

ÉTUDE DE L'EFFICACITÉ DE GÉOGRILLES POUR PRÉVENIR L'EFFONDREMENT LOCAL D'UNE CHAUSSÉE

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF GEOGRIDS TO PREVENT A LOCAL COLLAPSE OF A ROAD

Céline BOURDEAU et Daniel BILLAUX
Itasca Consultants S.A.S.

RÉSUMÉ - Cet article présente les résultats de l'évaluation, par la modélisation numérique avec le logiciel FLAC, de l'efficacité de géogrilles pour prévenir la création d'une « marche d'escalier » à la surface d'une chaussée dans le cas où un effondrement localisé se produirait en profondeur. Nous simulons cet effondrement en appliquant une sollicitation mécanique verticale à une partie de la base du modèle, ce qui conduit à la formation en pied de modèle d'un décrochement vertical de 12 cm de hauteur. Les résultats de cette étude montrent que la présence de géogrilles atténue les déformations et élargit la zone sur laquelle elles se produisent en surface. Les géogrilles empêchent donc la formation d'une « marche d'escalier » sur la chaussée.

Mots-clés : effondrement, route, modélisation numérique.

ABSTRACT - This paper presents the results of the assessment, through numerical simulations with FLAC, of geogrids' efficiency to prevent the formation of a "step" on a road after a collapse at depth. We simulated such a collapse by applying a mechanical load to part of the base of the model: this resulted in the development of a vertical, 12 cm high, "step". The results of this study show that geogrids attenuate deformations and widen the zone along the surface on which they develop. Therefore, geogrids prevent the formation of a "step" on the road.

Keywords : collapse, road, numerical modelling.

1. Introduction

Dans le cadre du projet de déviation de la commune d'Aumetz, le Conseil Général de Moselle souhaitait s'assurer que le futur tracé de la route départementale 16 située à l'aplomb d'anciens travaux miniers ne risquait pas de subir de « déformations inadmissibles ». Un effondrement localisé sous les couches de chaussée aurait en effet pu entraîner la formation, à la surface de celle-ci, d'une « marche d'escalier ». Le procédé qui a été retenu pour réduire cet effet repose sur l'utilisation de géogrilles.

La modélisation d'un tel phénomène est difficile car elle suppose la prise en compte de très grandes déformations très localisées. Le logiciel FLAC (Itasca Consulting Group Inc., 2005) permet cette modélisation. Cet article présente donc les résultats de l'évaluation, par la modélisation numérique avec le logiciel FLAC en 2D, de l'efficacité des géogrilles pour prévenir la création d'une « marche d'escalier » à la surface de la chaussée dans le cas où un effondrement localisé se produirait sous les couches de chaussée. Nous avons fait l'hypothèse qu'un tel effondrement se matérialiserait sous la forme d'une « marche » de hauteur 12 cm située directement sous la route. L'impact de la circulation des camions sur les déformations de la chaussée ayant été jugé négligeable par rapport à l'impact de l'effondrement minier, il n'a pas été pris en compte dans les simulations numériques.

2. Présentation du modèle

2.1. Géométrie du modèle

Le système « matériaux + géogrilles » que nous avons modélisé est présenté dans la figure 1 : il comprend deux couches de grave non traitée de 0,8 et 0,3 m d'épaisseur respectivement, une couche de grave traitée à la chaux d'épaisseur égale à 0,5 m et deux géogrilles. Les caractéristiques des graves non traitées et des graves traitées à la chaux, matériaux de comportement supposé élasto-plastique parfait, sont données dans le Tableau 1.

