CiviLab 7.1 — Dossier de validation

Stabilité des talus : Bishop, Spencer, Morgenstern-Price, Fellenius ; séisme pseudo-statique ; surfaces non circulaires

Bakhti Softwares — édition du 06/11/2026 — module « Stabilité » (StabiliteTalus.vb)

1. Objet et démarche

Ce dossier vérifie le module de stabilité des talus de CiviLab 7.1 sur des **cas publiés** : pour chaque cas, les données de la publication sont saisies dans CiviLab, le calcul est lancé avec la recherche automatique de CiviLab, et le coefficient de sécurité obtenu est comparé à la valeur de référence publiée et aux résultats du logiciel GeoStudio SLOPE/W publiés dans son manuel de vérification. Il est complété par des **solutions analytiques**, la vérification des **coefficients sismiques** des règlements, un **recalcul indépendant** dans Excel et les **tests automatiques** du code.

Seuls des cas dont toutes les données sont publiées ont été retenus. Les cas comportant des fissures de traction, des renforcements, des charges variables ou des nappes non cotées ne sont pas couverts par CiviLab ou ne sont pas entièrement définis ; ils ne figurent pas ici (voir §8).

2. Méthodes vérifiées

Élément	Formulation	Référence
Bishop simplifiée	équilibre des moments, cercles ; F = Σ[c'b + (W − ub) tan φ'] / mα ÷ Σ W sin α	Bishop (1955)
Fellenius	méthode ordinaire, cercles (comparaison)	Fellenius (1936)
Spencer, Morgenstern-Price	équilibre des forces et des moments, X = λ f(x) E (f = 1 ou demi-sinus)	Spencer (1967) ; Morgenstern et Price (1965) ; algorithme de Zhu et al. (2005)
Surfaces non circulaires	polygone imposé ; recherche trois blocs le long d'une couche faible	NF P 94-270 §10.3, fig. 10.3 et 10.4
Séisme	kh·W au centre de gravité de la tranche, ±kv·W ; combinaisons (kh, ±kv)	RPA 2024 §10.3 ; NF P 94-270 annexe I.4
Vérification EC7	approche 3, A2 + M2 + R3, Fd ≥ γR;e·γR;d (10.2.1), γR;d = 1,10	NF P 94-270 §10, annexe C

3. Cas publiés

Synthèse

Cas	Méthode	Référence publiée	GeoStudio	CiviLab 7.1	Écart / GeoStudio
ACADS 1(a) — talus simple homogène	Bishop	1,00	0,993	**0,985**	-0,8 %
ACADS 1(a) — talus simple homogène	Spencer	1,00	–	**0,984**	–
ACADS 1(a) — talus simple homogène	Morgenstern-Price	1,00	0,993	**0,985**	-0,8 %
ACADS — talus non homogène (3 couches)	Bishop	1,39	1,413	**1,393**	-1,4 %
ACADS — talus non homogène (3 couches)	Spencer	1,39	–	**1,365**	–
ACADS — talus non homogène (3 couches)	Morgenstern-Price	1,39	1,382	**1,365**	-1,2 %
ACADS — talus non homogène avec séisme, kh = 0,15	Bishop	1,00	1,016	**1,011**	-0,5 %
ACADS — talus non homogène avec séisme, kh = 0,15	Spencer	1,00	–	**0,984**	–
ACADS — talus non homogène avec séisme, kh = 0,15	Morgenstern-Price	1,00	0,989	**0,983**	-0,6 %
Arai et Tagyo (1985) — talus homogène	Bishop	1,451	1,417	**1,404**	-0,9 %
Arai et Tagyo (1985) — talus homogène	Spencer	1,451	–	**1,401**	–
Arai et Tagyo (1985) — talus homogène	Morgenstern-Price	1,451	1,414	**1,400**	-1,0 %
Greco (1996), exemple 4 — talus multicouche	Bishop	1,40 à 1,42	1,405	**1,440**	+2,5 %
Greco (1996), exemple 4 — talus multicouche	Spencer	1,40 à 1,42	–	**1,421**	–
Greco (1996), exemple 4 — talus multicouche	Morgenstern-Price	1,40 à 1,42	1,389	**1,414**	+1,8 %
ACADS — couche faible, surface imposée	Spencer	1,34	–	**1,276**	–
ACADS — couche faible, surface imposée	Morgenstern-Price	1,34	1,261	**1,260**	-0,1 %
ACADS — couche faible, recherche (trois blocs)	Spencer	1,26	–	**1,253**	–
ACADS — couche faible, recherche (trois blocs)	Morgenstern-Price	1,26	1,261	**1,243**	-1,4 %
ACADS — couche faible, cercles (comparaison)	Bishop	1,26	–	**1,506**	mécanisme non trouvé par des cercles

