

Analyse de la stabilité des pentes

Programme : Stabilité des pentes

Fichier : Demo_manual_08.gst

Ce cahier technique montre comment vérifier la stabilité des pentes pour une surface de glissement critiques circulaire et polygonale (en utilisant son optimisation) et décrit les différences entre plusieurs méthodes d'analyse de la stabilité des pentes.

Projet

Réaliser l'analyse de stabilité d'une pente pour une pente conçue avec un mur poids. Il s'agit d'une situation de calcul permanente. L'analyse en facteur de sécurité prendra $SF = 1,5$. On ne considère pas de nappe.

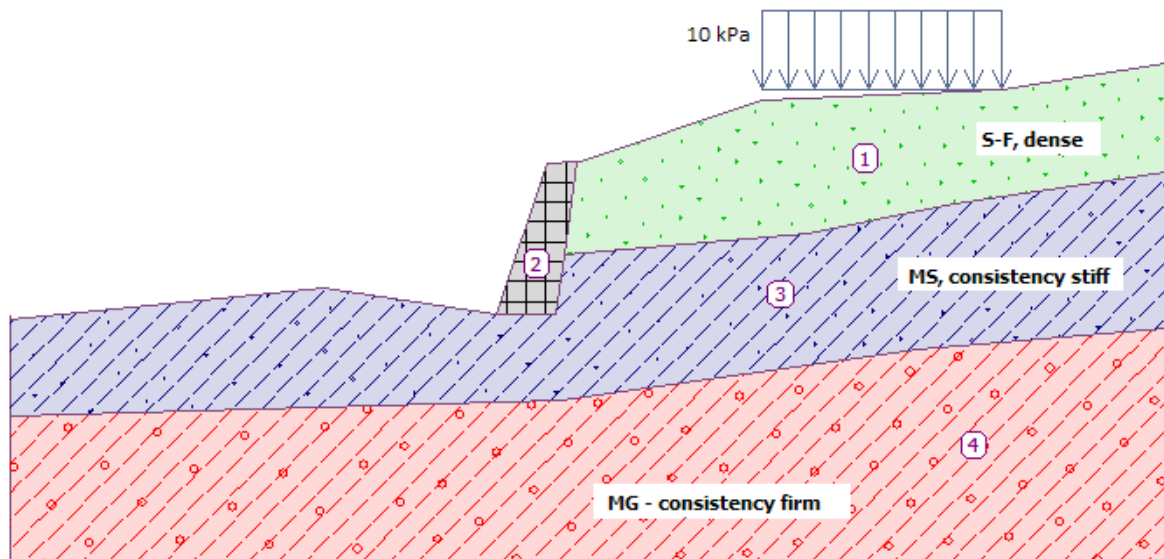


Schéma du projet

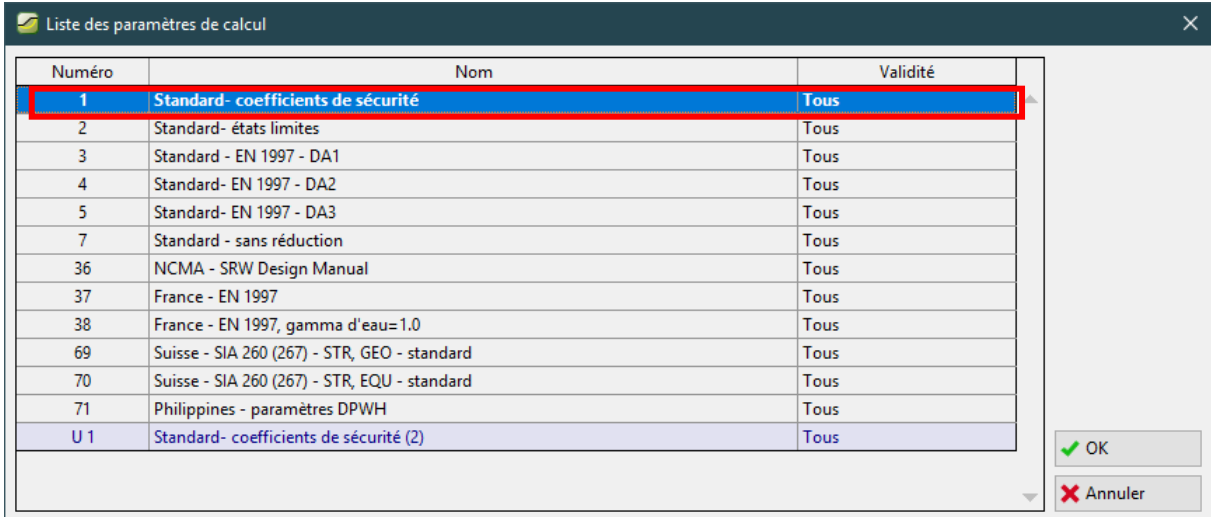
Solution

Pour résoudre ce problème, on utilise le programme GEO5 "Stabilité des pentes". Dans les prochains paragraphes, on présente chaque étape de résolution :

- Analyse No. 1 : optimisation d'une surface de glissement circulaire (Bishop)
- Analyse No. 2 : vérification de la stabilité de la pente par toutes les méthodes
- Analyse No. 3 : optimisation d'une surface de glissement polygonale (Spencer)
- Résultats de l'analyse (conclusion)