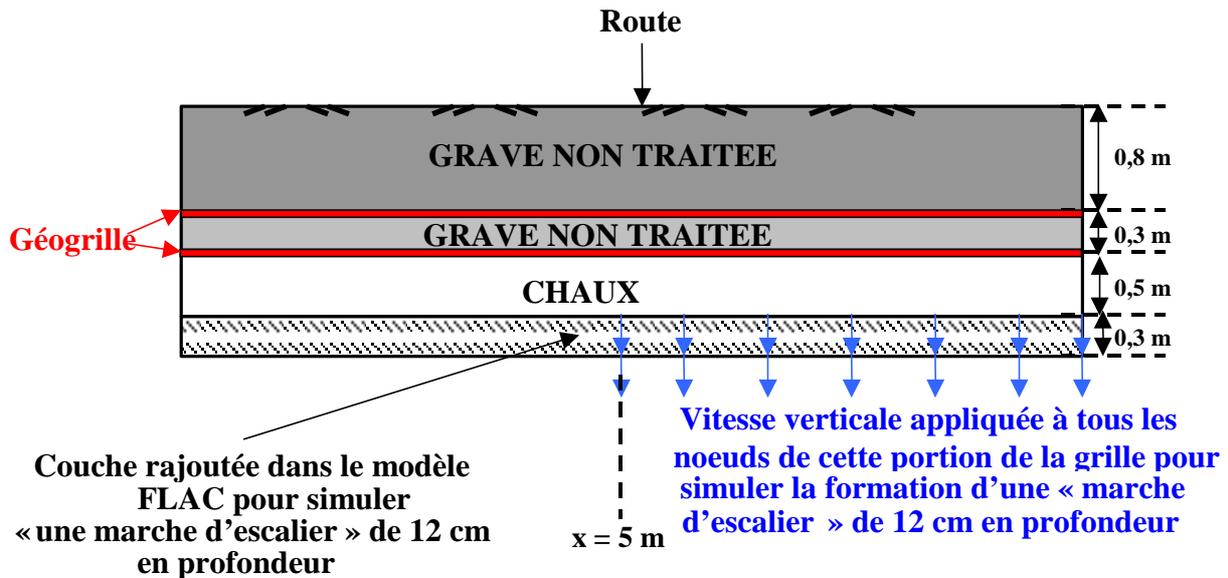


Figure 1. Représentation schématique du modèle.

Tableau 1. Caractéristiques des différents matériaux.

Paramètre	Grave non traitée	Grave traitée à la chaux
Masse volumique [kg/m ³]	2000	2000
Module de compressibilité [MPa]	100	100
Module de cisaillement [MPa]	200	200
Cohésion [kPa]	0	10
Angle de frottement [°]	31,5	31,5

2.2. Simulation des géogrilles

Deux géogrilles ont été incluses dans le modèle : la première sépare les deux couches de grave non traitée et la seconde est située le long du contact entre la couche de grave non traitée et la couche de grave traitée à la chaux (figure 1). D'un point de vue numérique, ces géogrilles sont représentées par des éléments structuraux. Le comportement de base de ces éléments est celui d'un matériau élastique linéaire en traction sans limite de rupture. Les tractions obtenues lors du calcul sont systématiquement comparées à la traction limite afin de détecter une rupture éventuelle. Les éléments structuraux sont liés à la grille par l'intermédiaire d'interfaces frottantes (angle de frottement de 31,5° pris égal à l'angle de frottement du sol). La raideur de ces éléments structuraux est déduite du rapport entre la traction admissible et l'allongement correspondant de la géogrille. Les spécifications des géogrilles indiquent une résistance limite en traction de 300 kN par mètre de géogrille. Ceci correspond à une traction admissible à long terme de 80 kN environ. La traction limite est atteinte pour un allongement de 6 %. Ainsi, la raideur des géogrilles est égale à 5000 kN/m (= 300/0,06). En toute rigueur, ces valeurs correspondent uniquement à une sollicitation longitudinale. En effet, la raideur des fils de trame est de l'ordre du dixième de celle des fils de chaîne. De plus, les lacs parallèles d'une géogrille ne sont pas attachés entre eux. La résistance transversale dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire lorsque la « marche d'escalier » se produit le long de la limite entre deux lacs, est donc nulle. C'est la raison de la présence de deux géogrilles, disposées à 90° l'une de l'autre.

