

GEO5

Stabilité des roches : Rupture plane par cisaillement

Résumé

Le but de ce cahier technique est d'évaluer la stabilité d'une pente rocheuse située sur les rives de la Vltava suite à plusieurs accidents géologiques et de proposer des solutions de stabilisation malgré la nature escarpée du lieu.

Le fichier exemple correspondant est « Demo_manual_31.gsk ».

ATTENTION : Dans ce document, l'utilisateur sera guidé à travers toutes les étapes de définition et d'analyse d'un projet géotechnique, dans un contexte établi par l'auteur. L'utilisateur doit être informé que les réglages de l'analyse (onglet « Paramètres ») sont de sa responsabilité et doivent être vérifiés/adaptés avant de commencer tout nouveau projet.

1 Introduction

Ce cahier technique décrit l'évaluation de la stabilité de la pente d'une excavation située à côté de la route numéro II/102 Strnady-Stechovice située au fond de la vallée de la rivière Vltava. L'instabilité de la paroi rocheuse se manifeste depuis sa construction en 1931 (effritement de la roche, le glissement des couches, érosion par les eaux souterraines, mauvais état des dispositifs de sécurisation) malgré la mise en œuvre progressive de mesures de réhabilitation. Le plus grand glissement de terrain s'est produit en 1924, lorsqu'un total de 8000 m³ de roche s'est effondré, et en 2011 un bloc de roche de 2t est tombé sur la route. Ce document décrit l'évaluation de la stabilité d'une section où la rupture se produit le long d'une surface plane.



FIGURE 1 – Photo de la section la plus dangereuse – section située à Vrane nad Vltavou (photo S. Chamra)

