

Glissements de terrains et apport des géosynthétiques

R. ARAB¹, R. DURAND¹, M. BENHOUBOU², R.MAMOUNI³, M. FOURA⁴

¹ Huesker France SAS

² AFR Conseils

³ GEOS AP

⁴ CDT

rabah.arab@huesker.fr

RESUME : Les géosynthétiques ont connu un développement considérable dans les domaines de la géotechnique et de génie civil. Ils sont présents dans la plus part des ouvrages géotechniques et leurs domaines d'applications ne cessent de s'accroître.

Après un rappel succinct des typologies des instabilités de terrains et des méthodes de confortement dont dispose l'ingénieur, nous présentons des cas de glissements de terrain où les procédés géosynthétiques sont utilisés seuls ou en combinaison avec d'autres techniques avec succès.

1. INTRODUCTION

Les glissements de terrain sont des mouvements qui affectent aussi bien les talus anthropiques que les versants naturels. Ils surviennent à la suite d'événements naturels.

L'étude des glissements de terrain relève d'une démarche pluridisciplinaire qui fait appel à plusieurs disciplines : la géologie, la géomorphologie, l'hydrogéologie, la géotechnique et la mécanique des sols et des roches.

Au nord de l'Algérie, les instabilités de terrains comptent parmi les risques naturels les plus fréquents. En effet, La plus part des infrastructures se trouvent dans des zones accidentées topographiquement et qui connaissent en plus d'importantes précipitations surtout le Nord Est (Bejaïa, Jijel, Milia, Constantine, Guelma, etc.).

La plus part des routes se développent dans des terrains très accidentés topographiquement couplé à une géologie très difficile. En effet, les matériaux rencontrés sont des matériaux évolutifs constitués de flyshs, de pélites, d'argilites, de schistes, de marnes, d'argiles, etc. Si nous associons ces particularités à des apports d'eau abondants, nous nous trouvons face à des versants et des talus instables.

Les traitements adoptés sont le plus souvent des traitements par expérience et sans étude géotechnique préalable et parfois sans aucun calcul de dimensionnement. L'objectif visé par ces traitements est dans la plus part des cas, de maintenir un certain niveau de service et d'éviter la coupure de la route. Parmi ces traitements, nous pouvons citer :

- Les murs de soutènement (poids, BA...)
- Les butées en Gabions
- Les tranchés et éperons drainants.

Pour le traitement des instabilités, des études spécifiques sont nécessaires avec des reconnaissances géotechniques plus poussées. Elles doivent être la règle.

2. TYPOLOGIE DES INSTABILITES DE TERRAINS.

De nombreuse typologie d'instabilités de versants naturels existent, elles reposent toutes sur des notions de cinématique; de nature de sols, de stratigraphie, etc. Nous distinguons quatre classes principales de mouvements de terrains : les écoulements et les chutes de blocs ; les coulées et les laves torrentielles ; les glissements et les mouvements de fluage. La description succincte de ces instabilités est synthétisée dans les tableaux 1a et 1b.

