



Cours M1

Mécanique des roches

Chapitre 3:
STABILITÉ DES VERSANTS ROCHEUX

Avril 2020

Mme BENDI-OUIS A.

Séance 1

INTRODUCTION (1/2)

Les éboulements et les chutes de blocs sont des phénomènes connus et décrits depuis longtemps.

Les éboulements rocheux représentent un danger majeur qui doit impérativement être pris en compte dans les régions montagneuses (est de l'Algérie; falaises, routes montagneuses...).

INTRODUCTION (2/2)

L'évaluation de "l'aléa éboulement " repose sur :

- des **raisonnements géologiques** (structural, morphologie, lithologie, ...)
- et **mécaniques** (géométrie des discontinuités, analyses géomécaniques, calculs numériques, ...),
- et sur certaines **conditions** considérées comme **aggravantes** pour le déclenchement d'un éboulement: météo, séismes, gel/dégel, érosion, dissolution, ...).

La connaissance de ces conditions fait partie de l'expérience des experts, acquise à travers l'étude de nombreux cas d'éboulements survenus dans des situations très variées

LES MOUVEMENTS DE TERRAIN (1/2)

Le terme générique « **mouvements de terrain** » désigne l'arrachement et le déplacement le long des pentes, de sols et de matériaux rocheux sous l'effet direct de forces de gravité.

Ces phénomènes diffèrent au niveau de l'évolution de l'instabilité, de la vitesse du mouvement durant la phase d'instabilité majeure, de la surface de rupture et de la nature géologique des terrains.

LES MOUVEMENTS DE TERRAIN (2/2)

Les différents types de mouvements de terrain sont en général classés en fonction du type de matériau impliqué et du type de mécanisme de déformation et de rupture; on peut citer:

- les glissements de terrain: terrain meuble, matériaux se déplacent principalement par glissement, avec des vitesses assez lentes.
- Les coulées boueuses,
- les éboulements rocheux et les chutes de blocs

LES ÉBOULEMENTS ROCHEUX (1/4)

Les éboulements rocheux sont des phénomènes rapides et événementiels, qui mobilisent des blocs de roches plus ou moins homogènes.

Le terme d'éboulement rocheux désigne un mouvement d'une masse rocheuse, dans lequel les blocs ne se déplacent pas seulement en glissant, mais peuvent aussi tomber en chute libre, glisser, rebondir, ou rouler.

Il en résulte que les vitesses atteintes sont trop rapides pour permettre une évacuation de la population menacée.

LES ÉBOULEMENTS ROCHEUX (2/4)



LES ÉBOULEMENTS ROCHEUX (3/4)



**Eboulement à Aokas (Béjaia): Le 25/02/2015:
7 morts et 15 blessés**

LES ÉBOULEMENTS ROCHEUX (4/4)

Un éboulement rocheux est donc une manifestation rapide, brutale et instantanée de l'évolution naturelle des pentes rocheuses résultant de l'action de la pesanteur et affectant des matériaux rigides, durs et fracturés.

Les éboulements sont des phénomènes qui n'évoluent pas régulièrement dans le temps. Ils présentent souvent des phases d'évolution lentes, imperceptibles à l'homme, qui le laisse croire, à tort, à la stabilité d'un versant.

Ensuite, s'ils connaissent des phases d'accélération, celles-ci sont susceptibles de conduire à une rupture brutale qui peut devenir catastrophique.

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES SUR LES ÉBOULEMENTS (1/2)

Les éboulements s'étendent sur un large éventail de phénomènes depuis les chutes de pierres et de blocs (courantes sur les routes) jusqu'aux instabilités de versants rocheux impliquant des volumes considérables.

Parmi les éléments rocheux on distingue :

- *les pierres* : volume inférieur au décimètre cube
- *les blocs* : volume du décimètre cube au mètre cube
- *les gros blocs* : volume supérieur au mètre cube

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES SUR LES ÉBOULEMENTS (2/2)

Les volumes des éboulements permettent de différencier :

- les **chutes de blocs isolés** ou les éboulements de petit volume, caractérisés par l'absence d'interaction des éléments entre eux (quelques dizaines à quelques centaines de mètres cubes),
- les **éboulements en masse**, caractérisés par l'apparition d'interaction des éléments entre eux (quelques milliers à quelques centaines de milliers de mètres cubes)
- les **éboulements en grande masse**, caractérisés par une forte interaction des éléments entre eux (à partir du million de mètres cubes). On parle alors d'écroulement.

Séance 2

LES MÉCANISMES D'INSTABILITÉS (1/3)

Les mécanismes d'instabilité qui affectent les versants rocheux et les falaises participent à l'évolution naturelle des pentes.

Un massif rocheux calcaire peut être représenté comme un agencement de blocs, de tailles et de géométries variables, qui restent solidaires tout d'abord grâce aux ponts de matières qui existent entre ces différents éléments, mais également par frottement.

LES MÉCANISMES D'INSTABILITÉS (2/3)

C'est en surface et pour des pentes élevées (falaises) que se posent les problèmes d'éboulements.

Le signe prémonitoire le plus important d'une déstabilisation d'une masse rocheuse correspond à l'observation de fissures ouvertes à l'arrière d'une falaise ou d'une pente raide.