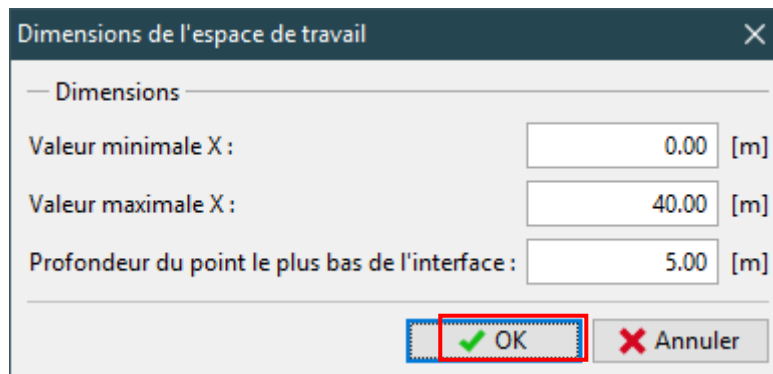
Saisie de la géométrie et des autres paramètres

Dans la section "Paramètres" cliquer sur "Sélectionner les paramètres" et choisir l'option No. 1 – "Standard – coefficients de sécurité".



Fenêtre de dialogue "Liste des paramètres"

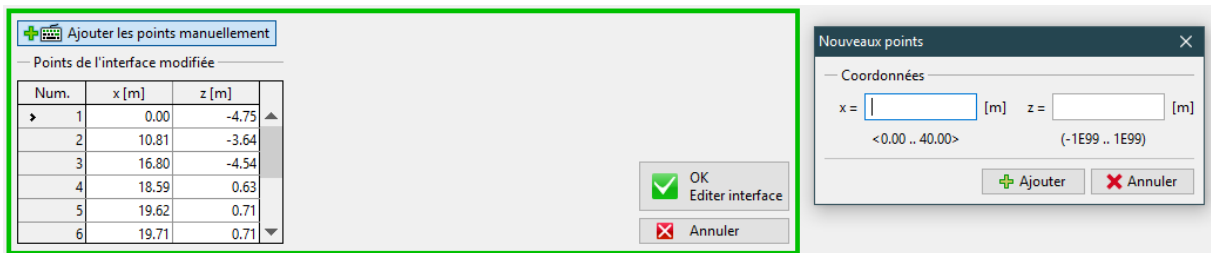
Ensuite, dans l'item "Interface", cliquer sur "Saisir les limites" et saisir les dimensions du projet comme indiqué sur la figure ci-dessous. "Profondeur du point le plus bas de l'interface" sert uniquement à visualiser l'ensemble – pas d'influence sur l'analyse.



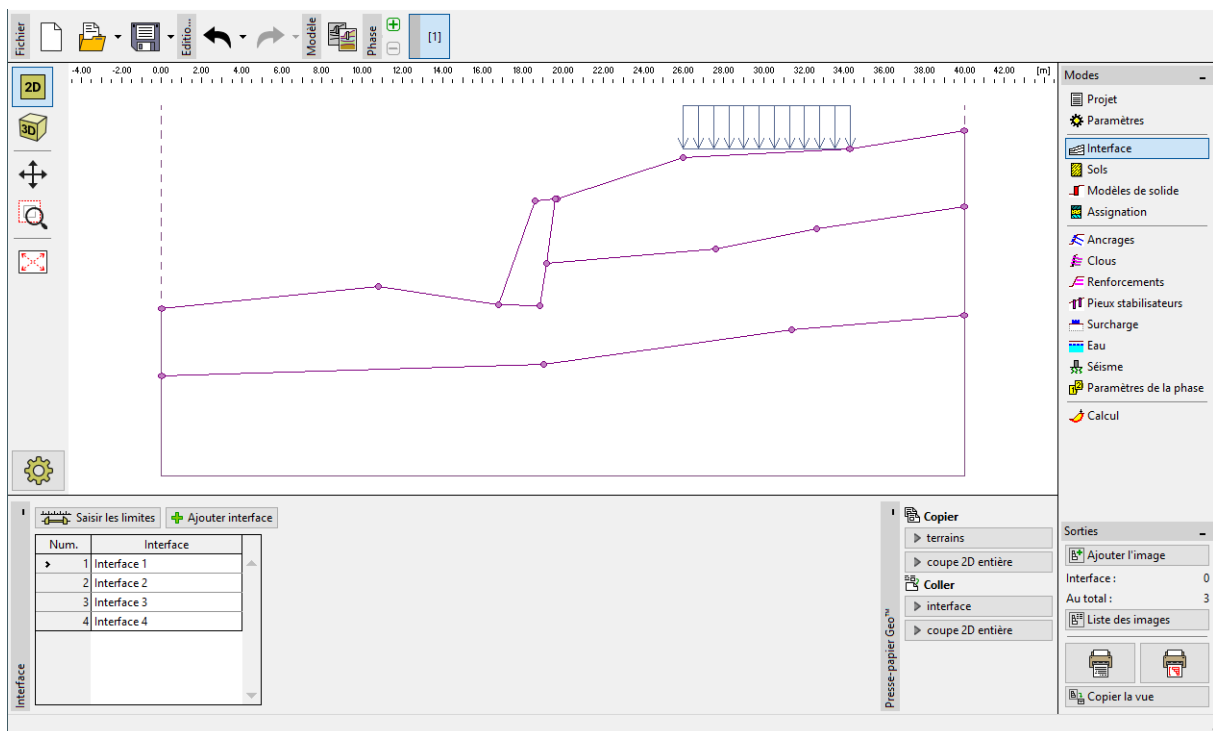
Puis cliquer sur "Ajouter interface" pour représenter les interfaces des couches, ou plus précisément le terrain, en utilisant les coordonnées présentées ci-dessous. Pour chaque interface, ajouter tous les points puis cliquer sur "OK Editer interface" pour valider.

