

# INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



*This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:*

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

*This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.*



## COMPORTEMENT DES TALUS RENFORCES PAR GEOTEXTILES BEHAVIOUR OF EMBANKMENTS REINFORCED WITH GEOTEXTILES

M. Kharchafi M. Dysli

Laboratoire de mécanique des sols de l'École Polytechnique  
Fédérale de Lausanne, Suisse

**Résumé :** Nous avons réalisé deux talus expérimentaux en limon argileux renforcés par géotextile. Les deux ouvrages, identiques en vraie grandeur - 3.60 m de haut, 5x5 m de base -, ont été renforcés par deux types de géotextiles différents : un non-tissé de faibles caractéristiques mécaniques pour le premier et un tissé beaucoup plus rigide pour le second. Une instrumentation complète a permis de suivre l'évolution des deux massifs au cours d'un chargement comprenant des paliers monotones et des charges cycliques. Les résultats de ces essais et une simulation par éléments finis, présentés dans cet article, montrent le rôle du géotextile et les effets dus à sa déformabilité.

### INTRODUCTION

Les talus renforcés par des inclusions géotextiles n'ont pas connu, durant les deux dernières décades, un essor à la mesure des avantages que cette technique peut offrir. Ceci peut s'expliquer par la méconnaissance du comportement de ce type de construction sous divers types de sollicitations.

La mise au point de méthodes de dimensionnement et de construction optimales tenant compte des déformations passe, d'abord, par des études expérimentales fiables réalisées dans des conditions bien contrôlées et proches de la réalité.

Les résultats de plusieurs essais en vraie grandeur ont été publiés durant ces dernières années. Toutefois, dans la majorité des cas, les sols utilisés étaient granulaires et de bonne qualité. Or, sur le plan économique, le renforcement des sols par des géotextiles s'avère le mieux approprié avec des matériaux fins de faibles caractéristiques mécaniques.

Dans ce contexte, le Laboratoire de mécanique des sols de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) a entrepris depuis quelques années des études expérimentales : Bourdeau et al (1991), Kharchafi, et Dysli (1993), notamment deux essais en vraie grandeur: Kharchafi et Dysli (1992), destinés à étudier le comportement mécanique sous chargement monotone et cyclique de talus à forte pente, renforcés par géotextile et construits avec un sol fin : un limon argileux à teneur en eau naturelle.

### DESCRIPTION DES OUVRAGES EXPÉRIMENTAUX

#### Dimensions

Les deux talus expérimentaux étaient identiques (fig. 1). Ils se composaient de 6 couches de sol de 60 cm de haut environ, chacune renforcée par le géotextile; soit une hauteur totale de 3.60 m. La base a une section carrée de 5x5 m et le parement a une pente de 75°. La plaque de charge avait 1.50 m de large et 4.80 m de long et était disposée (fig. 1) parallèlement au parement à 0.5 m du bord.

#### Matériaux

Le sol utilisé est un limon argileux compacté avec une teneur en eau de 19%, proche de sa limite de plasticité. Ses caractéristiques mécaniques in-

situ, déterminées sur des échantillons prélevés à la fin de l'essai en vraie grandeur, sont :

- Poids volumique :  $\gamma = 17.5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$
- Angle de frottement effectif :  $\Phi' = 30^\circ$
- Cohésion :  $c' = 15 \text{ kPa}$

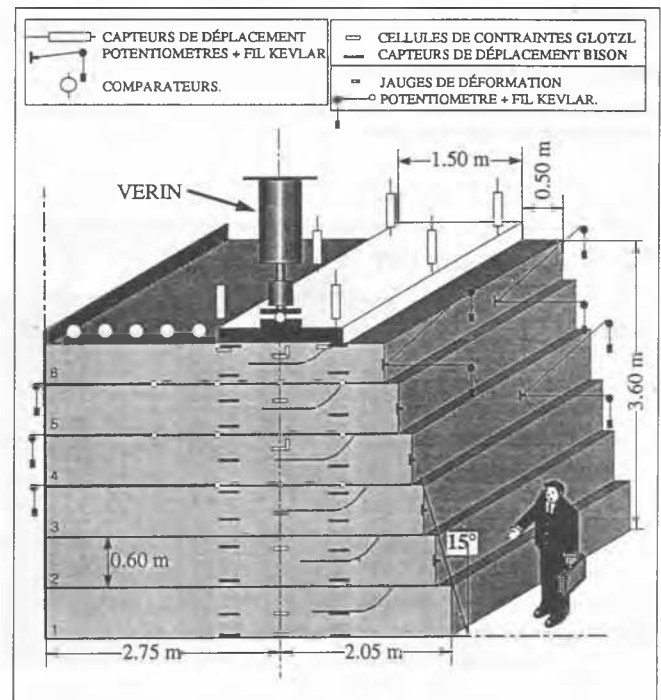


Fig 1. Dimensions et instrumentation des deux ouvrages expérimentaux en vraie grandeur.

