

# SIMULATION NUMÉRIQUE DE L'EFFONDREMENT ET LA RÉHABILITATION D'UN TALUS.

A. BOURAS, GH. BOUKHATEM

Département de Génie Civil, Université Badji Mokhtar Annaba, Annaba Algérie.

Reçu le 30/04/2018 – Accepté le 15/06/2018

## Résumé

Les mouvements de terrain surviennent lorsque la résistance des terrains est inférieure aux efforts moteurs engendrés par la gravité et l'eau souterraine ou par les travaux anthropiques.

Ce travail traite l'affaissement qui a eu lieu le 07 septembre 2014, sur le Chemin de Wilaya N°15 du PK 01+300 au PK 01+700 - Sidi Aissa, Annaba, Algérie. La modélisation numérique a été faite en utilisant PLAXIS, un programme d'éléments finis en 2D. Celle-ci présente les événements du site de son effondrement à sa réhabilitation.

**Mots clés :** Talus, Affaissement, Stabilisation, Clous d'ancrage, Micropieux, Éléments finis.

## Abstract

Field movements occur when ground resistance is less than the driving forces generated by gravity and groundwater or by anthropogenic works.

This work treats the subsidence that happened on 07 September 2014, on the CW15 from PK 01+300 to PK 01+700 - Sidi Aissa, Annaba, Algeria. The numerical modeling was done using PLAXIS, a 2D finite element software. This modeling presents the events of the site from its collapse to its rehabilitation.

**Keywords:** Embankment, Subsidence, Stabilization, Anchors, Micropiles, Finite elements.

## الملخص

تحدث حركات التضاريس عندما تكون مقاومة الأرض أقل من القوى الدافعة الناتجة عن الجاذبية والمياه الجوفية أو عن طريق العمل البشري.

يتناول هذا العمل الانخساف الذي حدث في 7 سبتمبر 2014، على الطريق الولائي رقم 15 من PK 01+300 إلى PK 01+700 بسيدي عيسى، عنابة، الجزائر. تم إجراء النمذجة العددية باستخدام برنامج PLAXIS، وهو برنامج ثنائي الأبعاد يعمل على طريقة العناصر المنتهية. هذه النمذجة تقدم أحداث الموقع من الانهيار إلى إعادة تأهيله.

**الكلمات المفتاحية:** منحدر، انخساف، تثبيت، مراسي، أوتاد صغيرة، عناصر منتهية.

## Introduction :

L'évolution de la technologie impose au géotechnicien à réaliser des études plus complexes, coûteuses et soumises à des contraintes de sécurité plus critiques.

De nos jours, il est possible d'élaborer des projets existants ou à réaliser, sinon de déterminer des zones de rupture potentielles grâce à des outils informatiques conçus pour faciliter l'analyse des problèmes géotechniques. Ces programmes accordent une vitesse de calcul et une précision impressionnantes, parmi eux se distingue PLAXIS, un logiciel analysant par éléments finis qui réalise une multitude de calculs, dont celui du coefficient de sécurité.

Surplombant la ville d'Annaba, la partie montagnaise du massif de l'Edough est devenue dangereuse de par sa lithologie, constituée de formations métamorphiques notamment les micaschistes. Ces formations subissent une altération météorique et hydrothermale très importante qui peut influencer la stabilité et la capacité de cette région à supporter de grands projets dans le cadre de la promotion immobilière et du tourisme. En effet, cette zone abritant plusieurs projets de promotion immobilière est devenue très instable. Le 07 septembre 2014, sur le Chemin de Wilaya N°15 du PK 01+300 au PK 01+700 - Sidi Aissa, Annaba, un glissement a eu lieu, emportant la chaussée et laissant pour blessé un chauffeur de taxi qui essayait de regagner sa demeure.

L'incident a été enclenché suite aux travaux de nombreux chantiers sur place. Cette même route a déjà fait l'objet d'un

affaissement mineur en 2013, il faut savoir que cette zone est en train de connaître une dégradation perpétuelle.

## 2. DESCRIPTION DU SITE

Le talus est composé de micascistes, son affaissement a complètement emporté la chaussée sur une longueur de 30 m et s'est produit en amont d'une zone de terrassement subvertical d'une hauteur d'environ 13 m. Au droit de la zone, la route s'est affaissée de 3,5 m.



FIGURE 1. Vue sur le site

## 3. CAUSES DE L'AFFAISSEMENT

L'affaissement est dû à plusieurs facteurs, à savoir :

- Le facteur anthropique (suppression de la butée au pied du talus).
- Les terrassements verticaux (travaux entamés dans le chantier en aval pour la construction d'un bâtiment).
- La faible consistance du sol, notamment des micascistes fragmentés et friables.
- Les surcharges excessives des camions lourdement chargés (plusieurs promotions immobilières sont en phase de construction dans cette zone).

