

Stabilisation de talus rocheux

Autoroute Marrakech- Agadir

Khalid HEMRI (ADM)
Younes MOUNJI (ADM)
Hassan LABIED (LPEE)



I. INTRODUCTION

Le tronçon autoroutier IMINTANOUT- ARGANA de l'autoroute MARRAKECH-AGADIR se développe dans un contexte géologique difficile avec un relief accidenté entraînant des déblais et remblais de grandes hauteurs. L'excavation des déblais a fait apparaître plusieurs désordres et instabilités des talus.

Cet article, explicitera d'une manière générale les types de mouvements rocheux, les techniques de stabilisation et traitera par la suite le cas du déblai D15 situé entre PK 32+460 et PK 34+560 qui reste l'un des points les plus difficiles de ce projet avec une quantité à excaver de l'ordre de **2 500 000 m³** et une hauteur de **120 m**.

II. GENERALITES

II.1.1. TYPES DES MOUVEMENTS ROCHEUX

Les types de mouvements rocheux sont :

a) Les écoulements et chutes de blocs:

L'éboulement d'une masse rocheuse est l'aboutissement d'un processus de rupture progressive lié soit à des phénomènes d'altération, soit à un fluage des assises sous-jacentes.

On peut distinguer d'un point de vue morphologique :

- Les surplombs
- Les monolithes
- Les pans de falaise

Les écoulements sont fréquents dans les séquences rocheuses où d'épaisses formations rigides surmontent des couches plus déformables :



Rupture de pied



Rupture par basculement

b) Les fauchages :

Ce phénomène se présente dans une configuration de roches très stratifiées présentant un pendage marqué vers l'intérieur du massif.

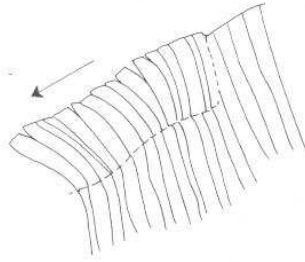


Figure 4 : Fauchage de couches schisteuses en versant

Un lent processus de fauchage des têtes de bancs vers le vide se produit .L'infiltration des eaux de fonte ou de précipitation conduit à un affaiblissement des résistances mécaniques et le basculement peut se traduire en phase finale par un mouvement en masse.

c) Les glissements

Ils se produisent le long des surfaces de discontinuités planes ou non. Leurs extensions sont directement liées à l'étendue spatiale des discontinuités les délimitant.

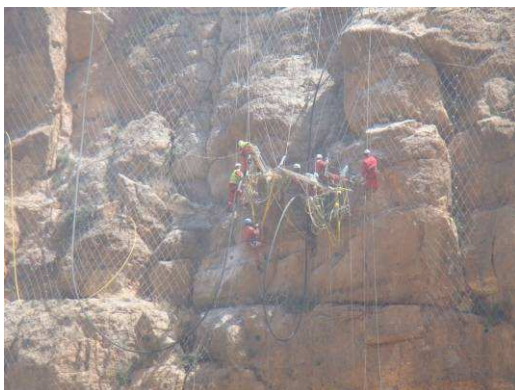
- Les glissements plans
- Les glissements de polyèdres
- Les glissements circulaires
- Les glissements le long des surfaces non planes
-

II.2. TECHNIQUES DE STABILISATION

En présence d'un éboulement qui paraît probable à brève échéance et qui menace les habitations ou des voies de communication, trois situations peuvent être envisagées :

a) Stabiliser la masse rocheuse :

- Procédés qui permettent d'assurer un ancrage optimal au terrain : grillages, filets, béton projeté



Protection par Filet



Mise en place d'un mur cloué

b) Planter des dispositifs de protection

Se sont des dispositifs qui permettent d'arrêter les blocs avant qu'ils n'atteignent la zone à protéger.

Méthodes nombreuses allant de la plantation des arbres jusqu'au pare-blocs

- Fossés de protection (Piège à cailloux)
- Barrières de protection (barrières dynamique, gabions,...)