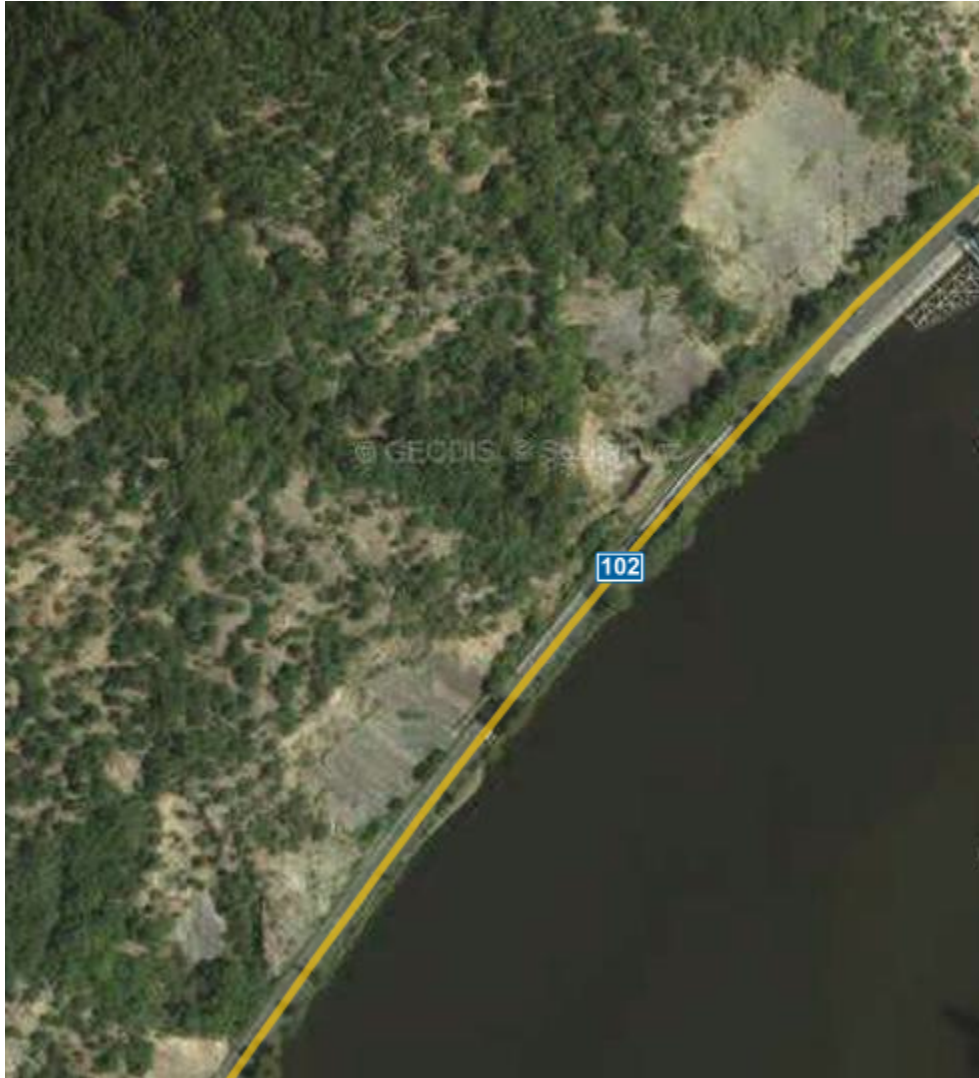


FIGURE 2 – Section située à Vrane nad Vltavou – Carte 3D (Geodis, Seznam.cz)

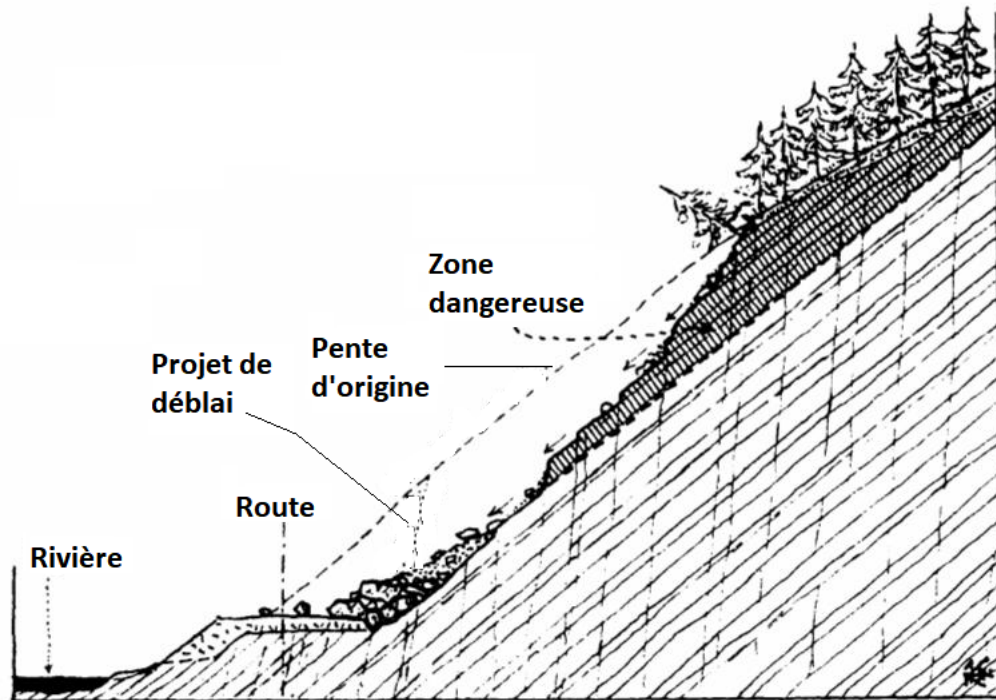


FIGURE 3 – Coupe géologique de la pente affectée par le glissement de terrain de 1931 lors de la construction de la route près de Stechovice (in R. Kettner, 1955 : Všeobecná geologie IV)

2 Projet

Le tronçon de route se trouve le long de la rive gauche de la vallée de la rivière Vltava. La route a été construite en partie dans une excavation et en partie a été placée sur un mur de soutènement incliné vers la rivière. L'excavation fait plus de 10 m de profondeur, au-dessus d'elle se trouve une pente raide. La paroi rocheuse à évaluer est constituée de siltstones et de schistes stratifiés qui sont fissurés par des joints perpendiculaires au litage. La morphologie de la surface est déterminée par l'orientation du litage de la roche sédimentaire. À plusieurs endroits dans la partie inférieure de la paroi, les eaux souterraines migrent le long des zones stratifiées.