Deux situations peuvent alors se présenter :

- 1) l'arête de la « marche d'escalier » est dans une direction en biais par rapport aux deux géogrilles. Dans ce cas, en considérant que le sol prévient par frottement les déformations latérales des géogrilles, la raideur de chaque géogrille perpendiculairement à la marche est celle de sa chaîne.
- 2) l'arête de la « marche d'escalier » est approximativement dans la direction de l'une des deux chaînes. Dans ce cas, la géogrille correspondante ne peut pas être mobilisée et doit donc être considérée comme inactive.

Nous avons étudié les deux situations suivantes : la plus probable, de loin, pour laquelle les deux raideurs sont égales à celle de la chaîne et, la plus défavorable, pour laquelle une des deux géogrilles ne reprend pas d'effort. Ce modèle sera appelé ci-dessous « modèle à une géogrille active » par opposition au modèle dont les 2 géogrilles sont actives.

A titre de comparaison, des simulations ont également été réalisées avec un modèle sans géogrille de façon à évaluer l'impact des géogrilles sur les taux de déformation en surface. Ainsi, trois modèles ont été étudiés :

- 1) modèle à deux géogrilles ;
- 2) modèle à « une géogrille active » ;
- 3) modèle sans géogrille.

3. Étapes de la modélisation

La construction des modèles avec géogrilles s'est faite comme suit (figure 1) :

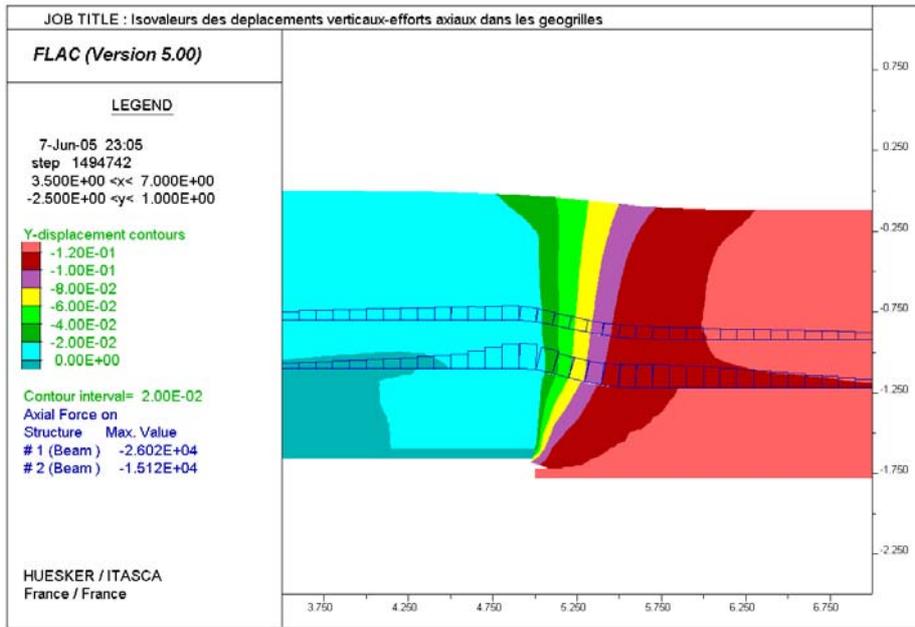
- 1) mise en place d'une couche rigide à la base du modèle. Cette couche, en deux parties, est utilisée pour simuler la formation d'une « marche d'escalier » de 12 cm de hauteur en profondeur ;
- 2) mise en place de la couche de grave traitée à la chaux et initialisation des contraintes ;
- 3) mise en place de la première couche de grave non traitée et de la géogrille située à 1,1 m de profondeur et initialisation des contraintes ;
- 4) mise en place de la deuxième couche de grave non traitée et de la géogrille située à 0,8 m de profondeur, et initialisation des contraintes.

On rappelle que le modèle « à une géogrille active » ne diffère du cas à deux géogrilles que par la raideur de la géogrille « inactive » (géogrille inférieure). Pour le modèle sans géogrille, les éléments structuraux ainsi que les interfaces qui les relient au sol sont supprimés et un maillage continu est utilisé, sauf à la base entre la grave traitée et la future « marche d'escalier » où nous gardons une interface.