Deux géotextiles, un tissé et un non tissé, de caractéristiques très différentes (tabl. 1) ont été utilisés pour chaque ouvrage. Le dimensionnement des ouvrages s'est fait avec différentes méthodes à l'équilibre limite en considérant les caractéristiques du géotextile non-tissé, une surcharge de 60 kPa et des coefficients de sécurité sur la surcharge et sur la force de rupture du géotextile égaux à 1. L'ancrage, a été surdimensionné de manière à éviter une rupture par glissement du géotextile.

ESSAI	1-NT	2-T
Géotextile	TYPAR 3857	STABILENKA 200
Structure	Non-tissé polypropylène	Tissé Polyester
Masse surfacique	290 g·m <sup>-2</sup>	450 g·m <sup>-2</sup>
Résist. à la rupture	20 kN·m <sup>-1</sup>	200 kN·m <sup>-1</sup>
Module sécant à ε=10%	118 kN·m <sup>-1</sup>	2000 kN·m <sup>-1</sup>

Tableau 1. Caractéristiques des géotextiles utilisés.

### Instrumentation

Les mesures effectuées sont schématisées sur la figure 1. On peut les séparer en trois catégories :

- Les mesures externes : force appliquée et déplacements verticaux au niveau de la plaque de charge; déplacements verticaux et horizontaux du parement.
- Les mesures dans le sol : contraintes totales grâce à des cellules GLOTZL et les déformations verticales grâce à deux colonnes de capteurs magnétiques BISON.
- Les mesures dans le géotextile : des jauges de déformation ont été collées sur les 5 nappes supérieures de géotextile. Les déplacements horizontaux en plusieurs points du géotextile ont aussi été mesurés grâce à un système de fils en Kevlar, reliés à l'arrière, de l'ouvrage à des potentiomètres de précision.

La majorité de ces grandeurs étaient relevées automatiquement à intervalles de temps réguliers au moyen d'une chaîne de mesures.

### RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Un programme de chargement identique, d'une durée de 3 mois environ, a été appliqué aux deux ouvrages.

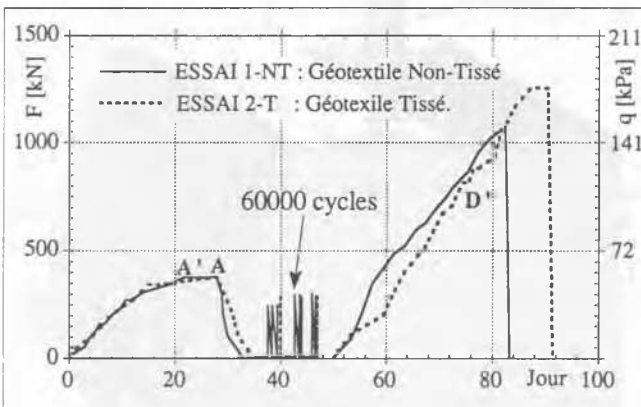


Fig 2. Programme de chargement appliqué aux 2 ouvrages.

Il est constitué (fig. 2) de 4 étapes : un chargement monotone jusqu'à 380 kN par paliers quotidiens d'environ 20 kN, suivi d'un déchargement complet en trois jours; puis de 60'000 cycles réalisés à une fréquence de 0.2 Hz avec une amplitude de 300 kN; enfin un chargement monotone

analogue au premier a été appliqué jusqu'à une force F de 1300 kN, soit une contrainte verticale sous la plaque d'environ 180 kPa. Les résultats issus de ces essais en vraie grandeur sont résumés sur la figure 3 qui montre le tassement Uz de la plaque de charge en fonction de la force appliquée F et de la contrainte verticale q.