## 4. TECHNIQUES DE RENFORCEMENT

### 4.1. LE CLOUAGE

Le clouage est une technique d'amélioration de sol par des armatures métalliques placées dans le massif à stabiliser. L'objectif des armatures est d'empêcher les mouvements de terrain. Elles sont généralement inclinées et scellées au coulis de ciment dans des forages. Par ailleurs, le parement vertical ou incliné est réalisé à l'aide d'un béton projeté armé qui assure la retenue du sol entre les armatures, ce type de parement est appelé paroi clouée.

### 4.2. LES MICROPIEUX

Les micropieux sont utilisés dans deux cas principaux qui sont soit la stabilisation de glissements de petite ampleur, soit la fondation d'ouvrages en site instable. Dans ce dernier cas, les micropieux sont destinés à assurer le transfert des charges de l'ouvrage

vers un terrain porteur résistant. Pour mettre en place des micropieux, on fore d'abord des puits dont le diamètre peut aller jusqu'à 250 mm. On y place un tubage métallique et une barre métallique de section circulaire ou en H. Enfin, on injecte un coulis ou un mortier sous pression.

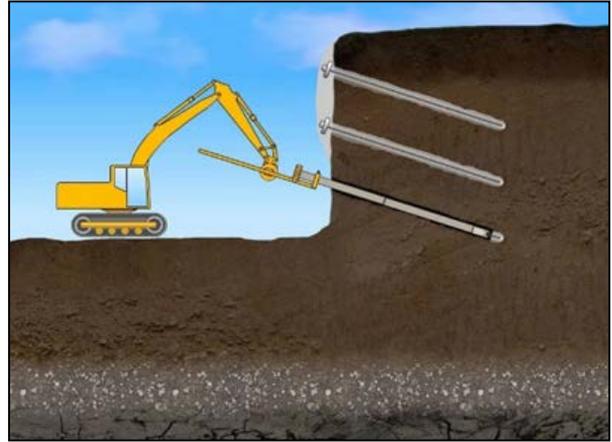


FIGURE 2. Mise en place des clous d'ancrage



FIGURE 3. Installation de micropieux

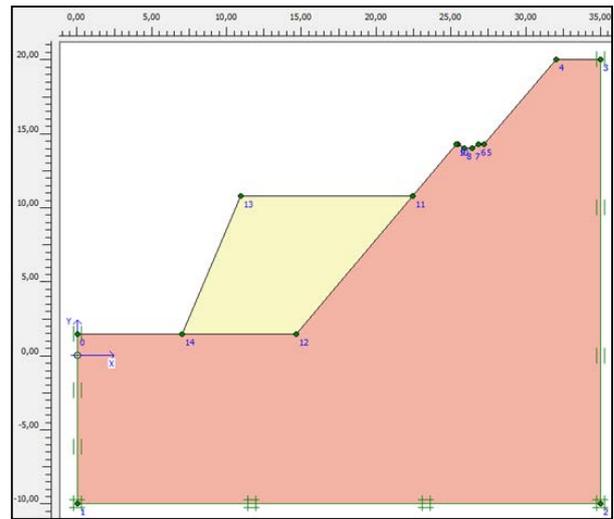
## 5. RÉSULTATS

La modélisation comporte plusieurs modèles propres à chaque situation du talus, cités ci-dessous :

1. **État initial** : présente l'état du talus après son affaissement.
2. **Renforcement du terrain naturel** : excavation de la masse éboulée et renforcement du terrain naturel.
3. **Remblayage et finition du confortement** : finition des travaux et restauration de la route.
4. **Application des surcharges** : application des surcharges routières sur le talus.

Paramètres	Nom	Micaschistes	Remblais en schistes concassés	Unité
Modèle du matériau	Model	M-C	M-C	-
Type de comportement	Type	Non poreux	Drainé	-
Poids volumique sec	$\gamma_{unsat}$	24	20	kN/m <sup>3</sup>
Poids volumique saturé	$\gamma_{sat}$	-	20	kN/m <sup>3</sup>
Perméabilité horizontale	$k_x$	-	$1.10^{-10}$	m/s
Perméabilité verticale	$k_y$	-	$1.10^{-10}$	m/s
Module de Young	$E_{ref}$	$5.10^6$	$5.10^6$	kN/m <sup>2</sup>
Coefficient de poisson	$\nu$	0,25	0,25	-
Cohésion	$C_{ref}$	20	1	kN/m <sup>2</sup>
Angle de frottement	$\phi$	40	35	°
Angle de dilatançe	$\Psi$	10	5	°

