ZZZZ146 – Validation informatique des méthodes LEM dans la macro-commande CALC_STAB_PENTE

Résumé :

Ce test a pour objectif de valider les fonctionnalités informatiques d'analyse de stabilité des pentes par les méthodes basées sur la théorie de limite d'équilibre (LEM) de la macro-commande CALC_STAB_PENTE.

Dans ce cas-test on analyse la stabilité d'une pente homogène en considérant l'infiltration d'eau dans le sol. Ce cas-test n'a pas de sens physique ni de solution de référence scientifique .

Modélisation A : Calcul du facteur de sécurité selon le critère Druck-Prager par la méthode Bishop. Cette modélisation valide les fonctionnalités suivantes :

- Calcul d u facteur de sécurité par la méthode Bishop simplifié.
- Récupération des propriétés de résistanc e au cisaillement depuis la loi de comportement Druck-Prager.
- Adaptation du maillage avec les surfaces de rupture circulaires.
- Prise en compte de l'infiltration d'eau dans la structure.
- Algorithme d'optimisation pour les surfaces circulaires avec les bornes du rayon limitées.

Modélisation B : Calcul du facteur de sécurité selon le critère Mohr_Coulomb par la méthode Morgenstern-Price. Cette modélisation valide les fonctionnalités suivante s :

- Calcul de facteur de sécurité par la méthode Morgenstern-Price.
- Récupération des propriétés de résistance au cisaillement depuis la loi de comportement Mohr_Coulomb.
- Adaptation du maillage avec les surfaces de rupture non-circulaire.
- Prise en compte de l'infiltration d'eau dans la structure.
- Algorithme d'optimisation EFWA.
- Reprise du calcul EFWA en définissant l'état initial.

Modélisation C : Calcul du facteur de sécurité selon le critère Druck-Prager par la méthode Fellenius. Cette modélisation est identique avec la modélisation A à part de la méthode de calcul du FS.

Modélisation D : Calcul du facteur de sécurité selon le critère Mohr_Coulomb par la méthode Spencer. Cette modélisation est identique avec la modélisation B à part de la méthode de calcul du FS.

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

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie et maillage

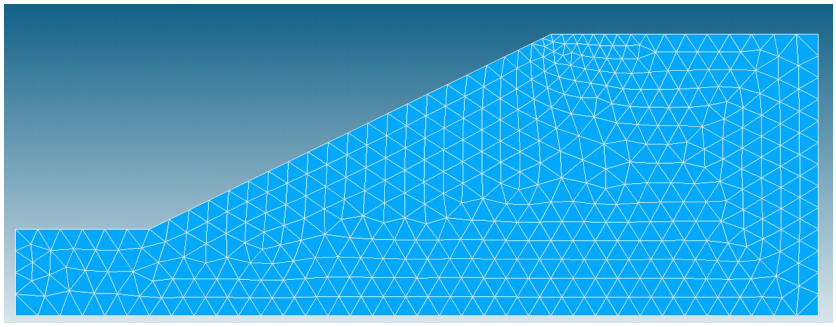


Figure 1 : Geométrie et maillage de la pente homogène

On considère une pente constituée du matériau homogène de hauteur 4,5m avec le tau de la pente égale à 1:2. Le modèle est de largeur 18m et de hauteur 6,5m . On définit le côté droite comme la surface amont en contact avec l'eau (rivière ou réservoir d'eau), et la pente comme la surface avale.

Le maillage est montré dans le Figure 1 . Il s'agit du même modèle utilisé dans le cas-test ssnp06 ([V06.03.006]) mais avec un maillage grossier pour accélérer le calcul.

1.2 Propriétés matériaux

On adopte les mêmes propriétés matériaux que le cas-test ssnp06, soit :

- Masse unitaire du sol : $\gamma_{sol}=16\,kN$
- Angle de frottement du sol : $\varphi=20\,deg$
- Cohésion du sol : $c=5\,kN/m^2$
- Perméabilité du sol : $k=1\text{e-}7\,m/s$
- Coefficient de Biot : $b=1.0$

Pour la loi Mohr_Coulomb, on fait l'hypothèse de la loi d'écoulement plastique associée. Les paramètres de la loi Drucker-Prager ont été obtenus par les formules suivantes :

$$A=\frac{2\sin(\varphi)}{3-\sin(\varphi)},\sigma_y=\frac{6c\cos(\varphi)}{3-\sin(\varphi)}$$

L'angle de dilatance est égale à l'angle de frottement dans la loi Drucker-Prager. Afin de simplifier le calcul, la déformation plastique cumulée ultime p_{ultm} est considérée comme nulle (= 0) .

La porosité est uniforme dans le modèle et est égale à 0,62.

1.3 Conditions aux limites

Les conditions aux limites hydrauliques appliquées au modèle sont les suivantes :

- Le fond du modèle est imperméable.
- Pression hydraulique issue de la cote amont de 4m (l'élévation de la crête = 6,5m).
- Pression hydraulique définie à partir du niveau de la nappe en aval, qui est égale à 2m .