### Tassements De La Plaque De Charge

L'utilisation du géotextile tissé (essai 2-T) a montré, au niveau du tassement, une nette amélioration par rapport à l'essai 1-NT utilisant le géotextile non-tissé. L'écart était de 25 mm à la fin de la première phase de chargement (point A, fig. 3); et d'environ 150 mm à la fin de l'essai (F=1100 kN), soit un gain de 50% sur le tassement avec le géotextile tissé. Les chargements cycliques n'ont provoqué, dans les deux essais, qu'un tassement cumulé d'environ 4 mm seulement après les 60'000 cycles. Après cette phase, le talus renforcé par le géotextile tissé a continué à avoir un comportement quasi-linéaire jusqu'à la fin de l'essai correspondant à une force F de 1300 kN, soit une contrainte sous la plaque de 180 kPa.

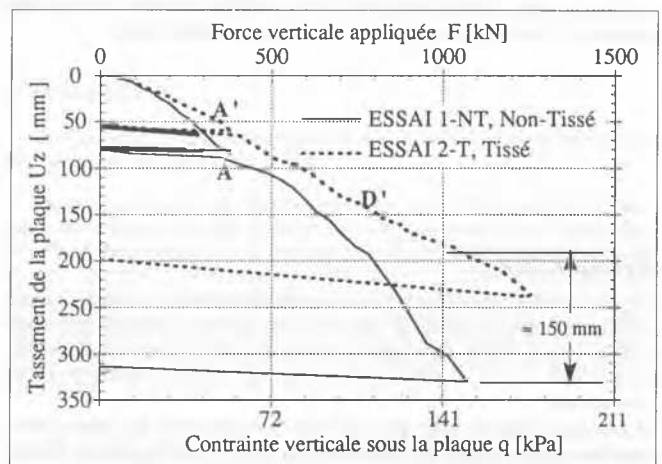


Fig 3. Déplacement vertical moyen de la plaque de charge Uz en fonction de la force F appliquée et de la contrainte verticale sous la plaque q.

Pour l'essai 1-NT, avec le géotextile non-tissé, une fissure parallèle à la plaque de charge (voir position sur la figure 4a) est apparue à la fin de la première phase de chargements monotones. Elle était quasiment parallèle au parement et située à environ un mètre à l'amont de la plaque de charge et traversait de part en part la surface du modèle.

### Déplacements Du Parement

Les déplacements du parement sont représentés sur les figures 4a et 4b à la fin de la première phase de chargement (points A et A'). On constate qu'à chargement égal, les déplacements du parement renforcé par le géotextile tissé sont plus faibles.

Dans les deux cas, les vecteurs de déplacement sont quasi-parallèles : pour l'essai avec le géotextile non-tissé, l'orientation est d'environ 50°, alors qu'elle est de 64° pour l'essai avec le géotextile tissé. Ceci montre que la déformabilité du géotextile influence plus le déplacement horizontal que le déplacement vertical du parement.

### Déformations Du Géotextile

La figure 4a montre les déformations des nappes de géotextile non-tissé (essai 1-NT) mesurées à l'aide des jauges.

Les plus faibles déformations ont été enregistrées au niveau de la couche supérieure de géotextile. Ceci s'explique par l'existence d'un coin rigide de sol sous la plaque de charge et également par l'apparition de la fissure à l'amont de cette plaque.

Une ligne de glissement potentielle joignant les maxima de tension dans chacune des couches de géotextile semble être définie par deux segments de droite qui se croisent au niveau de la 3<sup>ème</sup> couche de sol et juste à l'aplomb de l'axe de chargement. Le premier segment est incliné de 70° par rapport à l'horizontale et le second arrive au coin inférieur du talus à 35°. A titre de comparaison, avec un angle de frottement du sol estimé à 30°, le coin de Coulomb limité par la droite ( $\pi/4 + \Phi/2$ ) est incliné à 60°. Les orientations des vecteurs de déplacement montrent que le parement se déplace parallèlement à la ligne de glissement inférieure. Toutes ces constatations montrent que la déformation puis la rupture du massif, dans le cas de l'essai avec le géotextile non-tissé, se fait suivant un mécanisme composé de trois blocs pseudo-rigides que nous avons schématisé sur la figure 4a.

