
Analyse de la stabilité d'un talus routier renforcé par tirant d'ancrage par la méthode des éléments finis

Benamara Fatima Zohra¹, Belabed Lazhar²

^{1,2}Laboratoire de Génie Civil et d'Hydraulique (LGCH), Université 08 mai 45 Guelma, Algérie.
Benamara_fati2003@yahoo.fr

^{1,2}Département de génie civil et d'hydraulique, Université 08 mai 45 Guelma, Algérie.

RÉSUMÉ. Les problèmes de stabilité des terrains se rencontrent fréquemment lors de la réalisation de réseau routier. On présente dans ce travail une analyse numérique du comportement d'un mur de soutènement ancré par tirant d'ancrage proposé comme solution pour la stabilisation d'un glissement de terrain sur la partie aval de la RN 80 au PK76+500 Wilaya de Guelma. Le site a fait l'objet d'une étude détaillée des propriétés physiques et mécaniques des sols, ce qui nous a permis de le modéliser par éléments finis de manière assez complète au moyen de l'option GEO FEM disponible sur le logiciel Geo5. On a présenté une analyse numérique couplée qui cherche à représenter les particularités géométriques et géotechniques et les conditions de service l'ouvrage. Les résultats obtenus par l'étude numérique (GEO5) ont été interprétés pour donner des solutions complémentaires à la technique de renforcement assez bénéfique pour améliorer la stabilisation du terrain.

ABSTRACT. Land stability problems are frequently encountered when performing road network. We present in this work a numerical analysis of the behavior of a retaining wall anchored by tied-back proposed as a solution for the stabilization of a landslide on the downstream part of the RN 80 at PK76+500 Guelma City. The site was the subject of detailed study physical and mechanical properties of soils, which allows us to model the finite element fairly thoroughly through the GEO FEM option available on software GEO5. We presented a coupled numerical analysis seeking to represent the geometric and geotechnical characteristics and the terms of service the structure. The results obtained by the numerical study (GEO5) were interpreted to provide additional solutions to the reinforcement technique rather beneficial for improving the stabilization of terrain.

MOTS-CLÉS: Ancrages, stabilité, glissement, GEO5, élément finis, maillage.

KEY WORDS: Anchors, stability, slip, GEO5, finite element, mesh.

1. Introduction

On a présenté une analyse numérique du comportement du mur de soutènement ancré proposé a réalisée pour la stabilisation du talus en mouvement glissant au dessous de la RN 80 PK76+500. Cet ouvrage a fait l'objet d'une étude détaillée des propriétés physiques et mécaniques des sols, ce qui a permis de le modéliser par éléments finis de manière assez complète.

La modélisation a pris en compte la position de la nappe localisé à une profondeur de 2m au dessous du pied du talus, la couche supérieur du terrain est constitué du marne grise, l'ancrage est modélisé comme élément poutre de longueur ancré à une distance de 2m au dessous de la face supérieure du terrain Figure.3. Après une brève description de l'ouvrage (talus, ancrage), on présente une analyse numérique couplée qui cherche à représenter les particularités géométriques, géotechniques et les conditions de service de l'ouvrage [ANT 90].

La stabilité de ce talus est gouvernée par les discontinuités géologiques préexistantes, cette stabilité peut être améliorée par :

- Drainage du massif.
- Réalisation d'ouvrage de soutènement.
- Renforcement du massif par tirant d'ancrage.

2. Présentation du site de l'ouvrage

Le site concerné par le glissement de terrain se situe à la sortie du village de Bou-Hachana. Les mouvements constatés affectent le versant situé en aval de la RN80 PK76+500 les glissements affectant le site sont survenus suite aux conditions hivernales rigoureuses (neige) qu'a connu la région Figure.1, 2.



Figure 1. Escarpement principal.



Figure 2. Flanc droit strié selon le sens des déplacements

L'ouvrage concerné par cette étude est un versant de 8 m de hauteur libre caractérisé par une pente de 38.65° surmonté par une chaussée de la RN 80. La charge d'exploitation est estimée à 35 kPa sur une bande de 8 m au bord arrière du talus ; La solution technique retenue est une variante constituée d'un mur de soutènement ancré par une seule bande d'ancrage Figure 3.