Piège à cailloux



Gabions



Barrière dynamique

c) Purger la masse instable :

La purge se fait par un abattage à l'explosif ou l'utilisation du ciment expansif.

Cette solution est efficace pour les blocs isolés mais pour l'abatage d'écailles, cette solution ne fait que perturber le rocher en arrière du tir en conduisant à de nouvelles instabilités potentielles.

Ces solutions sont regroupées dans la norme NF P 95-307 par mode d'action.

- **Parades actives** : Procédés visant à la stabilisation des pierres ou blocs, ou à la suppression des causes des chutes ; elles agissent sur la zone origine des éboulements.
- **Parades passives** : Procédés visant au contrôle de la trajectoire ou à l'interception des masses en mouvement

III. ETUDE DE CAS : DEBLAI D15

III.1. DESCRIPTION GEOLOGIQUE

La géologie de la zone est caractérisée par une succession de bancs gréseux et d'argilite et microgrès rougeâtre. Les niveaux gréseux sont d'une épaisseur décimétrique pouvant aller jusqu'à plus de 3m et ils présentent une fracturation très intense donnant lieu à des blocs et des masses rocheuses près à se détacher du reste du massif. Les argilites et les microgrès présentent généralement des épaisseurs inférieures au mètre et sont soit consolidées soit désagrégées et renfermant des niveaux argileux.



Vue des bancs gréseux



vue des niveaux d'argilite

III.2. DESCRIPTION STRUCTURALE

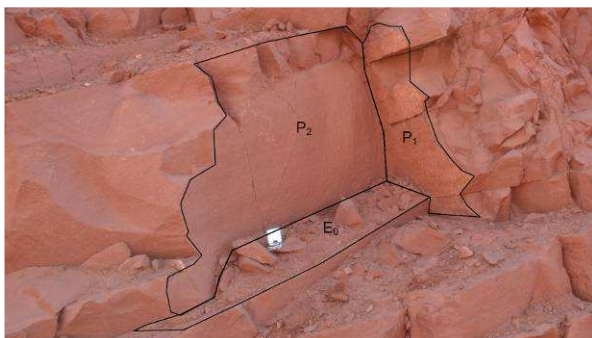
En ce qui concerne la structure du massif rocheux, elle est caractérisée par la présence de trois principales familles de discontinuités donnant lieu à des instabilités locales.

Ces discontinuités sont:

Famille E_0 : stratification des matériaux plongeant vers le nord-ouest avec des inclinaisons comprises entre 20 et 30 degrés (plan caractéristique considéré : 350/25).

Famille P_1 : discontinuités subverticales plongeant vers le nord-ouest (plan caractéristique : 320/85).

Famille P_2 : discontinuités subverticales plongeant vers le sud-ouest (plan caractéristique : 250/75).



Coin rocheux mettant en évidence les trois principales familles de discontinuités

La combinaison de ces trois familles génère des instabilités pouvant être aussi bien de petite que de grande envergure.

En plus de ces discontinuités se trouve une faille ayant une direction N130 et un pendage de 20° vers le N.E. L'ouverture de cette zone de cisaillement fluctue entre 0,4 et 1m avec un remplissage d'argilite désagrégée.



Vue de la faille

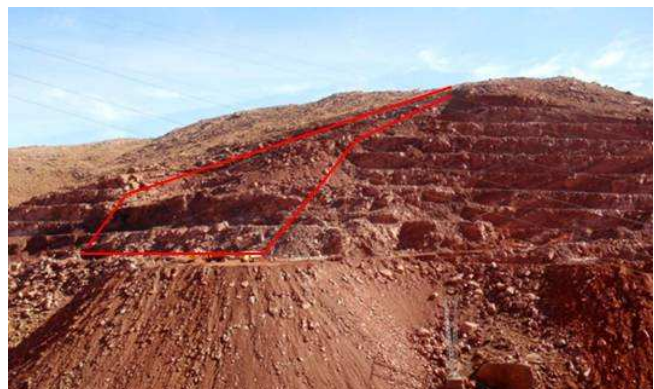
III.3. PATHOLOGIE D'INSTABILITE

Actuellement les travaux de terrassement sont en phase finale. A ce stade trois cas de pathologie d'instabilité ont été observés.

