

---

# Simulation numérique du comportement d'un remblai renforcé sous sollicitation sismique – Effet de maillage

Soufi Soumia<sup>1\*</sup>, Trouzine Habib<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Génie Civil et Environnement, Département de Génie Civil et Travaux Publics, Faculté de Technologie, Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès, BP 89, DZ 22000 Sidi Bel Abbès. Algérie

\* [s.soufiuniv@hotmail.fr](mailto:s.soufiuniv@hotmail.fr)

<sup>2</sup> [h\\_trouzine@yahoo.fr](mailto:h_trouzine@yahoo.fr)

---

**RÉSUMÉ :** Afin de prendre en compte le comportement complexe et notamment les déformations importantes des ouvrages de génie civil comportant des inclusions souples telles que les géotextiles, les méthodes globales restent insuffisantes, d'où l'indispensabilité de développer des approches locales par des méthodes numériques appropriées. La méthode des éléments finis est devenue de nos jours la solution approchée la plus largement utilisée par des techniques d'analyse numérique. Le principe fondamental de toute analyse par méthode des éléments finis repose essentiellement sur la discrétisation de la géométrie du système ou le maillage. L'objectif essentiel de cet article est de contribuer à la compréhension du comportement des sols renforcés par des géotextiles sous sollicitations dynamiques, tout en développant un modèle numérique basé sur certaines paramètres et hypothèses simplificatrices utilisant les techniques d'homogénéisation numériques.

**ABSTRACT.** In order to take into account the complex behaviour and in particular the important deformations of civil engineering structures including flexible inclusions such as Geotextiles, the overall methods remain insufficient, hence the necessity to develop local approaches by appropriate numerical methods. The finite element method is nowadays the approximate solution most widely used by numerical analysis techniques. The fundamental principle of any analysis by finite element method relies essentially on the discretization of the system geometry or the mesh. The main objective of this article is to contribute to the understanding of the behaviour of soils reinforced by Geotextiles under dynamic stress while developing a numerical model based on certain parameters and simplifying assumptions using numerical homogenization methods.

**MOTS-CLÉS :** Ouvrages en terre, Inclusions souples, Simulation numérique, Méthode des éléments finis.

**KEYWORDS:** Earthworks, Flexible inclusions, Numerical simulation, Finite element method.

---

## 1. Introduction

En géotechnique, l'usage des géosynthétiques comme renfort se généralise, ces dernières permettent la réalisation d'ouvrages en terre à caractère définitif économique. Cependant, l'approche, la simulation numérique du comportement, et l'analyse de stabilité de ce type d'ouvrage, renforcé par des inclusions linéaires souples dite aussi « extensibles », reste un problème difficile, en raison de l'hétérogénéité du sol renforcé combiné au grand nombre d'inclusions jugées dimensionnellement très petites vis à vis de celle de l'ouvrage dans son ensemble.

Par conséquent, il est naturel de proposer une méthode d'homogénéisation visant à remplacer le composite «sol renforcé» par un milieu homogène équivalent, dont les propriétés de résistance sont anisotropes en raison de la direction préférentielle des renforcements (de BUHAN et SALENÇON, de BUHAN et al.).

Ainsi une approche alternative fondée sur une modélisation dite « multiphasique » par méthode des éléments finis a été développée, en prenant en compte, pour notre cas, l'effet de la position du renforcement, ainsi que l'effet d'interaction sol-géotextiles.

L'un des clefs de la modélisation par méthode des éléments finis est la discrétisation de la géométrie du système. ABAQUS propose différents algorithmes pour générer plus ou moins automatiquement les maillages.

Le nombre de maille des éléments finis, appliqué au modèle étudié, avec différent degrés de raffinement a été jugé d'abord afin d'obtenir le maillage approprié. En tenant compte de la géométrie et des dimensions des éléments du modèle, ainsi que sa nature : sol renforcé par des nappes de géotextiles « renforcement extensible » travaillant essentiellement en traction. Le mécanisme du transfert d'efforts entre le sol et l'inclusion étant le frottement latéral, l'interaction sol/renforcement s'exerce alors sur toute leur longueur et leur surface de contact.

Dans cet article deux types d'éléments ont été traité :

- En premier lieu, l'hexaèdre C3D8R à 8 nœuds (élément continu linéaire),
- En second lieu, l'hexaèdre C3D20R à 20 nœuds (élément continu quadratique).

Pour un modèle numérique sous la forme d'un :

- Talus sans renforcement : Cas de référence,
- Talus renforcé : Avec trois cas de figure d'espacement entre les nappes en géotextile ( $e=0.5$  m, 0.7 m et 1 m).

Pour tous les cas étudiés, nous avons opté pour un calcul implicite par le biais du logiciel Abaqus 6.11.