Écart = (CiviLab − GeoStudio) / GeoStudio, même méthode. GeoStudio ne publie pas Spencer pour ces cas. Les recherches de CiviLab (grille de centres et de rayons affinée, ou recherche trois blocs) trouvent en général un F légèrement inférieur à celui de GeoStudio (recherche « entrée-sortie »), c'est-à-dire une surface plus défavorable. Sur la surface imposée (cas 3.6), où la surface est la même dans les deux logiciels, l'écart est de 0,001.

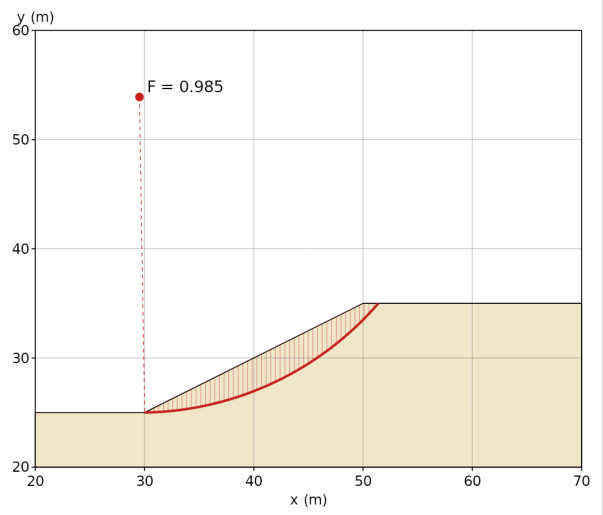
3.1 ACADS 1(a) — talus simple homogène

Source : ACADS (Giam et Donald, 1989) ; GeoStudio, manuel de vérification §2.1. Valeur de référence publiée : **F = 1,00**.

Données saisies dans CiviLab : Terrain (20 ; 25) – (30 ; 25) – (50 ; 35) – (70 ; 35) ; fond y = 20. Sol : c' = 3 kPa, φ' = 19,6°, γ = 20 kN/m³. Pas de nappe.

Méthode (recherche CiviLab)	F CiviLab	F GeoStudio	Écart	Fd EC7	Surfaces	Surface critique
Bishop	**0,985**	0,993	-0,8 %	0,788	4655	Xc = 29,53 ; Yc = 53,90 ; R = 28,90 m
Spencer	**0,984**	–	–	0,787	4507	Xc = 29,50 ; Yc = 53,90 ; R = 28,90 m
Morgenstern-Price	**0,985**	0,993	-0,8 %	0,788	4512	Xc = 30,37 ; Yc = 51,40 ; R = 26,40 m

Comparaison des méthodes sur la surface critique de la dernière ligne : Fellenius 0,946 ; Bishop 0,986 ; Spencer 0,985 (λ = 0,433) ; Morgenstern-Price 0,985 (λ = 0,532).