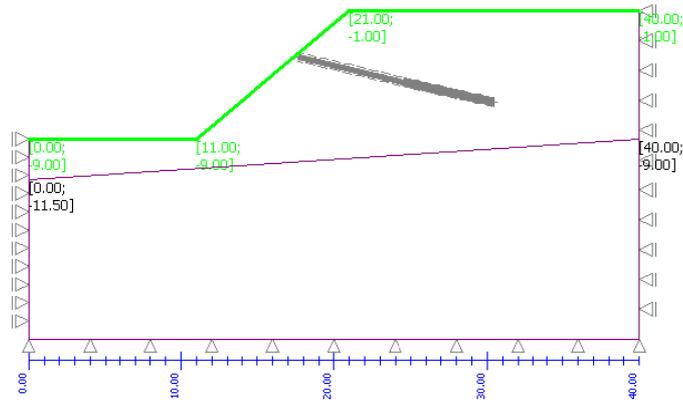


Figure 3. La géométrie du profil étudié.

3. Caractéristiques mécaniques du sol utilisé dans les calculs

Les propriétés mécaniques adoptées pour la modélisation sont présentées dans le Tableau.1. Le comportement du sol est modélisé par la loi élasto-plastique de Mohr-Coulomb [BUH 86]. Les paramètres de résistance c , φ et les poids volumiques sont présentés sur ce même tableau. Pour les propriétés physiques de sol, nous nous sommes basés sur l'étude réalisée par le laboratoire des travaux publics de L'EST, comportant des essais in situ et en laboratoire sur des échantillons du sol.

La principale formation géologique mise en évidence par les sondages carottés, sous une couche de remblai non prise dans la modélisation est une marne grise gypseuse d'après les sondages réalisés SC1, SC2 et SC3 Figure.4.

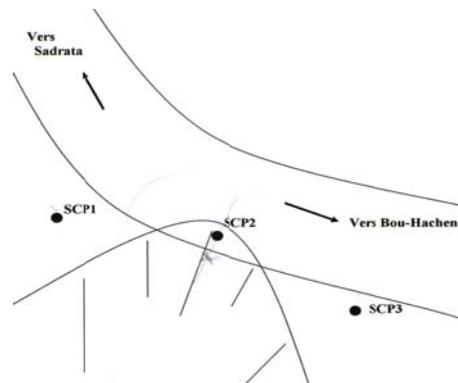


Figure 4. Plan d'implantation des sondages carottés

Les essais d'identification réalisés pour le sondage SC02 Figure.4 sont prise comme données à introduire dans le logiciel pour définir les caractéristiques du terrain et sont récapitulés dans le Tableau.1 :

Tableau 1. Les propriétés physiques et mécaniques des sols

N° sondage	γ_h (t/m^3)	W (%)	Sr (%)	C (bar)	φ (°)	Limites d'Atterberg		
						WL (%)	IP (%)	IC (%)
SC02	2.09	13.46	81.02	0.598	8°	59.4	25.7	1.79

4. Modélisation du talus étudié

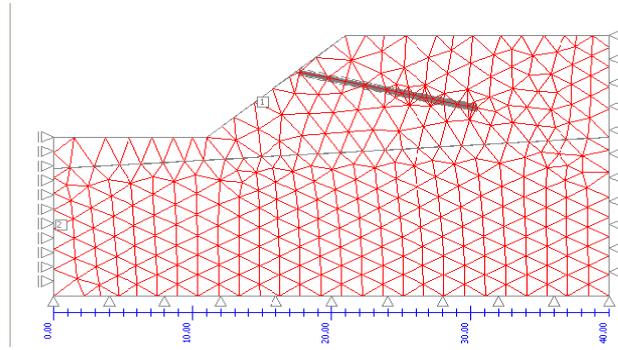


Figure 5. Maillage du modèle de calcul.