	Interface 1		Interface 2		Interface 3		Interface 4	
	x [m]	z [m]	x [m]	z [m]	x [m]	z [m]	x [m]	z [m]
1	0,00	-4,75	16,80	-4,54	19,17	-2,48	0,00	-8,07
2	10,81	-3,64	18,87	-4,57	27,61	-1,75	19,06	-7,50
3	16,80	-4,54	19,17	-2,48	32,66	-0,74	31,40	-5,77
4	18,59	0,63	19,62	0,71	40,00	0,36	40,00	-5,05
5	19,62	0,71						
6	19,71	0,71						
7	26,00	2,80						
8	34,30	3,20						
9	40,00	4,12						

Ajout des points des interfaces



Section "Interface" – Ajouter des points manuellement



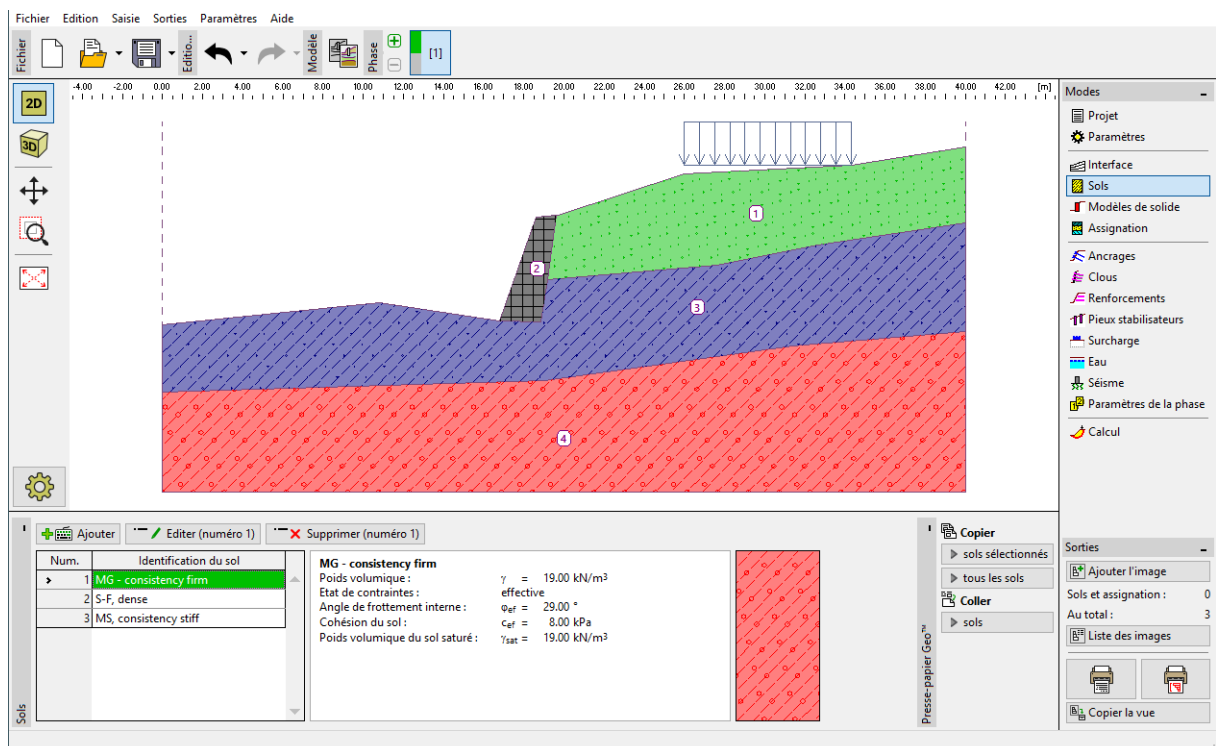
Section "Interface" – ajout des 4 interfaces

Puis on ajoute 3 sols avec les paramètres décrits dans le tableau ci-dessous. Dans la section "Sols", utiliser le bouton "Ajouter". L'état de contraintes sera considéré comme effectif pour tous les sols et la foliation du sol ne sera pas considéré.

Sol (Classification des sols)	Poids volumique γ [kN/m ³]	Angle de frottement interne, φ_{ef} [°]	Cohésion c_{ef} [kPa]
MG – Loam graveleux, consistance rigide	19,0	29,0	8,0
S-F – Sable dense avec addition de sols fins	17,5	31,5	0,0
MS – Loam sableux, consistance solide $S_r > 0,8$	18,0	26,5	16,0

