

# Retour d'expériences sur les adaptations de protection de talus dans les roches sédimentaires triasiques lors des travaux de la STEP Abdelmoumen au Maroc.

## Observational approach to rock excavation for the Abdelmoumen Pumped Storage Plant in Morocco

Thomas CHAUVIN<sup>1\*</sup>, Yann MARTINOL<sup>2</sup>

*1 Vinci Construction Grands Projets, Nanterre, France*

*2 Vinci Construction GeoInfrastructure, Nanterre, France*

*\*Thomas.chauvin@vinci-construction.com*

**RESUME :** Cet article présente une étude de cas sur l'utilisation de l'approche observationnelle associée aux travaux de terrassement pour un projet hydroélectrique au Maroc dans des grès, des argilites et des siltites altérés. Le projet STEP Abdelmoumen est un projet hydroélectrique par pompage de 350 MW au Maroc, dans les montagnes de l'Atlas. Le projet est dominé par des roches sédimentaires d'âge Triasique et est situé dans une zone sismiquement active.

Le projet a nécessité des travaux de terrassement pour construire 22 km de routes d'accès critiques au programme et 2 km de tranchées pour la conduite forcée exposée en terrain montagneux accidenté. La construction des routes d'accès a été une activité cruciale pour permettre le démarrage du projet, permettant les travaux et la construction des principaux ouvrages et des reconnaissances géologiques. Le volume des travaux de terrassement des voies d'accès était de 870 000 m<sup>3</sup> d'excavation et 127 000 m<sup>3</sup> de remblai. En raison des contraintes d'accès, des études géologiques limitées avaient été entreprises avant la construction. Pour faire face aux incertitudes géologiques et aux risques associés, l'entrepreneur a décidé de mettre en œuvre l'approche observationnelle. Cette méthode a permis à l'équipe géologique du site de confirmer le modèle de sol pour assurer la stabilité globale des déblais et d'évaluer les exigences relatives aux éventuelles mesures de protection superficielles des talus. Des pluies de forte intensité dans un contexte aride ont nécessité des mesures de protection de talus, comme re-talutage des pentes, gabions, béton projeté ou filets.

Cet article présente l'utilisation de l'approche observationnelle, sa mise en œuvre dans le contexte des pentes et des excavations dans la roche et une matrice de gestion des talus en fonction de la géologie et du contexte topographique.

**ABSTRACT:** This paper presents a case study of the use of the observational approach to rock excavation for a hydropower project in Morocco in weathered sandstones and siltstones. The PSP Abdelmoumen Project is a 350 MW pumped hydropower project in Morocco between Agadir and Marrakech, near the Abdelmoumen dam in the Atlas Mountains. The project is dominated by sedimentary rocks of Triassic age and is located in a seismically active area. The project required construction of earthworks to construct 22 km of programme critical access roads and 2km of cuttings for the exposed penstock in sharp mountainous terrain. Access road construction was a critical activity to enable project start with site logistics, enabling works and construction of the main works hinging on the progress of earthworks activities. The volume of earthworks for the access roads was 870,000 m<sup>3</sup> of excavation and 127,000 m<sup>3</sup> of backfill. Due to the access constraints, limited geological investigations had been undertaken prior to construction. To address geological uncertainties and associated risks, the contractor decided to implement the observational approach. This method allowed the site geological team to confirm the ground model to ensure the global stability of the cuttings and assess the requirements for the potential slope protection measures. High intensity rainfall in otherwise dry conditions required slope protection measures. This utilised slope reshaping, gabions, shotcrete or netting. This paper presents use of the observational approach its implementation in the context of slopes and excavations in rock and how this was managed by the contractor, designer and client and the development of a decision-making matrix to address risks and uncertainties.

**Mots-clés :** stabilité de talus ; roches tendres ; méthode observationnelle.

## 1 INTRODUCTION

La station de transfert d'énergie par pompage (STEP) d'Abdelmoumen est un projet de stockage d'énergie piloté par le gouvernement marocain, dans le cadre de la stratégie énergétique nationale. L'objectif est d'atteindre, d'ici 2030, une capacité de production issue des énergies renouvelables représentant 52 % de la puissance installée totale.