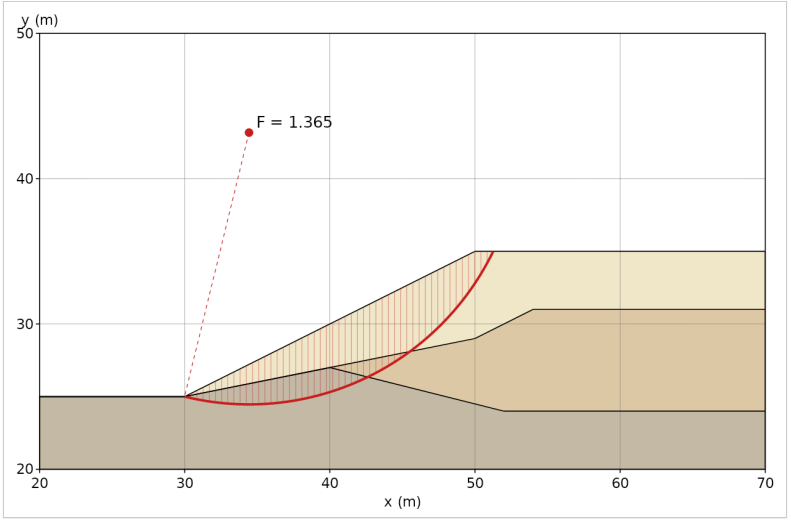
3.2 ACADS — talus non homogène (3 couches)

Source : ACADS ; GeoStudio §2.3. Valeur de référence publiée : **F = 1,39**.

Données saisies dans CiviLab : Terrain (20 ; 25) – (30 ; 25) – (50 ; 35) – (70 ; 35) ; limite sol 2 : (30 ; 25) – (40 ; 27) – (50 ; 29) – (54 ; 31) – (70 ; 31) ; limite sol 3 : (40 ; 27) – (52 ; 24) – (70 ; 24) ; fond y = 20. Sol 1 : c' = 0, φ' = 38° ; sol 2 : 5,3 kPa, 23° ; sol 3 : 7,2 kPa, 20° ; γ = 19,5 kN/m³.

Méthode (recherche CiviLab)	F CiviLab	F GeoStudio	Écart	Fd EC7	Surfaces	Surface critique
Bishop	**1,393**	1,413	-1,4 %	1,115	4846	Xc = 34,50 ; Yc = 43,23 ; R = 18,93 m
Spencer	**1,365**	–	–	1,092	4708	Xc = 34,33 ; Yc = 43,27 ; R = 18,82 m
Morgenstern-Price	**1,365**	1,382	-1,2 %	1,092	4708	Xc = 34,43 ; Yc = 43,17 ; R = 18,70 m

Comparaison des méthodes sur la surface critique de la dernière ligne : Fellenius 1,252 ; Bishop 1,394 ; Spencer 1,365 (λ = 0,384) ; Morgenstern-Price 1,365 (λ = 0,485).



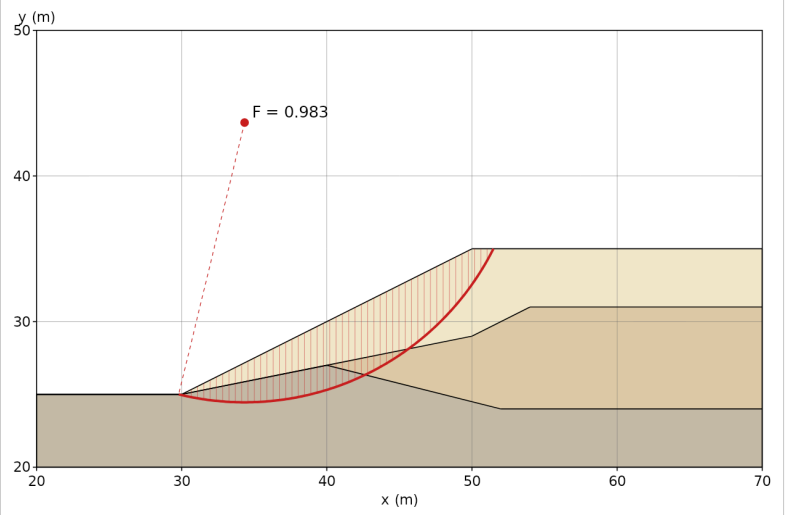
3.3 ACADS — talus non homogène avec séisme, kh = 0,15

Source : ACADS ; GeoStudio §2.4. Valeur de référence publiée : **F = 1,00**.