Le premier pas consiste à créer une structure dans le régime topologique (les paramètres des sols, les conditions aux limites, etc.) [CAR 00] suivi par la génération du maillage d'élément fini. L'option GEO FEM est un générateur de maille automatique qui peut considérablement simplifier la tâche. Les calculs ont été réalisés en configuration bidimensionnelle sur un domaine de 40 m de long [NAK 07]. Le maillage comporte 1374 éléments et 620 nœuds avant l'introduction de la poutre d'ancrage, augmenté à 1499 nœuds, 699 éléments, 17 éléments poutres et 34 éléments représentent l'interface inférieure et supérieure entre l'ancrage et le sol [DIC 97].

Sur les bords latéraux, les déplacements horizontaux sont nuls et les déplacements verticaux libre. Les conditions aux limites hydrauliques fixent la charge sur le toit de la nappe [DUT 89]. Les caractéristiques de la barre d'ancrage sont définies dans le Tableau.2.

Tableau 2. Les caractéristiques du modèle.

Longueur de l'ancrage (m)	L'angle d'inclinaison (°)	Dimension b=h (cm)	E (Mpa)	G (Mpa)
12.7	12.51	40	29000	11340

5. Les résultats de calcul du talus étudié

5.1. Les déplacements du sol

Les isolines sur la Figure.6 montrent les déplacements suivant les deux axes X et Z qui sont dues généralement aux poids propre du talus plus la surcharge, ces derniers sont maximum au sommet et au pied du talus et sont de l'ordre de 1.7mm et 24.4mm respectivement ces valeurs diminuent à 1.6mm et 11mm respectivement lorsque on introduit la barre d'ancrage et cela après l'application de la surcharge. Les directions des vecteurs déplacements montrent bien que le mécanisme de rupture est circulaire.

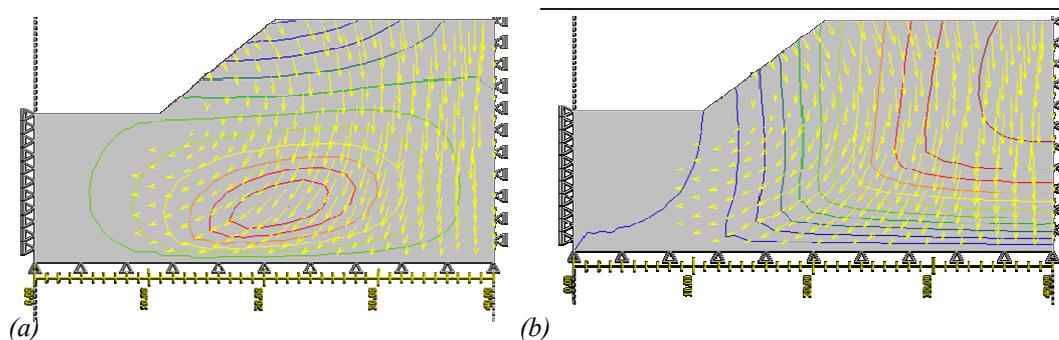


Figure 6. (a) Les déplacements suivant l'axe X,

(b) Les déplacements suivant l'axe Z

5.2. L'effort normal de tension dans la barre d'ancrage

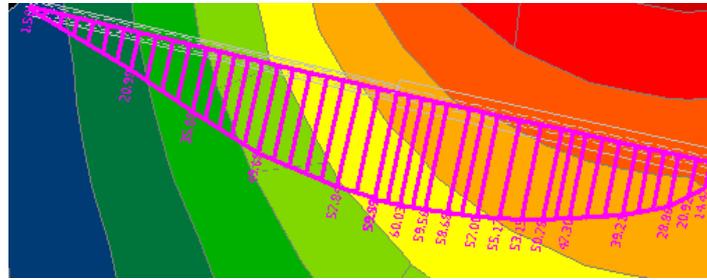


Figure 7. La distribution des efforts de tension

Comme il est représenté sur la Figure.7 l'effort normale dans la barre d'ancrage est faible à l'origine 1.50kPa et augmente progressivement pour atteindre 60.03kPa au milieu de la barre puis diminue pour atteindre 24.40kPa à l'extrémité de la barre ancrée ce qui confirme l'évolution des efforts de tension dans la littérature.