Pour l'essai avec le géotextile tissé (fig. 4b), les déformations du géotextile mesurées à ces stades de chargement sont restées très faibles, inférieures à 1%. Les maxima semblent situés à la verticale du côté amont de la plaque de charge. Le massif, dans ce cas, est encore loin de la rupture et aucune ligne de glissement ne se dégage clairement.

#### Les Déformations Verticales Dans Le Massif

Les figures 5a et 5b montrent la disposition des capteurs de déplacement placés dans le massif renforcé et résume les résultats obtenus à la fin de la première série de paliers de chargement monotones (Points A et A').

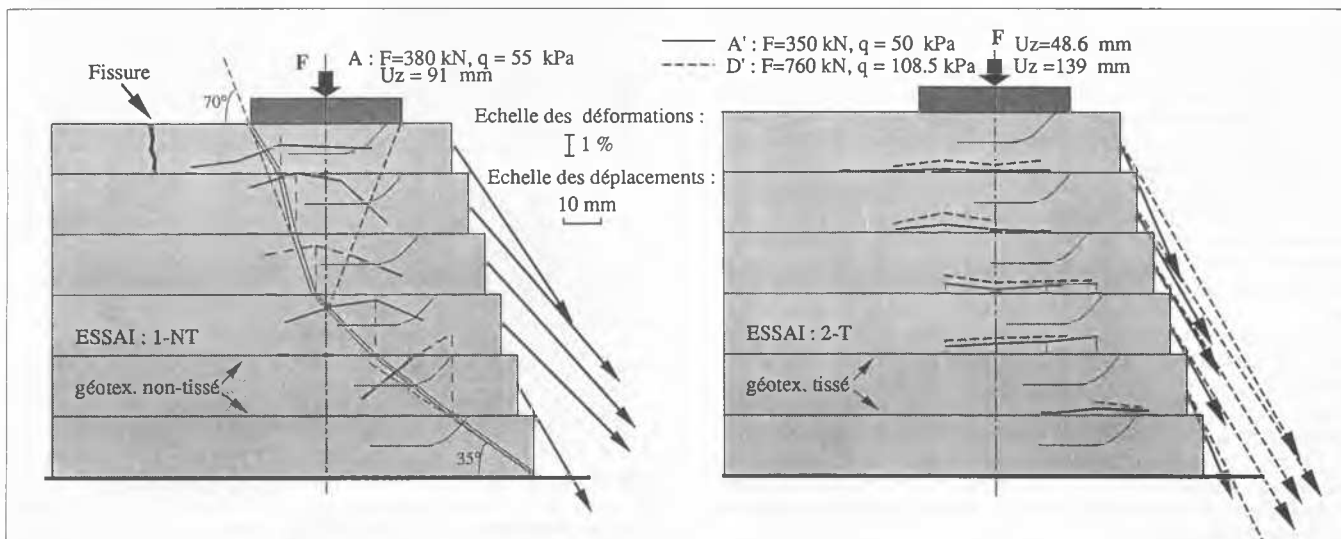


Fig 4a. Déformations dans les nappes de géotextile et déplacements du parement. Essai 1-NT, avec le géotextile non-tissé.

Fig 4b. Déformations dans les nappes de géotextile et déplacements du parement. Essai 2-T, avec le géotextile tissé.