Pour résoudre ce problème, nous allons nous focaliser sur la section de pente rocheuse où un glissement soudain du bloc rocheux est le plus probable (cf. photographie ci-dessous). S'agissant d'une évaluation à long terme, le coefficient de sécurité final requis est de 1,5. Si, après calcul, il s'avère être inférieur, une méthode de sécurisation devra être conçue de manière à répondre aux exigences de sécurité.



FIGURE 4 – Bloc rocheux avec présomption de mouvement de translation (photo Vaníček 2009)

Sur la base d'un levé géologique et de documents d'archives, les propriétés de roche suivantes ont été déterminées :

- schiste :
 - poids volumique $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$,
 - rupture par cisaillement
 - angle de frottement interne $\varphi' = 38^\circ$
 - cohésion $c' = 10 \text{ kPa}$
 - résistance à la compression de la roche $0,8 \text{ MPa}$ (mesurée en laboratoire sur un échantillon de roche foré)
 - module de déformation $E_o = 10 \text{ MPa}$.

3 Solution

L'évaluation de la stabilité de la pente de la section considérée sera effectuée en fonction des facteurs de sécurité (car le résultat sera ensuite vérifié à l'aide d'un modèle numérique basé sur la méthode des éléments finis). Le texte suivant détaille étape par étape la résolution de ce problème.

3.1 Paramétrage de l'étude

3.1.1 Paramétrage du calcul et du type de rupture

Dans le **cadre** « Paramètres », cliquez sur le bouton « Sélectionner les paramètres », sélectionnez « Standard – Coefficients de sécurité » et confirmez via « OK » :

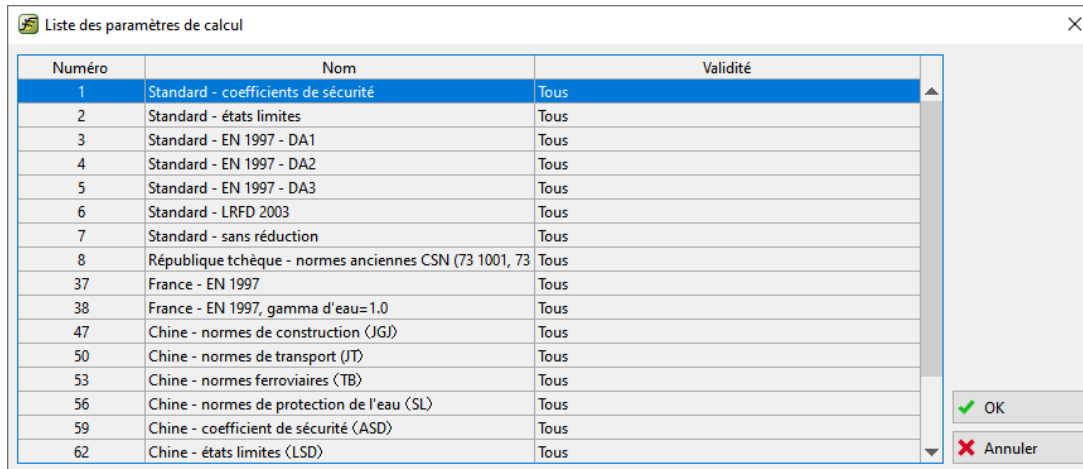


FIGURE 5 – Cadre « Paramètres » - Liste des paramètres de calcul

Ensuite, nous devons définir le type de calcul. L'application « Stabilité des roches » permet d'évaluer la stabilité d'un talus rocheux par rupture en cisaillement plane ou polygonale et une rupture en coin de roche. Il est généralement difficile de reconnaître une rupture de cisaillement et l'aide d'un géologue structuraliste est requise. Nous avons à notre disposition le rapport final de l'étude géologique et des photographies (auxquels s'ajoute une visite personnelle de l'affleurement à évaluer). Nous avons constaté que les plans de stratification plongent selon un angle prononcé de 40 à 50° et que les blocs de schiste peuvent glisser jusqu'à la route située au bas de la colline. Pour cette raison, nous allons choisir le type de surface de glissement plane pour cette évaluation.