Données saisies dans CiviLab : Géométrie et sols du cas précédent ; force sismique horizontale kh·W, kh = 0,15 (kv = 0) ; calcul en contraintes totales.

Méthode (recherche CiviLab)	F CiviLab	F GeoStudio	Écart	Fd EC7	Surfaces	Surface critique
Bishop	**1,011**	1,016	-0,5 %	0,809	4846	Xc = 35,77 ; Yc = 51,27 ; R = 27,03 m
Spencer	**0,984**	–	–	0,787	4780	Xc = 34,33 ; Yc = 43,67 ; R = 19,21 m
Morgenstern-Price	**0,983**	0,989	-0,6 %	0,786	4837	Xc = 34,33 ; Yc = 43,67 ; R = 19,21 m

Comparaison des méthodes sur la surface critique de la dernière ligne : Fellenius 0,898 ; Bishop 1,007 ; Spencer 0,984 (λ = 0,559) ; Morgenstern-Price 0,983 (λ = 0,709).



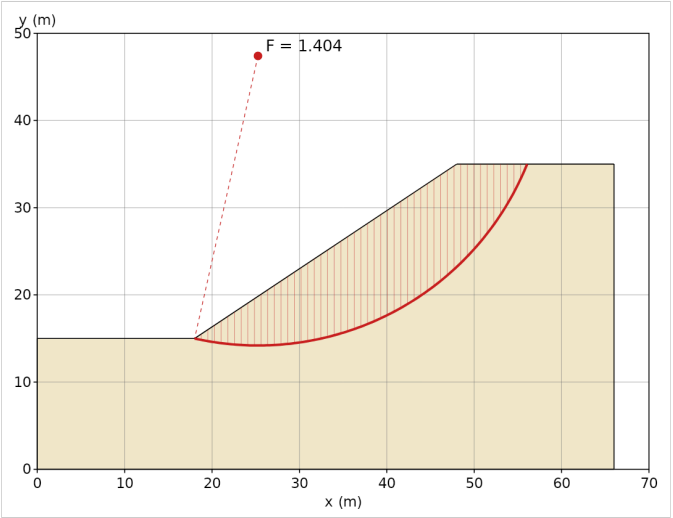
3.4 Arai et Tagyo (1985) — talus homogène

Source : Arai et Tagyo (1985) ; GeoStudio §2.11. Valeur de référence publiée : **F = 1,451**.

Données saisies dans CiviLab : Terrain (0 ; 15) – (18 ; 15) – (48 ; 35) – (66 ; 35) ; fond y = 0. Sol : c' = 41,65 kPa, φ' = 15°, γ = 18,82 kN/m³. Pas de nappe.

Méthode (recherche CiviLab)	F CiviLab	F GeoStudio	Écart	Fd EC7	Surfaces	Surface critique
Bishop	**1,404**	1,417	-0,9 %	1,123	4552	Xc = 25,26 ; Yc = 47,40 ; R = 33,21 m
Spencer	**1,401**	–	–	1,121	4506	Xc = 25,26 ; Yc = 47,40 ; R = 33,21 m
Morgenstern-Price	**1,400**	1,414	-1,0 %	1,120	4527	Xc = 25,26 ; Yc = 47,40 ; R = 33,21 m

Comparaison des méthodes sur la surface critique de la dernière ligne : Fellenius 1,348 ; Bishop 1,404 ; Spencer 1,401 (λ = 0,331) ; Morgenstern-Price 1,400 (λ = 0,384).



