

GEO5

Stabilité des roches : Surface de glissement plane

Résumé

Le but de ce cahier technique est d'évaluer la stabilité d'une paroi rocheuse créée par une coupe sur un paroi stable préexistante. L'étude est basée sur une documentation géologique dont le niveau de détail est adapté à la situation.

Le fichier exemple correspondant est « Demo_manual_29.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 comment évaluer la stabilité d'une paroi rocheuse créée en construisant une encoche dans la paroi rocheuse stable préexistante formée de metabasaltes dans la section considérée (au bord de la zone). Au pied de la paroi rocheuse se trouvait un immeuble d'habitation, dans le bord supérieur est construite une route. Sont à disposition une étude géologique d'archives et les résultats de l'étude hydrogéologique récente incluant la description des systèmes de discontinuités et la résistance de la roche.



FIGURE 1 – Vue de la pente rocheuse

2 Projet

Comme il s'agit d'une évaluation à long terme, le coefficient de sécurité requis est de 1,5. Si la pente rocheuse résultante ne satisfait pas ce critère, il faudra mettre en œuvre une méthode de sécurisation afin d'atteindre le niveau de sécurité requis. L'évaluation de la stabilité et la sécurisation sont réalisées pour la coupe finale (après travaux d'excavation).

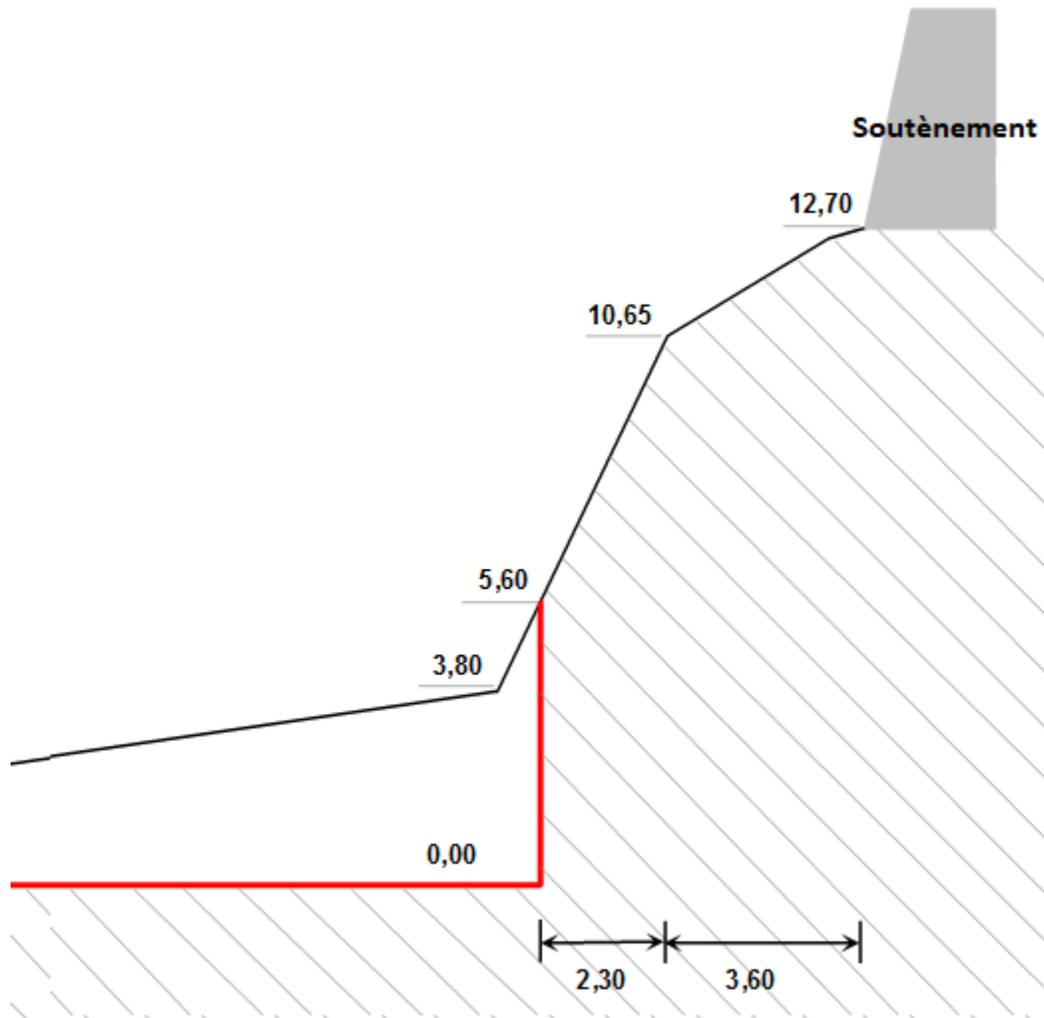


FIGURE 2 – Section à évaluer (surlignée en rouge la forme finale après excavation)

Les paramètres géotechniques suivants du massif rocheux (métabasalte) ont été déterminés sur la base d'un levé géologique et de documents d'archives :

1. poids volumique de la roche $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$
2. angle de frottement effectif $\varphi' = 43^\circ$
3. cohésion effective $c' = 423 \text{ kPa}$

La résistance moyenne à la compression uniaxiale simple de la roche est de 60 MPa, elle a été déterminée par une mesure *in situ* (marteau de Schmidt).

L'enquête hydrogéologique n'a montré aucun flux d'eau souterraine, toutefois de petits suintements en bordure de pente dans la partie légèrement altérée de la roche à travers des fissures peu profondes ont été observés, ils sont liés aux eaux de surface lors de précipitations.