**TABLEAU 1.** Caractéristiques géotechniques des matériaux



**FIGURE 4.** État initial

## 5.2. RENFORCEMENT DU TERRAIN NATUREL

Dans ce modèle, il sera fait un renforcement du terrain naturel grâce à une paroi clouée réalisée à chaque excavation de la masse éboulée. Les clous d'ancrage seront installés tels que sur le site (de haut en bas) inclinés de 5° par rapport à l'horizontale avec les longueurs suivantes :

- Première rangée de clous : 10 m
- Deuxième rangée de clous : 10 m
- Troisième rangée de clous : 9 m
- Quatrième rangée de clous : 8 m
- Cinquième rangée de clous : 8 m
- Sixième rangée de clous : 8 m
- Septième rangée de clous : 6 m

À la fin une installation de micropieux d'une longueur de 8 m sera faite au pied du talus afin d'augmenter la stabilité de ce dernier et de supporter l'ouvrage à venir dans le prochain modèle.

Paramètres	Nom	Clous	Micropieux	Béton	Chaussée	Unité
Type de comportement	Material type	Elastique				-
Rigidité normale	EA	$2.10^9$	$3,333.10^9$	$4.10^9$	$5.10^7$	kN/m
Rigidité de flexion	EI	-	$1.10^4$	$2,1.10^7$	$5,7.10^5$	kN.m <sup>2</sup> /m
Espacement (Z)	$L_{spacing}$	2	1,5	-	-	m
Épaisseur équivalente	d	-	$6.10^{-3}$	0,251	0,37	m
Poids	w	-	2	25	25	kN/m/m
Coefficient de poisson	$\nu$	-	0,2	0,25	0,25	-

**TABLEAU 2.** Propriétés des éléments de renforcement

## 5.1. ÉTAT INITIAL

Ce modèle présente l'état du talus après son affaissement tel qu'il a été trouvé sur site. La masse éboulée est définie par une couche jaune afin de la différencier du terrain naturel. En utilisant le modèle Mohr-Coulomb PLAXIS ne prendra pas en compte les fissures et les endommagements influençant sur la stabilité du talus, ce qui mène à croire que le coefficient de sécurité ne sera pas réaliste dans ce modèle.

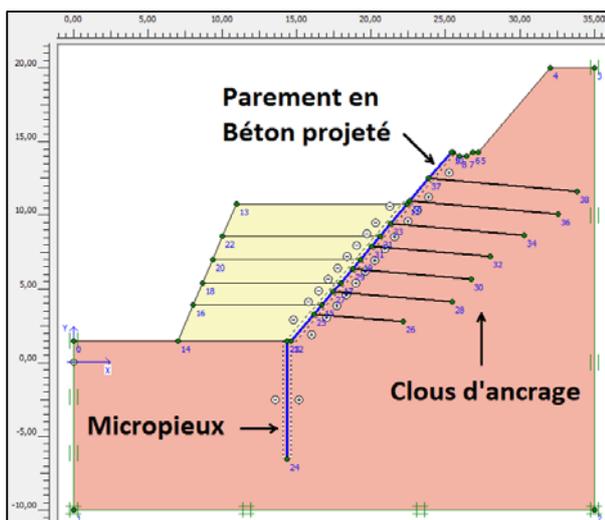


FIGURE 5. Renforcement du terrain naturel

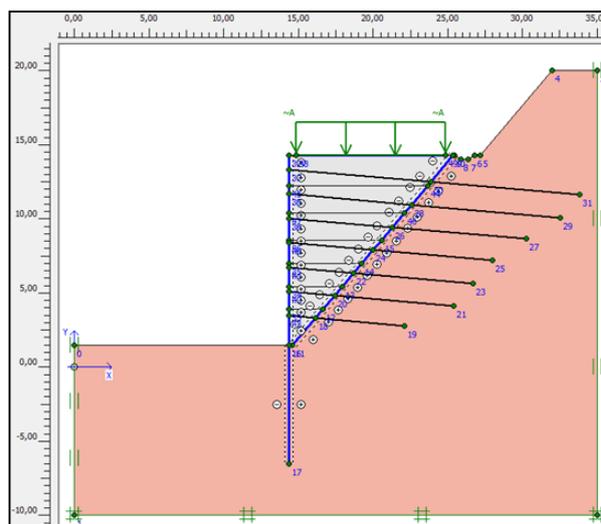


FIGURE 7. Application des surcharges

### 5.3. REMBLAYAGE ET FINITION DU CONFORTEMENT

Les travaux continuent à partir du modèle précédent. Une paroi clouée accompagnée de barbacanes d'une hauteur allant de 2,5 à 3 m sera installée sur les micropieux par prolongement des clous d'ancrage précédents, puis un remblayage par schistes concassés sera effectué jusqu'à atteindre la limite de la paroi et de là une nouvelle paroi sera réalisée et ainsi de suite.

