SDLP200 – Comparaison de la tenue au séisme d'un remblai homogène entre POST_NEWMARK et GeoSlope

Résumé :

Ce test compare les résultats d'estimation du facteur de sécurité statique et dynamique pour un remblai homogène par POST_NEWMARK avec le logiciel GeoSlope, dont la solution fait partie du dossier de vérification de ce logiciel pour la méthode de Newmark [1].

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

Il s'agit de déterminer la réponse sismique d'un remblai homogène et de calculer l'évolution du facteur de sécurité pendant le séisme le long d'une ligne de glissement pré-déterminée.
Pour cela, la modélisation se décompose en trois parties :

- C alcul statique au poids propre pour déterminer les contraintes statiques initiales,
- Calcul dynamique au séisme pour déterminer l'évolution en cours du temps des contraintes mécaniques dans le remblai,
- Appel à la macro-commande POST_NEWMARK pour détermination de l'évolution de l'accélération moyenne, les déplacements irréversibles et l'évolution du facteur de sécurité pendant le séisme.

1.1 Géométrie

On considère un remblai homogène de 10 m de hauteur et pente 1:1 (45°). Un cercle de glissement rejoignant le haut et bas du remblai est considéré, de rayon 22,43 m et centre (46,11, 31,58).

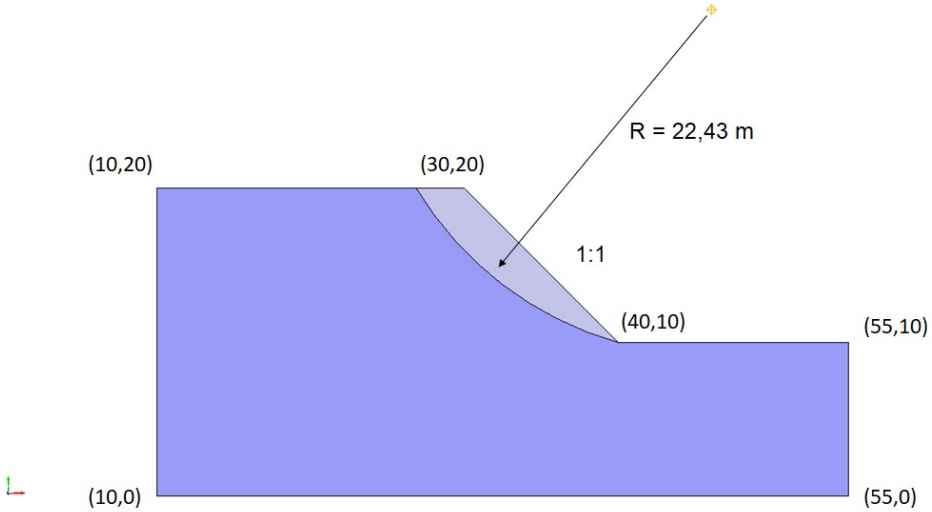


Figure 1- Configuration du remblai et positionnement du cercle de glissement.

1.2 Propriétés des matériaux

1.2.1 Propriétés élastiques du matériau

Les caractéristiques mécaniques du matériau composant le remblai sont résumées dans le tableau ci-dessous :

	$G(MPa)$	ν	$\rho(kg/m^3)$	$\varphi(°)$	cohésion $c(kPa)$
SLOPE	20	0.334	1835	28	8

La documentation du cas de référence avec le logiciel GeoSlope fait état de la prise en compte d'un amortissement de 10 %, sans préciser de quelle manière il est intégrée dans la modélisation. Pour ce cas-test, aucune source d'amortissement matériau n'est considérée, seul l'amortissement provenant des conditions aux limites (§1.3) est pris en compte dans le modèle.

1.3 Conditions aux limites et chargements mécaniques

1.3.1 Condition aux limites

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Calcul statique :
- *Base* : déplacement nul selon la direction verticale (DY)
- *Bords droit et gauche* : déplacement nul selon la direction horizontale (DX)

Calcul dynamique :
- *Base, bords droit et gauche* ajout d'éléments paraxiaux (D_PLAN_ABSO)

1.3.2 Chargement

Calcul statique :
- Chargement de type PESANTEUR appliqué au modèle.