III.3.1. GLISSEMENT DANS LA ZONE DE FAILLE

Comme le matériau de remplissage de la faille est constitué d'argilite désagrégée la pente du projet n'est pas adaptée à ce type de matériau. En effet après avoir excavé jusqu'à la première risberme, dès la première pluie nous avons assisté à un glissement. Ce dernier se reproduit chaque fois que les terrassements avancent.

Vue du glissement au niveau de la faille



III.3.2. PRESENCE DE BLOCS ET DE MASSES ROCHEUSES INSTABLES

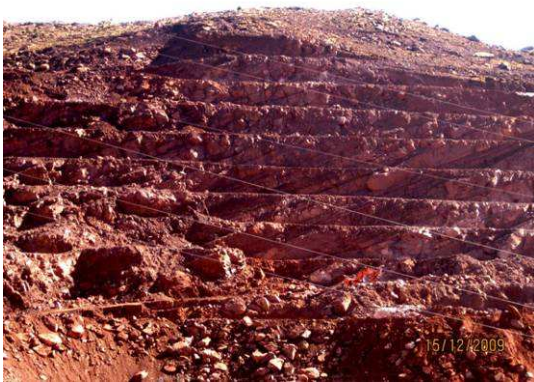
La stabilité du déblai 15 au niveau de la partie centrale est influencée par les paramètres intrinsèques suivants:

- La nature des formations rencontrées (alternance de grès et d'argilite)
- La structure de la formation (stratifications, diaclases etc....)

D'autres paramètres qui sont externes et qui ont participé au déclenchement de cette instabilité sont :

- Les travaux de terrassement à l'aide de tirs à l'explosif qui ont engendré des fracturations importantes et une réduction de la cohésion des joints
- La réalisation des risbermes avec les discontinuités des stratifications et des diaclases a contribué au découpage du massif en blocs.
- Pluviométrie

La combinaison de ces conditions a conduit à un découpage du massif dans un premier temps et à l'effondrement au niveau de certaines risbermes dans un deuxième temps.



Vue de la zone centrale du déblai

III.3.3. PRESENCE D'UNE QUANTITE DE BLOCS ROCHEUX ISOLÉS SUR LE VERSANT NATUREL

A l'extrémité sud-ouest nous constatons la présence d'un nombre important de blocs rocheux isolés à équilibre précaire situés tout au long du versant naturel. Ces blocs constituent un danger que ce soit en cour des travaux ou en période d'exploitation.



Vue de la zone sud ouest

Ces trois cas de pathologie ont été mis en évidence par les différentes expertises menées tout au long des travaux des terrassements.

III.4. SOLUTIONS PROPOSEES

Pour stabiliser le talus et compte-tenu du délai imparti à la réalisation du confortement, deux techniques nouvelles ont été proposées :

Filet métallique à ancrage actif :

La protection de la zone centrale par un système « pentifix » de filet métallique à ancrage actifs hautement résistant est la solution retenue. L'élimination des risbermes et l'adoucissement de la pente ou le gain en dimension de la piège à cailloux est une solution compétitive mais ne peut pas rentrer dans les délais alloués au projet.

Barrières dynamiques :

La protection de la partie Sud-ouest par la mise en place des barrières dynamiques RX-300 de 3000 KJ est la solution retenue pour intercepter les blocs pouvant se détacher du versant associée à une purge manuelle ou par abattage à l'explosif. Une solution de terrassement à l'explosif permet aussi l'élimination des masses instables. Mais elle contribue à la perturbation du rocher en arrière du tir en conduisant à de nouvelles instabilités potentielles.

En ce qui concerne le glissement au niveau de la faille (partie nord du déblai), la solution consistait à purger le glissement jusqu'à l'horizon stable et de rétablir l'assainissement en fonction de la géométrie du profil obtenu. Cette solution est la seule envisageable et permettra de gagner sur la largeur du piège à cailloux.