En 2017, la construction de la deuxième STEP marocaine a été attribuée par l'Office National de l'Électricité et de l'Eau potable (ONEE) à un groupement constitué de VINCI Construction (mandataire) et ANDRITZ Hydro.

Le projet, présenté en figure 1, consiste en la réalisation de deux réservoirs d'eau d'un volume utile de 1 300 000 m<sup>3</sup> chacun, séparés par un dénivelé de 700 m. Les réservoirs sont reliés par une conduite hydraulique de 3 km, dont 1 km en souterrain et 2 km en aérien (CF) installée sur le flanc de la montagne. Sur cette conduite, une centrale hydroélectrique, équipée de deux groupes turbine-pompe de 175 MW chacun, permet de transférer le volume d'eau vers le bassin supérieur en mode pompage, afin de stocker de l'énergie, ou vers le bassin inférieur en mode turbinage, pour produire l'électricité. Une station de pompage pour le premier remplissage et le complément, ainsi que 22 km de voies d'accès, complètent ces installations. Les travaux ont débuté en avril 2018. Ils sont désormais achevés et le projet est en service.



Figure 1 : photographie aérienne du projet (Google earth consulté en novembre 2025)

## 2 CONTEXTE DU SITE

### 2.1 Contexte du site

Le projet se situe dans l'Atlas entre les villes d'Agadir et Marrakech. La topographie du site est fortement chahutée, suite à l'activité tectonique et à la présence d'oued et chabaah (thalweg sec, pas de nappe d'accompagnement). Le réseau hydrographique a

conduit à la création de forts dénivelés avec des pentes entre 35° et 60° voir même 80° et au-delà, et à la formation de terrasses alluviales ayant des pentes douces de l'ordre de 5 à 10°. De nombreux blocs de grès, qui peuvent atteindre des dimensions plurimétriques, sont présents sur les pentes.

### 2.2 Contexte géologique

Le site est situé dans le couloir d'Argana, qui est un bassin allongé orienté NNE-SSW, large de 10 à 25 km et s'étendant sur environ 100 km entre les villages d'Imin-Tanout au nord et d'Amskroud au sud. Le bassin d'Argana est constitué d'une série triasique-liassique pouvant atteindre 6 000 m d'épaisseur. Il se compose d'unités lithologiques détritiques comprenant des silts, des argiles et des grès. La tectonique régionale est principalement contrôlée par la réactivation d'anciens événements hercyniens, qui ont conduit à l'ouverture de l'Atlantique et à la structuration des montagnes de l'Atlas. Ces formations sédimentaires ont subi une activité tectonique contemporaine de la sédimentation, mise en évidence par la présence de nombreuses failles synsédimentaires. En périphérie de l'Atlas, dans la zone du projet, ce régime compressif se manifeste par le plissement des formations permo-triasiques. Les structures anticlinales et synclinales qui en résultent sont parfois faillées. Les principales failles à l'échelle régionale sont orientées E-O et NE-SO, plus rarement N-S (voir figure 2). Le site du projet se situe sur le flanc S-E d'un synclinal du Trias supérieur. Sur l'ensemble du site, le substratum est constitué d'alternances de grès, de siltites et d'argilites, caractérisées par leur couleur majoritairement rougeâtre. L'épaisseur des couches est généralement métrique à décimétrique, mais des alternances millimétriques à centimétriques sont assez fréquentes. Les horizons gréseux contiennent souvent des intercalations de siltite ou d'argilite, d'épaisseur millimétrique. Les études réalisées pour le barrage d'Abdelmoumen, se situant à moins de 5 km du bassin inférieur, ont permis de conclure du caractère inactif des failles.

### 2.3 Conditions météorologiques

La région de l'Atlas est caractérisée par un climat semi-aride à aride. Les précipitations sont rares mais peuvent être très intenses et les températures estivales sont particulièrement élevées.

Les pluies fortes peuvent entraîner des coulées de matériaux. Durant la période de construction (2018-2022), seulement deux épisodes pluvieux majeurs ont été enregistrés, totalisant chacun 350 mm de précipitations en seulement 4 heures.