C alcul dynamique :
- *Base* : chargement type ONDE_PLANE d'une onde S.
- *Bords droit et gauche* : chargement type ONDE_PLANE d'une onde S avec option d'ajout de l'onde réfléchie (COOR_REFLECHI)

Le signal sismique temporel est le suivant :

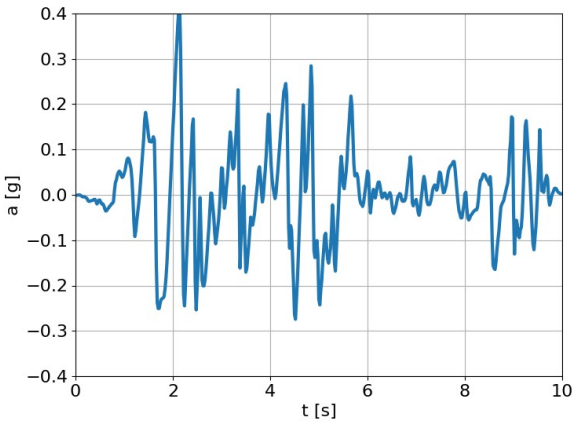


Figure 1- Signal temporel en entrée du calcul dynamique.

1.4 Conditions initiales

Le déplacement est nul dans l'ensemble du modèle à l'instant initial.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

On compare le résultat de la macro-commande POST_NEWMARK à l'estimation réalisée par le logiciel GeoSlope pour cette même configuration. Cette solution est disponible dans la base de cas-tests de ce logiciel [1].

En statique, le facteur de sécurité fourni par GeoSlope est de 1.188.

En dynamique, la figure suivante montre l'évolution du facteur de sécurité obtenue par une méthode type *Enhanced Limit Equilibrium* (ELE) [2] avec le chargement sismique :

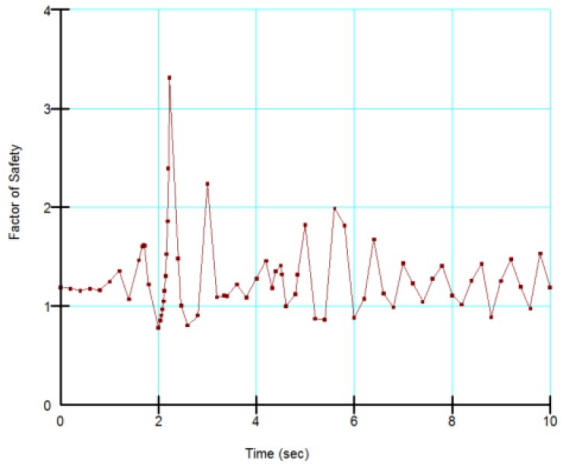


Figure 2- Evolution temporelle du facteur de sécurité dynamique [1].

On observe en particulier :

- Un choix limité du nombre de points de calcul/visualisation du facteur de sécurité, par rapport à l'excitation sismique,
- Un pic très élevé du facteur de sécurité après 2s,
- Une fluctuation du facteur de sécurité entre 6 et 8 s, sans lien direct avec les variations du signal d'accélération.

Par ailleurs, le calcul de référence ne semble pas faire appel à des techniques de modélisation avancées des conditions aux limites type paraxiale avec ajout de l'onde réfléchi. On s'attend donc à ce que le calcul de référence surestime les variations d'accélération et des contraintes dans le remblai par rapport à la modélisation de référence pour ce type de problème avec code_aster.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation A utilise un modèle de comportement pour le remblai de type linéaire, le calcul des contraintes initiales s'effectuant à partir de l'opérateur MECA_STATIQUE et le calcul dynamique par DYNA_VIBRA. L'évaluation du facteur de sécurité est réalisée par la macro-commande POST_NEWMARK directement en fournissant le rayon et coordonnées du cercle de glissement.