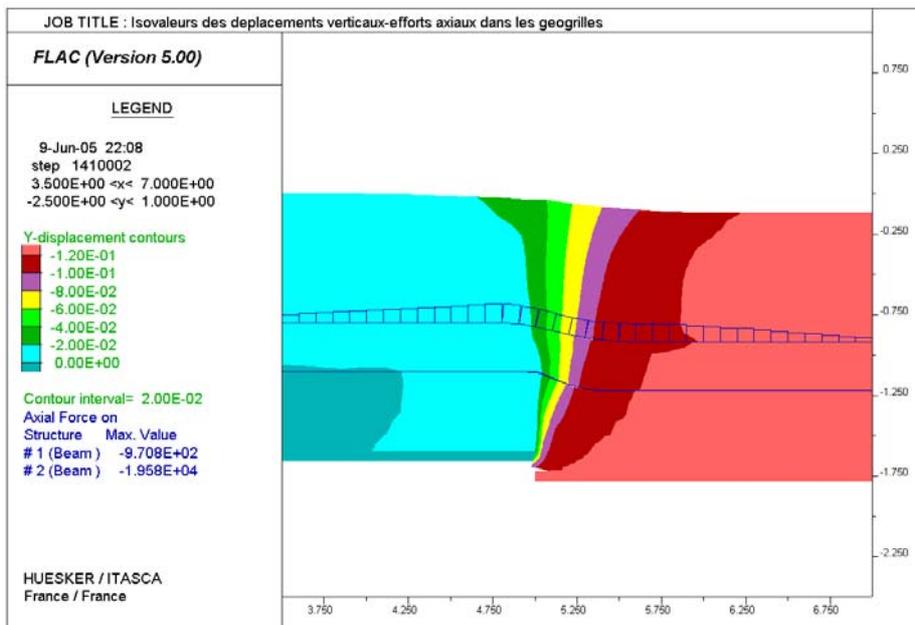
L'effet des frontières latérales des modèles a été minimisé en positionnant ces frontières loin de la zone d'intérêt. Une sollicitation mécanique a été appliquée aux modèles pour former une « marche d'escalier » de 12 cm de hauteur en profondeur à l'abscisse $x = 5$ m. Comme le montre la figure 1, cette sollicitation, qui se présente sous la forme d'une vitesse verticale, est appliquée à toute la portion droite de la couche inférieure. La vitesse de descente de la marche est pilotée par un « servo-contrôle » numérique qui assure que pendant l'ensemble de la descente les forces non équilibrées dans le modèle sont faibles. De cette manière, nous sommes assurés que le modèle suit un chemin de contraintes réaliste. La descente de la partie droite du modèle provoque des déformations très importantes à sa base. Les simulations sont donc conduites en mode « grandes déformations ».