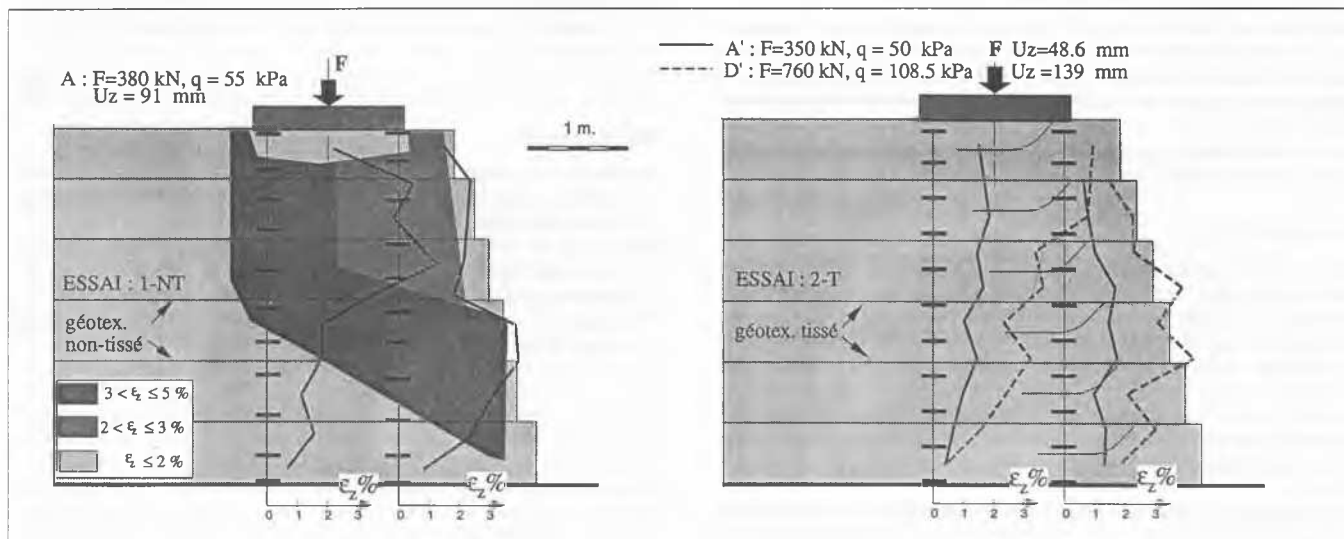


Fig 5a. Déformations verticales dans le sol. Essai 1-NT, avec le géotextile non-tissé.

Fig 5b. Déformations verticales dans le sol. Essai 2-T, avec le géotextile tissé.

Pour l'essai avec le géotextile non-tissé (fig. 5a), on voit que les déformations les plus importantes (entre 3 et 5%) se situent, dans la partie supérieure du talus, sous la plaque de charge côté amont et, dans la partie inférieure de l'ouvrage, du côté du parement. Une zone de déformation moyenne (entre 2 et 3%) se trouve sous la plaque de charge côté parement. Dans le reste de l'ouvrage, les déformations sont restées très limitées (inférieur à 2%). La figure 5a montre également, l'existence sous la plaque de chargement, d'un coin rigide qui se déforme peu et suit le mouvement de la plaque.

L'essai avec le tissé, utilisant un géotextile tissé plus rigide, montre un comportement différent. Les déformations verticales du sol varient linéairement en fonction de la profondeur et s'annulent en bas du talus côté amont de la plaque, alors qu'elles varient peu du côté du parement.

### SIMULATION NUMÉRIQUE

Nous avons mis en évidence le rôle des géotextiles à l'aide de calculs par éléments finis. Une étude comparative entre un talus non renforcé et un talus renforcé par géotextile a été réalisée à l'aide du code ADINA.

Les maillages adoptés sont schématisés sur la figure 6. Les modèles théoriques avaient approximativement les mêmes dimensions que nos talus expérimentaux. Ils sont constitués d'éléments bidimensionnels, rectangulaires à 9 noeuds en déformations planes. Le géotextile était représenté par des nappes horizontales. Son rabattement et les parties couvrant le parement ont été négligés dans ces calculs.

Les conditions aux limites sont présentées sur la figure: les déplacements horizontaux étaient bloqués au niveau de la plaque de charge et sur la face arrière du talus; tous les mouvements étaient bloqués à la base du talus.

Le comportement du géotextile est supposé élastique linéaire avec un module de  $2000 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$  correspondant à celui du géotextile tissé utilisé (voir tabl. 1). Le sol est considéré pesant ( $\gamma = 18 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Son comportement a été décrit par une courbe contrainte-déformation hyperbolique avec un module initial égal au module œdométrique ( $\approx 1500 \text{ kPa}$ ). L'adhérence sol-géotextile est supposée parfaite.

Les résultats obtenus sont résumés sur la figure 6 qui montre l'évolution du rapport  $R/R_L$  dans les deux modèles : à gauche un talus non-renforcé et à droite un talus renforcé.

Cette représentation montre bien, à deux niveaux de chargement  $q=30$  et  $90 \text{ kPa}$ , le rôle du géotextile.

On constate que pour  $q=90 \text{ kPa}$ , le talus non renforcé présente une zone plastifiée ( $R/R_L \geq 1$ ) définissant un coin de glissement continu allant du coin amont de la plaque de charge au coin inférieur du talus. Cette zone est analogue à celle de la figure 5a illustrant les déformations verticales mesurées dans le massif expérimental renforcé avec le géotextile non-tissé de faibles caractéristiques mécaniques.