III.5. DESCRIPTION DES TECHNIQUES DE PROTECTION

III.5.1. PROTECTION PAR UN SYSTEME « PENTIFIX » DE FILET FLEXIBLE METALLIQUE A ANCRAGES ACTIFS HAUTEMENT RESISTANT

a) Caractéristique du système

Ce procédé consiste en la mise en œuvre d'un filet métallique à ancrage actifs qui offre une résistance de 70 KN/m².

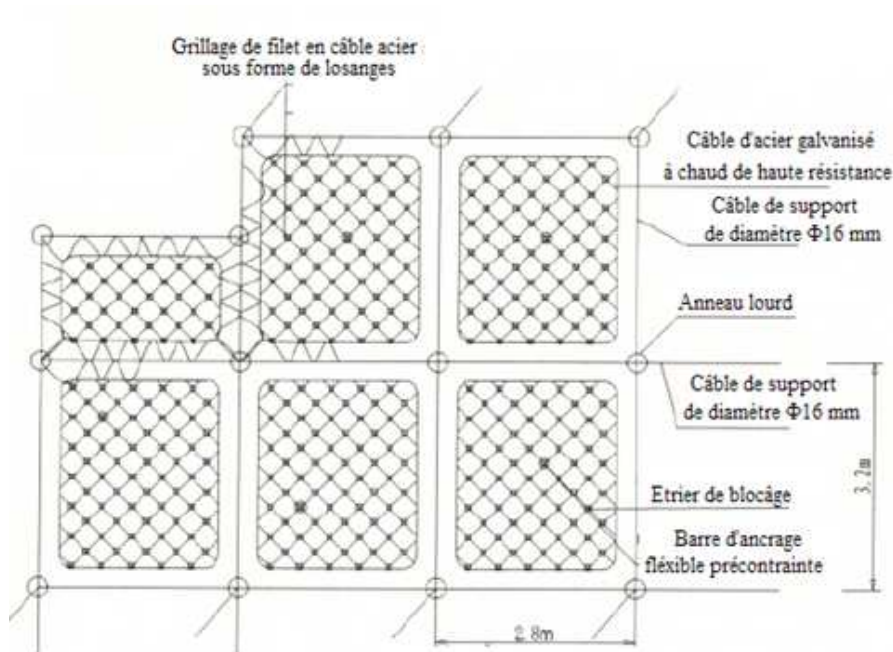
Il permet de répartir les charges ponctuelles sur l'ensemble du système flexible et d'empêcher par la suite, l'éboulement ou le décrochement des blocs rocheux.

La limite de pose du filet de protection couvre non seulement les talus, mais aussi les risbermes afin de lier le tout en un seul système.



Système « pentifix » de filet métallique à ancrages

b) Composantes du système:



Plan de disposition du système de protection actif

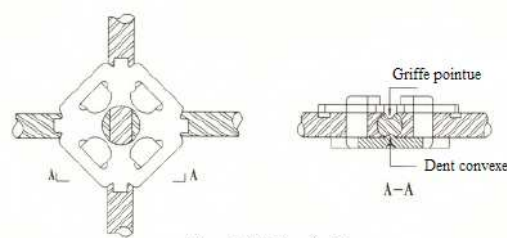
- Grillage de filet en câbles d'acier galvanisés à chaud sous forme des losanges, de résistance à la traction de 1770 MPa.



Grillage en câble d'acier

Caractéristiques des câbles d'acier :

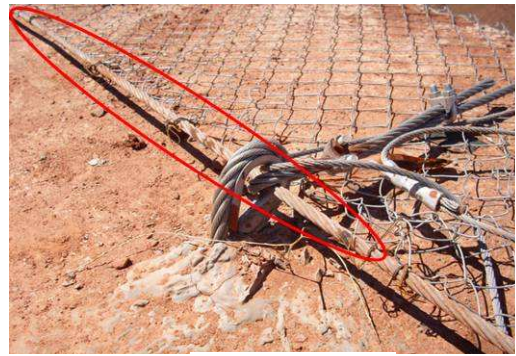
- Diamètre $\Phi 8$
- Résistance de rupture à la traction ≥ 40.7 KN
- Les câbles d'acier sont tressés par des étriers de blocage qui réduisent la déformation du filet.