Les principaux facteurs responsables de l'instabilité sont répertoriés en deux catégories

LES MÉCANISMES D'INSTABILITÉS (3/3)

Les principaux facteurs responsables de l'instabilité sont répertoriés en deux catégories:

- les **facteurs intrinsèques**, c'est-à-dire les facteurs de prédisposition d'un site aux instabilités (relief, nature géologique des terrains, etc.)
- les **facteurs aggravants ou dégradants**, comme les précipitations par exemple, qui peuvent jouer le rôle de facteurs déclenchant.

Les facteurs intrinsèques (1/2)

Les facteurs intrinsèques, ou de prédisposition, regroupent l'ensemble des caractéristiques, propres au massif rocheux. On distingue :

la topographie en falaise, ou l'existence de reliefs rocheux fissurés ou hétérogènes dominant les pentes.

Le risque d'éboulement est d'autant plus important que la pente du versant est raide (pour les falaises, la pente est proche de la verticale).

la nature lithologique des formations géologiques. Les comportements mécaniques des roches seront différents en fonction de leur nature. De plus, à l'air libre et sous l'action des eaux, les roches tendres (argiles, marnes, ...) s'érodent beaucoup plus facilement que des roches dures comme les calcaires.

Les facteurs intrinsèques (2/2)

l'histoire tectonique du secteur. Les massifs rocheux ont subi de fortes sollicitations tectoniques au cours de leur histoire géologique. Les discontinuités d'origine tectonique (fractures, failles) affectent essentiellement des roches cohérentes, et jouent un rôle déterminant dans la stabilité des falaises, puisqu'elles constituent des surfaces de faiblesse du massif qui guident la rupture.

les caractéristiques structurales et géomécaniques des discontinuités. Les différentes discontinuités structurales découpent le massif en un agencement de blocs plus ou moins instables en fonction de l'orientation, de l'espacement et de la continuité des familles de discontinuités.

Les facteurs aggravants(1/4)

Les facteurs aggravants ou dégradant regroupent l'ensemble des éléments externes agissant sur la roche, ou sur le massif rocheux. Ils contribuent, à plus ou moins long terme, à augmenter de façon irréversible le degré d'instabilité du massif .

Les facteurs ci-après sont souvent considérés comme responsables du déclenchement de l'instabilité.

On peut distinguer :

Les facteurs aggravants(2/4)

l'eau: En fonction du temps, les précipitations et les écoulements permanents conduisent au développement de pressions interstitielles qui modifient l'état de contrainte, à l'altération physico-chimique, et à des actions mécaniques (abrasion, érosion, et transport de particules).

De nombreuses instabilités de pentes se déclarent ou se réactivent pendant ou immédiatement après des pluies intenses, ou après de longues périodes humides.

Les facteurs aggravants (3/4)

la température, qui est à l'origine de cycles journaliers et saisonniers qui déforment la roche (dilatation, contraction). La présence d'eau accompagnée de températures froides donne naissance à des cycles de gel-dégel (ouverture de discontinuités).

la sismicité locale. Les vibrations provoquées par les séismes peuvent être à l'origine de la propagation des fractures, de la mobilisation de blocs instables pouvant conduire à rupture.

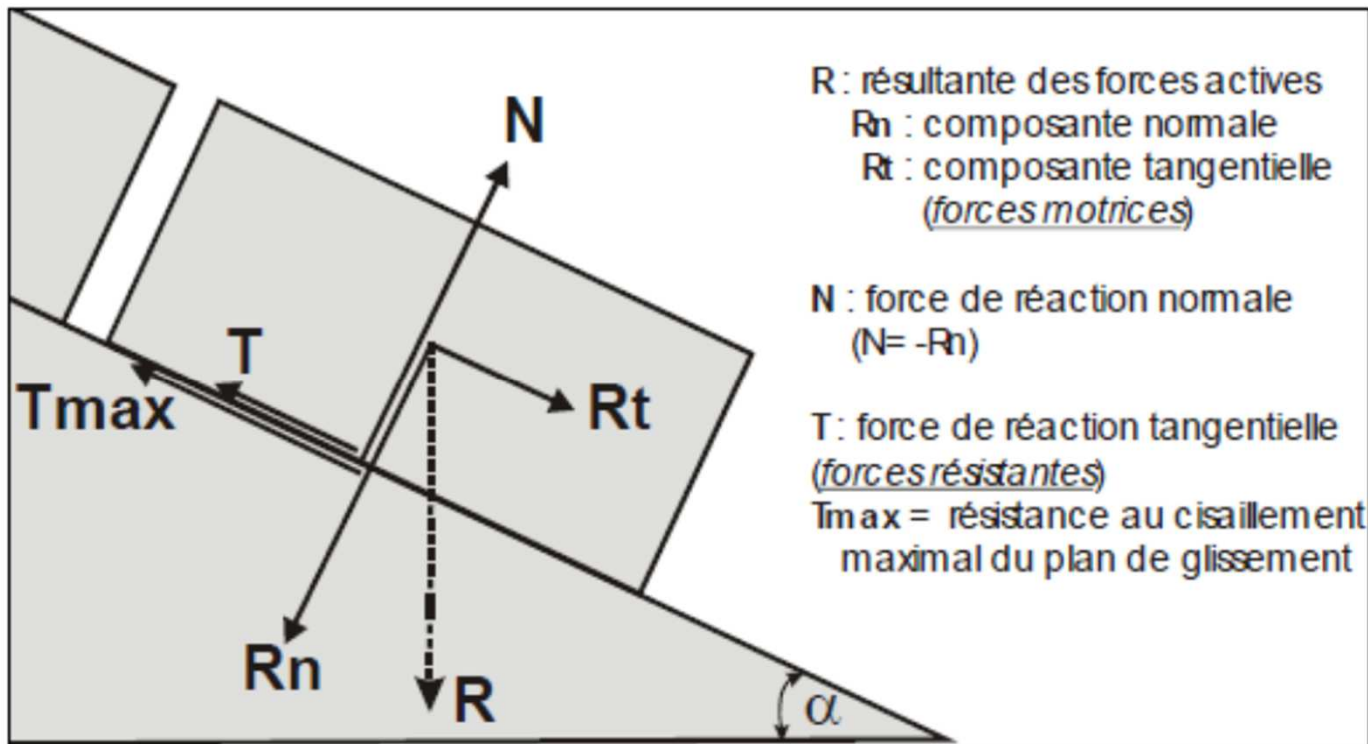
Les facteurs aggravants (4/4)