5.3. Le moment et l'effort tranchant développés dans la barre d'ancrage

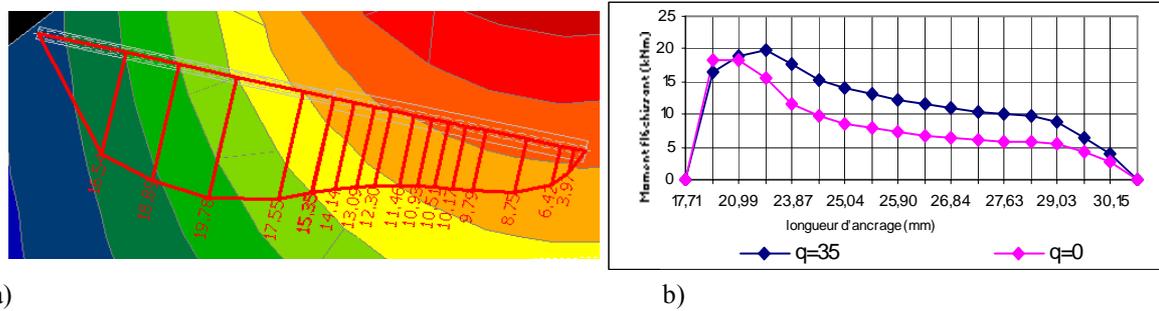


Figure 8. La distribution du moment fléchissant

Pour apprécier l'effet des charges dues à la circulation sur la chaussée de la route RN80, on a substitué cette dernière par une charge d'exploitation égale à 35 kN/m². La Figure.8b montre deux courbes de même allure représentant l'effet de la charge d'exploitation ($q=[0, 35 \text{ kN/m}^2]$) sur la barre d'ancrage. Le moment fléchissant est nul aux deux extrémités de la barre est maximum au centre ou atteint une valeur égale à 19.78kN/m au nœud d'abscisse 22.23 m. durant l'application de la surcharge est affaiblit lorsque on enlève cette dernière.

L'effort tranchant est maximal à l'origine de la barre d'ancrage puis diminue considérablement pour devenir nul puis négatif dans la partie bord arrière de la barre d'ancrage ce qui nous renseigne sur la longueur d'ancrage nécessaire et économique pour stabilisé le talus Figure.9.