Les variations thermiques quotidiennes, parfois supérieures à 20 °C, provoquent des fissurations superficielles et accélèrent la dégradation des matériaux altérables.

## 2.4 Risques géologiques

Les principaux risques géologiques associés aux conditions de site pour les talus de routes et pistes sont les chutes de blocs, le sous-cavage des grès ou des colluvions et l'altération pour les argilites. La figure 3 présente une route en lacet. Cette configuration entraîne une superposition des activités, l'analyse d'un risque ou une éventuelle adaptation doit être faite en connaissance de cette configuration.

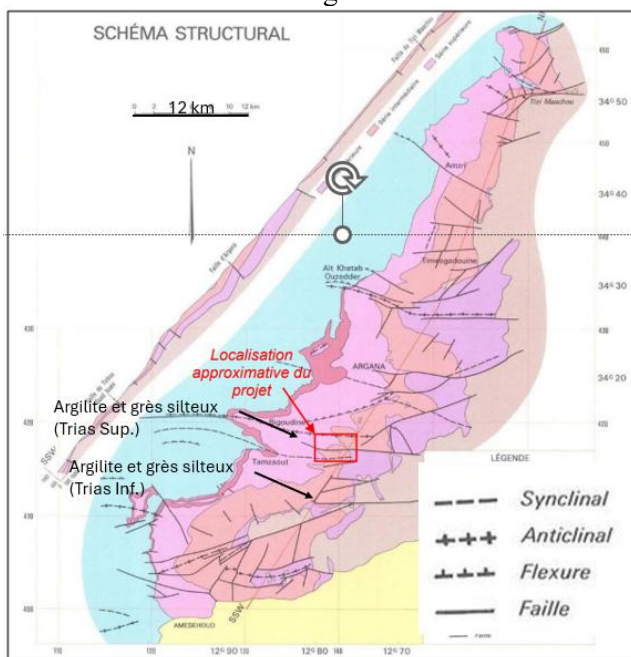


Figure 2 : Carte géologique (Extrait de Tixeront, 1974)

## 2.5 Reconnaissances géologiques

Le site étant réputé suffisamment reconnu et homogène par le maître de l'ouvrage, l'entrepreneur a réalisé au démarrage du projet pour les 22 km de routes et pistes d'accès 22 sondages (carottés et pressiométriques), totalisant 505 m de sondages. A cause de l'enclavement du site, des accès préalables ont dû être réalisés pour permettre la réalisation des sondages, et seules les localisations les plus critiques ont été reconnues. Les localisations critiques pour les routes sont les virages avec des talus de plus de 20 m de hauteur et les talus de grande hauteur (plus de 40 m).

L'extrait de plan présenté en figure 3 illustre la densité de reconnaissance.

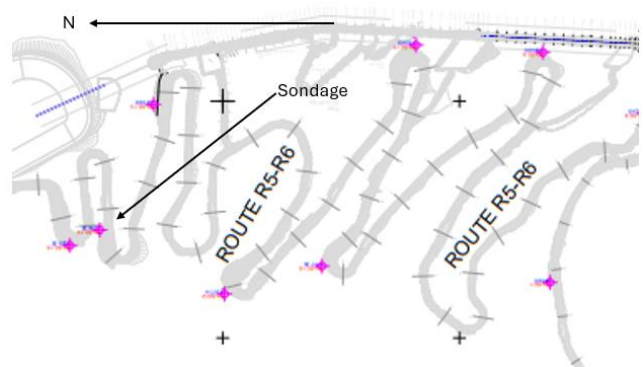


Figure 3 : extrait du plan des sondages de reconnaissance géotechniques (gris : route à créer, rose : sondage de reconnaissance)

## 3 RETOURS D'EXPERIENCE LOCAUX

Le Guide de conception des routes rurales (CID, 2008) demande de s'assurer de la durabilité à long terme de l'infrastructure en évaluant les risques d'instabilité et leurs conséquences, et en définissant des mesures préventives ou correctives appropriées.