les actions anthropiques comme les vibrations dues à l'usage d'explosifs (tirs de carrières), et les modifications de l'équilibre naturel des pentes comme le remblaiement en tête de versant qui accentue les forces motrices, ou encore l'excavation en pied de pente qui réduit les forces résistantes (déblais, creusement de route).

Séance 3

LE DÉCLENCHEMENT DE L'ÉBOULEMENT : ÉVOLUTION JUSQU'À LA RUPTURE

La rupture est le stade ultime de l'instabilité d'un versant rocheux et résulte de la combinaison de plusieurs facteurs (dégradants et déclenchant) qui modifient l'équilibre entre les forces résistantes et les forces motrices (actives)



- si $T_{max} < R_t$, alors $F < 1$: il y a instabilité,
- si $T_{max} = R_t$, alors $F = 1$: c'est l'équilibre limite,
- si $T_{max} > R_t$, alors $F > 1$: il y a stabilité du bloc.

LES DIFFÉRENTS MÉCANISMES DE RUPTURE

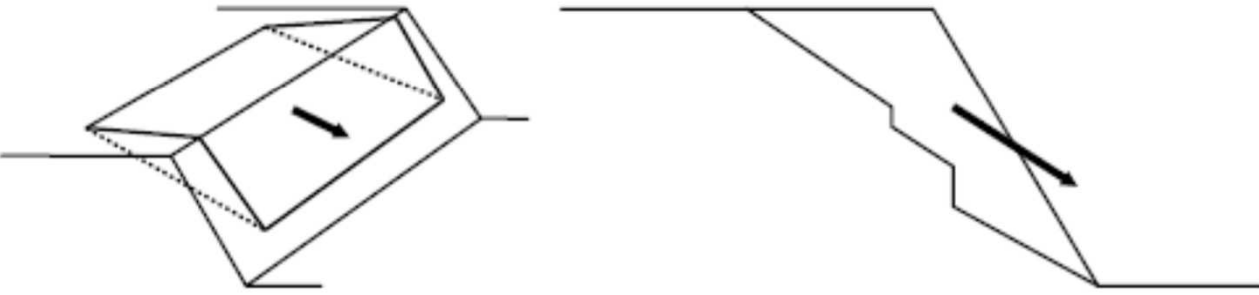
Les chutes de masses rocheuses sont des mouvements rapides, discontinus et brutaux.

Les mécanismes d'instabilité seront différents suivant la configuration des versants rocheux qui vont présenter différents types de rupture possibles.

Hantz (2001) a proposé de répertorier les principales configurations potentiellement instables. On distingue :

LES DIFFÉRENTS MÉCANISMES DE RUPTURE

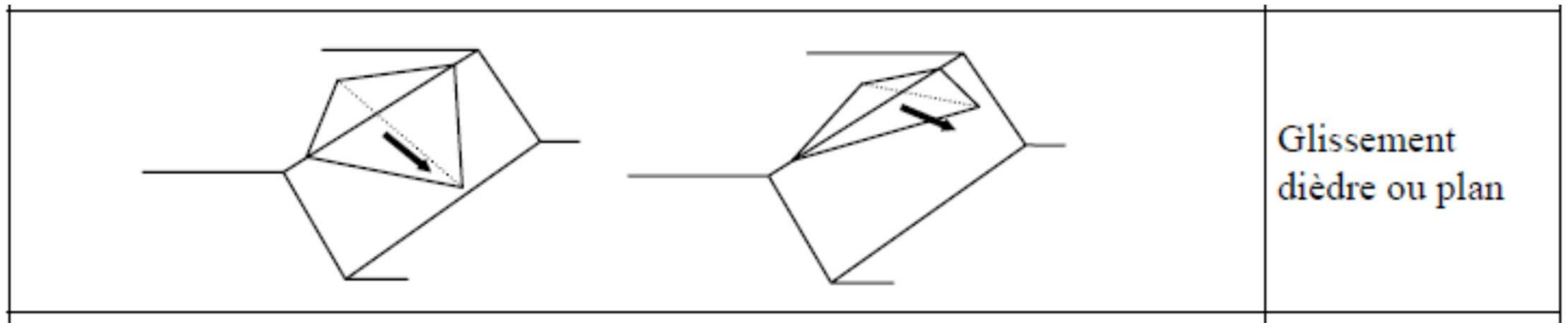
le glissement plan, sur une ou plusieurs surfaces de plans, que l'on rencontre fréquemment dans les massifs sédimentaires

Configurations potentiellement instables	Mécanisme d'instabilité
	Glissement plan



LES DIFFÉRENTS MÉCANISMES DE RUPTURE

le glissement dièdre, le long de la ligne d'intersection de deux plans, qui est un mécanisme fréquent dans tous les types de roches.