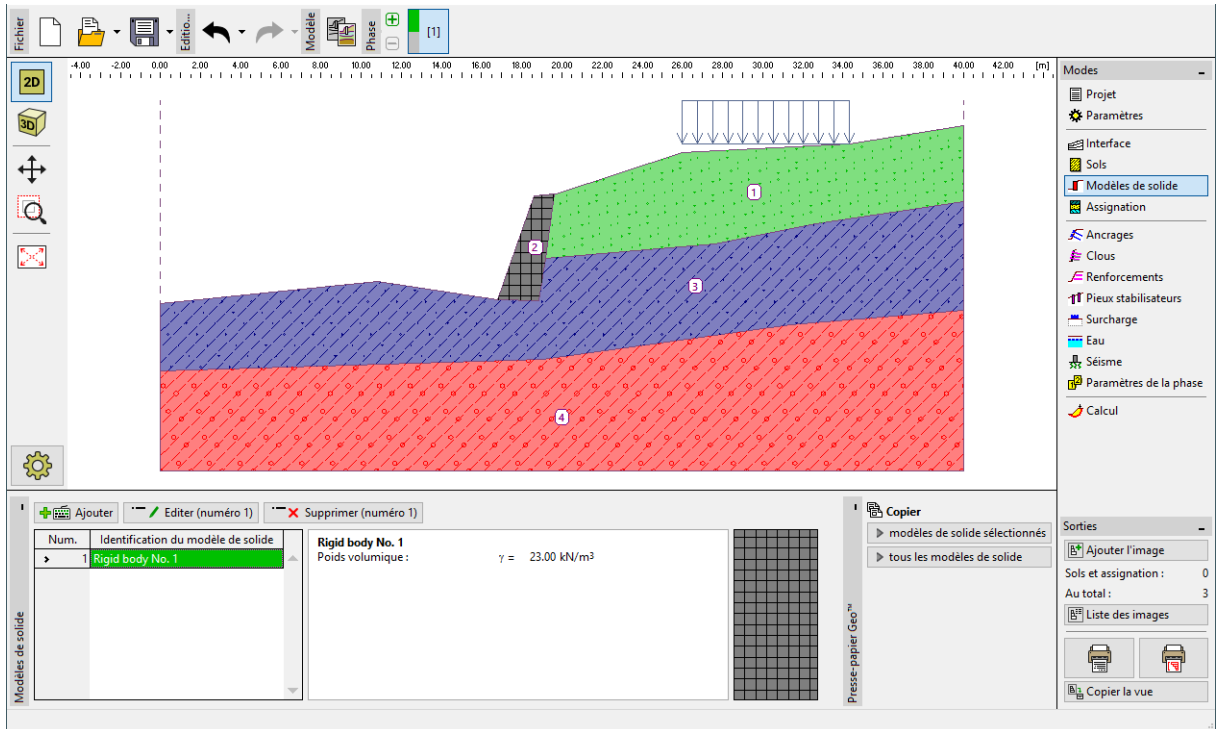
Tableau des paramètres de sols

Note : Dans cette analyse, nous vérifions la stabilité à long terme de la pente. Aussi, nous réalisons les calculs en paramètres effectifs des caractéristiques de cisaillement des sols (φ_{ef}, c_{ef}). La foliation des sols – plus défavorable ou différents paramètres du sol dans une seule direction – n'est pas considéré dans ce projet.



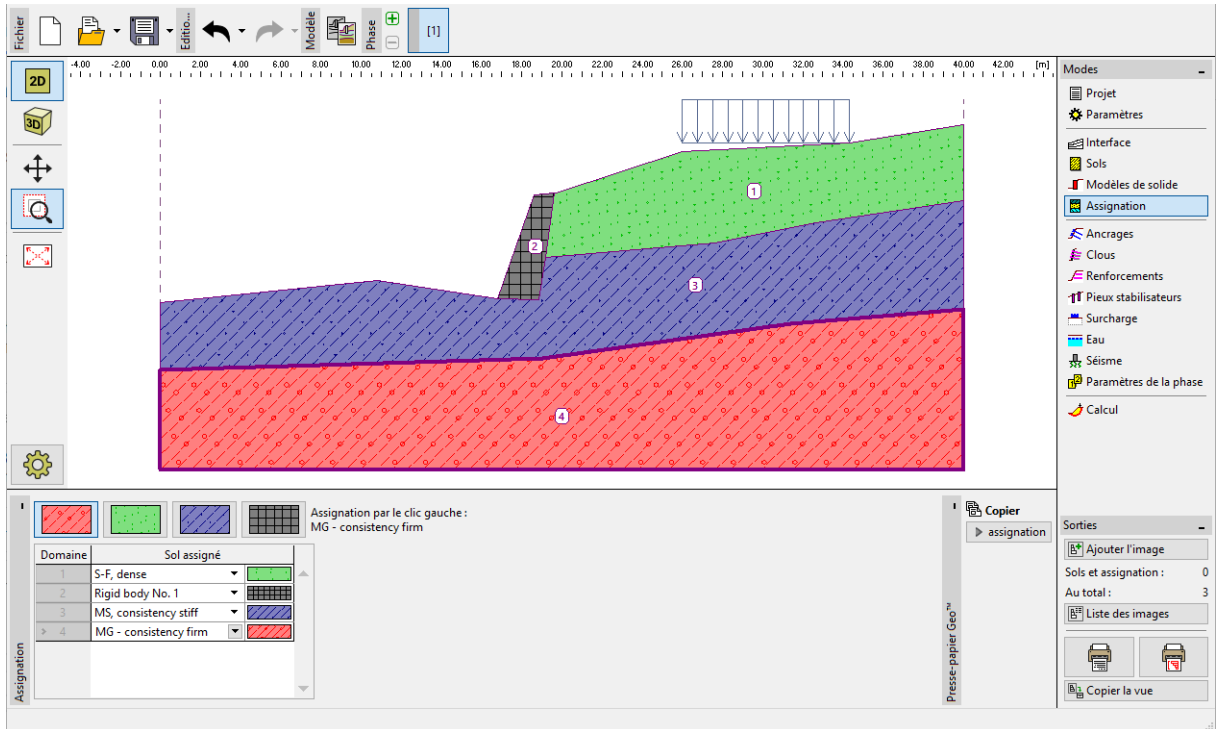
Section "Sols" – ajout de 3 nouveaux sols

Ensuite, dans l'item "Modèle de solide", on définit un poids volumique $\gamma = 23,0 \text{ kN/m}^3$ pour le béton. La surface de glissement ne passe pas par cet objet car il s'agit d'une zone très raide (plus d'explication dans le programme d'aide – F1).