En se basant sur le contexte géologique et hydrogéologique, la topographie, le relief et en fonction de l'usage des infrastructures, plusieurs techniques de renforcement sont recommandées pour manager les risques géologiques :

- Déchargement des matériaux en crête pour réduire la pression en haut du talus ;
- Reprofilage des pentes afin d'obtenir une géométrie plus stable ;
- Remplacement des matériaux meubles ou instables ;
- Systèmes de drainage pour contrôler l'infiltration d'eau et la pression ;
- Murs de soutènement pour un appui structurel ;
- Béton projeté pour protéger les surfaces exposées ;
- Gabions pour des structures de soutènement flexibles
- Treillis métallique et filets ancrés pour stabiliser les parois rocheuses ;
- Filets pare-blocs pour prévenir les impacts de blocs rocheux.

Les travaux de l'autoroute Agadir – Marrakech, décrit par Labaied et Mounjy (2011), ont rencontré un glissement de terrain à proximité d'une zone de faille, des instabilités rocheuses avec des dièdres et des blocs de grès isolés potentiellement instables. Les auteurs partagent leur retour relatif aux techniques de stabilisation suivantes : treillis métallique ancré à haute résistance ; barrières dynamiques pour la protection contre les chutes de blocs ; systèmes d'ancrage pour le renforcement des talus.

L'expertise locale du LPEE, (Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes) a également été mise à contribution afin de connaître les us en matière de gestion d'ouvrages géotechniques en profitant de leur

retour d'expérience, acquise notamment lors des travaux de l'autoroute Agadir - Marrakech. Cela a permis de confirmer les solutions utilisées et de bénéficier du retour de plot d'essais, pour définir les moyens de conforter ou de stabiliser les talus.

#### 4 IMPLEMENTATION DE LA METHODE OBSERVATIONNELLE ET LIMITE

Puisque les principaux risques géologiques (altération, chutes de blocs) n'étaient pas couverts par les notes de calcul (stabilité en grand) et suite aux incertitudes liées à la faible quantité de reconnaissance, l'entrepreneur a élaboré une fiche d'inspection des talus. Cette fiche résume les observations des inspections visuelles sur site, garantie la cohérence entre les différents inspecteurs avec plus de 400 inspections réalisées en 30 mois et maintient une communication homogène avec l'équipe de construction ou le concepteur.

En effet, les talus évoluant au fur et à mesure des travaux à la faveur de l'altération de certains faciès, la mise en surplomb de blocs, les pluies importantes modifiant complètement la géométrie de certains déblais, il a été nécessaire de mettre en place des fiches de suivi qui servaient à la fois de validation des modèles de calculs pour la stabilité en grand. Les fiches servaient aussi à reporter les instabilités locales mises en évidence par les travaux de terrassement et nécessitant un suivi particulier avant de décider de réaliser d'éventuels travaux de confortements / protections des talus. Enfin ces fiches permettaient de réceptionner les travaux de confortements / protections afin de vérifier que les recommandations ont été mises en place, et que le talus est acceptable en regard du risque admissible par le client.

La fiche d'inspection synthétise la localisation de l'inspection, l'avancement des travaux (surveillance ou exécution), les recommandations des précédentes inspections, les conditions météorologiques, les photos et observations, des cases à cocher pour identifier les causes potentielles d'évolution, le niveau de criticité ainsi que les actions éventuelles, incluant adaptations de conception ou de travaux, voire l'arrêt des travaux ou la mise en place d'une zone d'exclusion. Cette fiche permet à l'équipe géologique sur site de communiquer efficacement avec les équipes de construction et de conception non présente sur site.

En cours de construction, le maître de l'ouvrage a modifié les exigences relatives au facteur de sécurité (FoS), ce qui a impliqué une refonte du projet. Les hypothèses de performance sur le FoS ont conduit localement à des changements de profil en travers après le démarrage des travaux.

#### 5 PRESENTATION DE SIX CAS

La stabilité globale des talus a été vérifiée pour la géométrie présentée en figure 4. Cette géométrie a été vérifiée pour des talus, d'argilites et de grès et consiste en des talus pentés à 1H/2V et des bermes de 3 m tous les 10 m sur les profils les plus défavorables (talus les plus haut et pente surplombante la plus importante).