### 1.1. Description du modèle

#### 1.1.1. Géométrie et condition de chargement

Le talus qui est sujet de la présente étude est une pente naturelle considéré homogène dont les propriétés physiques sont les suivantes (Figure -1-)

- D'une hauteur totale de 7 m,
- Une hauteur spécifique de la pente H de 5 m,
- Et d'un angle d'inclinaison  $\beta = 55^\circ$ .

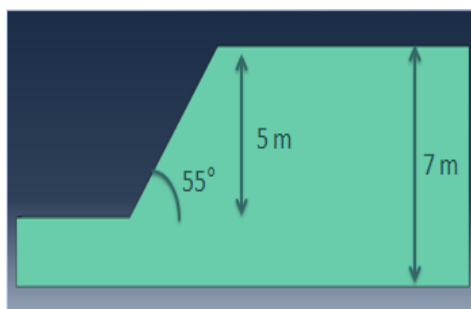


Figure 1. Géométrie du talus

Tableau 1. Les propriétés mécaniques des matériaux

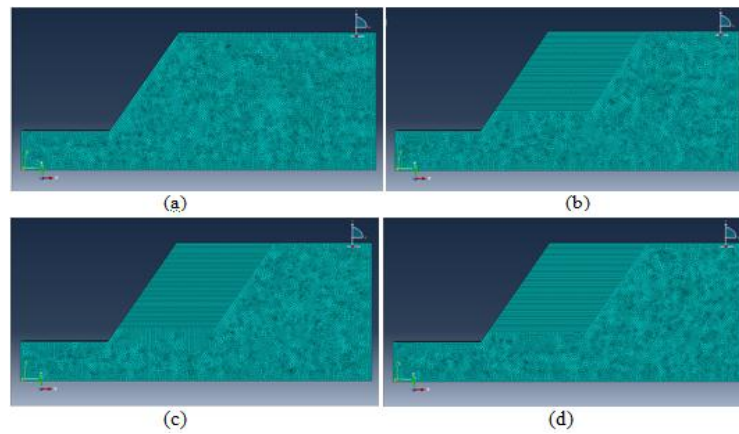
Matériaux	Propriétés
Le sol	$E = 40$ MPa
	$\rho = 1\,700$ kg / m <sup>3</sup>
	$\nu = 0.3$
Le géotextile HP570	$E = 570$ MPa
	$\rho = 158.3$ kg / m <sup>3</sup>
	$\nu = 0.3$

Statiquement, le modèle est soumis à son propre poids, la cohésion apportée par le géotextile est prise en compte dans la simulation par un coefficient de frottement. La sollicitation dynamique est représentée par un accélérogramme de séisme de type *El Centro*.

#### 1.1.4. Types de maillage appliqués

##### 1.1.4.1. Maillage type -1- le C3D8R :

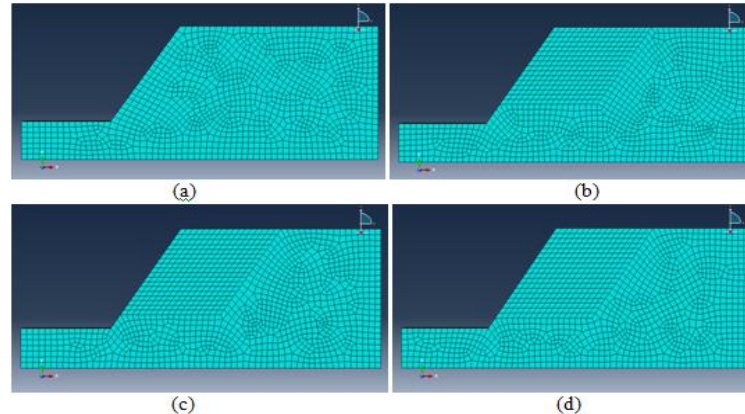
Il comprend pour le cas de référence « talus non renforcé » 131142 nœuds et 116830 éléments, 134332 nœuds et 117170 éléments pour le cas second, 138578 nœuds et 119920 éléments pour le troisième cas, et 141779 nœuds et 121280 éléments pour le dernier cas. Le maillage des quatre cas est illustré sur la figure suivante :



**Figure 5 :** Les quatre cas de figure (a) Cas de référence, (b) Talus renforcé avec  $e=1m$ , (c) Talus renforcé avec  $e=0.7m$ , (d) Talus renforcé avec  $e=0.5m$

##### 1.1.4.2. Maillage type -2- le C3D20R :

Il comprend pour le cas de référence « talus non renforcé » 19191 nœuds et 3663 éléments, 27433 nœuds et 5822 éléments pour le cas second, 31280 nœuds et 6861 éléments pour le troisième cas, et 36275 nœuds et 8271 éléments pour le dernier cas. Le maillage des quatre cas est illustré sur la figure suivante :



**Figure 6 :** Les quatre cas de figure (a) Cas de référence, (b) Talus renforcé avec  $e=1m$ , (c) Talus renforcé avec  $e=0.7m$ , (d) Talus renforcé avec  $e=0.5m$

## 1.2. Résultats et discussions

Les valeurs de contrainte de Von Mises sont déterminées au niveau de trois points 1, 2, et 3, qui correspondent respectivement au sommet, deux tiers, et un tiers du talus.