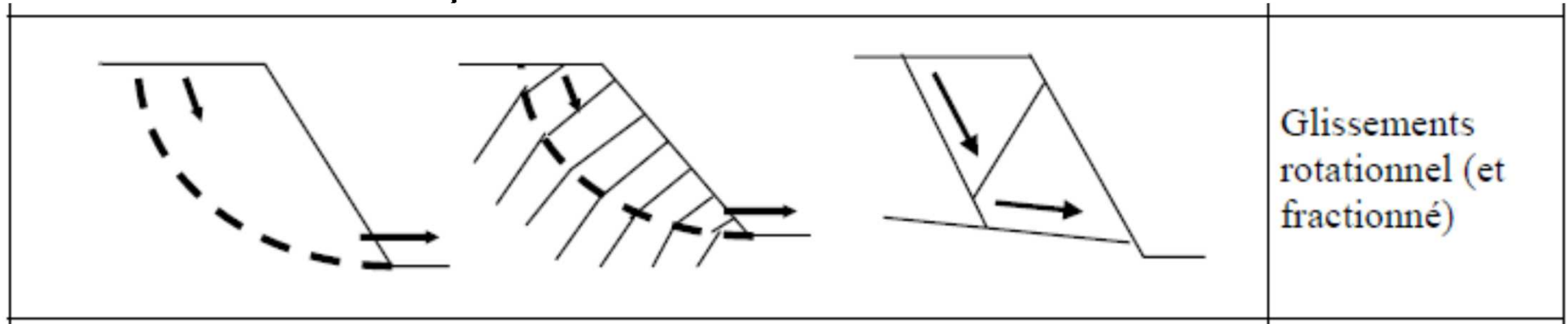




LES DIFFÉRENTS MÉCANISMES DE RUPTURE

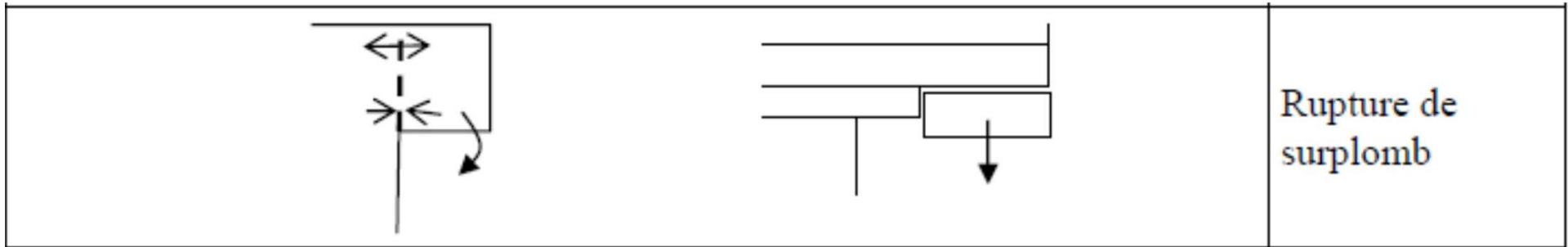
le glissement rotationnel, généralement rencontré dans des pentes de sol meubles.

Toutefois, une pente rocheuse peut connaître ce type d'instabilité lorsque la roche est extrêmement fracturée



LES DIFFÉRENTS MÉCANISMES DE RUPTURE

la rupture de surplomb, par flexion, cisaillement ou traction, lié à des masses rocheuses surplombantes dans le vide. Ce sont des phénomènes très fréquents sur les falaises calcaires.