Plan de l'étrier de blocage

Etrier de Blocage

- Câble support : sont des câbles d'acier de diamètre $\Phi 16$ de résistance de rupture à la traction ≥ 150 KN.



Câble support

- Barres d'ancrage : Trois types des barres d'ancrage

- Barres d'ancrage flexibles de câble d'acier ($2\Phi 22$) placées aux extrémités du filet, ils sont ancrés sur une profondeur de 6 m.

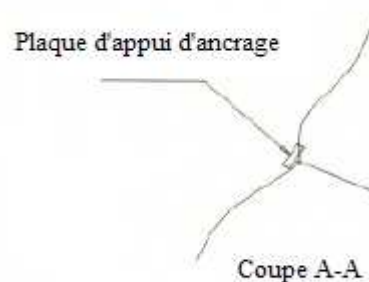
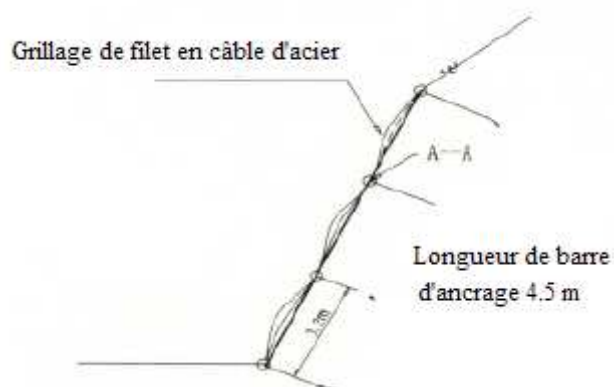


Barre d'ancrage flexible

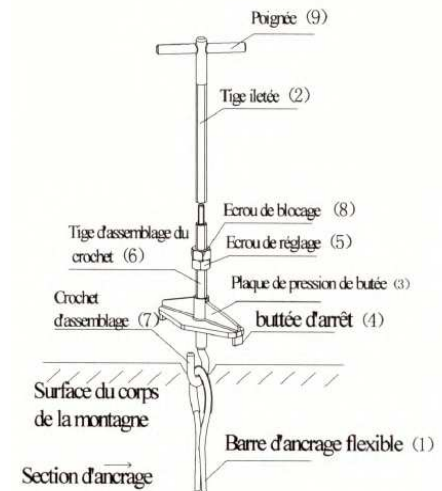
- Barres d'ancrage d'acier placées à l'intérieur du filet espacées de 3 m, de diamètre $\Phi 40$ mm avec une longueur de pénétration de 4.5 m, ils sont liés au grillage via des plaques d'appui.



Barre d'ancrage en acier



- Barres d'ancrage flexible précontraint actif de haute résistance, qui sont prévues pour des renforcements dans les zones convexes et concaves du talus



III.5.2. PROTECTION PAR BARRIERES DYNAMIQUES

a) Caractéristiques du système

C'est un système de protection par barrières dynamiques type RX-300 de 3000 kJ, qui assure la protection des usagers de l'autoroute contre les répercussions de chutes des blocs rocheux en absorbant leurs énergies cinétique.

Les supports en acier sont les seuls composants rigides du système, leur appui est une articulation sur une plaque de base ancrée au sol, ils maintiennent les filets à anneaux élastiques dans la position adéquate.



Barrières dynamiques RX-300

Lors d'un impact, ce sont les filets qui absorbent en premier l'énergie, les anneaux se déforment jusqu'à leurs limites d'expansion, puis ils transmettent l'énergie résiduelle dans les éléments de freinage qui équipent les câbles porteurs, les haubans et les câbles de retenue. La parfaite harmonie entre tous les composants est primordiale pour atteindre la capacité d'absorption énergétique maximale.

b) Composantes du système

- Les plaques d'appui

Le système d'ancrage des supports porteurs s'adapte aux conditions locales du sol.



Plaques d'appui

- Supports en acier

Se sont des profilés HEB d'une hauteur de 6 m, fixés sur les plaques de base par l'intermédiaire des articulations.