4. Présentation des résultats

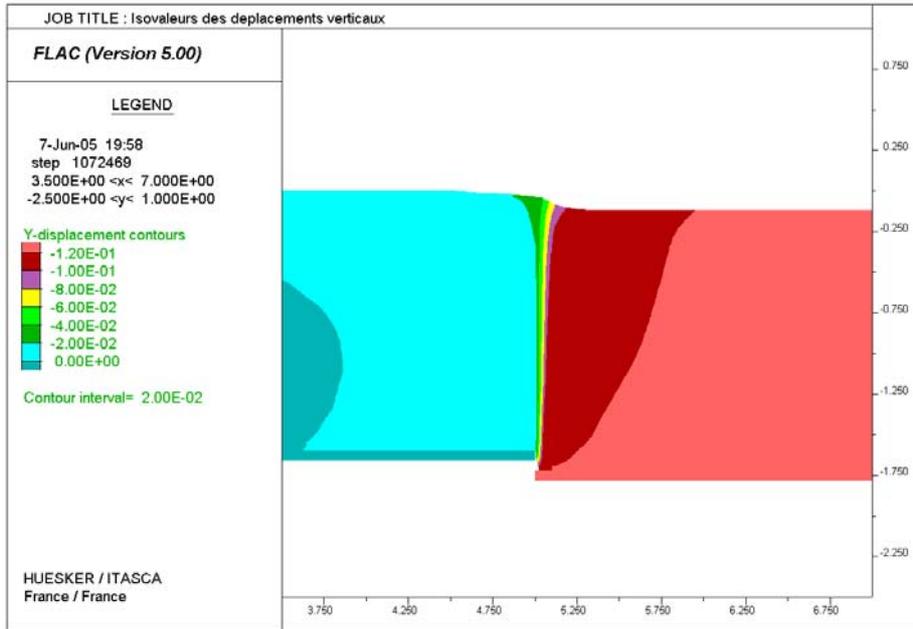
Les figures 2 à 5 présentent les résultats de cette étude pour le modèle à deux géogrilles (a), le modèle à « une géogrille active » (b) et le modèle sans géogrille (c). La figure 2 donne le champ des déplacements *verticaux* ainsi que les efforts longitudinaux au niveau des géogrilles à la fin de la simulation numérique et, la figure 3 donne le champ des déplacements *horizontaux* ainsi que les efforts longitudinaux au niveau des géogrilles à la fin de la simulation numérique. La comparaison des trois cas sur ces figures montre un phénomène de localisation plus ou moins grande des déformations en surface. Avec ou sans géogrille(s), le déplacement vertical maximal est logiquement de l'ordre de 12 cm à la fin de la simulation numérique. Cependant, les variations de déplacement vertical en surface sont beaucoup plus localisées dans le modèle sans géogrille (c) que dans les modèles avec une (b) ou deux (a) géogrille(s). Cette remarque s'applique également aux déplacements horizontaux (figure 3). Ainsi, une « marche d'escalier » ne se forme en surface que dans le modèle sans géogrille.



2.a. Modèle à deux géogrilles

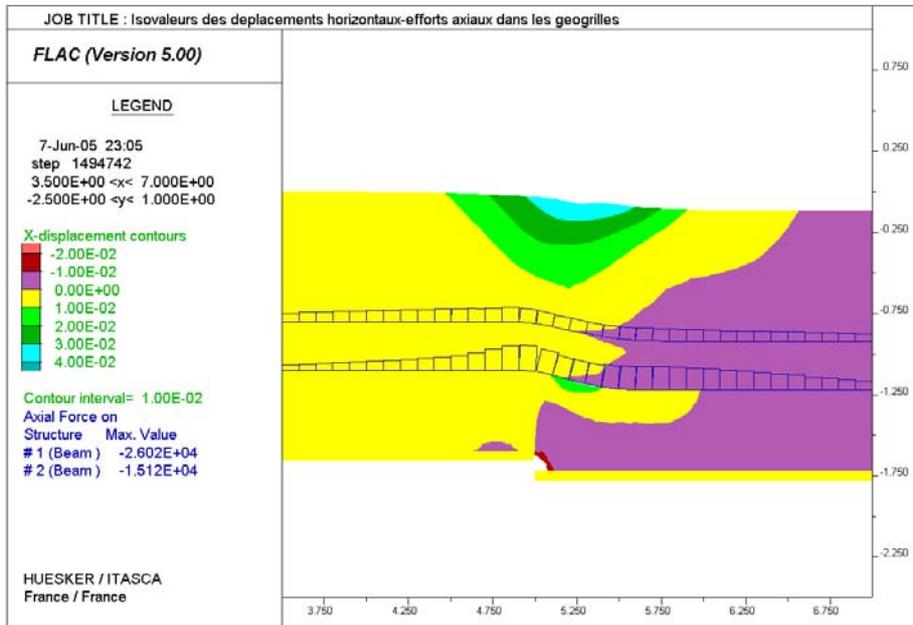


2.b. Modèle à « une géogridle active »