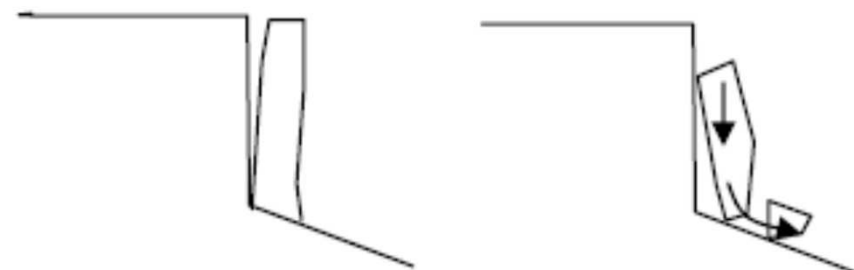
→ 6e

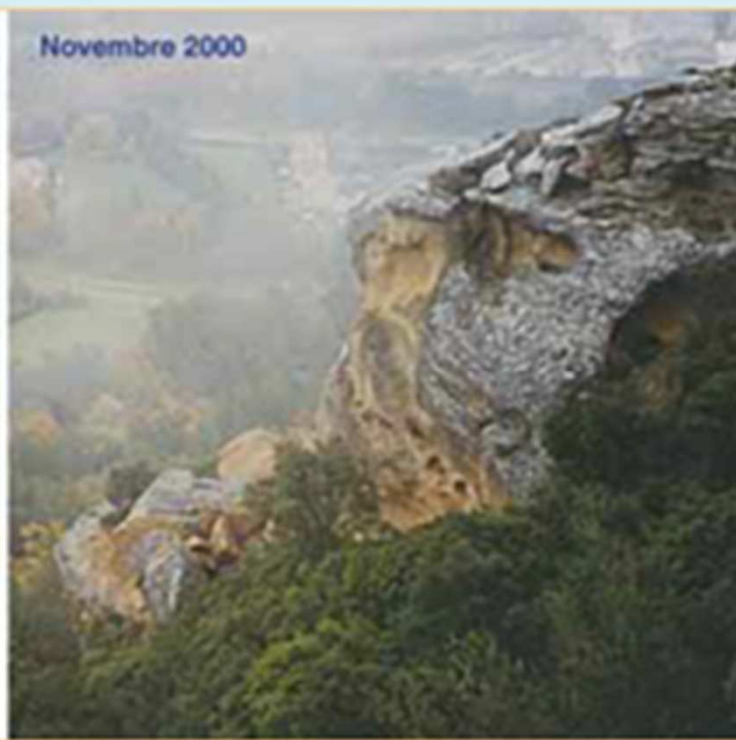
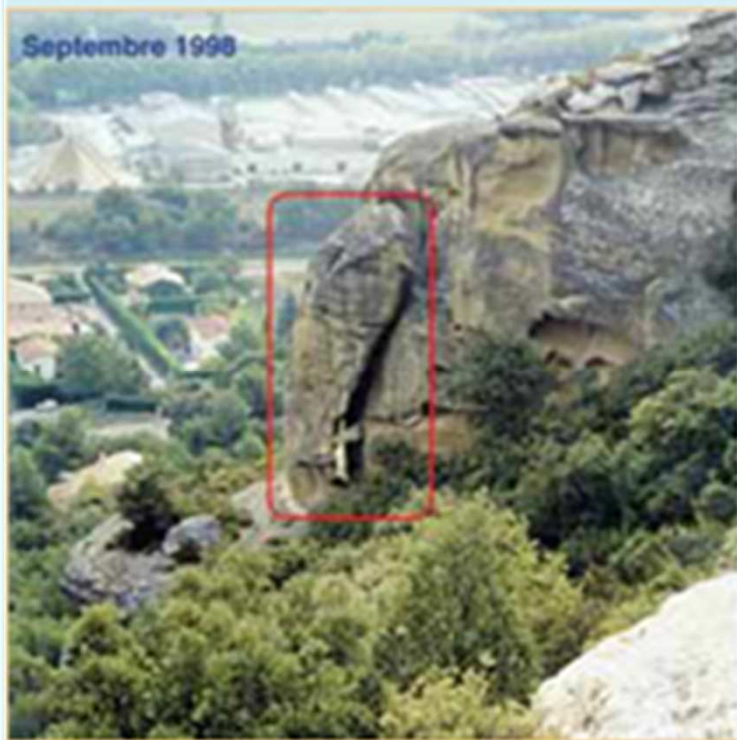
*Décollement de dalle en toit
(présence d'une carrière souterraine)
aux Baux de Provence.*



LES DIFFÉRENTS MÉCANISMES DE RUPTURE

la rupture de colonne, par basculement ou par rupture en pied, qui se produisent lorsque des discontinuités subverticales découpent le massif et isolent des colonnes de roche.

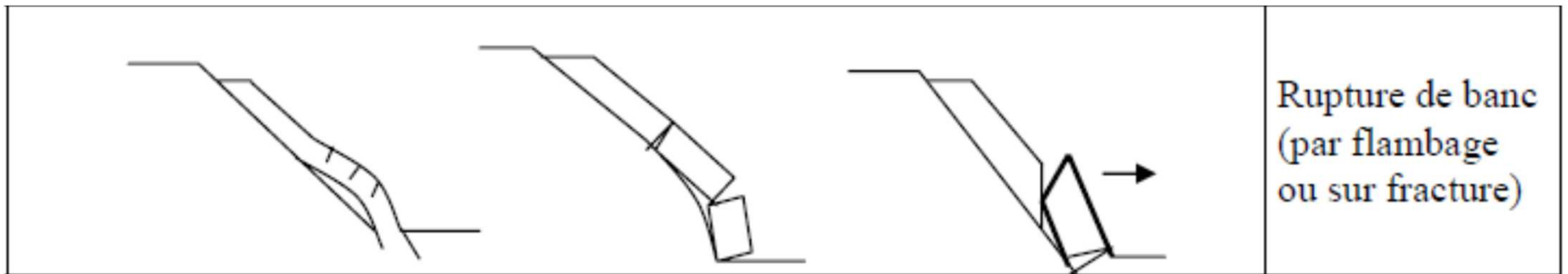
	Basculement de colonne ou de blocs
	Rupture de colonne en pied



6h
*Basculement d'une
colonne par rupture
du pied à Lançon de
Provence.*

LES DIFFÉRENTS MÉCANISMES DE RUPTURE

la rupture par flambage de bancs, lorsqu'une plaque rocheuse inclinée se déforme ou se fracture sous son propre poids.