Tableau 1a : Description des différents types d'instabilités

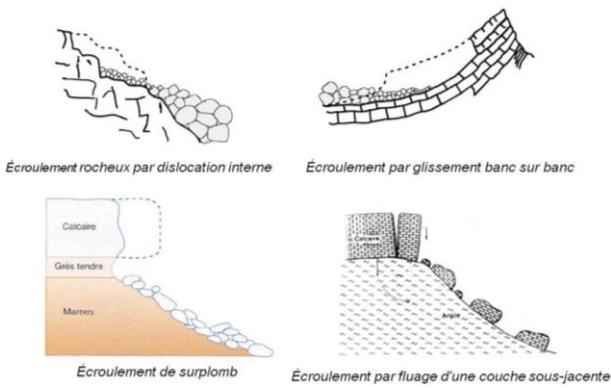
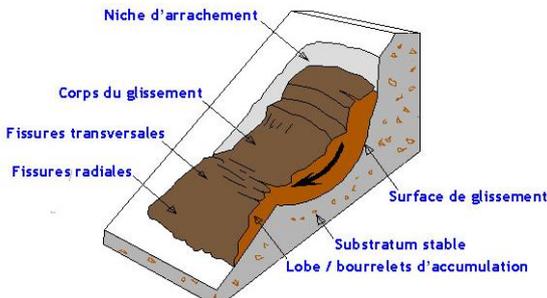
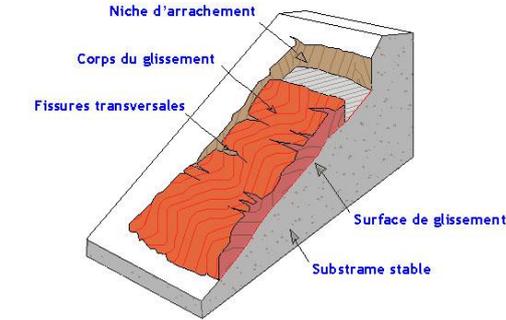
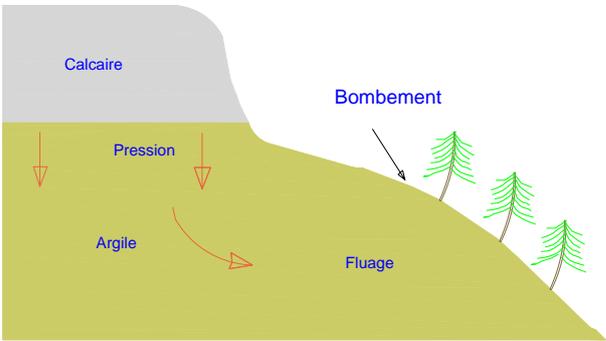
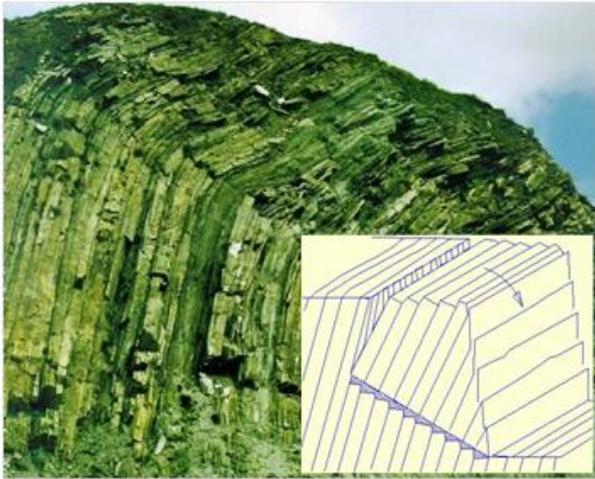
Chutes de blocs et écoulement	Schéma des différentes chutes
<p>Ce sont des chutes brutales et soudaines de masses rocheuses importantes, qui durent quelques secondes et dont les causes peuvent être internes au massif.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Dislocation d'une masse rocheuse diaclasée par altération interne 2. Glissements banc sur banc d'une masse rocheuse stratifiée 3. Ecoulements de masses mises en surplomb par érosion ou dislocation de couches tendres sous jacentes 4. Ecoulement par fluage ou glissement d'une couche sous-jacente 	 <p>Écoulement rocheux par dislocation interne</p> <p>Écoulement par glissement banc sur banc</p> <p>Écoulement de surplomb</p> <p>Écoulement par fluage d'une couche sous-jacente</p>
Les coulées et les laves torrentielles	Schéma d'une coulée
<p>Ce sont des mouvements fluides de suspensions de matériaux de granulométrie variables. Les mouvements se produisent lorsque la matrice fine atteint une teneur en eau très élevée qui la liquéfie.</p>	 <p>Zone de départ des matériaux</p> <p>Chenal d'écoulement</p> <p>Langue</p> <p>Route</p> <p>Substratum</p> <p>éboulis</p>
Les glissements rotationnels	Schéma d'un glissement rotationnel
<p>Ils sont caractérisés par un basculement de la masse glissée le long d'une "surface de rupture" dont la forme est parfois assimilable à un cylindre à directrice circulaire, c'est le cas en particulier des ruptures de remblais sur sols mous et de déblais en sols homogènes.</p>	 <p>Niche d'arrachement</p> <p>Corps du glissement</p> <p>Fissures transversales</p> <p>Fissures radiales</p> <p>Surface de glissement</p> <p>Substratum stable</p> <p>Lobe / bourrelets d'accumulation</p>