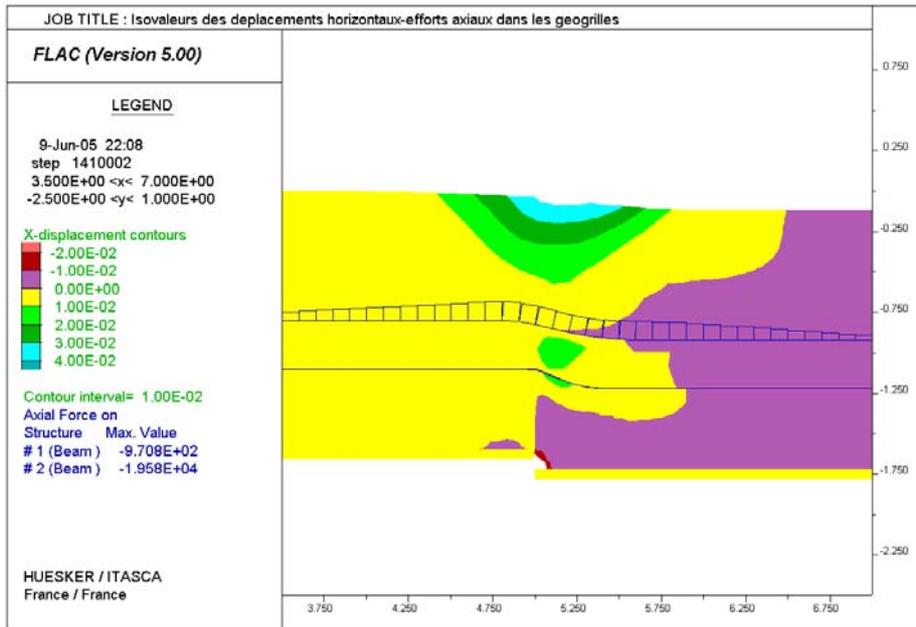


2.c. Modèle sans géo grille

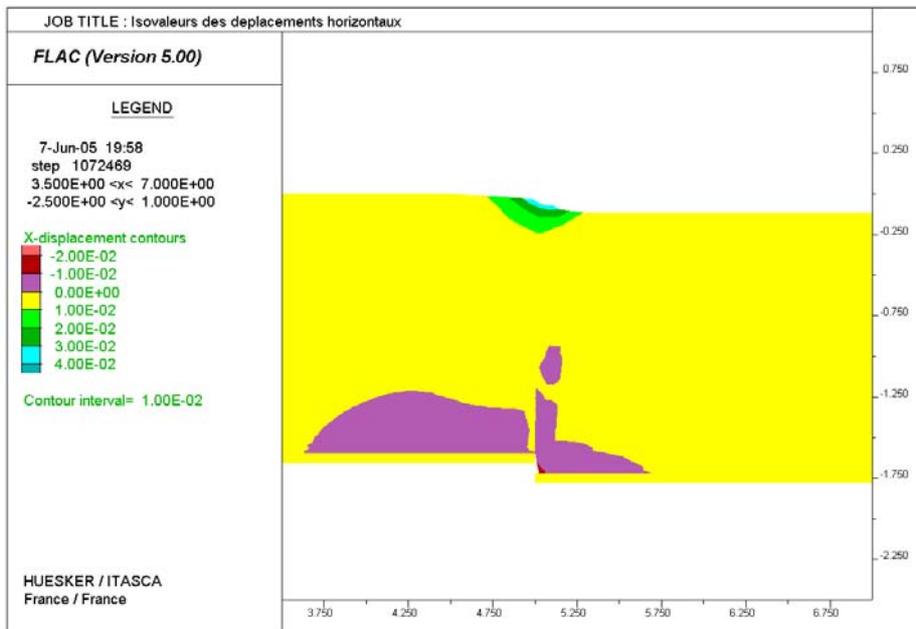
Figure 2. Champ des déplacements verticaux (a,b,c) et efforts axiaux dans les géogrilles (a,b). Les échelles sont identiques sur les trois figures.



3.a. Modèle à deux géogrilles



3.b. Modèle à « une géogrille active »



3.c. Modèle sans géogrille

Figure 3. Champ des déplacements horizontaux (a,b,c) et efforts axiaux dans les géogrilles (a,b). Les échelles sont identiques sur les trois figures.