Le concepteur prévoyait que la stabilité de peau soit confirmée sur la base de l'observation des conditions géologiques révélées par l'excavation. Les cas particuliers présentés ci-après sont justifiés par le calcul et servent à illustrer la matrice de décision des protections de talus présentée en tableau 1.

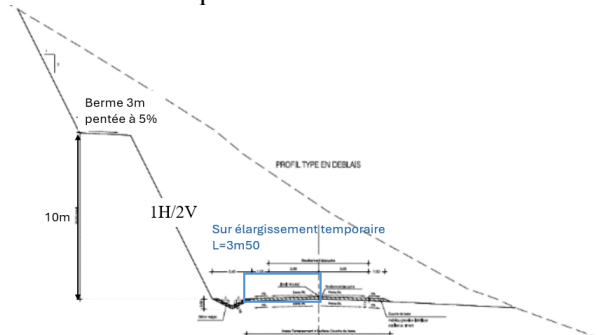


Figure 4 : coupe en travers type

L'usage des routes permanentes et pistes d'accès temporaires en phase travaux est important avec la circulation de nombreux engins et véhicules de chantier ainsi qu'un usage par les riverains beaucoup plus ponctuel. La figure 5 illustre cet usage mixte. Les routes seront en phase permanente utilisées quotidiennement par le maître de l'ouvrage pour ses inspections et opérations de maintenance et toujours sur une fréquence ponctuelle par les riverains.



Figure 5 : usage des routes par les engins de chantier et les habitants des douars

##### 5.1 Cas d'un talus d'argilite

Cet exemple est une route d'accès avec les pentes de talus présenté en figure 4. La géologie rencontrée est une argilite. L'altération de cette roche est activée par les variations thermiques et le ravinement en cas d'épisode pluvieux. Le risque est le ravinement qui fragilise le massif rocheux et peut conduire à une

rupture localisée. Pour réduire ce risque des fossés de crête sont installés, lorsque la pente du terrain le permet. Un profil en travers avec une pente naturelle supérieure à  $60^\circ$ , ne permet pas la création de fossé en crête. Le talus de la figure 6 présente une rupture de la risberme causée par une infiltration d'eau. Afin de retenir les matériaux lâches, et les éventuels décrochements, une risberme intermédiaire (figure 7) faisant office de piège à matériaux a été réalisée. Cette risberme a été pentée vers une descente d'eau afin d'éviter l'accumulation d'eau. Ce dispositif nécessitera une maintenance afin de garder la risberme vide de matériaux.



Figure 6 : rupture d'un talus d'argilite après une pluie importante

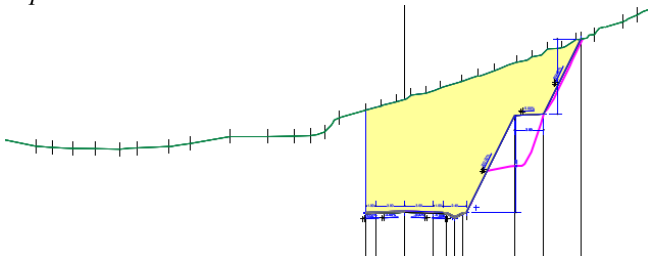


Figure 7: remédiation avec création d'une risberme intermédiaire

## 5.2 Cas d'un talus multicouche avec alluvions

Ce cas est une piste d'accès temporaire, la géométrie de la figure 4 a été appliquée. Le contexte géologique rencontré se compose d'une terrasse alluviale gréseuse surmontée de colluvions (voir figure 8). La pente naturelle du talus d'alluvions exposée atteint environ  $70^\circ$ , potentiellement instable en cas d'épisodes torrentiels ou sous l'effet des vibrations générées par les activités du projet. Cette configuration géologique, non anticipée lors des études initiales, a été vérifiée calculatoirement. L'analyse a révélé un facteur de sécurité (FoS) de 1,27 (figure 9), inférieur au seuil minimal de 1,30. En conséquence, la géométrie a été révisée en adoptant un profil de pente 1H/1V dans les alluvions uniquement. L'analyse de cette configuration indique un FoS de 1,50 (figure 10), la nouvelle géométrie a été mise en œuvre en décalant les entrées en terre et en augmentant les volumes de matériaux excavés.



