ZZZZ135 – Validation informatique des méthodes SRM dans la macro-commande CALC_STAB_PENTE

Résumé :

Ce test a pour objectif de valider les fonctionnalités informatiques de la macro-commande CALC_STAB_PENTE.

Dans ce cas test on étudie la stabilité d'un barrage en remblai avec l'infiltration d'eau . Ce test est un test de non-régression permettant de valider l'utilisation de la macro-commande, et donc n'a pas de sens physique ni de solution de référence scientifique .

Modélisation A : Calcul du facteur de sécurité de la pente amont avec la loi Mohr_Coulomb. Cette modélisation valide les fonctionnalités suivantes :

- L'utilisation des variables de commande dans le cham_mater en entrée.
- La vérification de la loi de comportement dans la zone SRM.
- L'utilisation de la loi Mohr_Coulomb dans l'algorithme SRM.
- Le mot clé GROUP_MA permettant la définition de la zone SRM par les groupes des mailles indépendants.
- Le mot clé CHAM_DEFO permettant de visualiser la surface de glissement.
- Le mot clé METHODE = 'EXPONENTIELLE'

Modélisation B : Calcul du facteur de sécurité du modèle entier avec la loi Drucker-Prager. Cette modélisation valide les fonctionnalités suivante s :

- L'utilisation de la loi Drucker-Prager dans l'algorithme SRM.
- Le mot-clé METHODE = 'LINEAIRE'
- Le mot-clé TOUT = 'OUI'

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie et maillage

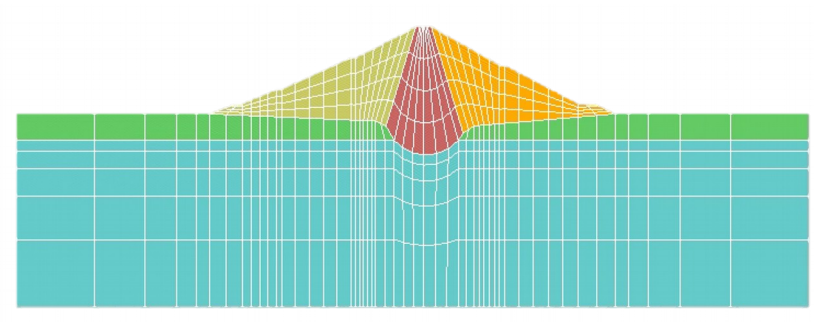


Figure 1 : Geométrie et maillage du barrage en remblai

On considère un barrage en remblai avec noyau d'argile, composé de la fondation, du gravier entre la fondation et le corps du barrage, d'un noyau d'argile caractérisé par un coefficient de perméabilité relativement faible, et des recharges en remblai en amont et en aval.

Le maillage est montré dans le Figure 1 , où les différents composants du barrages sont représentés par les couleurs différentes.

1.2 Propriétés matériaux

Tableau 1: Propriété des matériaux du barrage

	Fondation	Gravier	Noyau	Recharge
Densité ρ (kg/m^3)	2250	2450	1900	2450
Module d'Young E (MPa)	250	250	250	250
Coefficient de Poisson ν	0.3	0.3	0.3	0.3
Perméabilité k (cm/s)	1e-5	1e-3	2e-6	1e-3
Force de cohésion c (kPa)	40	40	44.5	40
Angle de frottement φ (deg)	35	20	23.3	20

Les propriétés mécaniques et hydrauliques des matériaux du modèle sont présentées dans la Tableau 1.

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 :

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

où la force de cohésion et l'angle de frottement prennent les valeurs dans l a Tableau 1 . 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 0,672.

1.3 Conditions aux limites et chargements

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

Les conditions aux limites appliquées au modèle sont les suivantes :

- Bas de la fondation encastré, et les côtés verticales normalement bloquées.
- Pression hydraulique issue de la cote amont de 77,19m (l'élévation de la crête = 94,2m).
- Pression hydraulique définie à partir du niveau de la nappe en aval, qui est égale à 43m.

On applique les chargements mécaniques suivants au modèle :

- La pesanteur avec $g = 9{,}81\, m/s^2$
- La pression hydrostatique sur la surface d'amont du barrage.

2 Modélisation A

2.1 Caractéristiques de la modélisation

On calcule le facteur de sécurité de la pente amont du barrage en tenant compte de la présence du champ de pression interstitielle due à l'infiltration d'eau dans le barrage. L'effet mécanique sur le champ hydraulique est négligé. On résout donc le problème hydromécanique par chaînage, et introduit le champ de pression interstitielle dans le calcul mécanique par l'affectation de la variable de commande PTOT dans le cham_mater qui est entré dans la macro-commande CALC_STAB_PENTE. Le barrage est modélisé en D_PLAN_HS pour le calcul hydraulique et en D_PLAN pour l'analyse de stabilité.