Pour le modèle renforcé (fig. 6b), les zones plastifiées sont limitées à deux endroits. D'abord en bas du talus; ceci est dû aux hypothèses de calcul négligeant le rabattement du géotextile au niveau du parement. Ensuite sous la plaque de charge. Ce qui montre que l'effet du géotextile sur la couche du sol située entre la plaque de charge et la nappe supérieure du géotextile est faible, effet observé expérimentalement au niveau des déformations enregistrées sous la plaque de charge.

### CONCLUSION

De cette étude comparative de talus en vraie grandeur instrumentés et réalisés dans des conditions identiques avec le même sol et deux géotextiles de caractéristiques mécaniques très différentes, on peut tirer les enseignements suivants :

- L'efficacité du renforcement par géotextile est démontrée. Même avec un sol fin, le talus renforcé par le géotextile non-tissé a supporté, sans se rompre, une charge double de celle prévue par les méthodes de dimensionnement à l'équilibre limite. Les déformations du géotextile n'ont pas excédé 10 %, alors que sa déformation limite est supérieure à 20%.
- Un mécanisme de rupture a pu être mis en évidence dans le cas du talus renforcé par le géotextile non-tissé, l'autre ouvrage se situant encore très loin de sa résistance limite.

- L'amélioration au niveau des tassements de la plaque de charge était très nette avec le géotextile tissé.
- Les deux massifs ont montré des comportements différents. Les déformations verticales du sol ainsi que les déformations et les déplacements des géotextiles étaient moins importants et plus diffus dans le cas du talus renforcé par le géotextile tissé. Dans le cas du talus renforcé par le non-tissé, ces grandeurs étaient surtout localisées dans la zone comprise entre la ligne de glissement et le parement.

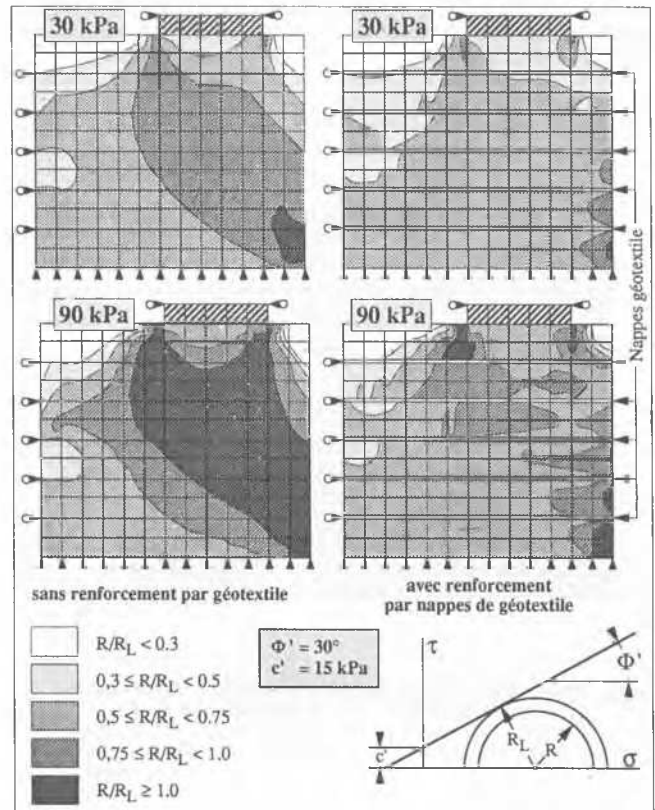


Fig 6. Simulation par éléments finis du comportement d'un talus non-renforcé (à gauche) et d'un talus renforcé par géotextile (à droite).

### RÉFÉRENCES

- Bourdeau, P.L., Pardi, L. et Recordon, E. (1991). Observation of soil-reinforcement interaction by X-ray radiography. Proc. of the Int. Reinf. Soil Conf., Glasgow, pp. 347-352.
- Kharchafi, M. und Dysli, M. (1992) Untersuchungen über geotextil-verstärkte Bauwerke. 2. Kongress Kunststoffe in der Geotechnik, Luzern, pp 135-143.
- Kharchafi, M. and Dysli, M. (1993) Study of Soil-Geotextile interaction by an X-Ray method, Geotextile and Geomembranes Vol. 12.