Figure 8 : talus présentant des alluvions

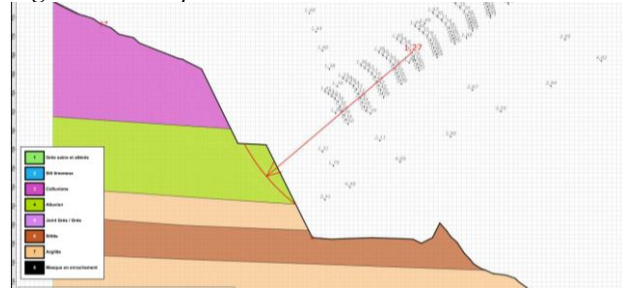


Figure 9 : Modélisation des alluvions avec géométrie initiale (3H/10V)

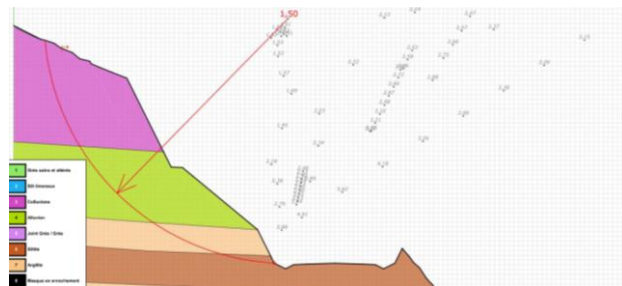


Figure 10 : Modélisation des alluvions avec géométrie (1H/1V)

## 5.3 Cas d'un talus dans les grès sains

La conduite forcée (CF) est un ouvrage permanent. Les pentes de talus sont les mêmes que celle des routes. Ce déblai est en majorité dans des grès présentant un pendage de  $60^\circ$  défavorable par rapport au sens de l'excavation. Le risque principal est à la chute de blocs ou de dièdres. Au vu de l'enclavement, il n'est pas envisageable de réaliser de la maintenance pour nettoyer un éventuel piège à caillou, et la chute d'un bloc constitue un risque inacceptable pour l'intégrité à long terme de l'ouvrage. La géométrie générale des pentes appliquée aux pistes d'accès ne s'est pas révélée être l'option la plus adaptée. Diverses inspections ont mis en évidence la présence de blocs de grès (figure 11) en surplomb de la CF, potentiellement instable.

Un essai de terrassement en minage a permis de confirmer qu'une pente à 1H/1V permettait au vu du pendage de mitiger le risque de chute de blocs. À la

suite de cette décision, tous les talus du corridor de la conduite forcée ont été couchés. La figure 12 présente la pente de talus originelle en cours de correction à 1H/1V. Cette solution augmente peu les volumes d'excavation car la hauteur de la majorité des talus est inférieure à 10m.



Figure 11 : photographie d'un talus présentant des dièdres et un pendage défavorable



Figure 12 : talus du corridor de la conduite forcée en cours de reprise

#### 5.4 Cas d'un talus mixte grès et argilite

La route d'accès du projet constitue également la voie permanente desservant les douars (villages) environnants. Un des faciès géologiques rencontré est caractérisé par des bancs décimétriques d'argilites, avec des intercalations ponctuelles de grès. Le mécanisme d'instabilité est lié à l'altération des argilites, entraînant la désagrégation et la chute des bancs plus indurés (siltites, argilites, grès). La modification des pentes de talus entraînerait une surface d'exposition aux aléas des talus plus importantes et donc plus de risques.

La solution de soutènement (figure 13) retenue consiste en la mise en œuvre d'un dispositif drainant à l'interface sol/béton projeté, suivi de la pose d'un treillis métallique soudé et de l'application d'un béton projeté. Des barbacanes de drainage ont été intégrées afin de dissiper les pressions hydrostatiques sur le parement. En raison de la topographie très raide du site, la construction d'un fossé de crête en haut du talus n'a pas été réalisable.