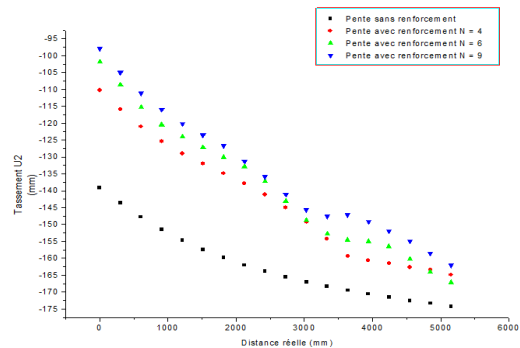
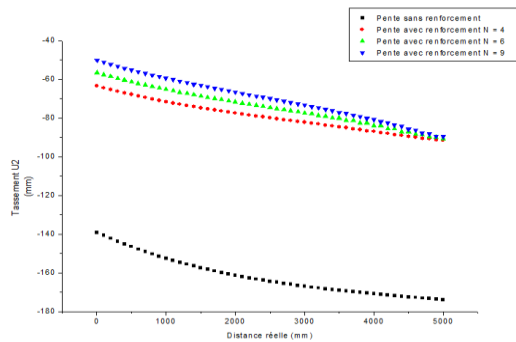
Pour pouvoir distinguer l'effet qu'apporte l'inclusion des nappes en géotextile au sol, une série de courbes, qui illustre le tassement correspondant pris le long de la surface supérieure de la partie renforcée, sera présentée pour les quatre cas de figure.

En adoptant le maillage quadratique, le calcul du modèle pour le cas de renforcement de 1 et 0.7 m s'est limité à un temps de calcul de 1.7571 seconde, contrairement aux deux autres cas qui ont achevé leur temps de chargement jusqu'à 2 seconde. Une même constatation de résultat, où le tassement est plus important dans le cas d'un talus non renforcé et moins important lors d'introduction de géotextiles,

**Tableau 2.** Contrainte de Von Mises pour les 4 cas cités (Maillage linéaire, quadratique, cas dynamique)

Le point	Le nœud	La contrainte (MPa)
<b>Cas 1 : Talus sans renforcement (cas de référence)</b>		
1	119348	0.0401
2	124885	0.4001
3	127104	0.7843
<b>Cas 2 : Talus renforcé avec espacement de 1 m</b>		
1	1	0.0147
2	5063	0.2131
3	2269	0.4077
<b>Cas 3 : Talus renforcé avec espacement de 0.7 m</b>		
1	5661	0.0142
2	1697	0.2088
3	3391	0.4117
<b>Cas 4 : Talus renforcé avec espacement de 0.5 m</b>		
1	1	0.0145
2	1697	0.2119
3	2269	0.4124

Le point	Le nœud	La contrainte (Mpa)
<b>Cas 1 : Talus sans renforcement (cas de référence)</b>		
1	3947	0.01304
2	4006	0.4104
3	18811	0.7939
<b>Cas 4 : Talus renforcé avec espacement de 0.5 m</b>		
1	1	0.0668
2	255	0.2983
3	574	0.4026



**Figure 9 :** Tassement U2 pour les 4 cas de figure (Maillage linéaire, quadratique, cas dynamique)

## 2. Conclusion

L'analyse numérique qui a été menée dans le but de déterminer l'effet du maillage sur le comportement d'un talus (renforcé ou pas) a donné les constatations suivantes :

- Une diminution des tassements pour les quatre cas de figure, en passant de l'élément à 8 nœuds vers l'élément à 20 nœuds.
- Une légère diminution des valeurs de la contrainte de Von mises, en passant de l'élément à 8 nœuds vers l'élément à 20 nœuds, pour le cas statique.
- Une légère augmentation de la contrainte de Von Mises au niveau d'un tiers du talus, et une légère diminution au niveau du deux tiers et sommet du talus, pour le cas dynamique.

Cette variation de résultats implique que soit : l'effet de maillage n'est pas très important pour cette modélisation, soit le deuxième type de maillage adapté au modèle était mal jugé, autrement dit le nombre de maille des éléments finis est inapproprié.

## 3. Bibliographie

- [ALA 84] ALAIN PECKER « Dynamique des sols ». Presses de l'école Nationale des Ponts et Chaussées, 1984.
- [BRA 06] BRAJA M. DAS « Principles of Geotechnical Engineering ». Fifth Edition. California State University, Sacramento. 2006.
- [BRU 99] BRUNO SUDRET « Modélisation multiphasique des ouvrages renforcés par inclusions ». Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1999.
- [d BUH 87] de BUHAN P., SALENÇON J. « Analyse de stabilité des ouvrages en sols renforcés par une méthode d'homogénéisation » Revue Française de Géotechnique, 1987, n° 41, 29–43.