Ces résultats sont confirmés par l'étude des valeurs et de la distribution de la pente locale de la surface du modèle à la fin de la simulation numérique (figure 4). La figure 4 montre en effet que la pente locale ne dépasse pas $6,5^\circ$ dans le modèle avec deux géogrilles (courbe bleue) et 8° dans le modèle à une géogrille active (courbe verte), alors qu'elle monte brutalement jusqu'à près de 30° sur une distance de l'ordre de 0,3 m seulement dans le modèle sans géogrille (courbe rouge). Il faut par ailleurs préciser que cette dernière valeur est probablement sous estimée car elle dépend du maillage du modèle. En effet, la taille des éléments est d'environ 10 cm en surface au droit de la « marche d'escalier », et des éléments plus fins provoqueraient en l'absence de géogrille une rupture de pente plus brutale encore.

Les géogrilles sont sollicitées en traction à l'aplomb de la zone de plus grande déformation, c'est-à-dire autour de l'abscisse $x = 5$ m (figure 5). Notons que pour le cas à « une géogrille active » (courbe verte), nous avons choisi de garder active la géogrille supérieure. Ce n'est pas le cas le plus défavorable du point de vue des tractions puisque la géogrille supérieure (courbe bleue) est moins sollicitée que la

géogridle inférieure (courbe rose). Mais toutes les tractions étant largement admissibles, nous considérons que ce point n'est pas critique. Par contre, le cas choisi est le plus défavorable du point de vue des déformations induites en surface justement du fait de la moindre sollicitation de la géogridle.

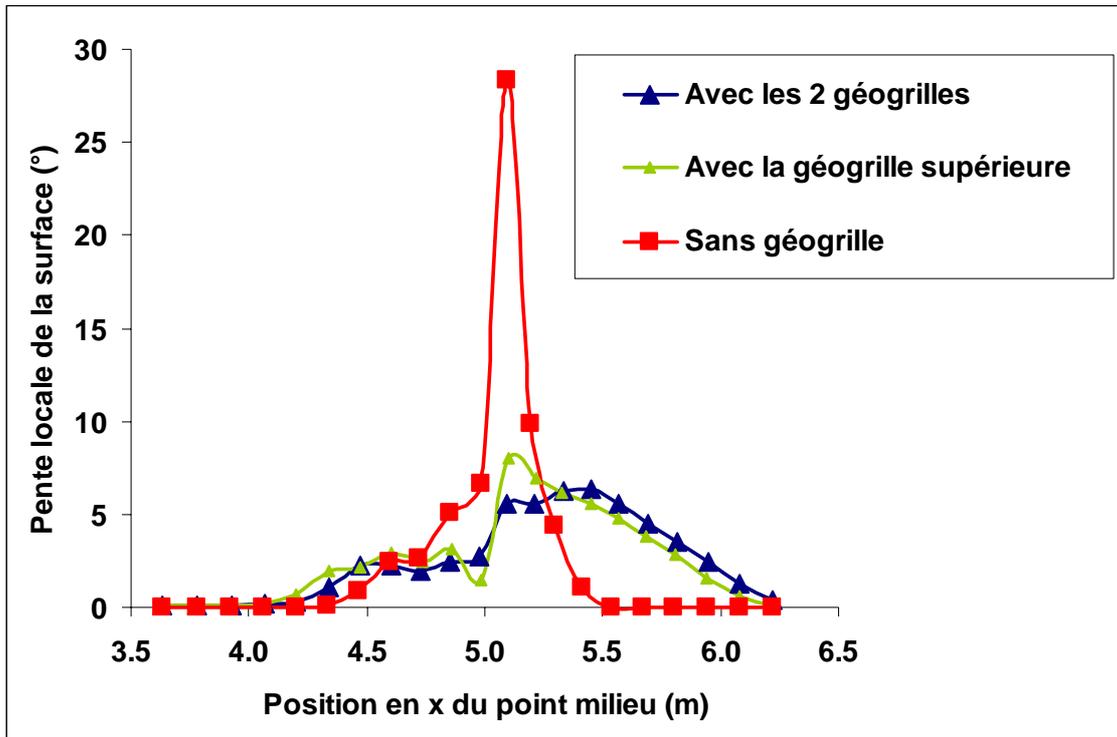


Figure 4. Pente locale de la surface du modèle en fonction de l'abscisse du point milieu. Cette pente est calculée entre deux nœuds consécutifs de la grille. La valeur ainsi obtenue est attribuée au point situé à égale distance de ces deux nœuds ou point milieu.