Section "Modèle de solide" – Nouveau bloc rigide

On peut maintenant assigner les sols et le bloc solide au profil dans la section "Assignment".



Section "Assignment"

Dans l'étape suivante, on définit une bande de surcharge dans la section "Surcharge", que nous considérons comme charge permanente avec une position à la surface du terrain.

Fenêtre de dialogue "Nouvelle surcharge"

Note : La surcharge est considérée sur 1 m de largeur de la pente. La seule exception est la surcharge concentrée, pour laquelle le programme calcule l'effet de la charge sur le profil analysé. Pour plus d'information, voir le programme d'aide (F1).

On passe les items "Ancrages", "Clous", "Renforcements", "Pieux stabilisateurs", "Eau". Il n'y a pas d'influence sismique à considérer ici car la pente n'est pas située dans une région active sismiquement.

Dans la section "Paramètres de la phase", on sélectionne la situation de calcul. Ici, il s'agit d'une situation de calcul "permanente".

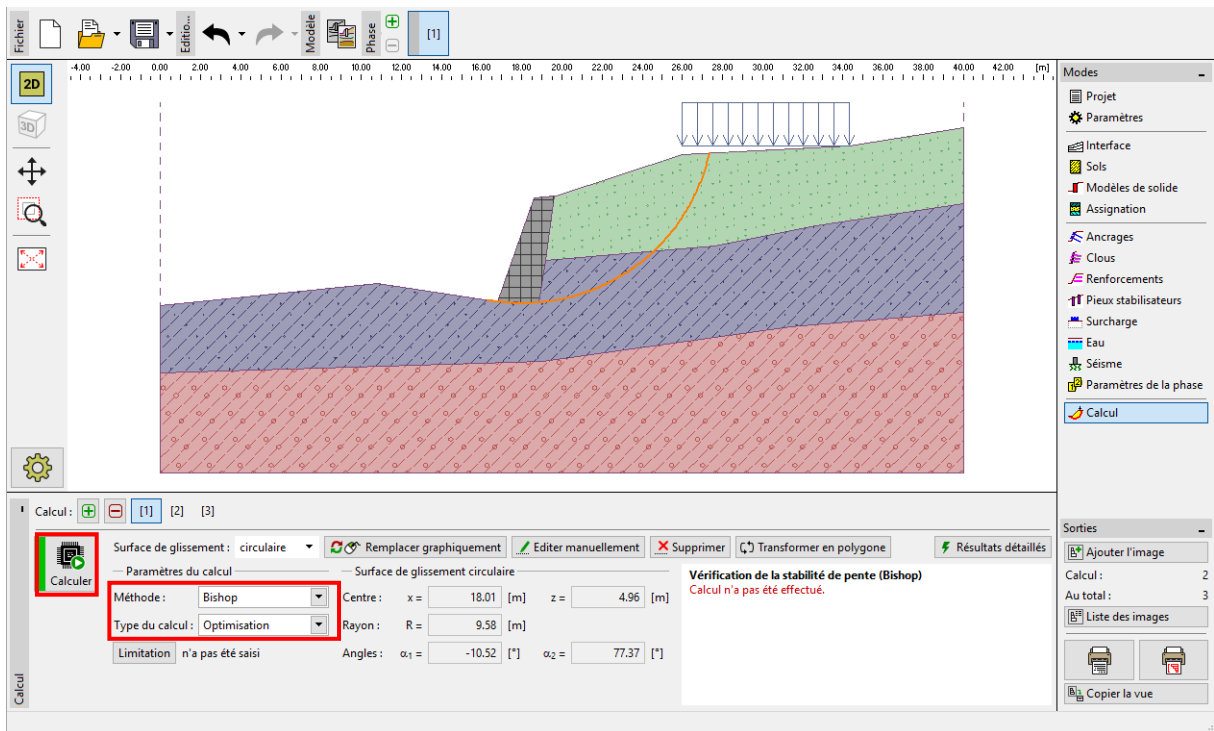
Section "Paramètres de la phase"

Analyse 1 – Surface de glissement circulaire

On ouvre maintenant la section "Calcul", où on peut éditer les coordonnées la surface de glissement initiale par ses coordonnées (x, y) et son rayon, ou en utilisant la souris – en cliquant sur l'espace de travail on définit trois points par lesquels passe la surface de glissement.