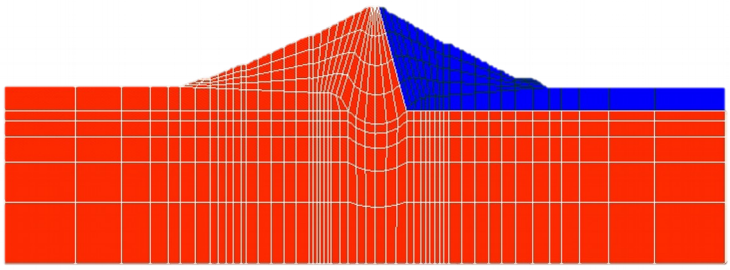


Figure 2: Définition de la zone SRM

En raison de la pression hydrostatique, la pente aval est normalement moins stable que la pente amont. Afin de calculer le facteur de sécurité de la pente amont, il faut définir une zone SRM qui exclut la pente en aval. La zone en rouge dans la Figure 2 est définie comme la zone SRM. Cette zone est définie par un groupe de maille non utilisé lors de l'affectation des matériaux, et donc permet de valider l'algorithme de traitement du maillage dans la macro-commande CALC_STAB_PENTE.

Afin de tester la vérification de la loi de comportement dans la zone SRM, on définit la relation de comportement élastique sur la recharge en aval. Cela démontre la possibilité de l'affectation des relations de comportement autres que Mohr_Coulomb et Drucker-Prager en dehors de la zone SRM.

On emploie la loi de variation exponentielle de l'incrément de facteur de sécurité, avec INCR_INIT = 0,04 et RESI_MAXI = 0,02, soit 1 raffinement en total avant la convergence de l'algorithme. La surface de glissement est visualisée via le concept evol_noli produit.

2.2 Grandeurs testées et résultats

On teste le facteur de sécurité et le déplacement maxi total à chaque itération SRM. Les valeurs de références sont montrées dans la Tableau 2 . On teste aussi sur le nœud nommé N1 le composant V1 (déformation plastique cumulée) du champ VARI_NOEU compris dans le concept evol_noli produit. La valeur de référence est montrée dans la Tableau 3 .

Tableau 2: Valeur de référence au nœud N1 du cham_defo

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance

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

V1	'NON_REGRESSION'	0.001287715823488581	0,0001 %

Tableau 3: Valeurs de référence de latable des FS – Modélisation A

Nb Itération SRM	Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
1	FS	'NON_REGRESSION'	1.84	0,0001 %
	DISP_TOT_MAXI	'NON_REGRESSION'	0.32075657405211994	0,0001 %
2	FS	'NON_REGRESSION'	1.86	0,0001 %
	DISP_TOT_MAXI	'NON_REGRESSION'	0.3230683648659598	0,0001 %
3	FS	'NON_REGRESSION'	1.87	0,0001 %
	DISP_TOT_MAXI	'NON_REGRESSION'	0.32430147650733704	0,0001 %

3 Modélisation B

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation B réutilise le champ de pression interstitielle de la modélisation A, mais applique l'algorithme SRM au modèle entier avec la loi Drucker-Prager. En outre, on emploie la loi de variation linéaire de l'incrément du facteur de sécurité, avec INCR_INIT = 0,05, RESI_MAXI = 0,01, et ITER_RAF F _LINE = 1. L'écart entre l'incrément initial et le résidu maximal étant grand, cette configuration des paramètres de convergence impose que l'algorithme converge à l'issue d'un raffinement de l'incrément.

3.2 Grandeurs testées et résultats

On teste le facteur de sécurité et le déplacement maxi total à chaque itération SRM. Les valeurs de référence sont montrées dans la Tableau 4 .

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

Nb Itération SRM	Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
1	FS	'NON_REGRESSION'	1.78	0,0001 %
	DISP_TOT_MAXI	'NON_REGRESSION'	0.3196069268900407	0,0001 %
2	FS	'NON_REGRESSION'	1.83	0,0001 %
	DISP_TOT_MAXI	'NON_REGRESSION'	0.4610095633405791	0,0001 %
3	FS	'NON_REGRESSION'	1.84	0,0001 %
	DISP_TOT_MAXI	'NON_REGRESSION'	0.6337163549233418	0,0001 %

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