3.1.2 Définition de la géométrie du terrain et de la paroi rocheuse

Le cadre « Terrain » permet de définir la morphologie de la pente. Le point de départ de la section de la paroi rocheuse peut être modifié par rapport à une valeur par défaut. Le bas de la pente est un point de départ typique. Un autre point peut être situé à une certaine distance à l'avant la paroi rocheuse. Pour cette étude, le point de départ est placé sur une surface horizontale à 5m devant le bas de la pente avec les coordonnées ($x = 0, y = 0$). La géométrie de la pente à évaluer commence à gauche et continue vers la droite.

Dans le cadre « Terrain », nous cliquons sur le bouton « Ajouter » ce qui provoque l'ouverture de fenêtre de dialogue « Nouveau tronçon », dans laquelle nous allons la morphologie de la section de pente rocheuse (à partir du point de départ). Les tronçon de section peuvent être définis en utilisant des combinaisons des paramètres définissant sa géométrie : une inclinaison (un pendage), une longueur totale, une longueur horizontale (longueur de la projection sur l'axe horizontale) et une hauteur. Le logiciel calculera les valeurs manquantes en créant la section transversale entière. Sur la base des coordonnées morphologiques des courbes de surface, nous allons définir la géométrie de la pente rocheuse en utilisant le tableau ci-dessous :

N° du tronçon	Inclinaison α [°]	Longueur totale l [m]	Longueur horizontale l_h [m]	Hauteur l_v [m]
1	0	-	10	-
2	50	-	17	-
3	85	3	-	-
4	48	-	35	-
5	22	-	17	-

TABLE 1 – Saisie des tronçons du terrain (valeurs à saisir)

Le programme affiche le terrain précédemment saisi :