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

2 Modélisation A

2.1 Caractéristiques de la modélisation

On calcule le facteur de stabilité de la pente selon le critère Druck-Prager en prenant en compte l'infiltration d'eau dans le sol. Avant d'analyser la stabilité, on effectue donc le calcul du champ de pression interstitielle (PRE1) en utilisant le modèle D_PLAN_HS. On emploie les conditions aux limites hydraulique en PRE1 qui varient linéairement. On obtiendra ainsi la ligne phréatique raisonnable en dépit de la pression interstitielle négative au dessus de la ligne d'eau. On la corrige en appliquant la fonction Heaviside par la suite pour obtenir le champ correct de pression interstitielle. Ce champ PRE1 influence la stabilité de la pente. En effet, il génère la sous-pression en dessous des tranches de terre qui réduit la force de résistance au cisaillement, ce qui rend la pente moins stable que l'état sans infiltration. On introduit le champ de pression interstitielle via la variable de commande PTOT du champ des matériaux, qui est l'entrée de la macro-commande CALC_STAB_PENTE.

Dans cette modélisation, on suppose que la surface de rupture est circulaire et on analyse la stabilité par la méthode Bishop simplifié (METHODE_LEM = 'BISHOP'). Selon l'étude préliminaire, on réduit la zone de recherche de la surface de rupture en mettant X1_MINI = X1_MAXI = 3,0 et X2_MINI = X2_MAXI = 13,2. Afin d'accélérer le calcul, on contrôle manuellement la bande de recherche du rayon en mettant Y_MINI = 1,2 et Y_MAXI = 1,6. Les ordonnées limites de la droite tangentielle étant inférieures à l'ordonnée du pied de la pente, on s'assure que les surfaces de rupture supposées sont cinématiquement admissibles.

2.2 Grandeurs testées et résultats

Dans l'objet évol_noli en sorite de macro-commande on teste la valeur de l'indicateur de glissement (DX du champ DEPL_NOEU) sur le nœud N391 proche de la surface de rupture et situé dans la partie glissante. Le résultat est montré dans le Tableau 1.

On teste également les valeurs des facteurs de sécurité au cours du raffinement du maillage et les paramètres géométriques contenus dans la table en sortie de la macro-commande. Les résultats sont montrés dans l e Tableau 2 .

Tableau 1: Valeur de référence au nœud N391 du cham_defo – Modélisation A

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DX	'NON_REGRESSION'	1,0	0,0001 %

Tableau 2: Valeurs de référence de la table des FS et des paramètres géométriques de la surface de rupture circulaire – Modélisation A

Nb Raffinement	Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
0	FS	'NON_REGRESSION'	1.5714157137774865	0,0001 %
1	FS	'NON_REGRESSION'	1.537255668154533	0,0001 %
0	X_1	'NON_REGRESSION'	3.0	0,0001 %
	Y_1	'NON_REGRESSION'	2.0	0,0001 %
	X_2	'NON_REGRESSION'	13.2	0,0001 %
	Y_2	'NON_REGRESSION'	6.5	0,0001 %
	CENTRE_X	'NON_REGRESSION'	6.146511189920918	0,0001 %
	CENTRE_Y	'NON_REGRESSION'	8.677907969512583	0,0001 %
	RAYON	'NON_REGRESSION'	7.382072034163391	0,0001 %

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

3 Modélisation B

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation B effectue le même calcul hydraulique que la modélisation A, mais analyse la stabilité de la pente selon le critère Mohr_Coulomb par la méthode Morgenstern-Price en supposant que la surface de rupture est non-circulaire.

Afin de tester rapidement l'algorithme de feu d'artifice amélioré (EFWA), on profite du résultat du calcul préliminaire pour configurer l'état initial déjà optimal. Ainsi par limiter le nombre d'itération autorisé (ITER_MAXI = 1) et le nombres des feux d'artifices et des étincelles ordinaires et gaussiennes (N = 2, M = 2 et MG = 1), il est quasiment impossible que le résultat d'optimisation soit différent que l'état initial.

La maillage étant grossier, on configure MARGE_PENTE = 0,8 qui est relativement grande afin d'éviter l'échec de création des groupes de mailles des tranches quand la surface de rupture générée est proche du profil de la pente.

3.2 Grandeurs testées et résultats

Dans l'objet évol_noli en sorite de macro-commande on teste la valeur de l'indicateur de glissement (DX du champ DEPL_NOEU) sur le nœud N391 proche de la surface de rupture et situé en dehors de la partie glissante. Le résultat est montré dans le Tableau 3.

On teste également les valeurs des facteurs de sécurité au cours du raffinement du maillage et les paramètres géométriques contenus dans la table en sortie de la macro-commande.