Supports en acier

- Le filet à anneaux en acier ROCCO

Le filet à anneaux en acier ROCCO à quadruple recouvrement se distingue des filets de protection classiques par son excellent comportement élastique. Lors d'un impact, une grande partie de l'énergie cinétique est absorbée par la déformation cumulée de tous les anneaux. Les forces sont transmises régulièrement au filet et à l'ensemble du système, sans solliciter excessivement les ancrages.

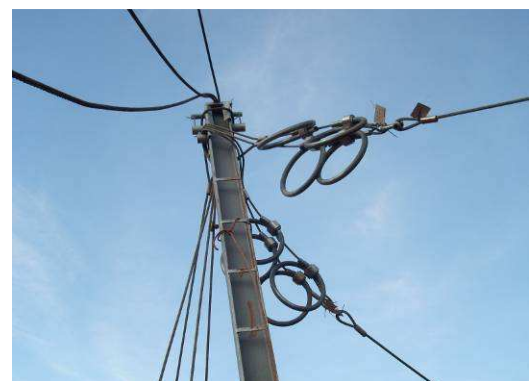


Anneaux en acier ROCCO

Chaque anneau, de diamètre de 300 mm, est composé de fil d'acier à haute résistance de 3 mm de diamètre.

- Les câbles porteurs, haubans et câbles de retenue

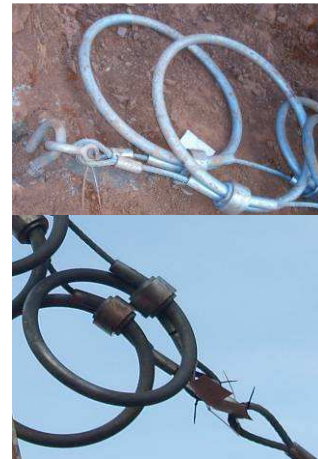
Se sont des câbles en acier qui maintiennent les supports et les filets à anneaux Rocco. Les filets sont reliés par des étriers aux câbles porteurs supérieurs et inférieurs. Des supports sont ancrés au sol latéralement par les haubans et en amont par des câbles de retenue. Les câbles sont doublés à quadruplés et leur diamètre varie de 12 à 22 mm.



Câbles porteurs, haubans et de retenue

- Les anneaux de freinage

Les câbles porteurs, haubans et câbles de retenue sont montés en forme de boucle dans des tubes, munis de douilles serties, qui jouent le rôle d'anneaux de freinage. En cas d'impact majeur, les anneaux de freinage se referment, dissipant ainsi l'énergie non reprise par le filet sans que les câbles soient endommagés.



Anneaux de freinage

- L'ancrage à câble spiral

Pour assurer une flexibilité importante on utilise des ancrages à câble spiral antichoc, avec un câble en acier à haute résistance (1770 N/mm²). Contrairement aux ancrages traditionnels, il est capable de transmettre les forces sans abaissement de la limite de rupture lorsque la direction de traction forme un angle jusqu'à 30° avec l'axe du forage.



Ancrage à câble spirale

IV. CONCLUSION

Au cours des travaux de terrassement du déblai 15 PK 33 du tronçon autoroutier IMINTANOUTE-ARGANA trois cas pathologiques d'instabilité ont affecté ce déblai :

- Un glissement au niveau de la zone d'une faille
- Présence de blocs rocheux instable au niveau de la zone centrale résultants d'une fracturation intense et défavorable du massif.
- Présence de blocs rocheux isolés dans la zone sud-ouest susceptible de se détacher.

Les expertises lancées au cours des travaux ont permis de comprendre le mécanisme du glissement et de proposer de nouvelles techniques pour palier aux problèmes de chutes de blocs :

- Filets métalliques à ancrages actifs hautement résistant
- Barrières dynamiques

Ces techniques sont utilisées pour la première fois dans les chantiers autoroutiers et peuvent donc servir de planche d'essai à grande échelle pour la vulgarisation de ces techniques dans les tracés routiers.

FIN TEXTE