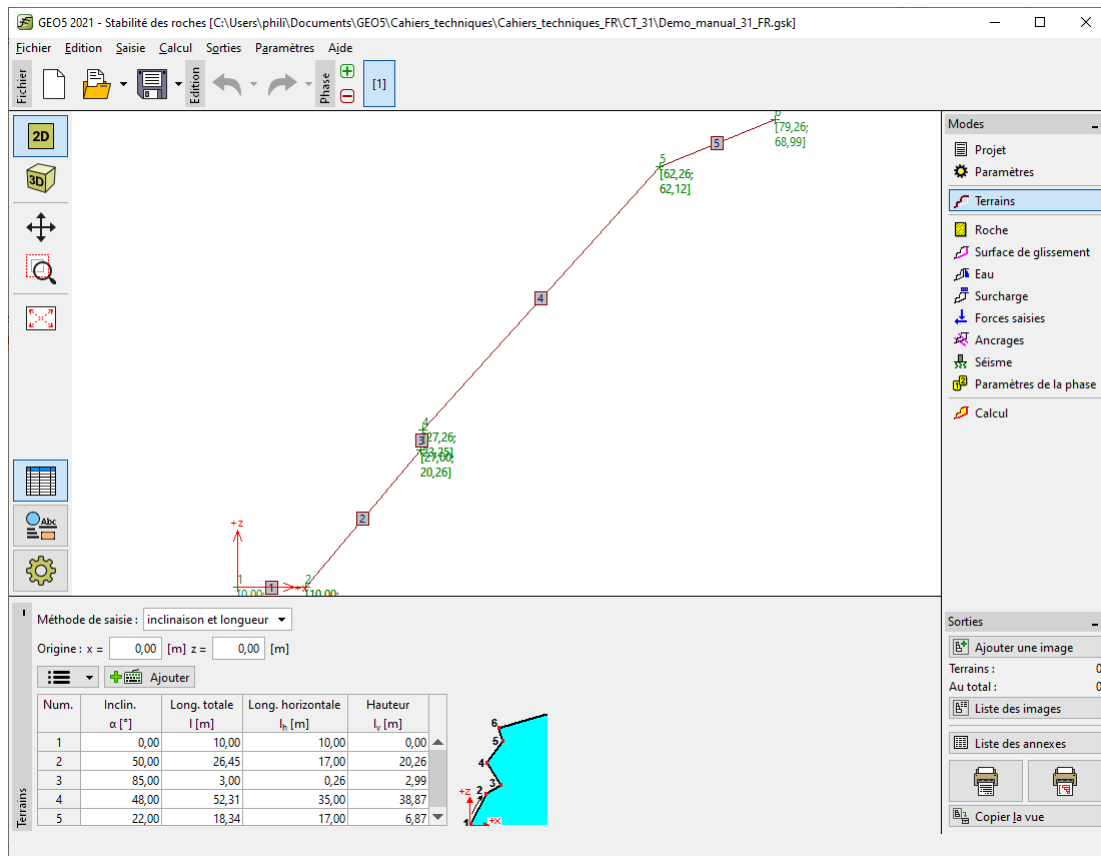


FIGURE 6 – Cadre « Terrain » - Saisie des tronçons

3.1.3 Saisie des paramètres de la roche

Dans le cadre « Roche », nous allons saisir les propriétés de la masse rocheuse (paramètres du matériau). Sur la base du levé géologique, nous avons déterminé le poids volumique de la roche et les paramètres de cisaillement selon le critère de Coulomb :

- poids volumique de la roche $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$
- les paramètres de cisaillement sont considérés comme résiduels sur les surfaces de stratification :
- angle de frottement interne $\varphi'_r = 38^\circ$
- cohésion $c'_r = 10 \text{ kPa}$