Tableau 1b (suite) : Description des différents types d'instabilités

Les glissements plans	Schéma d'un glissement plan
<p>Ils se manifestent lorsqu'il existe une surface topographique pouvant guider une rupture plane : tel qu'une couche de caractéristiques médiocres, un contact manteau d'altération – substratum..</p>	 <p>Diagramme illustrant un glissement plan. On observe une coupe transversale d'un terrain où une couche rouge (le corps du glissement) se déplace sur une surface grise (la surface de glissement) au-dessus d'un substratum stable. Des fissures transversales sont visibles dans le corps du glissement. Une niche d'arrachement est indiquée à l'arrière du corps du glissement.</p>
Les mouvements de fluage dans les sols meubles	Schéma d'un mvt de fluage dans les sols meubles
<p>Dans les formations meubles, les mouvements de fluage sont des mouvements lents dans la masse, susceptibles d'évoluer par un phénomène de rupture progressive vers des glissements ou des écoulements (apparition d'une surface de rupture). Le fluage concerne généralement les marnes, les argiles plastiques,... de grande épaisseur supportant une surcharge naturelles ou anthropique.</p>	 <p>Diagramme illustrant un mouvement de fluage dans les sols meubles. On voit une coupe d'un terrain avec une couche de calcaire au-dessus d'une couche d'argile. Des flèches rouges indiquent la pression exercée sur l'argile. Une flèche orange montre le fluage de l'argile vers l'avant, provoquant un bombement de la surface du terrain. Des arbres sont représentés sur la pente.</p>
Les mouvements de fluage dans les massifs rocheux	Schéma d'un fauchage dans les formations rocheuses
<p>Dans les formations rocheuses, les mouvements de fluage sont désignés par le terme de fauchage et se caractérisent par un basculement ou renversement des sommets de couches très redressée (proches de la verticale). Le fauchage est susceptible d'évoluer en écoulement ou en chute de blocs dans les roches tendres vers un glissement. C'est un phénomène qui affecte les matériaux présentant une schistosité (schistes, gneiss, micaschiste). Les marno-calcaires, grès et pélites sont également sensibles au fauchage.</p>	 <p>Image photographique et schéma illustrant un fauchage dans les formations rocheuses. La photo montre une pente rocheuse avec des couches verticales qui ont basculé vers l'avant. Le schéma à droite illustre ce phénomène avec des lignes représentant les couches rocheuses qui se sont inclinées.</p>

3. LES TECHNIQUES DE STABILISATION DES GLISSEMENTS DE TERRAINS

L'étude d'un glissement de terrain potentiel (prévention) ou déclaré (confortation) conduit à définir une solution confortative et à réaliser des travaux de stabilisation. La solution doit tenir compte de la faisabilité des travaux liée :

- à l'investissement consenti,
- à l'accessibilité du site,
- à la période de l'année choisie pour l'exécution des travaux,
- à la cinématique du glissement.
- aux conditions de sécurité vis-à-vis de l'environnement et notamment les risques de désordres en phase de travaux ;
- aux délais impartis à la réalisation du confortement, qui dépendent de la gravité du phénomène et de l'urgence des travaux ;
- à la pérennité du ou des systèmes retenus et les possibilités d'entretien et de réparation ;
- aux moyens en matériels et la technicité des entreprises locales.

Les techniques de stabilisation peuvent être regroupées en trois grandes familles

- Les terrassements : actions sur la géométrie et l'équilibre des masses
- Les drainages : actions sur le régime hydraulique et les pressions interstitielles
- Les renforcements : renforcements mécaniques

Les différentes solutions envisageables doivent être examinées dans un ordre progressif croissant des moyens mis en œuvre, des solutions réparatrices (qui s'opposent aux conséquences de l'instabilité) aux solutions curatives (qui traitent la cause de l'instabilité), en allant des solutions les plus simples aux plus complexes. Dans certains cas, les actions peuvent être graduées dans le temps, par exemple, mise en place progressive de diverses actions de drainage après appréciation de l'efficacité de chacune d'entre elles.

Le jugement et l'expérience du géotechnicien contribuent au meilleur choix. La réalisation d'une étude de stabilité adaptée à l'ampleur des problèmes fournit une bonne connaissance des causes des désordres et permet de s'inscrire dans un schéma méthodologique qui assure une aide réelle à la décision. C'est la connaissance des particularités locales et régionales, ainsi que l'analogie avec des chantiers réussis, qui permettront d'adapter les règles générales au site considéré.

Les différentes techniques dont dispose l'ingénieur géotechnicien pour le confortement des instabilités sont décrites dans les tableaux 2a à 2c.