Figure 13: Réalisation d'un confortement en béton projeté pour limiter l'altération des roches

#### 5.5 Cas d'un talus grès fracturés

Cette situation est rencontrée fréquemment sur les routes et pistes du projet dans un contexte topographique très escarpé qui ne permet pas de modifier la pente. La géologie rencontrée se compose d'alternance de grès fracturés et d'interbancs d'argilites (Figure 14). Les routes comportent un élargissement temporaire de 3,5 m, qui ne sera pas utilisé par les habitants lors de la phase permanente, représenté en bleu sur la figure 4.

Le principal risque est la chute de blocs, le facteur déclenchant étant le ruissellement lié aux précipitations dont la gravité dépend de la hauteur des talus. Le fossé en pied de talus permet de faire fonction de "piège à cailloux" jusqu'à une hauteur de talus de 7 m maximum, démontrée avec une étude trajectographique.

Le risque de chute de blocs a été maîtrisé par l'installation d'un filet ancré et lesté associé à un piège à cailloux pour la phase provisoire et permanente (figure 15). Ce système nécessite un entretien régulier et un nettoyage pour maintenir le plaquage du filet contre le talus et pour vider le piège à cailloux.



Figure 14 : talus de grès fracturé avec chute de dièdre



Figure 15 : installation d'un filet suspendu pour contrôler les chutes de blocs

## 5.6 Cas d'un talus dans les colluvions

### 5.6.1 Cas d'un talus dans les colluvions avec un profil en long doux (<math><20^\circ</math>)

Cet exemple est un virage encastré entre deux déblais d'une hauteur maximale de 22 m. La configuration est similaire à une tranchée avec la géométrie de la figure 4 de chaque côté. Les conditions de sol, définies par le concepteur sur la base de la description des carottes, étaient principalement constituées de grès avec des intercalations d'argilites.

Lors de l'excavation de la tranchée, des couches broyées ont été rencontrées avec des blocs plurimétriques. Le risque est une érosion des matériaux fins qui pourrait conduire à la chute de très gros blocs. Cette chute a eu lieu après un événement soudain et intense de pluie (figures 16 & 17).



Figure 16 : chute de blocs après pluie importante

Le mécanisme d'effondrement est lié à l'érosion des éléments les plus fins et au sous-cavage.

En raison des contraintes géométriques, il n'a pas été possible de réduire l'inclinaison de la pente. Compte tenu de la présence de fissures et de la morphologie des blocs, les techniques de stabilisation par clouage des sols et par béton projeté n'ont pas pu être mises en œuvre. Afin de limiter l'érosion des particules fines, une solution de soutènement par mur en gabions a été mise en place. Cette technique, perméable à l'eau, permet de maintenir la stabilité de l'ouvrage tout en empêchant la migration des éléments fins, réduisant ainsi le risque de dégradation supplémentaire comme montré sur la figure 18.



Figure 17 : talus de colluvions



Figure 18 : talus de colluvions conforté avec un mur en gabions

### 5.6.2 Cas d'un talus dans les colluvions avec un profil en long abrupt (>math>>20^\circ</math>)

Le tracé de la conduite forcée (CF) génère des profils en travers de faibles hauteurs, caractérisés par des pentes modérées du fait de l'intersection perpendiculaire des courbes de niveaux par la CF. Cependant, le profil en long est très pentu, et peut aller jusqu'à 67%. L'un des talus d'une hauteur de 16 m, présentant des colluvions dans une matrice silteuse, par suite d'un événement pluvieux en l'absence de drainage finalisé, a présenté un éboulement superficiel. Le ravinement a entraîné les fines et a conduit à déchausser les plus gros blocs. La figure 19 présente cette zone avant l'orage.

Au vu de la pente et de la hauteur à reconstituer un mur en gabions n'était pas envisageable. Un mur poids en béton a été coulé afin de revenir à la géométrie initiale (voir figure 20).