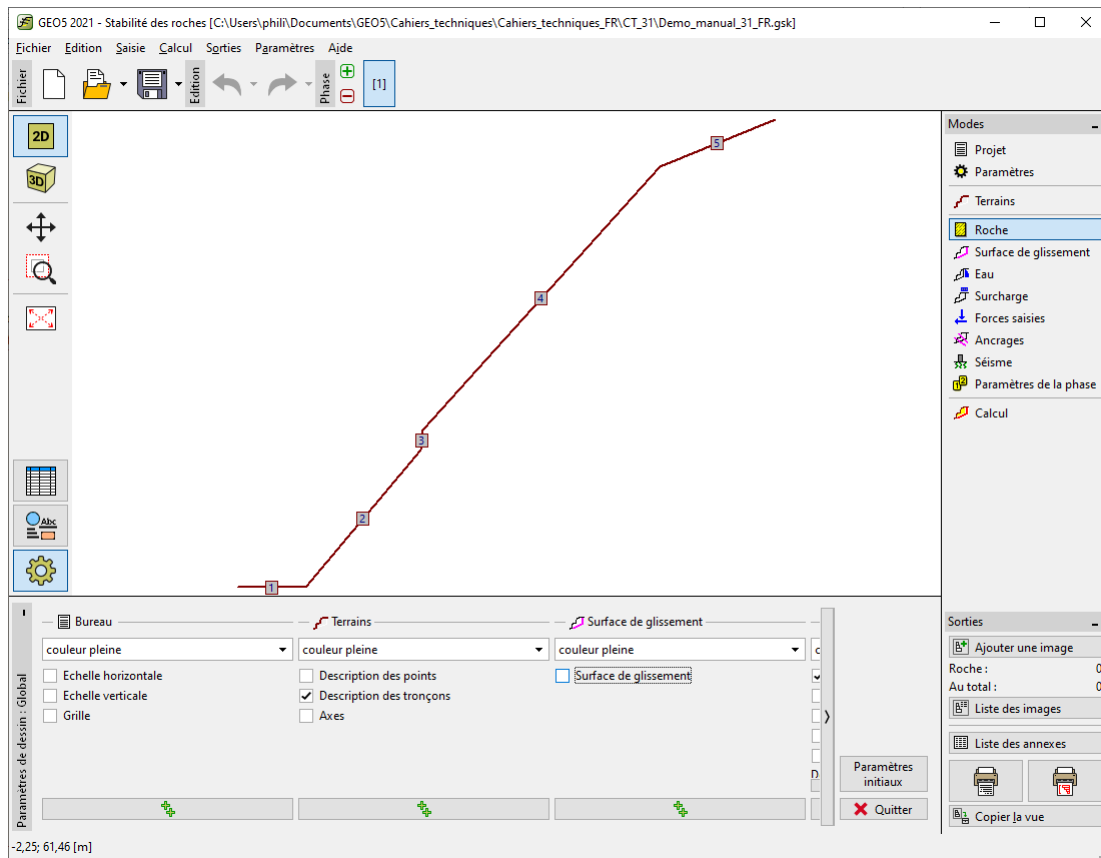


FIGURE 7 – Cadre « Roche »

Remarque : le programme permet aussi d'établir les caractéristiques du matériau selon les critères de rupture de Barton-Bandis et de Hoek-Brown.

3.1.4 Définition de la géométrie des ruptures par cisaillement et de leurs propriétés

La zone de cisaillement et ses propriétés se saisissent dans le **cadre « Surface de glissement »**. Le point de la surface de cisaillement se confond avec le bord inférieur du bloc, c'est-à-dire le point de coordonnées ($x = 27$ m, $z = 20,26$ m). D'après le levé géologique, il a été déterminé que la surface de cisaillement suit une pente de 50° :

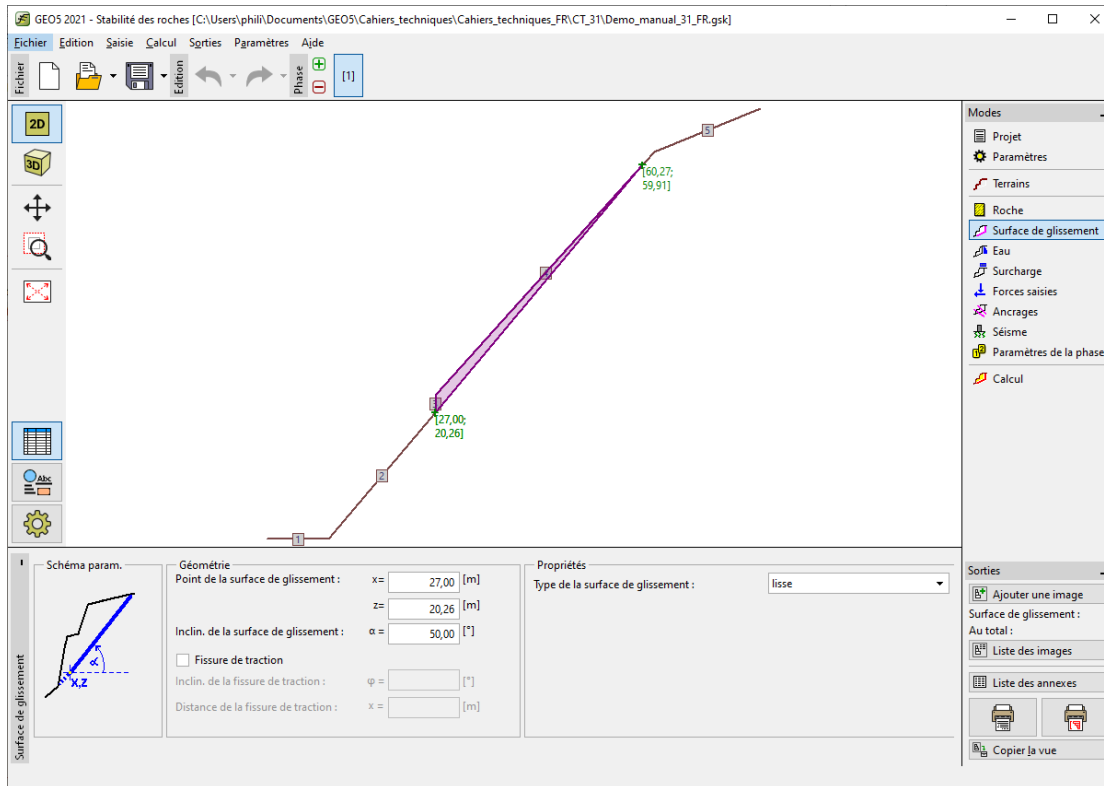


FIGURE 8 – Cadre « Surface de glissement »