Tableau 2.a : Technique de stabilisation par terrassement

Technique	Principe	Moyens	Contraintes de réalisation
Butée de pied	Rééquilibrage des masses	Remblai	-Accès et emprises nécessaires -Présence d'un horizon résistant à faible profondeur -Assurer la stabilité en aval
Allègement en tête	Rééquilibrage des masses	Déblai	-Accès et emprises nécessaires -Assurer la stabilité en amont
Purge totale	Massif est stable après la purge	Déblai	-s'applique à de petits volume -protection de la surface mise à nu -Assurer la stabilité en aval
Reprofilage	Adoucissement de la pente	Déblai	-Accès et emprises nécessaires - terrassements importants
Substitution totale	Apport de matériaux de meilleure résistance	Déblai Remblai	- terrassements importants -Ancrer sous la surface de rupture -Travail par plots
Substitution partielle (masque, éperons, bêche, contreforts)	Apport de matériau de meilleure résistance	Déblai Remblai	-Ancrer sous la surface de rupture -Travail par plots - Gérer le drainage

Tableau 2.b : Technique de stabilisation par drainage

Technique	Principe	Moyens	Contraintes de réalisation
Collecte et canalisation des eaux de surface	Limiter les pressions interstitielles	Cunettes, fossés, drains agricoles	- Implique une surface supérieure à celle du glissement - Entretien indispensable
Tranchée drainante	Diminuer les pressions interstitielles	Trancheuse, pelle, haveuse	- connaissance préliminaire du réseau d'écoulement - Entretien indispensable
Drains subhorizontaux	Diminuer les pressions interstitielles	Drains souples Moyens de forage	- connaissance préliminaire du réseau d'écoulement - vérification du rabattement - Entretien indispensable
Drainage profond	Diminuer les pressions interstitielles	Drains verticaux, puits, galeries	- connaissance préliminaire du réseau d'écoulement - Entretien indispensable

Tableau 2.c : Technique de stabilisation par renforcement

Technique	Principe	Moyens	Contraintes de réalisation
Soutènements	Apporter un effort stabilisateur horizontal	Ouvrages fixes Ouvrages souples	- Ancrer l'ouvrage sous le niveau de la rupture - Gérer la circulation des eaux derrière l'ouvrage
Tirants d'ancrage	Apporter un effort stabilisateur horizontal	Torons, barres	- Problème des déplacements de sol (phase travaux) - Associer un bon drainage efficace
Clous	Apporter un effort stabilisateur perpendiculaire à la surface de rupture	Barres, Tubes, Micropieux	- Technicité importante - Estimations correctes des interactions sols/inclusions - Associer un bon drainage efficace
Pieux	Apporter un effort stabilisateur horizontal	Pieux bétons Palplanches Profilés H	- Technicité importante - Estimations correctes des interactions sols/inclusions - Associer un bon drainage efficace

4. ETUDE DE CAS INCLUANT LES GEOSYNTHETIQUES.

4.1. PROJET "JUGOVSKO HANCHE", BULGARIE, 2000

Un tronçon d'une route dans les Montagnes Rhodopa en Bulgarie, construit dans les années 30 a dû être élargie et stabilisée en raison du trafic croissant et des signes d'instabilité. Les exigences de la maîtrise d'ouvrage sont : le maintien de la circulation pendant la phase travaux, la conservation du mur existant en maçonnerie, la solution doit être aisée à mettre en œuvre et elle doit s'intégrer dans son environnement.

Des surfaces de glissement critiques ont été identifiées avec une tendance de développement de glissement de terrain particulièrement après un événement pluviométrique important ou un séisme au-dessous de la route et le mur en maçonnerie dans les silts graveleux surmontant le rocher altéré dans sa partie supérieure.

Les analyses de stabilité conduites en 2000 avec des données géotechniques actualisées ont montré des facteurs de sécurité de 1 à 1,10 en statique et un facteur de sécurité inférieur à 1 sous conditions sismiques.

Une solution combinant des pieux et un mur de soutènement renforcé par des géosynthétiques a été adoptée (cf. figure 1). Justifiée selon les méthodes de Bishop (cercles de glissement) et de Janbu (surfaces de glissement polygonales), cette solution a été mise en œuvre (cf. figure 2 et 3) sur le chantier. Le mur de soutènement est renforcé au moyen de géogrilles Fortrac®