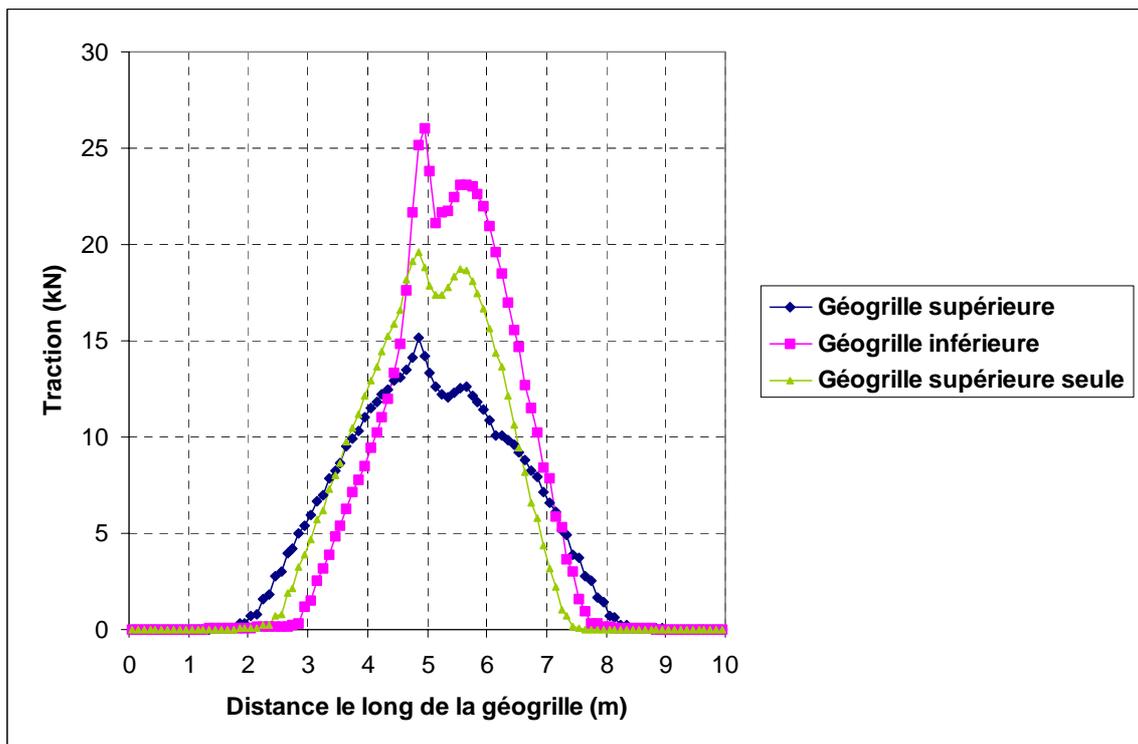


Figure 5. Tractions dans les géogrilles. La traction admissible à long terme est de 80 kN.

5. Conclusions

L'étude de modélisation numérique présentée dans cet article a montré que pour les caractéristiques de terrain spécifiées dans cette étude, la présence de géogrilles atténue et élargit la zone de déformations en surface sur une bande de 4 m environ. Elle empêche de ce fait la formation d'une « marche d'escalier ». Sous réserve d'une validation par l'expérimentation, on peut donc en conclure que l'utilisation de géogrilles permet de répondre au problème posé, quelle que soit l'orientation de la « marche d'escalier ».

6. Référence bibliographique

Itasca Consulting Group Inc. (2005). FLAC User's manual, Version 5.0. Minneapolis: ICG.