuvre de mesures actives si nécessaire			



## Fiches techniques

## MURS DE SOUTÈNEMENT

=====

### 1. OBJECTIF

Retenir les terres situées à l'amont (en l'absence de mouvement général dépassant le talus à maintenir).

S'applique à des hauteurs à soutenir normalement inférieures à 10 m.

### 2. DESCRIPTION SOMMAIRE

Grande diversité de structures pouvant assurer un soutènement :

- murs en béton (poids, en L, à contrefort, en éléments préfabriqués)
- murs en maçonnerie
- rideau de palplanches
- mur préfabriqué
- gabions

### 3. TECHNIQUE ASSOCIEE

Drainage, en particulier drainage de la face côté terrain du mur (réalisation de barbacanes). Il est fortement conseillé de réaliser un drain en pierres sèches avec exutoire au pied du mur à l'amont.

Techniques pouvant être associées :

- grillage et boulonnage
- réduction de l'angle du talus

### 4. ETABLISSEMENT DU PROJET

L'intervention d'un géotechnicien pour la définition des hypothèses et la vérification de la stabilité aux diverses phases de travaux est conseillée.

### 5. REALISATION

Il est conseillé de faire appel à une entreprise de travaux publics pour des mur d'une hauteur supérieure à 1 m.

Utilisation de matériaux adaptés aux conditions locales (ciments résistants aux eaux agressives, matériaux non gélifs, grillages galvanisés, etc...).

6. POINTS DEVANT FAIRE L'OBJET D'UNE ATTENTION PARTICULIERE

- Drainage à l'amont
- Assise du mur suffisamment résistante
- Conditions de stabilité du mur à toutes les phases de la réalisation  
En cas de glissement déclaré existant, les travaux peuvent provoquer une aggravation de la situation.

7. ENTRETIEN - SURVEILLANCE

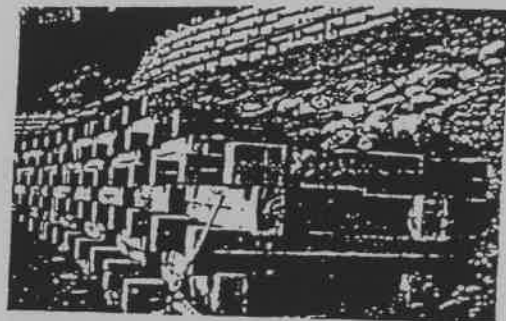
Dans tous les cas, entretien du drainage

Surveillance éventuelle de la corrosion suivant les matériaux utilisés

Surveillance périodique de l'apparition d'un déversement



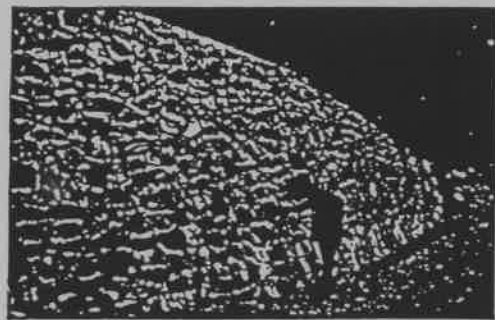
Réalisation des tirants  
pour un mur de soutènement  
ancré



mur de soutènement en  
éléments préfabriqués



soutènement en béton armé



soutènement en maçonnerie  
cyclopéenne.

## TRANCHEES DRAINANTES

=====

### 1. OBJECTIF

- collecter et évacuer l'eau contenue dans les terrains peu perméables (limons, argiles sableuses, sables fins) en pente de façon à diminuer la pression hydrostatique qui est un des facteurs prépondérants de leur instabilité ;

- pour être efficace, le drainage doit intéresser un volume suffisant des terrains instables avec un drainage mis en place avec des engins courants, on en pourra traiter que des zones où les masses susceptibles de glisser sont peu épaisses (de l'ordre de 5 m au maximum).