Figure 19 : talus dans les colluvions avec profil en long >math>>67\%</math>



Figure 20 : Confortement mur poids en béton

## 6 GRILLE DE DECISION

Sur la base des exemples présentés précédemment, et en se basant sur deux critères qui sont la géologie et la pente du terrain au-dessus des entrées en terre ou du profil en long, une matrice décisionnelle pour la gestion de la stabilité épidermique a été définie et est présentée dans le tableau 1. Cette grille est le fruit de l'observation sur plusieurs saisons de l'évolution des talus en cours de travaux et à la fin de ceux-ci avant la réception. Ces inspections itératives réalisées durant

une longue phase de travaux ont permis de comprendre à quelles instabilités les talus seraient soumis, de tester diverses techniques pour les contrer et finalement de créer une culture commune (entrepreneur et maître de l'ouvrage) d'acceptation d'un risque résiduel (plutôt fort sur les pistes, moins fort sur les routes et minimisé au maximum pour les talus de la conduite). Aucun calcul conventionnel de stabilité de talus « en grand » ne permettait d'anticiper les risques qui ont été gérés en phase travaux. Seule la méthode observationnelle permettait de comprendre et de s'adapter.

Tableau 1 : matrice décisionnelle des confortements de talus

Géologie	Argilite / siltite	Grès	Colluvions	Alternance grès/ argilite
(Risques géologiques)  Pente	Roche altérable, sensible aux précipitations et aux variations thermiques, présentant un risque de sous-cavage et de chute de particules fines.	Instabilité de dièdre pouvant, par effet domino, provoquer un sous-cavage et entraîner des chutes supplémentaires.	Dégradation des talus pouvant entraîner la chute d'éléments rocheux de dimensions métriques à plurimétriques.	
Pente douce  < 20°	Afin de réduire les risques de chute, et des faibles volumes de terrassement supplémentaires : <b>Retalutage.</b>	Contrôler la chute de blocs ou l'éviter : <b>Retalutage ou filet suspendu et piège à caillou.</b>	Afin de réduire les chutes, et comme les volumes de terrassements additionnels sont faibles : <b>Retalutage.</b>	
Pente raide  > 20°	Retalutage non envisageable, pour éviter l'altération : <b>Béton projeté avec dispositif drainant à l'interface sol/béton.</b>	Retalutage non envisageable, pour contrôler les chutes <b>Filet suspendu et piège à caillou.</b>	Retalutage non envisageable, <b>analyse de risque</b> pour définir des zones où la chute est acceptable sinon les empêcher avec <b>mur en gabions</b> ou <b>mur poids en béton</b> , participation obligatoire d'un bureau d'étude.	

## 7 CONCLUSION

La conception et la gestion de pistes et de routes exigent une approche pragmatique et résiliente. Il est essentiel de rester conscient de l'usage prévu des routes, qu'il soit à court ou à long terme, afin d'adapter les solutions de confortements de talus. Plutôt que de chercher à éliminer la source des risques géologiques, il convient d'accepter de manager les risques ou de les accepter et en prévoyant des dispositifs permettant de maintenir la fonctionnalité des accès, même en cas de blocage partiel ou de réduction de la circulation. Pour chaque couple géologie révélée par les travaux / pente naturelle des talus, des solutions spécifiques ont été proposées, illustrant la nécessité de déployer la méthode observationnelle. Outre la grille de décision, le principal enseignement a été la nécessaire implication des acteurs du projet dans la démarche observationnelle et de définir le risque acceptable car le projet est exposé à des risques géologiques. Il est ainsi obligatoire de sécuriser les talus de la conduite ou talus proche de l'usine afin de garantir qu'en cas d'instabilités, les conséquences ne mettront pas en

péril la fonctionnalité de l'ouvrage. En revanche pour les pistes et routes les causes d'instabilités ne méritent pas nécessairement d'être traitées comme pour l'autoroute Agadir - Marrakech. Une certaine dégradation des talus est 'acceptable' ou 'tolérable'.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Jérôme VARILLON (VCGI), Nicolas BOURSIN (VCGP) pour leurs conseils lors de la rédaction de cet article et El Bachir CHERKAOUI et l'ensemble du LPEE d'AGADIR qui ont partagé leur expérience de ces sols évolutifs sous climat aride.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- TIXERONT, M. (1974). *Carte géologique et minéralisations du couloir d'Argana*.  
 CID, (2008). *Guide de conception des routes rurales*, Maroc.  
 LABAIED, H. MOUNJI Y. (2011) Stabilisation de talus rocheux - Autoroute Marrakech- Agadir, dans *1er Colloque de Géotechnique*, Les instabilités des Talus, Casablanca, Maroc, pp 48-60.