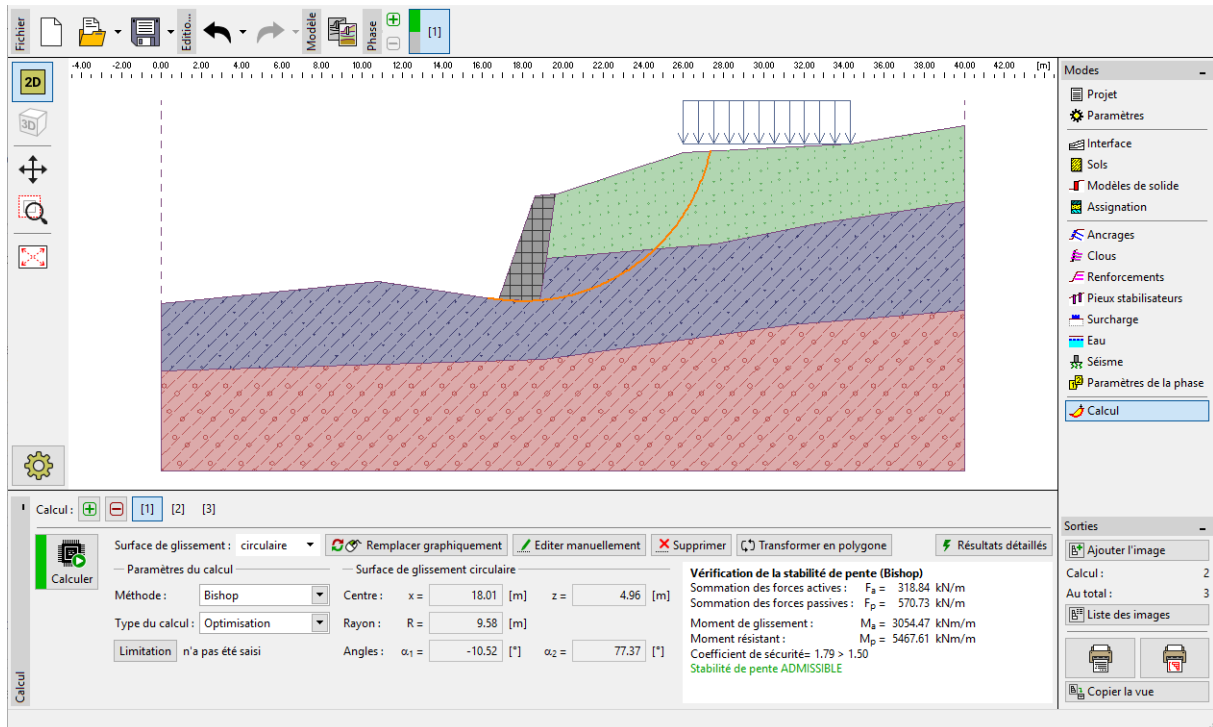
Note : Dans des sols cohérents, on obtient généralement des surfaces de glissement "rationnelles". Elles sont modélisées par des surfaces de glissement circulaires. Cette surface est utilisée pour trouver les zones critiques d'une pente analysée. Pour des sols non-cohérents, une analyse utilisant une surface de glissement polygonale devra aussi être réalisée pour vérifier la stabilité de la pente (voir le programme d'aide - F1).

Après avoir saisi la surface de glissement initiale, on sélectionne "Bishop" comme méthode d'analyse et on règle ensuite le type d'analyse sur "Optimisation". On réalise ensuite la vérification en cliquant sur "Calculer".



Section "Calcul" – Bishop – optimisation de la surface de glissement circulaire

Note : L'optimisation consiste à trouver la surface de glissement circulaire apportant la plus petite stabilité – la surface de glissement critique. L'optimisation des surfaces de glissement circulaires dans le programme "Stabilité des pentes" évalue la totalité de la pente et est très fiable. Ainsi on aura le même résultat de surface de glissement critique quelle que soit la surface de glissement initiale définie. Le niveau de stabilité défini par la surface de glissement critique en utilisant la méthode d'évaluation "Bishop" est satisfaisant ($SF = 1,79 > SF = 1,5$).



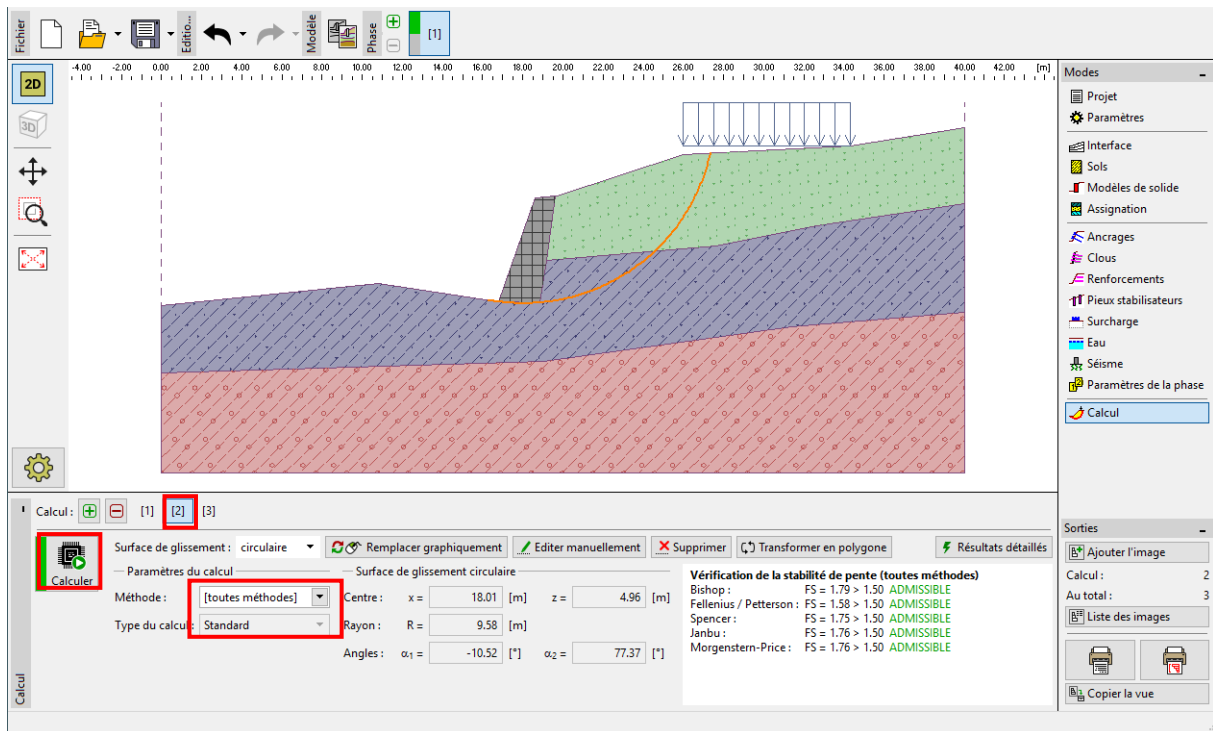
Analyse 2 – comparaison de différentes méthodes d'analyse