### 2. DESCRIPTION SOMMAIRE

Réseau de tranchées réalisée en tête de la masse instable et dans celles-ci. Il comporte des tranchées en épi se raccordant sur une tranchée collectrice disposée suivant la ligne de plus grande pente. Celle-ci doit être raccordée sur un exutoire naturel en veillant à ce que les eaux évacuées ne soient pas à l'origine d'une nouvelle instabilité à l'aval.

Chaque tranchée est équipée d'un drain enrobé dans un massif perméable dont la granulométrie doit être telle qu'il n'y ait pas d'entraînement des particules fines du terrain vers le drain (risque de colmatage). Une membrane en geotextile enveloppant le massif drainant peut être utilisée pour réduire le risque de contamination de celui-ci.

Des regards de visite doivent être mis en place tous les 50 m au maximum et à chaque changement de direction pour permettre la surveillance et l'entretien.

### 3. METHODES OU TECHNIQUES POUVANT ETRE ASSOCIEES

- Collecte des eaux provenant de l'amont
- Collecte des eaux de surface
- Masque drainant
- Renforcement par ancrages et/ou clouage

### 4. ETABLISSEMENT DU PROJET

Le recours à un spécialiste est pratiquement indispensable pour concevoir le système de drainage en tenant compte de la topographie, la géologie, des caractéristiques des terrains, de l'hydrogéologie.

### 5. REALISATION

Soit par une entreprise de travaux publics habituée à la pose de canalisations, soit par des entreprises spécialisées.

Utilisation de matériel courant de terrassement (pelle)



6. POINTS DEVANT FAIRE L'OBJET D'UNE ATTENTION PARTICULIERE

- stabilité des parois de la tranchée (ouverture par tronçons de longueur limitée)
- réglage en altitude des drains pour éviter les contrepenes
- qualité du matériau drainant

7. Entretien - Surveillance

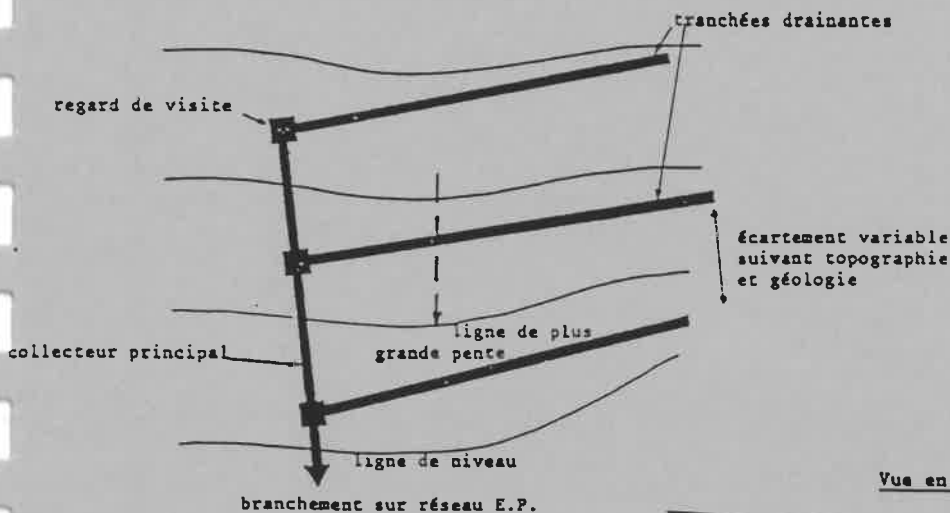
Surveillance du maintien de l'efficacité par :

- observation de l'évolution des débits (tenir compte de la pluviométrie)
- vérification de la présence ou non de particules solides dans les eaux (risque de colmatage du filtre et des drains)
- recherche de dépôts ou de concrétions dans les tuyaux et les regards