Séance 4

TECHNIQUES DE STABILISATION CONTRE LES INSTABILITÉS ROCHEUSES

Ces techniques se divisent en deux familles:

Parades actives: *consistent à éviter que le phénomène se manifeste en supprimant les masses rocheuses, en les fixant ou en évitant leur altération.*

Parades passives: *consistent à diminuer les conséquences du phénomène une fois qu'il s'est déclenché.*

TECHNIQUES DE STABILISATION CONTRE LES INSTABILITÉS ROCHEUSES

1. Parades actives:

1.1 La purge: La purge consiste à éliminer les pierres, blocs et masses les plus instables. C'est une technique efficace à court terme seulement qui doit être renouvelée périodiquement.



TECHNIQUES DE STABILISATION CONTRE LES INSTABILITÉS ROCHEUSES

1.2 Le reprofilage: Le reprofilage consiste à modifier le profil d'un talus ou d'un versant rocheux en supprimant les volumes rocheux potentiellement instables (écailles, surplombs marqués, etc.). Les techniques utilisées sont variées (marteau perforateur, pelle mécanique, minage, etc.). Il faut disposer à l'aval d'une zone de réception adaptée



Source : ONF – RTM 06

TECHNIQUES DE STABILISATION CONTRE LES INSTABILITÉS ROCHEUSES

1.3 Le soutènement:

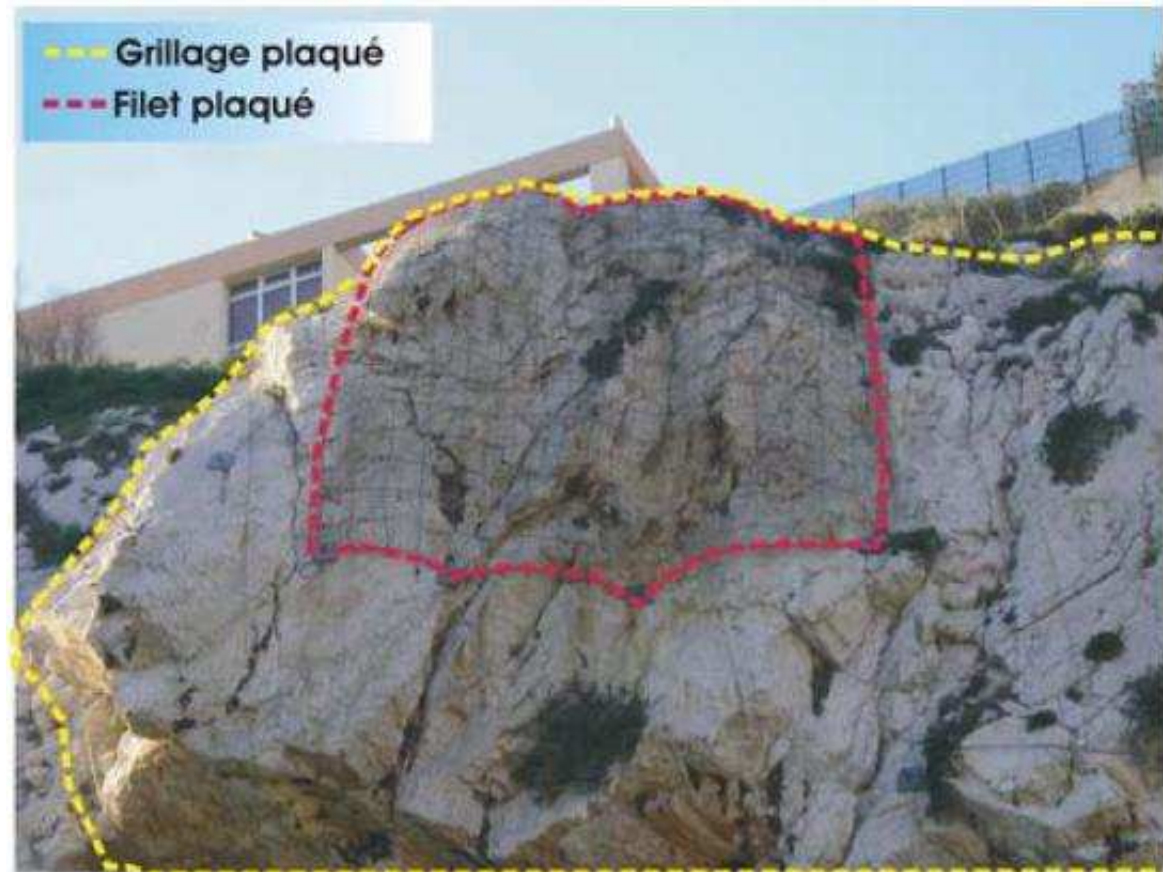
Il s'agit d'une structure massive consistant à maintenir en place une masse instable bien délimitée. C'est la solution retenue lorsqu'il apparaît difficile de purger ou d'ancrer la masse instable.



TECHNIQUES DE STABILISATION CONTRE LES INSTABILITÉS ROCHEUSES

1.4 Filets et grillages plaqués

plaqués: Constitué par une nappe de filets ou de grillages plaqués contre le rocher, ce type de protection a pour but d'éviter tout départ de blocs ou de pierres. Ils ne protègent pas contre les éboulements en masse.