On ajoute une autre analyse sur la barre d'outils, dans le coin gauche de la section "Calcul"



Barre d'outils "Calcul"

On change ensuite le type d'analyse sur "Standard" et on sélectionne "Toutes les méthodes" comme méthode. Ensuite on clique sur "Calcul".



Section "Calcul" – Toutes méthodes – analyse de type standard

Note : En utilisant cette procédure, la surface de glissement calculées pour toutes les méthodes correspond à la surface de glissement critique de l'analyse précédente en utilisant la méthode de Bishop. Pour obtenir de meilleurs résultats, on devrait choisir chaque méthode puis réaliser une optimisation des surfaces de glissement.

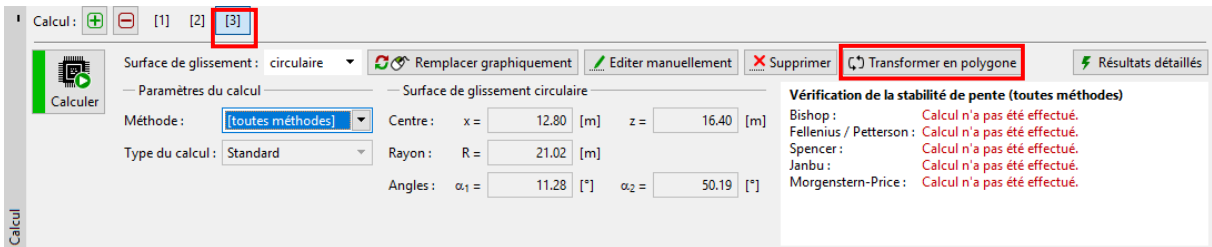
Note : La sélection de la méthode d'analyse dépend de l'expérience de l'utilisateur ou des recommandations réglementaires locales. Les méthodes les plus populaires sont celles des tranches, parmi lesquelles la méthode de Bishop est la plus utilisée. La méthode de Bishop fournit des résultats conservateurs.

Pour des pentes renforcées ou ancrées, des méthodes plus rigoureuses (Janbu, Spencer et Morgenstern-Price) sont préférables. Ces méthodes plus rigoureuses traitent toutes les conditions d'équilibre et décrivent mieux le comportement réel de la pente.

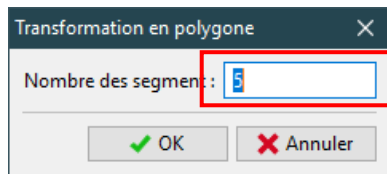
Il n'est pas requis (ni correct) d'analyser une pente avec toutes les méthodes d'analyse. Par exemple, la méthode suédoise Fellenius – Petterson fournit des résultats très conservateurs, donc les coefficients de sécurité obtenus seraient irréalistes car trop petits. Cependant, parce que cette méthode est très connue et requise dans certains pays, elle est proposée comme méthode d'analyse des pentes dans le logiciel GEO5.

Analyse 3 – surface de glissement polygonale

Dans une dernière étape, on ajoute une autre analyse et on convertit la surface de glissement circulaire initiale en surface de glissement polygonale en utilisant l'outil "Transformer en polygone". On définit un nombre de segments significative – 5 dans le cas présent.