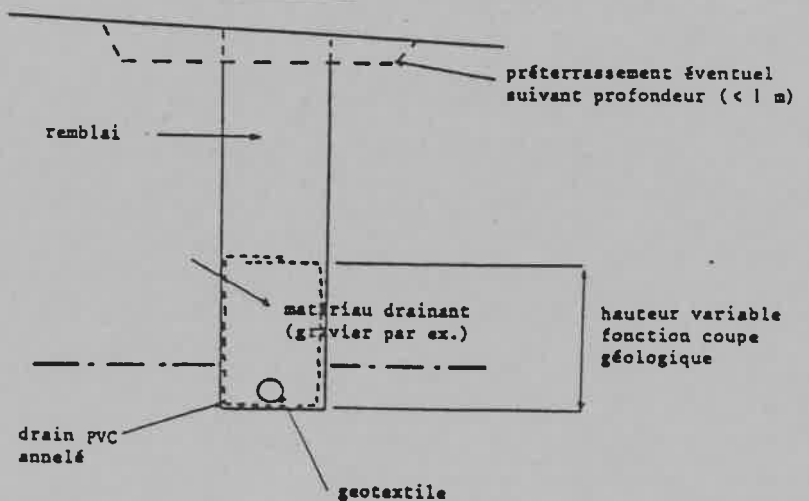
Entretien :

- débouchage des drains en cas de nécessité
- curage périodique des regards
- réfection des parties colmatées

Vue en plan



Vue en coupe



## ECRANS SOUPLES OU RIGIDES

=====

### 1. OBJECTIF

- arrêter les blocs de pierres détachées de l'amont avant qu'il n'atteignent les personnes, les biens et les activités exposées ;

- il faut vérifier que là où il peut être réalisé, l'écran ne risque ni d'être détruit par des blocs trop gros ou arrivant trop vite, ni d'être franchi par des blocs rebondissant.

### 2. DESCRIPTION SOMMAIRE

Deux types d'écrans peuvent être réalisés :

- écrans souples constitués par des panneaux de grillage renforcés ou non par des câbles, supportés par des poteaux scellés dans le sol et haubannés. Leur efficacité peut être accrue par des dispositifs assurant une déformation progressive lors du choc ;

- écrans rigides : murs en béton, rateliers en bois ou en métal.

### 3. METHODES OU TECHNIQUES POUVANT ETRE ASSOCIEES

Pour des blocs de grande taille :

- calage
- arrimage par tirants, câbles, filets
- purge ou abattage
- plage d'arrêt

Végétalisation des pentes pour réduire le risque de déchaussement des blocs en terrain meuble

### 4. ETABLISSEMENT DU PROJET

Il est fortement recommandé de faire appel à un spécialiste pour apprécier les caractéristiques du phénomène (taille et vitesse de blocs) et définir le type et la position de la protection à réaliser.

### 5. REALISATION

Qualification de l'entreprise :

-----  
Entreprise artisanale en général pour les rateliers

Entreprise spécialisée pour des dispositifs assurant une déformation progressive

Matériaux utilisés :

-----  
Rateliers : profilés métalliques, rails, madriers, troncs d'arbres,  
etc...

Ecrans souples : câbles et grillages en acier galvanisé

6. POINTS DEVANT FAIRE L'OBJET D'UNE ATTENTION PARTICULIERE

- qualité des scellements pour les supports et les ancrages des  
haubans, contrôle nécessaire par des essais d'arrachage

7. ENTRETIEN - SURVEILLANCE

- recherche des déchirures
- vérification périodique des réglages des haubans
- surveillance de la corrosion
- évacuation des blocs accumulés en avant de l'écran lorsque leur  
accumulation peut former un tremplin permettant le franchissement de  
l'obstacle.



Ecran souple avec boude  
de freinage pour l'amortissement



detail d'un  
grillage



Ecran rigide vue amont  
profilés métalliques  
+ madriers



Ecran rigide  
vue aval

## PURGE MANUELLE DE PAROIS ET DE TALUS

=====

### 1. OBJECTIF

Provoquer de façon contrôlée la chute des blocs menaçants.