3.1.5 Influence des eaux souterraines

L'influence de l'eau souterraine doit être définie dans le **cadre « Eau »**. Il existe plusieurs zones d'eau souterraine reconnues en bas du mur, notamment le long des discontinuités parallèles au litage. L'eau glacée ouvre alors les joints de rupture pendant l'hiver. Simultanément, la glace crée une barrière contre l'écoulement de l'eau et l'eau accumulée au-dessus du bouchon augmente la pression hydrostatique.

Cependant, le bloc évalué se situe au-dessus de cette partie affectée par les eaux souterraines, et même au moment de l'investigation locale, aucune eau s'écoulant de la zone de discontinuité n'était visible. Pour cette raison, le calcul est effectué sans l'influence des eaux souterraines.

3.1.6 Saisie de la surcharge

Si une surcharge affectait le bloc à évaluer, il faudrait la créer dans le **cadre « Surcharge »**. Il n'y a pas de surcharge externe sur le bloc considéré, nul besoin de passer par ce cadre.

3.1.7 Paramétrage de la phase de conception

La situation de calcul doit être définie dans le **cadre « Paramètres de la phase »**. Dans notre étude, nous évaluons la stabilité de la pente pour une durabilité à long terme de la structure évaluée située au bas de la pente. Pour cette raison, nous choisissons « permanente ».

3.2 Calcul

Les résultats élémentaires et les autres options possibles apparaîtront dans le **cadre « Calcul »**. Pour notre programme basé sur le coefficient de stabilité, nous avons obtenu $SF = 1,24 \ll 1,5$.