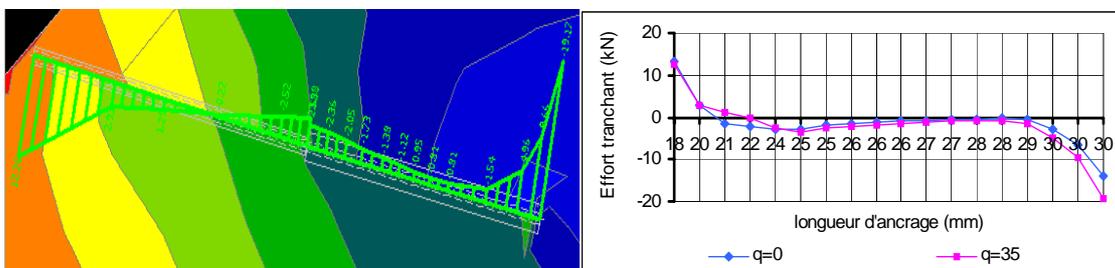


Figure 9. La distribution de l'effort tranchant

5.4. Les contraintes tangentielles et les pressions interstitielles

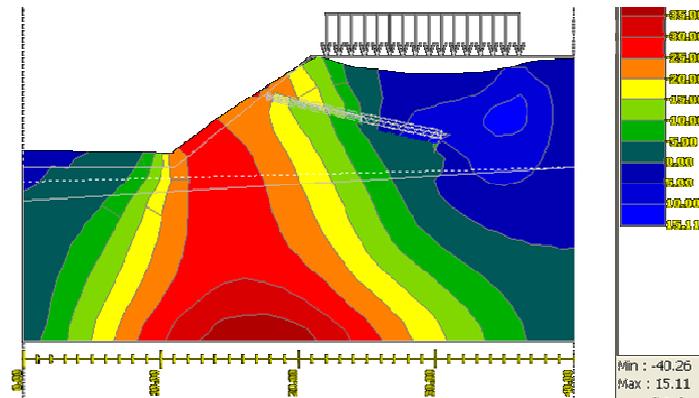


Figure 10. Les contraintes tangentielles τ_{xy}

Les contraintes tangentielles sont maximales au sommet du talus et principalement au dessous de la chaussée sous l'effet du poids propre du talus et la surcharge du trafic qui contribue fortement à la rupture et augmente les déformations de la chaussée Figure.10.

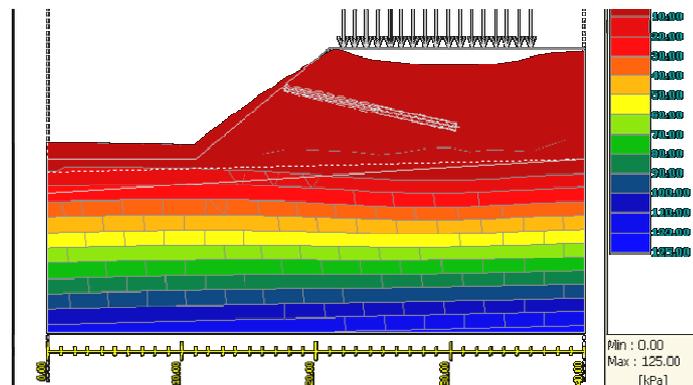


Figure 11. Les pressions interstitielles

La Figure.11 montre bien que les pressions interstitielles sont très élevées de l'ordre 125kPa dans le versant étudié surtout en profondeur à cause de l'écoulement internes qui est devenue anarchique à cause des travaux de terrassement et des remblai d'accès à la route ont constitués un obstacle pour les circulations aquifère normale. L'accroissement des pressions interstitielles développées a provoqué un déséquilibre qui a induit au glissement.

6. Conclusion

Ayant fait l'objet d'une étude complète et soignée, la modélisation du talus servant d'assise à la chaussée qui a fait l'objet de plusieurs réfection chaque fois que le glissement s'est produit, permet de tester les méthodes de calcul, notamment par éléments finis. Les calculs présentés ont été menés en prenant en compte le couplage hydromécanique, l'effet de la nappe, l'interaction sol-barre (ancrage). De manière plus générale, la démarche éclaire l'évolution des contraintes effectives et de la pression autour du talus. Par ailleurs, cette étude confirme que le logiciel GEO5 constitue un outil performant et utilisable pour des études théoriques et à l'occasion, des études de cas réels.

L'étude s'appuie sur des paramètres de calcul déterminés à partir d'essais en laboratoire et in situ. L'accroissement des circulations internes des eaux de fonte de neiges peut compromettre l'équilibre géologique naturel du versant par dissolution du gypse donc la mise en place d'un système de drainage contribue fortement à la stabilité du versant.

7. Bibliographie

- [ANT 90] Antoine A., Une méthode pour le dimensionnement à la rupture des ouvrages en sols renforcés, *Revue française de Géotechnique*, 1990, n°50.
- [BUH 86] Buhar H., *Approche fondamentale du calcul à la rupture des ouvrages en sols renforcés*, Thèse de doctorat d'état, Université Paris, 1986.
- [CAR 00] Carrubba P A., Comparison of numerical methods for multi-tied walls, *Computers and Geotechnics*, 2000, n°71.
- [DIC 97] Dickin E A., Numerical modeling of the load-displacement behavior of anchor walls, *Computers & Structures*, 1997, n°63.
- [DUT 89] Dudt J., Méthode des éléments finis en elasto plasticité, ISRF-EPFL, 1989.
- [NAK 07] Nak Kyung K., Numerical simulation of ground anchors, *Computers and Geotechnics*, 2007, n°34.