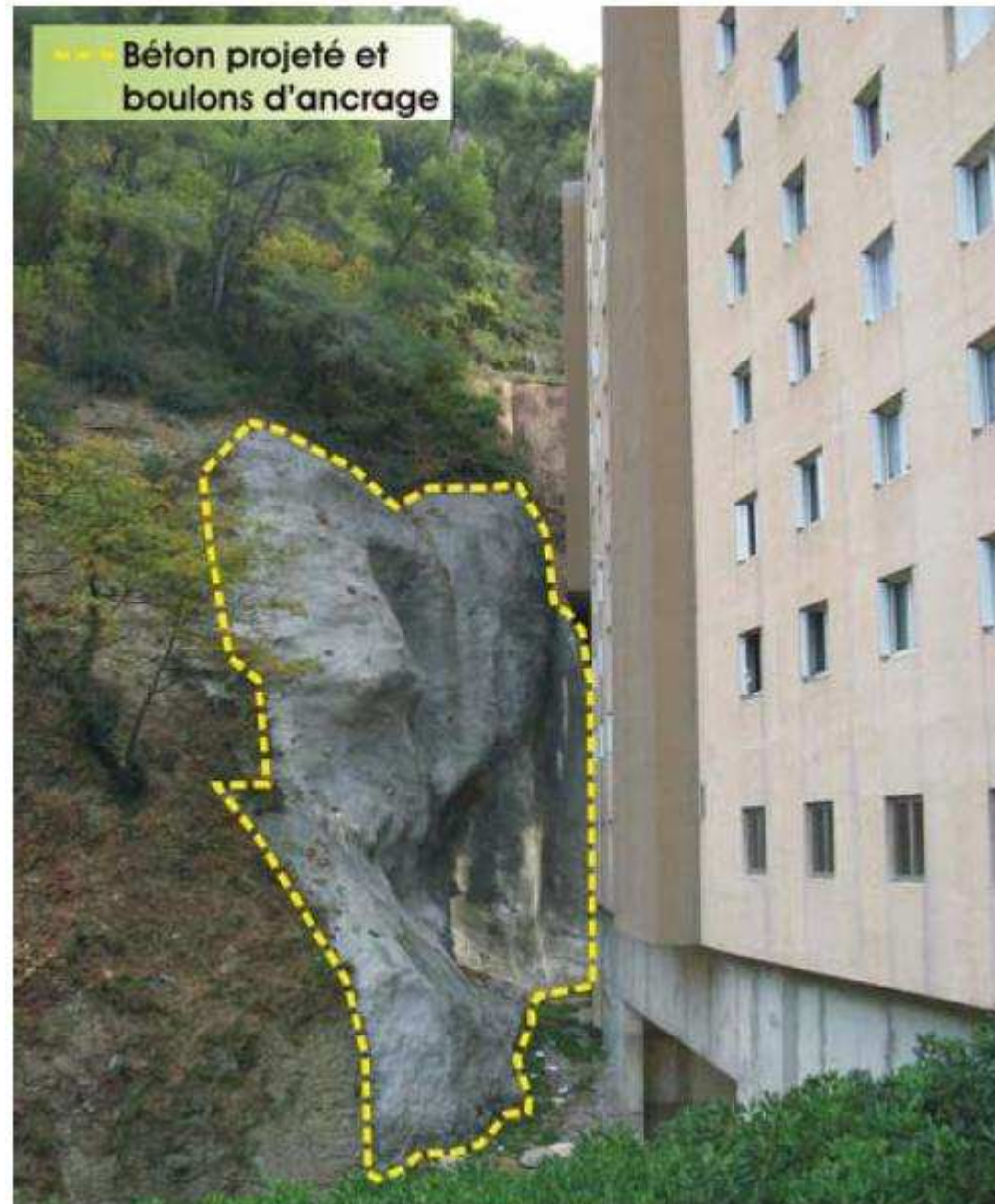


Filet et grillage plaqué (Marseille, Bouches-du-Rhône)

TECHNIQUES DE STABILISATION CONTRE LES INSTABILITÉS ROCHEUSES

1.5 Béton projeté: Ce dispositif consiste à projeter à la surface d'une paroi rocheuse, protégés ou non par un grillage ou un treillis soudé, une coque de béton.