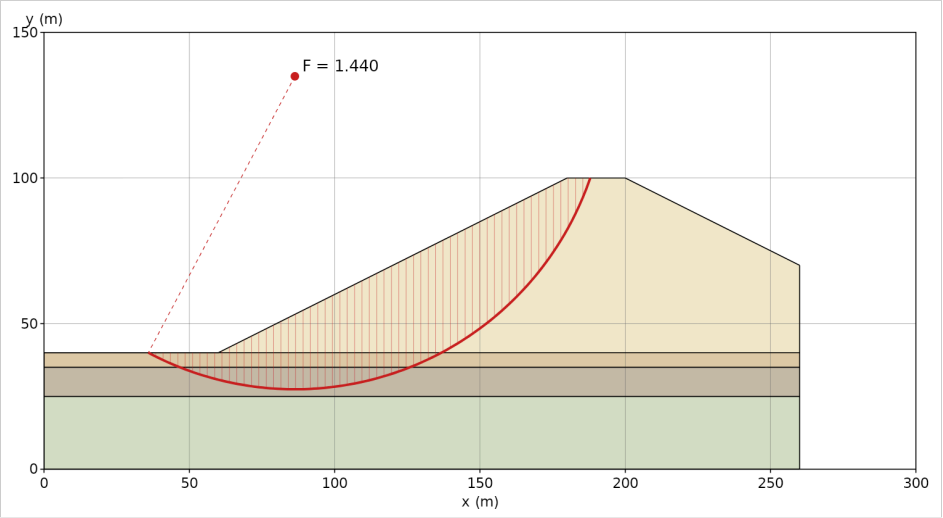
3.5 Greco (1996), exemple 4 — talus multicouche

Source : Greco (1996) ; Yamagami et Ueta (1988) ; GeoStudio §2.13. Valeur de référence publiée : **F = 1,40 à 1,42**.

Données saisies dans CiviLab : Terrain (0 ; 40) – (60 ; 40) – (180 ; 100) – (200 ; 100) – (260 ; 70) ; limites horizontales y = 40, 35 et 25 ; fond y = 0. Couche supérieure : 49 kPa, 29°, 20,38 kN/m³ ; couche 2 (40 → 35) : 0, 30°, 17,64 ; couche 3 (35 → 25) : 7,84 kPa, 20°, 20,38 ; couche inférieure : 0, 30°, 17,64.

Méthode (recherche CiviLab)	F CiviLab	F GeoStudio	Écart	Fd EC7	Surfaces	Surface critique
Bishop	**1,440**	1,405	+2,5 %	1,152	5044	Xc = 86,32 ; Yc = 134,91 ; R = 107,46 m
Spencer	**1,421**	–	–	1,137	4978	Xc = 86,32 ; Yc = 134,91 ; R = 107,46 m
Morgenstern-Price	**1,414**	1,389	+1,8 %	1,132	4979	Xc = 86,32 ; Yc = 134,91 ; R = 107,46 m

Comparaison des méthodes sur la surface critique de la dernière ligne : Fellenius 1,285 ; Bishop 1,440 ; Spencer 1,421 (λ = 0,333) ; Morgenstern-Price 1,414 (λ = 0,425).



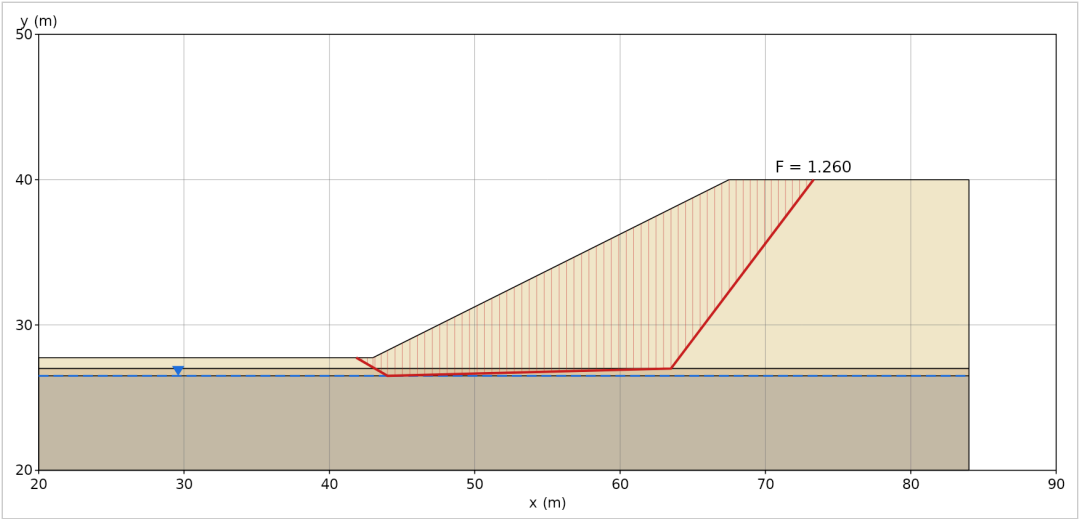
3.6 ACADS — couche faible, surface imposée