On active l'option de vérification de la masse de la zone qui glisse, avec une erreur relative RESI_RELA de 2 %.

3.2 Grandeurs testées et résultats

On teste la valeur du facteur de sécurité global en statique, ma valeur maximale et minimale du facteur de sécurité en dynamique et la valeur maximale d'accélération moyenne.

Facteur de sécurité statique

Identification	Type de référence	GeoSlope	Tolérance
FS_stat	'SOURCE_EXTERNE'	1.118	0.2%

Facteur de sécurité dynamique

Identification	Type de référence	GeoSlope	Tolérance
FS_max	'SOURCE_EXTERNE'	3.16667	50%
FS_mini	'SOURCE_EXTERNE'	0.77381	20%

Accélération moyenne

Identification	Type de référence	GeoSlope	Tolérance
acce_max	'SOURCE_EXTERNE'	2.9727243	50%

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation B utilise un modèle de comportement pour le remblai de type linéaire, le calcul des contraintes initiales s'effectuant à partir de l'opérateur MECA_STATIQUE et le calcul dynamique par DYNA_VIBRA. L'évaluation du facteur de sécurité est réalisée par la macro-commande POST_NEWMARK directement en fournissant le rayon et coordonnées du cercle de glissement.

On active l'option de vérification de la masse de la zone qui glisse, avec une erreur relative RESI_RELA de 2 %.

4.2 Grandeurs testées et résultats

On teste la valeur du coefficient sismique k_y obtenue par la macro-commande en le comparant à la valeur estimé par le logiciel GeoSlope et utilisée en entrée de la modélisation A.

Coefficient sismique

Identification	Type de référence	GeoSlope	Tolérance
KY	'SOURCE_EXTERNE'	1,0	2%

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Analyse des résultats

En statique, l'estimation réalisé par POST_NEWMARK est très proche de celle obtenue par GeoSlope (1.189).

En dynamique, les résultats entre les deux logiciels sont différents, car la prise en compte des conditions aux limites n'est pas la même. La Figure 3 montre l'accélération moyenne de la zone de glissement entre le calcul de GeoSlope et code_aster. On voit notamment que les pics d'accélération sont atténués par les conditions aux limites dans la solution obtenue par code_aster, car aucune hypothèse d'amortissement matériau n'est intégrée à la modélisation.

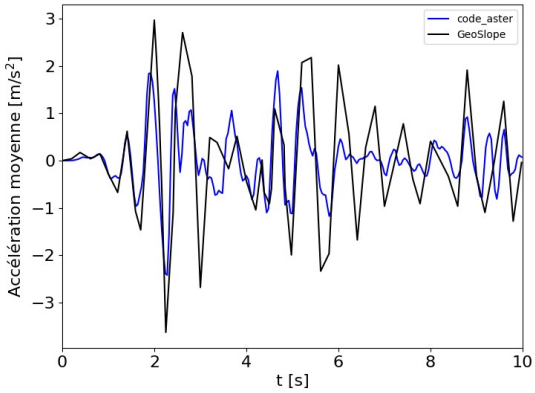


Figure 3- Accélération moyenne de la zone qui glisse

Par le même raisonnement, on observe que les variations du facteur de sécurité lors du calcul dynamique sont moins élevées que celles obtenues par GeoSlope, indice de fortes variations des contraintes normales et tangentielles. Les tendance sont similaires, sauf en particulier entre 6 et 8 secondes : en effet, la modélisation avec code_aster et POST_NEWMARK prédit des faibles variations de contrainte, en lien avec une accélération du signal d'entrée presque nulle (Figure 1). Or, des fortes variations sont présentes dans la solution de GeoSlope, ce qui est un indice d'une onde piégée dans le modèle par les conditions aux limites.