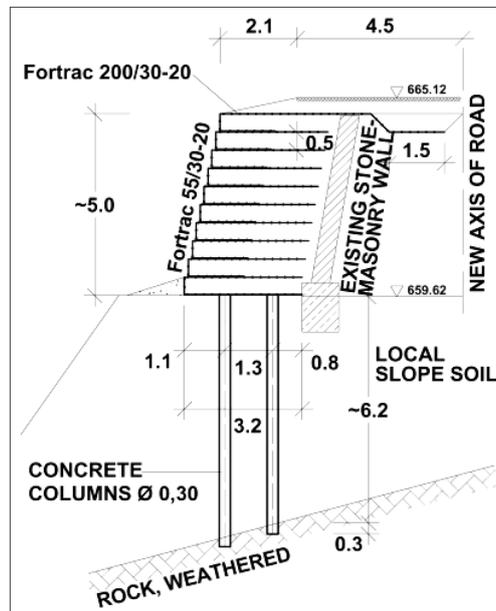


Figure 1 : Projet “Jugovsko Hanche” - Coupe en travers typique du système combiné de renforcement pieux - massif renforcé par des géogrilles

Le remblai renforcé supportant l’élargissement de la route est adossé au mur de soutènement en maçonnerie existant mais n’est pas ancré dedans pour préserver son intégrité



Figure 2: Projet “Jugovsko Hanche” - Construction du mur de soutènement renforcé par des géogrilles adossé au mur en maçonnerie existant.



Figure 3: Projet “Jugovsko Hanche”- Fin de la construction du mur de soutènement avant la mise en œuvre du parement minéral Murallex

Douze (12) ans après la mise en en service de l’ouvrage aucune indication de mouvement, de tassements différentiels n’est visible malgré quelques séismes faibles à moyens et plusieurs épisodes de pluies intenses et de fontes rapide des neiges (Alexiew et Bruhier, 2013)

Un projet dans le même massif montagneux de Rhodope a été réalisé en 2012, il s’agissait d’une route de 11 km de long sur le flanc d’un versant. Le projet de la nouvelle route comprend 22 ouvrages renforcés par des géogrilles Fortrac totalisant un linéaire d’environ de 2 km, le tout dans un contexte hydro géotechnique difficile.

Un parement minéral Murallex a été mis en œuvre (Cf. figure 4) (Alexiew et Hangen, 2013)



Figure 4. Projet « Route III-868 » - Mur de soutènement renforcé par des géogrilles de grande hauteur sans risberme à parement minéral Murallex®

4.2 PROJET “STEINMADERER WAND”, AUTRICHE, 1994

Au printemps 1994 un glissement de terrain survient sur une pente naturelle de hauteur environ de 25 m juste au-dessous d'une station de ski. La masse de sol glissée a bloqué la route au pied de la pente. La partie supérieure du glissement par régression atteint très rapidement les fondations du bâtiment des remontées mécaniques (cf. figure 5).

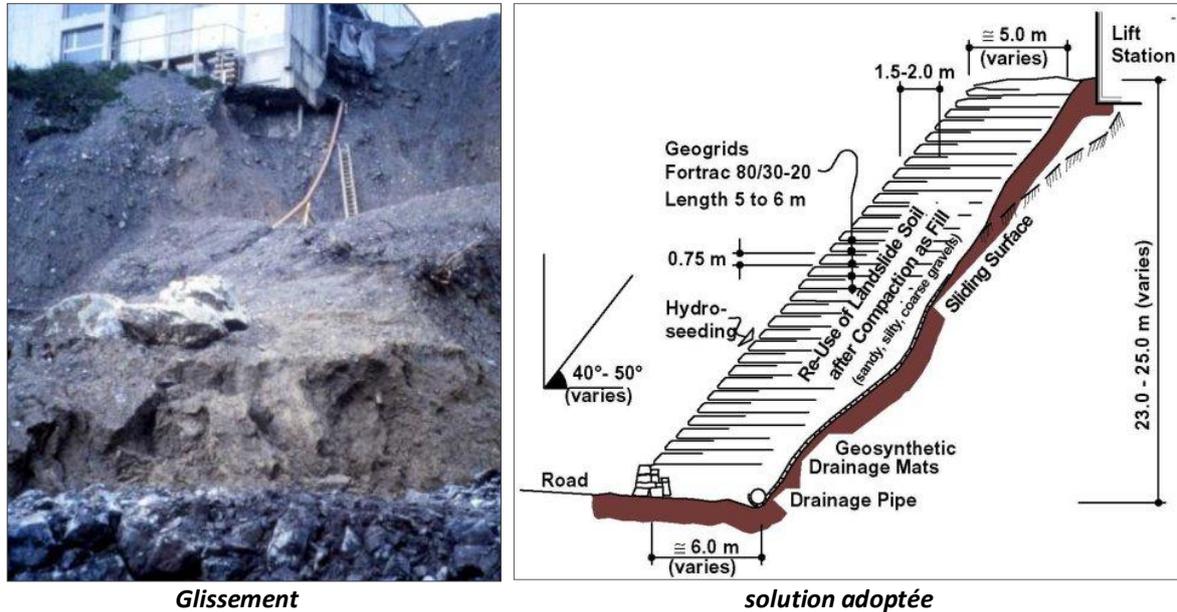


Figure 5. Projet « Steinmaderer Wand » - Bâtiment en danger après le glissement de terrain et coupe en travers de la solution de renforcement et confortement