Source : ACADS ; GeoStudio §2.8. Valeur de référence publiée : **F = 1,34**.

Données saisies dans CiviLab : Terrain (20 ; 27,75) – (43 ; 27,75) – (67,5 ; 40) – (84 ; 40) ; couche faible entre y = 27 et y = 26,5 (c' = 0, φ' = 10°) ; argile au-dessus et au-dessous (c' = 28,5 kPa, φ' = 20°) ; γ = 18,84 kN/m³ ; nappe y = 26,5. Surface imposée : (41,85 ; 27,75) – (44 ; 26,5) – (63,5 ; 27) – (73,31 ; 40).

Méthode (recherche CiviLab)	F CiviLab	F GeoStudio	Écart	Fd EC7	Surfaces	Surface critique
Spencer	**1,276**	–	–	1,021	1	(41,85 ; 27,75) – (44,00 ; 26,50) – (63,50 ; 27,00) – (73,31 ; 40,00)
Morgenstern-Price	**1,260**	1,261	-0,1 %	1,008	1	(41,85 ; 27,75) – (44,00 ; 26,50) – (63,50 ; 27,00) – (73,31 ; 40,00)

Comparaison des méthodes sur la surface critique de la dernière ligne : Fellenius – ; Bishop – ; Spencer 1,276 (λ = 0,198) ; Morgenstern-Price 1,260 (λ = 0,236).



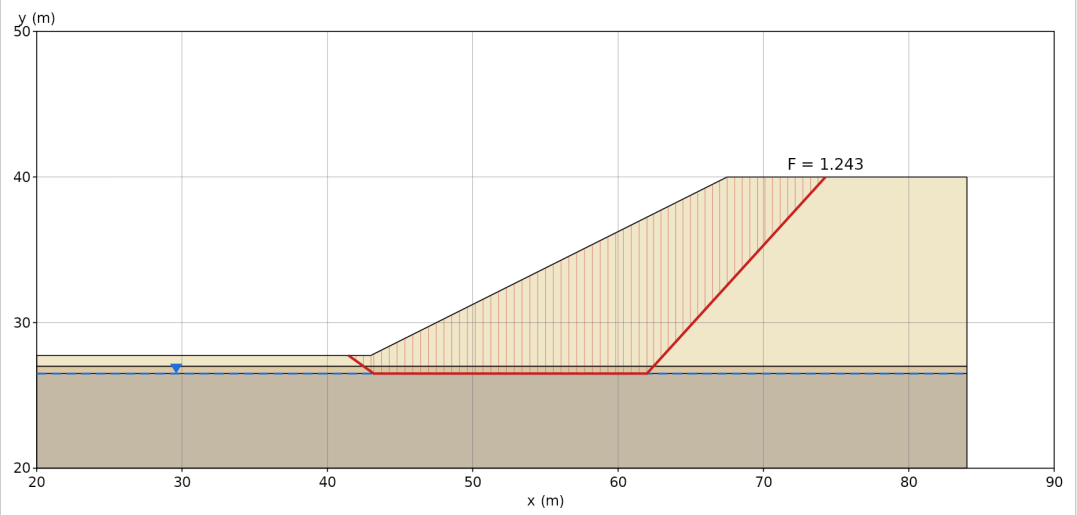
3.7 ACADS — couche faible, recherche (trois blocs)

Source : ACADS ; GeoStudio §2.7 ; NF P 94-270 fig. 10.4. Valeur de référence publiée : **F = 1,26**.