### 2. DESCRIPTION SOMMAIRE

Chute provoquée des blocs à éliminer après adoption de mesures de protection temporaire des personnes et des constructions situées en contrebas.

S'applique normalement à des volumes limités (moins de  $1\text{m}^3$  pour des blocs, quelques  $\text{m}^3$  en terrain meuble).

Il est nécessaire de s'assurer que la purge n'entraîne pas une destabilisation du massif à l'amont.

### 3. METHODES OU TECHNIQUES POUVANT ETRE ASSOCIEES

Toutes les méthodes de soutènement ou de protection de surface permettant d'éviter la réapparition de l'instabilité.

### 4. ETABLISSEMENT DU PROJET

Il est fortement recommandé de faire appel à un spécialiste pour apprécier les conséquences de la purge, définir le déroulement des opérations et en particulier les mesures de protection à adopter pendant celles-ci.

### 5. REALISATION

Pas de qualification particulière de l'entreprise requise.

### 6. POINTS DEVANT FAIRE L'OBJET D'UNE ATTENTION PARTICULIERE

La protection des personnes et des constructions pendant les travaux.

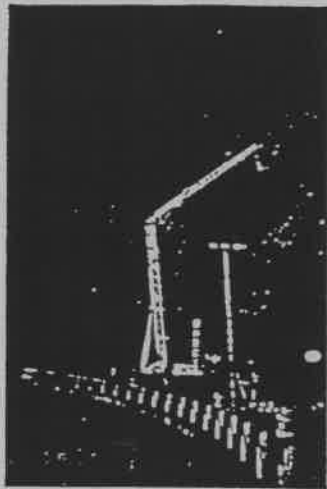
### 7. ENTRETIEN - SURVEILLANCE

Surveillance visuelle de l'évolution de la zone purgée.

Répétition de l'intervention si de nouveaux blocs deviennent instables.



purge par personnel  
encordé



purge avec une nacelle  
autoélévatrice.

## RENFORCEMENT DE STRUCTURES

=====

### 1. OBJECTIF

Rendre la structure indéformable pour qu'en cas d'affaissement de surface localisé en un point quelconque de son emprise, elle ne présente que des mouvements d'ensemble limités sans que se produisent, au droit de la cavité, des déformations de la construction susceptibles d'endommager celle-ci.

S'applique normalement à des constructions existantes ou futures situées au-dessus de cavités dont les dimensions en plan sont sensiblement inférieures à celles de l'ouvrage à protéger.

### 2. DESCRIPTION SOMMAIRE

Création dans la structure des éléments rigides.

Ces éléments peuvent se situer en superstructure : poutres voiles, chaînage, ou en infrastructure : radiers nervurés, réseaux de longrines.

### 3. METHODES OU TECHNIQUES POUVANT ETRE ASSOCIEES

Fondations profondes. Association nécessaire lorsque :

- les terrains de surface ne permettent pas des fondations superficielles normales ;
- il existe un niveau qui ne comporte pas de cavités connues mais où il est possible qu'il en apparaisse ;
- ce niveau est trop profond pour qu'il soit économiquement justifié de descendre les fondations en-dessous.
- injections destinées soit à remplir les cavités existantes (cette association se fera si l'on a des raisons de penser que ce remplissage risquerait de ne pas être complet), soit à consolider des terrains fortement décomprimés par des affaissements anciens ou en cours d'évolution.