La perte de stabilité est la conséquence d'une sursaturation du matériau, ce qui a entraîné une réduction significative de la résistance effective du sol. Une solution de reconstruction du talus a été adoptée et mise en œuvre dans les 3 mois ayant suivi le glissement. La solution devait être rapide et facile de mise en œuvre, économique, nécessitant le minimum d'apport de matériaux extérieurs au site, intégration de la solution dans le paysage.

La solution retenue est un mur de soutènement renforcé par des géogrilles Fortrac à parement végétalisable (cf. figure 5). Une importance particulière a été donnée au drainage à l'interface entre le massif en place et le massif de soutènement. La mise en œuvre des géogrilles Fortrac ainsi que le remblaiement au moyen de matériaux du site et compactage ont été réalisés en moins de deux mois seulement (cf. figure 6)



Figure 6 : Projet « Steinmaderer Wand » -Construction du massif de soutènement renforcé par des géogrilles

L'application d'un ensemencement dit « hydro-seeding » a permis la végétalisation du talus renforcé à travers la surface souple des géogrilles et sa parfaite intégration dans le paysage (cf. figure 7)



Figure 7 : Projet « Steinmader Wand » -Parfaite intégration paysagère du massif de soutènement renforcé par des géogrilles

18 ans après la construction, aucune trace de mouvement sur le versant n'a été détectée. La solution de confortement de versant a montré son efficacité (Alexiew et Bruhier 2013).

4.3 PROJET "BENI MALEK", SKIKDA, ALGERIE, 2014

La ville de Skikda a été touchée par glissement de terrain dans le quartier de Beni Malek sur une centaine de mètres de largeur qui a emporté une demi-chaussée. En zone urbanisée, des mesures de stabilisation du versant et de terrassement étaient nécessaires pour assurer la sécurité des bâtiments avoisinants et rétablir la circulation sur la rue touchée par l'instabilité.

La solution préconisée pour le confortement du glissement est une solution combinée : clouage de la partie en déblai et reconstruction de la demi-chaussée à l'aide d'un massif renforcé par géosynthétique.

Dans un premier temps, la zone du glissement a été proprement excavée en purgeant la masse de sol glissé. La partie mise à nu a été renforcée par des clous et du béton projeté (cf. figure 8). Pour la gestion des eaux, un géocomposite de drainage Pozidrain® est ensuite mis en œuvre sur l'interface massif en place – massif de soutènement. (cf. figure 8)



Figure 8 : Projet « Beni Malek » - Tirants d'ancrages en amont du glissement et béton projeté (à gauche) et géocomposite de drainage (à droite)

La solution de soutènement retenue est un massif renforcé par des géosynthétiques, de pente 2V/1H. Les géosynthétiques sont mis en œuvre avec un retour de nappe.



Figure 9 : Vue sur le massif de soutènement renforcé par des géosynthétiques

Fin 2014, les terrassements sont terminés, la chaussée a été rétablie et la végétalisation du parement est en cours.

5. CONCLUSION

Les talus raidis et les murs de soutènement renforcé par géogrille peuvent être utilisés avec succès seuls ou en combinaison avec d'autres éléments de stabilisation dans le traitement des glissements de terrain et stabilité de talus. Dans ce contexte leur ductilité (capacité de s'adapter à des déformations même significatives tout en gardant leur intégrité et sûreté de fonctionnement) est un avantage décisif.

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] D. Alexiew & H. hangen: " Design and construction of high bermless geogrid walls in a problematic mountainous seismic region in Bulgaria" Compte-rendu du 18 ième Congrès international de Mécanique des sols et de Géotechnique, Paris, 2013, pp.
- [2] D. Alexiew & Co. : "Twenty eight meters high geogrid reinforced embankments as flexiblesolutions in problematic hillsides: Project Trieben-Sunk, Austria" 9th International Conference on Geosynthetics, Brazil, 2010, pp
- [3] D. Alexiew, J. Bruhier, (2013), Some case studies of geosynthetic solutions while dealing with landslides and unstable slopes. ICLR 2013 Tabarka Tunisie