Données saisies dans CiviLab : Géométrie et sols du cas précédent ; recherche automatique « trois blocs » le long de la couche faible (CiviLab) ; cercles pour comparaison.

Méthode (recherche CiviLab)	F CiviLab	F GeoStudio	Écart	Fd EC7	Surfaces	Surface critique
Spencer	**1,253**	–	–	1,002	6048	(41,18 ; 27,75) – (43,29 ; 26,50) – (61,90 ; 26,50) – (74,42 ; 40,00)
Morgenstern-Price	**1,243**	1,261	-1,4 %	0,994	6072	(41,44 ; 27,75) – (43,19 ; 26,50) – (61,99 ; 26,50) – (74,27 ; 40,00)

Comparaison des méthodes sur la surface critique de la dernière ligne : Fellenius – ; Bishop – ; Spencer 1,255 (λ = 0,178) ; Morgenstern-Price 1,243 (λ = 0,207).



4. Solutions analytiques

4.1 Équilibre exact des moments, φ = 0

Talus (0 ; 10) – (10 ; 10) – (20 ; 0) – (40 ; 0), c_u = 30 kPa, φ = 0, γ = 18 kN/m³, cercle Xc = 22, Yc = 18, R = 19. Avec φ = 0 la résistance ne dépend pas des forces entre tranches : F = c R L / (W d), calculé par intégration fine de l'aire et du bras de levier, vaut **1,39264**.

Méthode	CiviLab (200 tranches)	Écart
Bishop	1,39259	−0,004 %
Spencer	1,39258	−0,004 %
Morgenstern-Price	1,39258	−0,004 %

4.2 Pente infinie sans cohésion, statique et sismique

Talus 1V:2H (β = 26,565°), c' = 0, φ' = 35°, γ = 20 kN/m³, surface plane parallèle au talus à 1 m de profondeur (surface imposée, Morgenstern-Price, 400 tranches). Solution de la pente infinie : F = tan φ' / tan β = 1,4004 ; avec un séisme pseudo-statique kh : F = (cos β − kh sin β) tan φ' / (sin β + kh cos β), soit 1,1087 pour kh = 0,10.

Cas	Théorie	CiviLab, L = 96 m	CiviLab, L = 496 m	Écart (L = 496 m)
Statique	1,4004	1,4049	1,4012	+0,06 %
kh = 0,10	1,1087	1,1124	1,1093	+0,05 %

L : longueur de la partie parallèle de la surface ; l'écart résiduel vient des extrémités de la surface et décroît quand L augmente.

5. Coefficients sismiques

Règlement	Données	Formule	Attendu	CiviLab
RPA 2024 §10.3	zone III (A = 0,15), groupe 2 (I = 1), site S3 (S = 1,55, type 2)	kh = A·I·S/3 ; kv = kh/3	0,0775 ; 0,02583	identiques
RPA 2024 §10.3	zone V (A = 0,25), groupe 1B (I = 1,2), site S2 (S = 1,2, type 1), ST = 1,2	kh = A·I·S·ST/3 ; kv = kh/2	0,1440 ; 0,0720	identiques
RPA 2024 §10.3.6	situation sismique	F requis	1,15	1,15
NF P 94-270 I.4	ag/g = 0,2 ; S = 1,2 ; avg/ag = 0,9 puis 0,5	kh = ½·(ag/g)·S ; kv = 0,5·kh ou 0,33·kh	0,12 ; 0,06 ; 0,0396	identiques

Valeurs des tableaux 3.2 (A), 3.3 et 3.4 (S) et 3.10 (I) du RPA 2024 ; formules (10.22) et (10.23) ; NF P 94-270 (I.4.1) à (I.4.3).