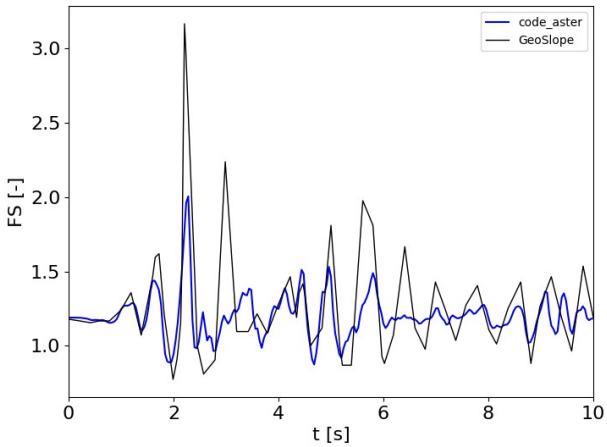


Figure 4- Evolution temporelle du facteur de sécurité en dynamique

Le cas de référence analyse également l'évolution du facteur de sécurité avec l'accélération moyenne. On observe dans ce cas que la modélisation avec code_aster et GeoSlope donnent des résultats proches, avec une courbure similaire malgré une dispersion plus importante avec code_aster (même si le faible nombre de points de post-traitement présentés dans le cas de référence avec GeoSlope laisse penser qu'il y a un choix interne réalisé pour les instants d'analyse, différent du pas de simulation du séisme en entrée du calcul).

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

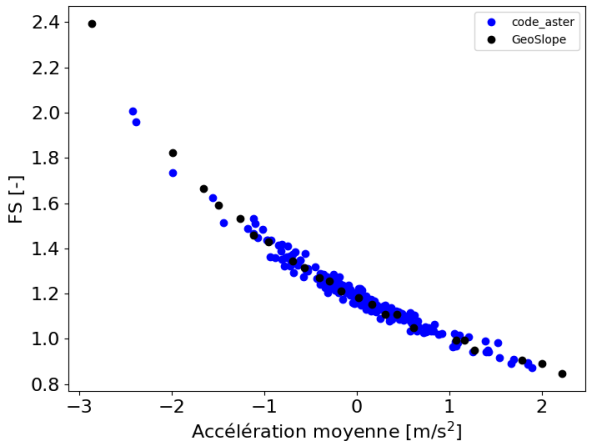


Figure 5- Evolution du facteur de sécurité avec l'accélération moyenne.

En considérant une valeur d'accélération critique de 0.1g (égale à celle qui induit un facteur de sécurité unitaire dans la Figure 5), le déplacement irréversible prédit par la modélisation de GeoSlope et `POST_NEWMARK` sont représentées dans la Figure 6. On observe que les déplacements obtenus dans code_aster sont plus faibles, car l'accélération moyenne est plus faible. Disposer des conditions aux limites performantes est une source de marge importante pour ce type d'approche de justification de la tenue sismique des remblais sans prise en compte des pressions d'eau.

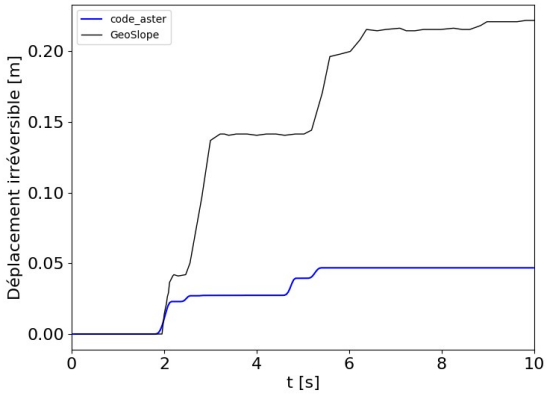


Figure 6- Evolution temporelle du déplacement irréversible estimé par la méthode de Newmark

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Bibliographie

[1] Newmark Deformation Analysis
http://downloads.geo-slope.com/geostudioresources/examples/9/0/SlopeW/Newmark%20Deformation%20Analysis.pdf#31693

[2] Fredlund, D.G. and Scoular, R.E.G. 1999. Using limit equilibrium concepts in finite element slope stability analysis. Proceedings of the International Symposium on Slope Stability Engineering. Ed Yagi, Yamagami & Jiang. Balkema, Rotterdam, pp 31-47.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)