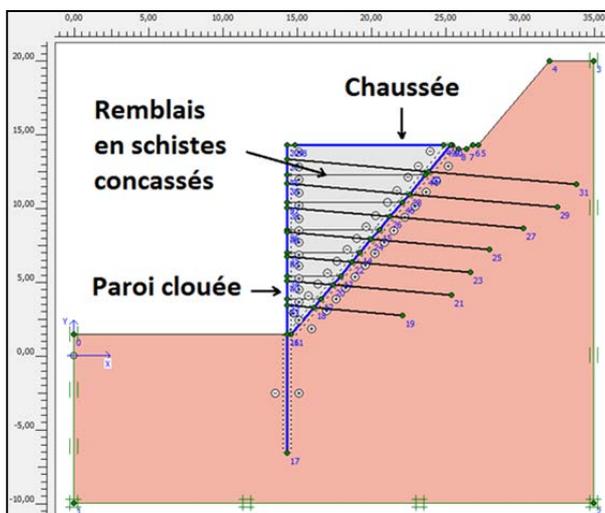


FIGURE 6. Remblayage et finition du confortement

### 5.4. APPLICATION DES SURCHARGES

Dans le présent modèle, les surcharges apportées par la route seront appliquées sur la chaussée avec une valeur de 20 kN/m<sup>2</sup> afin de tester la fiabilité du confortement appliqué.

Les résultats présentés sur la figure 8 montrent l'évaluation du coefficient de sécurité en fonction de l'avancement des travaux.

Dans son état initial, le talus est dans un état critique tel que montré sur la figure 1. Le coefficient de sécurité dans cet état aurait dû être inférieur à 1 (FS<1) cependant il a dépassé cette valeur et la raison a été décrite dans le paragraphe 5.1. À la suite des travaux le coefficient de sécurité continue à augmenter jusqu'à la réhabilitation de la route. Après avoir appliqué les surcharges routières le coefficient de sécurité n'a pas beaucoup diminué et c'est ce qui garantit la fiabilité des renforcements appliqués d'où le succès de ce projet.

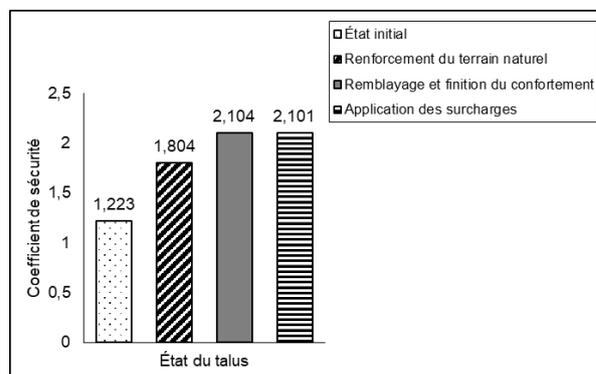


FIGURE 8. Comparaison des coefficients de sécurité

### 6. CONCLUSIONS

Une modélisation numérique en 2D par éléments finis a été développée pour but d'analyser l'évolution du talus de son état initial jusqu'à son état final. Le coefficient de sécurité déterminant la stabilité du talus a augmenté à chaque renforcement appliqué. Enfin, les surcharges routières n'ont pas eu d'influence importante sur la stabilité du talus et de ce fait le confortement est réussi.

## RÉFÉRENCES

- [1] Brinkgereve R.B.J. and Vermeer P.A, PLAXIS Version 8, Reference manual, DELFT University of Technology & PLAXIS BV, Netherlands, 2003.
- [2] Brinkgereve R.B.J. and Vermeer P.A, PLAXIS Version 8, Material model manual, DELFT University of Technology & PLAXIS BV, Netherlands, 2003.
- [3] Brinkgereve R.B.J. and Vermeer P.A, PLAXIS Version 8, Scientific manual, DELFT University of Technology & PLAXIS BV, Netherlands, 2003.
- [4] Brinkgereve R.B.J. and Vermeer P.A, PLAXIS Version 8, Validation manual, DELFT University of Technology & PLAXIS BV, Netherlands, 2003.
- [5] Fau D, Le clouage des sols. Application au soutènement de fouille. Etude expérimentale et dimensionnement, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1987.
- [6] Imbert J.F, Analyse des structures par éléments finis, Edition SEPADUES, 1979.