6. Recalcul indépendant (Excel)

Le classeur **Validation-Essais-7.1.xlsx** refait les calculs tranche par tranche, uniquement par des formules Excel, sur les mêmes surfaces que CiviLab :

Feuille	Calcul	Excel	CiviLab
Stabilité talus (Bishop)	ACADS 1(a), Bishop, F et Fd (EC7)	0,98508 ; 0,78806	0,98508 ; 0,78806
Talus séisme (Bishop)	ACADS 1(a), kh = 0,15 : Fellenius ; Bishop	0,68711 ; 0,71586	0,68711 ; 0,71586
Talus Morgenstern-Price	ACADS 1(a) : M-P (λ) ; Spencer avec kh = 0,15	0,98410 (0,529) ; 0,71711	0,98410 (0,529) ; 0,71711
Talus surface imposée (M-P)	ACADS §2.8 : Morgenstern-Price ; Spencer	1,26033 ; 1,27602	1,26033 ; 1,27602
Séisme kh kv	coefficients RPA 2024 et NF P 94-270	identiques	

7. Tests automatiques

Le projet CiviLabTests (xUnit) contient 14 tests de stabilité, exécutés à chaque modification : équilibre exact φ = 0 (Bishop, Spencer, Morgenstern-Price), cas non drainé (γcu), c'–φ' avec et sans nappe et en valeurs de calcul (implémentation Python indépendante), ACADS 1(a), non homogène (Bishop et Morgenstern-Price), séisme kh = 0,15, couche faible (surface imposée et trois blocs), coefficients RPA 2024 et NF P 94-270, enregistrement JSON, rangement des calculs par groupe. Résultat : **tous réussis**.

8. Écarts, limites et cas non couverts

- **Recherche :** CiviLab trouve le plus souvent un F de 0,5 à 1,5 % inférieur à GeoStudio (surface plus défavorable). Exception : Greco (cas 3.5), où Bishop donne 1,440 contre 1,405 (+2,5 %) ; la recherche a été vérifiée avec des grilles plus fines (30 × 40 puis 40 × 40, jusqu'à 100 tranches : 1,440 à 1,443) ; Morgenstern-Price (1,414) et Spencer (1,421) sont dans l'intervalle publié par Greco (1,40 à 1,42).
- **Couche faible :** les cercles donnent F = 1,506 alors que le mécanisme par la couche faible donne 1,24 à 1,26 : les surfaces non circulaires sont indispensables dans ce cas.
- **Non couverts par CiviLab 7.1 :** fissures de traction, renforcements (clous, géosynthétiques, pieux), charges ponctuelles ou variables le long de la surface, pressions interstitielles autres qu'hydrostatiques (r_u), calcul dynamique. Les cas correspondants du manuel GeoStudio (§2.2, 2.9, 2.15, 2.31 à 2.34, 2.38, 2.39…) ne sont donc pas traités ici ; les cas §2.12 (nappe non cotée) et §2.14 (correspondance couches-matériaux non publiée) ne sont pas entièrement définis.
- Le calcul sismique est pseudo-statique ; il ne s'applique pas aux sols liquéfiables (RPA 2024 §10.3.3).

9. Références

- Arai K., Tagyo K. (1985). Determination of noncircular slip surface giving the minimum factor of safety in slope stability analysis. Soils and Foundations 25(1).
- Bishop A.W. (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. Géotechnique 5(1).
- Giam P.S.K., Donald I.B. (1989). Example problems for testing soil slope stability programs. Civil Engineering Research Report 8/1989, Monash University (étude ACADS).
- Greco V.R. (1996). Efficient Monte Carlo technique for locating critical slip surface. Journal of Geotechnical Engineering 122(7).
- Morgenstern N.R., Price V.E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. Géotechnique 15(1).
- Seequent / GeoStudio (2025). Slope stability verification manual (SLOPE/W), §2.1 à 2.14.
- Spencer E. (1967). A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces. Géotechnique 17(1).
- Zhu D.Y., Lee C.F., Qian Q.H., Chen G.R. (2005). A concise algorithm for computing the factor of safety using the Morgenstern–Price method. Canadian Geotechnical Journal 42.
- Règles parasismiques algériennes RPA 2024, §3.3, §10.3, annexe C.
- NF P 94-270 (2009). Ouvrages de soutènement — Remblais renforcés et massifs en sol cloué : §10, annexes C et I.