L'algorithme d'optimisation (EFWA) pour les méthodes MP et Spencer étant stochastique, on n'arrive jamais à contrôler les surfaces de rupture arbitrairement générées si on veut tester les fonctionnalités EFWA. Le résultat en entrée à partir duquel on reprend l'optimisation est déjà la solution optimale. Donc le résultat FS est contrôlable, tandis que les coordonnées des points intermédiaires sur la surface ne le sont pas (petite déviation autour de la surface optimale). De ce fait, on ne teste pas les ordonnées des points intermédiaires.

Les résultats sont montrés dans l e Tableau 4 et le Tableau 5 .

Tableau 3: Valeur de référence au nœud N391 du cham_defo - Modélisation B

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DX	'NON_REGRESSION'	0,0	0,0001 %

Tableau 4: Table 4: Valeurs de référence de la table des FS - Modélisation B

Nb Raffinement	Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
0	FS	'NON_REGRESSION'	1.598078371690653	0,0001 %
1	FS	'NON_REGRESSION'	1.60025990801935	0,0001 %

Tableau 5: Valeurs de référence de la table des paramètres géométriques de la surface de rupture

NUM_POINT	Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
0	COOR_X	'NON_REGRESSION'	3.0	0,0001 %
	COOR_Y	'NON_REGRESSION'	2.0	0,0001 %
1	COOR_X	'NON_REGRESSION'	5.04	0,0001 %
2	COOR_X	'NON_REGRESSION'	7.08	0,0001 %

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

3	COOR_X	'NON_REGRESSION'	9.12	0,0001 %
4	COOR_X	'NON_REGRESSION'	11.16	0,0001 %
5	COOR_X	'NON_REGRESSION'	13.2	0,0001 %
	COOR_Y	'NON_REGRESSION'	6.5	0,0001 %

4 Modélisation C

4.1 Caractéristique de la modélisation

La modélisation C hérite de la modélisation A, sauf qu'on utilise la méthode FELLENIUS pour calculer le FS.

4.2 Grandeurs testées et résultats

On teste la valeur de l'indicateur de glissement (DX du champ DEPL_NOEU) sur le même nœud N391 que la modélisation A. Le résultat est montré dans le Tableau 6.

On teste également les valeurs des facteurs de sécurité au cours du raffinement du maillage et les paramètres géométriques contenus dans la table en sortie de la macro-commande. Les résultats sont montrés dans l e Tableau 7 .

Tableau 6: Valeur de référence au nœud N391 du cham_defo – Modélisation A

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DX	'NON_REGRESSION'	1,0	0,0001 %

Tableau 7: Valeurs de référence de la table des FS et des paramètres géométriques de la surface de rupture circulaire – Modélisation A

Nb Raffinement	Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
0	FS	'NON_REGRESSION'	1.4376472637845825	0,0001 %
1	FS	'NON_REGRESSION'	1.396122556086094	0,0001 %
0	X_1	'NON_REGRESSION'	3.0	0,0001 %
	Y_1	'NON_REGRESSION'	2.0	0,0001 %
	X_2	'NON_REGRESSION'	13.2	0,0001 %
	Y_2	'NON_REGRESSION'	6.5	0,0001 %
	CENTRE_X	'NON_REGRESSION'	6.146511189920918	0,0001 %
	CENTRE_Y	'NON_REGRESSION'	8.677907969512583	0,0001 %
	RAYON	'NON_REGRESSION'	7.382072034163391	0,0001 %

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

5 Modélisation D

5.1 Caractéristique de la modélisation

La modélisation D hérite de la modélisation B, sauf qu'on utilise la méthode SPENCER pour calculer le FS.

5.2 Grandeurs testées et résultats

On teste la valeur de l'indicateur de glissement (DX du champ DEPL_NOEU) sur le même nœud N391 que la modélisation B. Le résultat est montré dans le Tableau 8.

On teste également les valeurs des facteurs de sécurité au cours du raffinement du maillage et les paramètres géométriques contenus dans la table en sortie de la macro-commande.

Les résultats sont montrés dans l e Tableau 9 et le Tableau 10 .

Tableau 8: Valeur de référence au nœud N391 du cham_defo - Modélisation B

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DX	'NON_REGRESSION'	0,0	0,0001 %

Tableau 9: Table 4: Valeurs de référence de la table des FS - Modélisation B

Nb Raffinement	Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
0	FS	'NON_REGRESSION'	1.5767793385460	0,0001 %
1	FS	'NON_REGRESSION'	1.5759488751600075	0,0001 %

Tableau 10: Valeurs de référence de la table des paramètres géométriques de la surface de rupture

NUM_POINT	Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
0	COOR_X	'NON_REGRESSION'	3.0	0,0001 %
	COOR_Y	'NON_REGRESSION'	2.0	0,0001 %
1	COOR_X	'NON_REGRESSION'	5.04	0,0001 %
2	COOR_X	'NON_REGRESSION'	7.08	0,0001 %
3	COOR_X	'NON_REGRESSION'	9.12	0,0001 %
4	COOR_X	'NON_REGRESSION'	11.16	0,0001 %
5	COOR_X	'NON_REGRESSION'	13.2	0,0001 %
	COOR_Y	'NON_REGRESSION'	6.5	0,0001 %

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