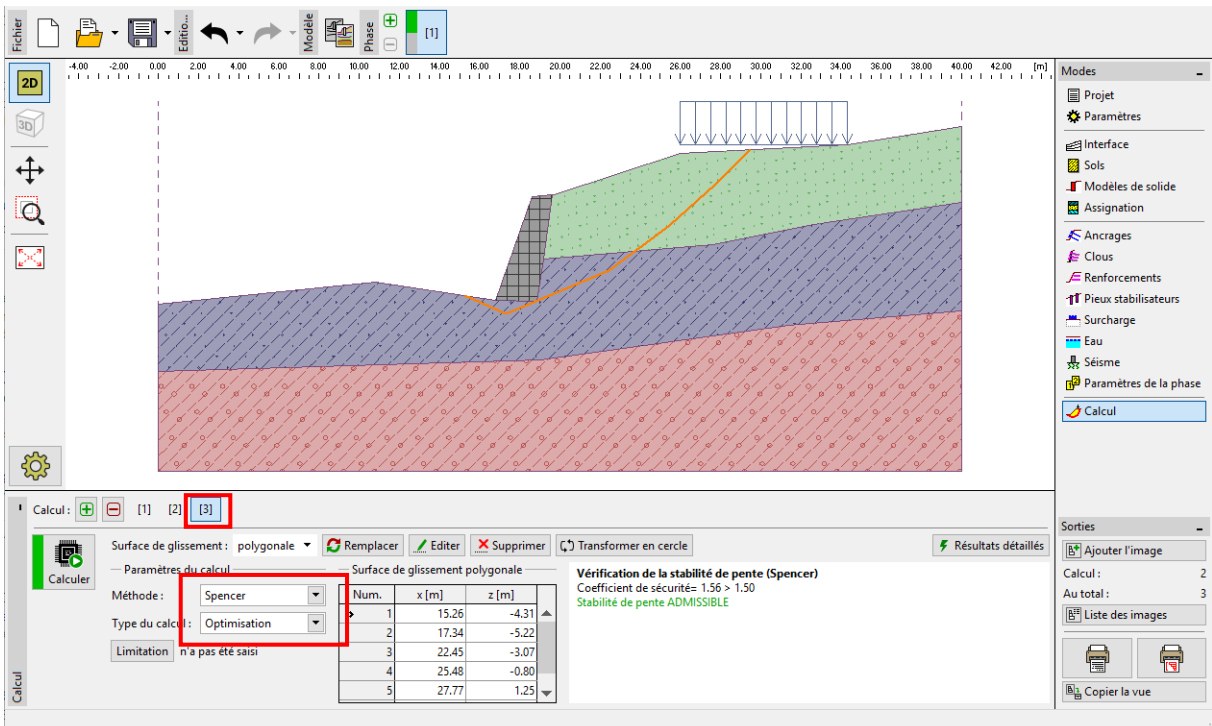


Section "Calcul" – Conversion en surface de glissement polygonale



Fenêtre de dialogue "Convertir en polygone"

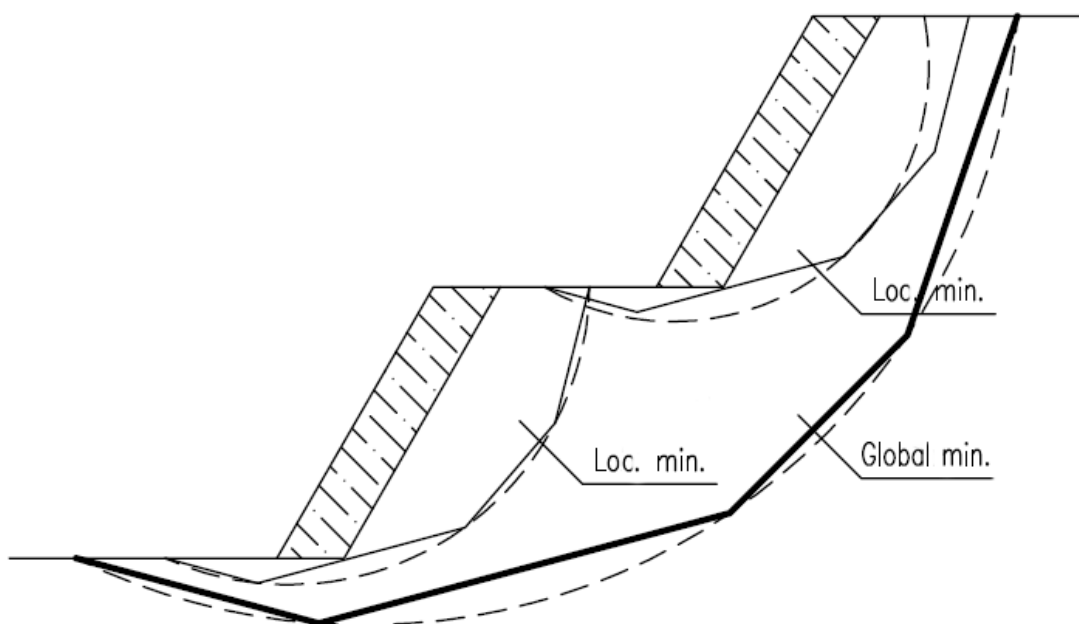
Comme méthode d'analyse, sélectionner "Spencer", comme type d'analyse, sélectionner "optimisation" puis lancer le calcul.



Section "Calcul" – Spencer – optimisation de la surface de glissement polygonale

Les valeurs du niveau de stabilité de la pente pour une surface de glissement polygonale sont satisfaisantes ($SF = 1,54 > SF = 1,5$).

Note : L'optimisation de la surface de glissement polygonale est un processus graduel et dépend de la position de la surface de glissement initiale. Cela signifie qu'il est préférable de réaliser plusieurs analyses avec différentes positions de surfaces de glissement initiales et avec différents nombres de segments. L'optimisation des surfaces de glissement polygonales peut aussi être affectée par des facteurs de sécurité minimums locaux. Cela signifie que la surface critique réelle doit être trouvée. Il est parfois plus efficace pour l'utilisateur d'entrer la surface de glissement polygonale du départ dans une forme similaire et de la placer comme surface de glissement optimisée.



Minimums locaux – Surface de glissement polygonale et circulaire

Note : Des utilisateurs se plaignent parfois que la surface de glissement "disparaisse" après l'optimisation. Pour des sols non-cohérents, où $c_{ef} = 0 \text{ kPa}$, la surface de glissement critique est la même que la ligne la plus inclinée de la surface de la pente. Dans ce cas, l'utilisateur doit modifier les paramètres de sol ou entrer des restrictions, par lesquelles la surface de glissement ne peut pas passer.

Conclusion

La stabilité de pente après l'optimisation est :

- Bishop (circulaire - optimisation) : $SF=1,79 > SF=1,5$ **SATISFAISANT**
- Spencer (polygonale - optimisation) : $SF=1,54 > SF=1,5$ **SATISFAISANT**

Le projet de pente conçue avec le mur gravitaire satisfait donc aux exigences de stabilité.