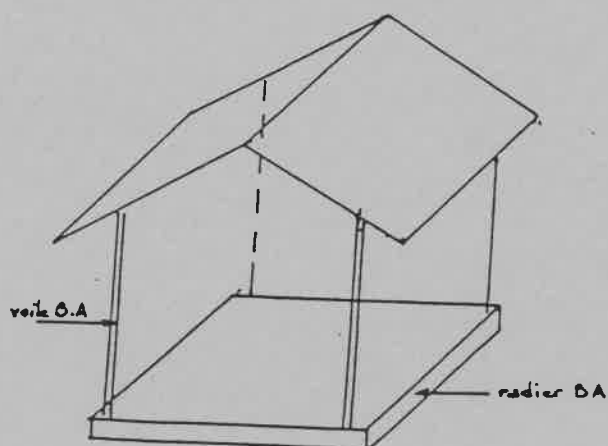
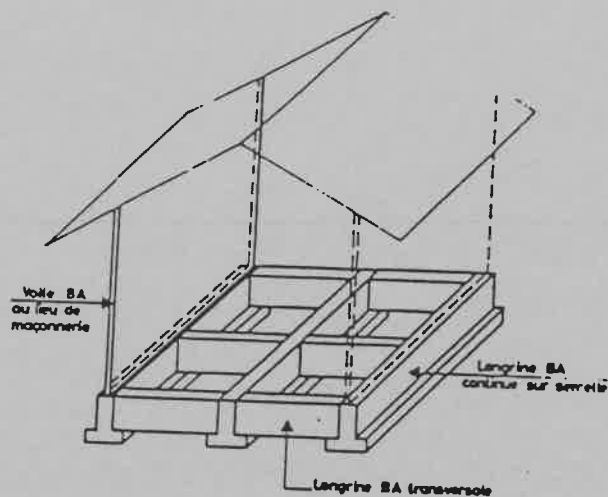
### 4. ETABLISSEMENT DU PROJET

Il est fortement recommandé de faire appel à des spécialistes, en particulier pour la définition, de la nature et des caractéristiques du phénomène contre lequel il convient de se protéger et des techniques adaptées.

## 5. REALISATION

Entreprise de bâtiment ou de travaux spéciaux de fondations (pieux, injections,...) s'il y a des interventions de ce type associées.

Utilisation de matériaux adaptés au milieu, en particulier les ciments devront, si nécessaire, résister aux eaux agressives.



Éléments de renforcement de l'infrastructure  
d'une construction

CONSOLIDATION DE CAVITES PAR  
INJECTION DE COULIS DE CIMENT

=====

1. OBJECTIF

Comblent les vides existants par un coulis de façon à soutenir les terrains les surmontant et éviter leur effondrement.

Le comblement est obtenu par injection d'un mélange constitué le plus souvent de matériaux inertes (sables, cendres provenant des installations industrielles utilisant le charbon) et de ciment.

Peut être réalisé quel que soit le type de cavité.

2. DESCRIPTION SOMMAIRE

Les opérations comportent :

- l'exécution de forages atteignant la cavité
- l'injection du matériau de comblement dans la cavité au moyen de pompes spéciales

Dans le cas de cavités dont la surface est largement supérieure à celle que l'on veut traiter (ancienne exploitation souterraine), on cherche dans un premier stade à créer une barrière périphérique.

La densité des forages est fonction de l'état de la cavité (de l'ordre de 1 pour 100 m<sup>2</sup> pour une cavité ouverte en bon état, de l'ordre de 1 pour 25m<sup>2</sup> ou moins pour une cavité partiellement comblée ou effondrée).

3. TECHNIQUES POUVANT ETRE ASSOCIEES

Injections destinées à consolider les terrains décomprimés dans les zones effondrées

Renforcement de structure

4. ETABLISSEMENT DU PROJET

Il est très fortement recommandé de le confier à un spécialiste averti qui seul sera en mesure de recenser les éléments nécessaires à sa mise en forme ou de définir les investigations nécessaires pour le faire.

5. REALISATION

Nécessairement le fait d'entreprises spécialisées.



## Matériaux

=====

Peuvent être très divers, mais devront toujours être stables dans le temps, dans les conditions régnant au niveau de la cavité. En particulier, les ciments doivent être d'un type résistant aux eaux agressives.