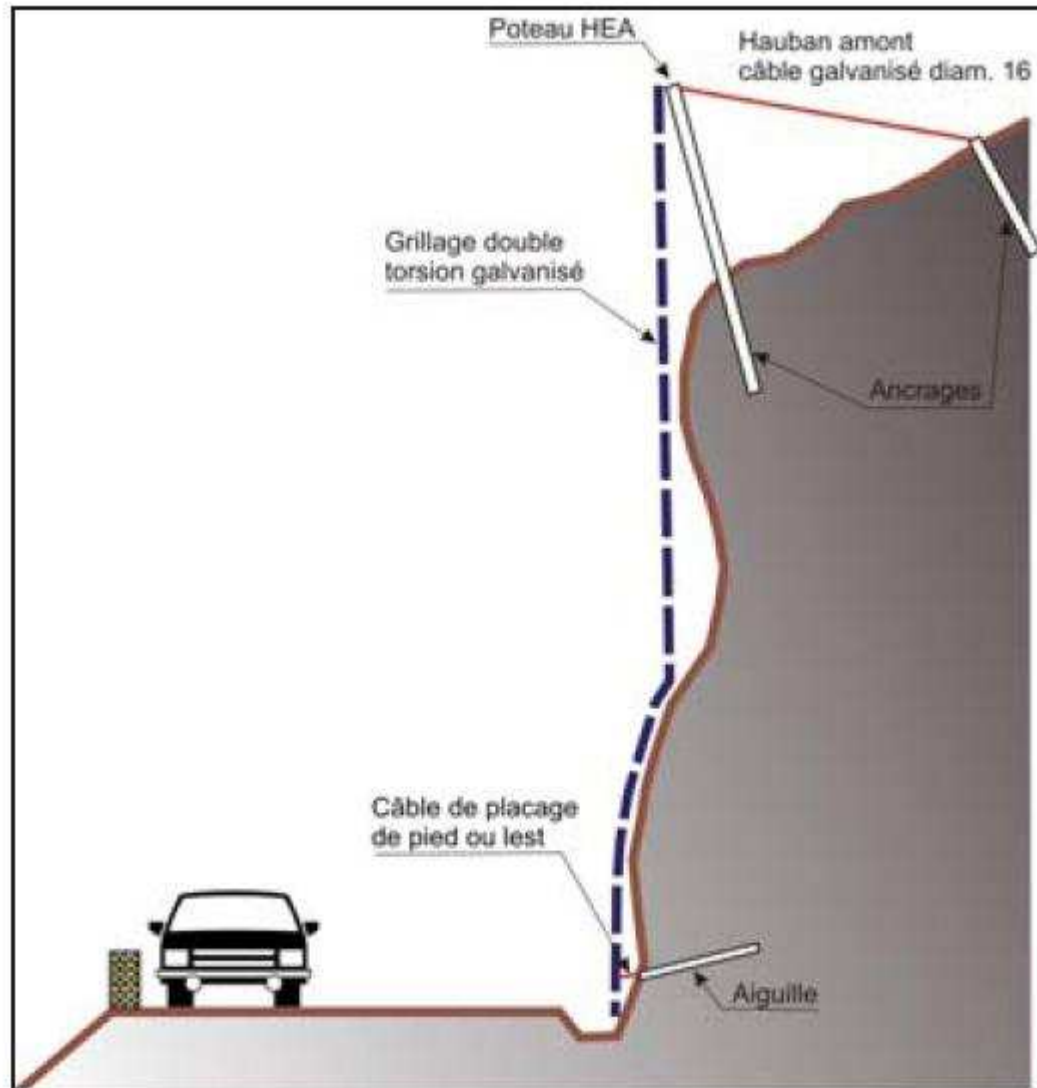
Le béton projeté (appelé également "gunitage") est utilisé en protection sur les talus rocheux très fracturés.



TECHNIQUES DE STABILISATION CONTRE LES INSTABILITÉS ROCHEUSES

2. Parades passives:

2.1 Grillage ou filet pendu: Il s'agit d'une nappe de grillage ou de filet suspendue contre la paroi et assurant ainsi le guidage des chutes de pierres jusqu'à son pied. Ce type de protection est utilisé sur tous les types de pentes (parois fracturées, talus altérés, zones d'éboulis) et permet d'enrayer des chutes fréquentes d'éléments de faible volume (jusqu'à 100 dm³). Le grillage peut être ancré en pied de paroi ou simplement suspendu et lesté en pied.



Source : BRGM

Schéma descriptif d'un grillage suspendu ancré à la paroi

Source : BRGM



Illustration à Seyne, Alpes de Haute-Provence (grillage pendu lesté en pied)

TECHNIQUES DE STABILISATION CONTRE LES INSTABILITÉS ROCHEUSES

2.2 Casquette ou galerie pare-blocs:

Cette technique protège les routes des chutes de gros blocs voire de grandes masses. Elle est mise en place lorsque toute autre parade serait inefficace.

L'efficacité de telles parades est très bonne mais leur mise en œuvre est très coûteuse et implique de lourds travaux pouvant nécessiter l'interruption au moins partielle de la circulation.



Source : BRGM

Casquette armée le long de la D937 (Saint-Disdier, Hautes-Alpes)

TECHNIQUES DE STABILISATION CONTRE LES INSTABILITÉS ROCHEUSES

2.3 Merlon: Cette parade passive a pour but de stopper la propagation des blocs ou des masses de grande dimension se propageant dans un versant avec des énergies très importantes.

Le parement amont constitué de pneus, de bois ou de blocs absorbe l'énergie. Ce type de parade ne peut pas être mis en oeuvre sur des versants trop raides et peut nécessiter de reprofiler le terrain.



Source : BRGM

*Fossé de réception le long de la RD 900
(Gap, Hautes-Alpes)*

TECHNIQUES DE STABILISATION CONTRE LES INSTABILITÉS ROCHEUSES

2.4 Écran déformable de filets:

La déformation des filets absorbe une partie ou la totalité de l'énergie cinétique des blocs rocheux, freinant ou stoppant ainsi leur propagation.

Ces écrans sont capables d'absorber de fortes énergies cinétiques. Ils peuvent être utilisés lorsque les contraintes topographiques ou économiques excluent la réalisation d'un merlon (fortes pentes).



Source : BRGM

MERCI POUR VOTRE ATTENTION