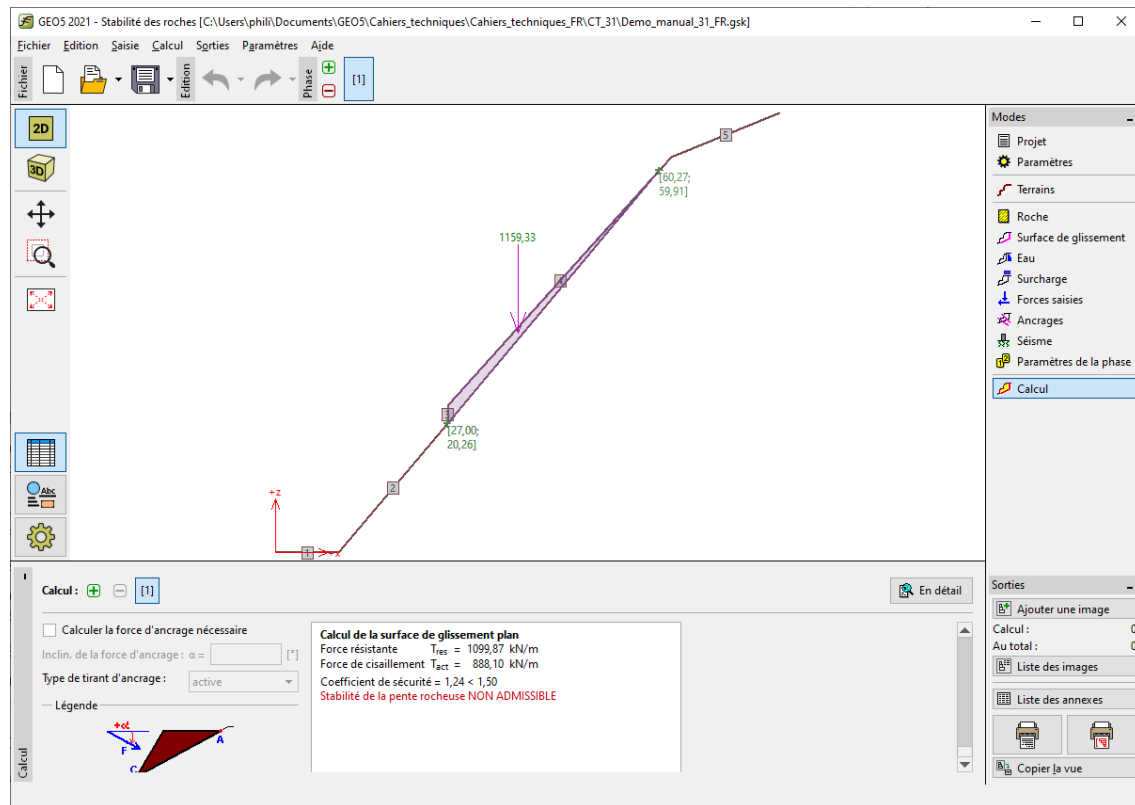


FIGURE 9 – Cadre « Calcul »

Pour accéder aux résultats détaillés, il convient soit de cliquer sur le bouton « En détail », soit de consulter la note de calcul :

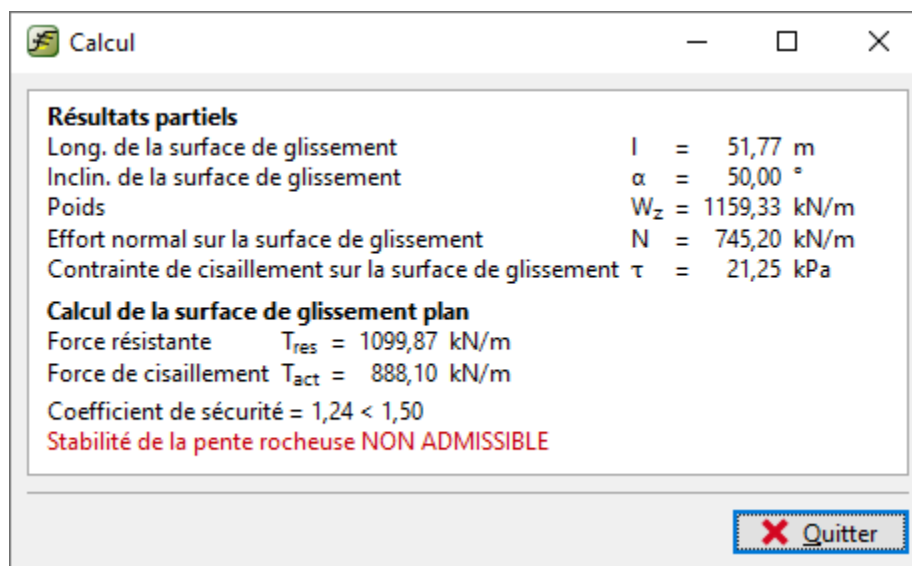


FIGURE 10 – Résultat détaillés du cadre « Calcul »

4 Conclusion

Les résultats de notre étude montrent que le coefficient de sécurité de stabilité de pente est $SF = 1,24$, ce qui est inférieur au 1,5 requis. Cela signifie que la stabilité du bloc évalué (paroi rocheuse) ne répond pas au niveau de sécurité requis pour une stabilité à long terme et il convient donc de proposer des mesures afin d'en augmenter la stabilité. La sécurisation par des ancrages est techniquement très difficile à mettre en œuvre en raison de l'accessibilité et de l'emplacement difficiles des équipements techniques nécessaires. La solution proposée consiste en une combinaison entre une destruction partielle contrôlée du bloc et de la mise en place de mesures qui ne permettraient pas aux blocs de tomber sur la route (barrières dynamiques et réseaux de soutènement).

A Références documentaires

- VANÍČEK, I., HRUBÝ, V., CHAMRA, S., JIRÁSKO, D. (2009) : Posouzení geotechnických rizik v souvislosti s havarijním stavem skalního masivu a nebezpečím sesuvu na komunikaci II/102 v úseku Strnady – Štěchovice, MS – Závěrečná zpráva, České učení technické v Praze, Fakulta stavební, Praha.
- ZARUBA, Q., MENCL, V., 1957. Engineering Geology. (In Czech.) NCSAV, Prague, pp. 1—425.