Le plus souvent coulis constitués de sable ou de cendres de centrale et de ciment. De la bentonite y est parfois ajoutée.

## Matériels :

=====

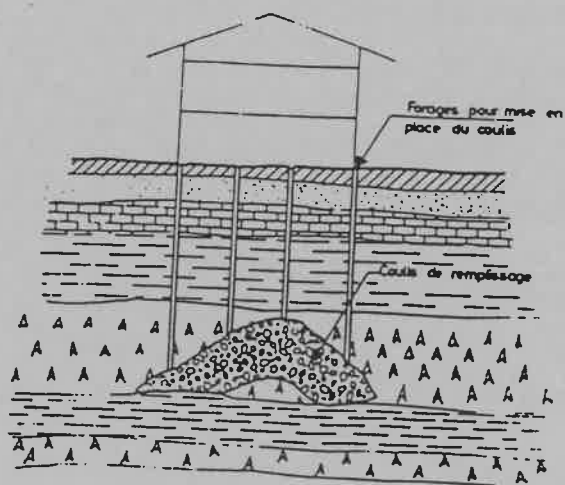
- ateliers de forages adaptés aux diamètres requis (100 mm minimum en général) et aux profondeurs à atteindre
- malaxeurs spéciaux pour la préparation des coulis
- réservoir tampon avec agitateur
- pompes d'injection

## 6. POINTS DEVANT FAIRE L'OBJET D'UNE ATTENTION PARTICULIERE

- la qualité et la régularité du matériau injecté (essais en cours et après travaux)
- les quantités injectées
- le remplissage complet de la cavité (forages de contrôle)

## 7. ENTRETIEN - SURVEILLANCE

Dans les roches solubles, contrôles périodiques éventuels pour détecter de nouvelles cavités si la dissolution se poursuit.



Injection de remplissage d'une cavité dont l'extension latérale est sensiblement équivalente à celle de la construction

## REVEGETALISATION SUR PETITES BANQUETTES

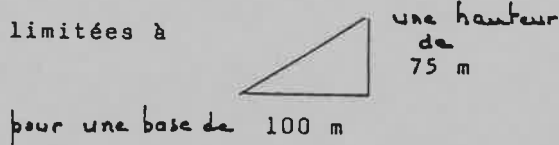
=====

### 1. OBJECTIF

Limiter le ruissellement et le décapage d'un versant de façon à permettre l'installation de la végétation.

S'applique à des versants stables dénudés soumis à une érosion en nappe ou en rigole ou à un ravinement superficiel.

S'applique à des pentes limitées à



### 2. DESCRIPTION SOMMAIRE

Construction de banquettes soutenues par des grillages ou des fascines suivant des courbes de niveau et plantées d'espèces herbacées et/ou arbustives colonisatrices adaptées aux sols et au climat locaux. L'espacement des banquettes est variable suivant la pente sans que la distance en altitude dépasse 2,5 à 3 m.

Les opérations comportent :

- terrassement d'une plateforme de 0,50 m environ
- mise en place des piquets et ancrages
- pose du parement (grillage)
- remblaiement
- ensemencement

### 3. TECHNIQUES ASSOCIEES

- plantation de végétaux au pied des banquettes et en cordons entre les banquettes
- stabilisation des ravines si nécessaire

### 5. REALISATION

Pas de qualification spécifique requise.

Matériaux :

=====

Grillage galvanisé ou toiles synthétiques, piquets en acier ou en bois (chataignier, acacia), fil de fer galvanisé pour haubans.

En terrain dur, il peut être nécessaire d'utiliser le marteau piqueur pour les terrassements et la mise en place des piquets.

## 6. ENTRETIEN - SURVEILLANCE

La surveillance doit être régulière pour suivre l'évolution de la végétation et l'état des banquettes.

L'entretien consiste en un regarnissage de la végétation et la réparation des banquettes endommagées.