3 Solution

Pour la résolution de ce problème, nous utiliserons le programme GEO5 « Stabilité des roches ». Les calculs de stabilité de la paroi rocheuse à évaluer seront effectués selon des coefficients de sécurité (en raison des contrôles ultérieurs par des calculs manuels et d'un modèle numérique par éléments finis). Le texte suivant détaille étape par étape la résolution de ce problème en décrivant l'étude, les analyses propres et les conclusions.

3.1 Définition 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 » :

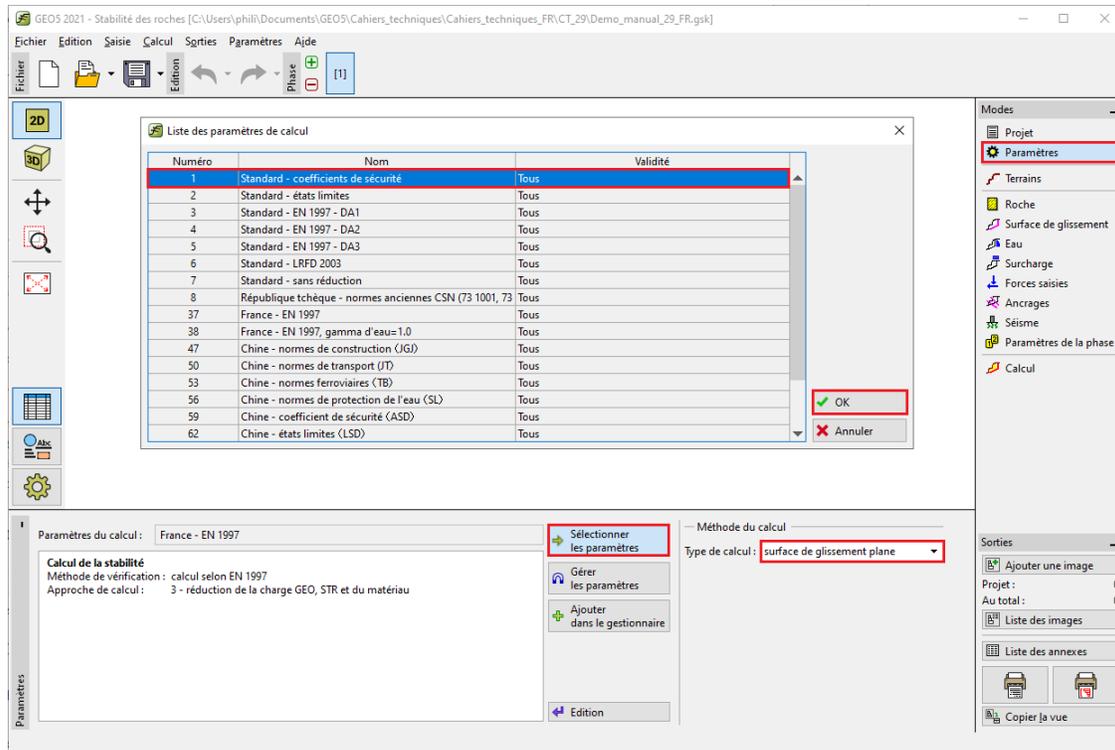


FIGURE 3 – Cadre « Paramètres » - Liste des paramètres de calcul

Ensuite, dans ce même cadre, nous allons définir le type de calcul. Le programme « Stabilité des roches » permet d'évaluer la rupture d'une paroi rocheuse par cisaillement (éboulements rocheux) le long d'une surface de cisaillement plane et polygonale et la stabilité d'un coin de roche. En pratique, la détermination d'une surface de cisaillement dangereuse dans la roche est difficile dans tous les cas et nécessite la collaboration d'un géologue structuraliste. Dans notre cas, le massif rocheux est traversé par plusieurs systèmes de surfaces de discontinuité, et il est donc possible d'envisager la rupture le long du plan de cisaillement dévié de l'horizontale d'un angle de $45^\circ + \varphi^*/2$ (où φ^* est l'angle de la résistance au cisaillement de la roche). Par conséquent, nous allons choisir le type de calcul : **surface de cisaillement plane**.

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

Nous allons définir la géométrie du terrain et de la paroi rocheuse dans le **cadre « Terrain »**. Avant de définir le profil de la pente rocheuse, nous allons modifier les valeurs par défaut de la configuration d'origine (point de départ). La meilleure option pour la mise en place de la géométrie est d'utiliser le bas de la pente rocheuse ou un point placé sur le terrain à courte distance devant la paroi rocheuse. Dans notre cas, le début de la géométrie se trouve sur un terrain horizontal à une distance de 5 m du pied de la pente rocheuse, avec les coordonnées par défaut ($x = 0, y = 0$). Nous allons cliquer sur le bouton « Ajouter », cette action ouvre la fenêtre de dialogue permettant d'ajouter les points qui définissent la géométrie de la paroi rocheuse (en commençant à l'origine). Nous pouvons définir les tronçons 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. En fonction de la méthode de saisie, le programme calcule automatiquement les valeurs complémentaires.

Nous allons saisir le profil sur la base des coordonnées sélectionnées à partir de la coupe calculée :

N° du tronçon	Inclinaison α [°]	Longueur totale l [m]	Longueur horizontale l_h [m]	Hauteur l_v [m]
1	-	-	5,0	0,0
2	90	-	-	5,60
3	-	-	5,05	5,05
4	-	-	3,60	2,05
5	-	-	5,0	0,0

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

Le programme affiche le terrain précédemment saisi :

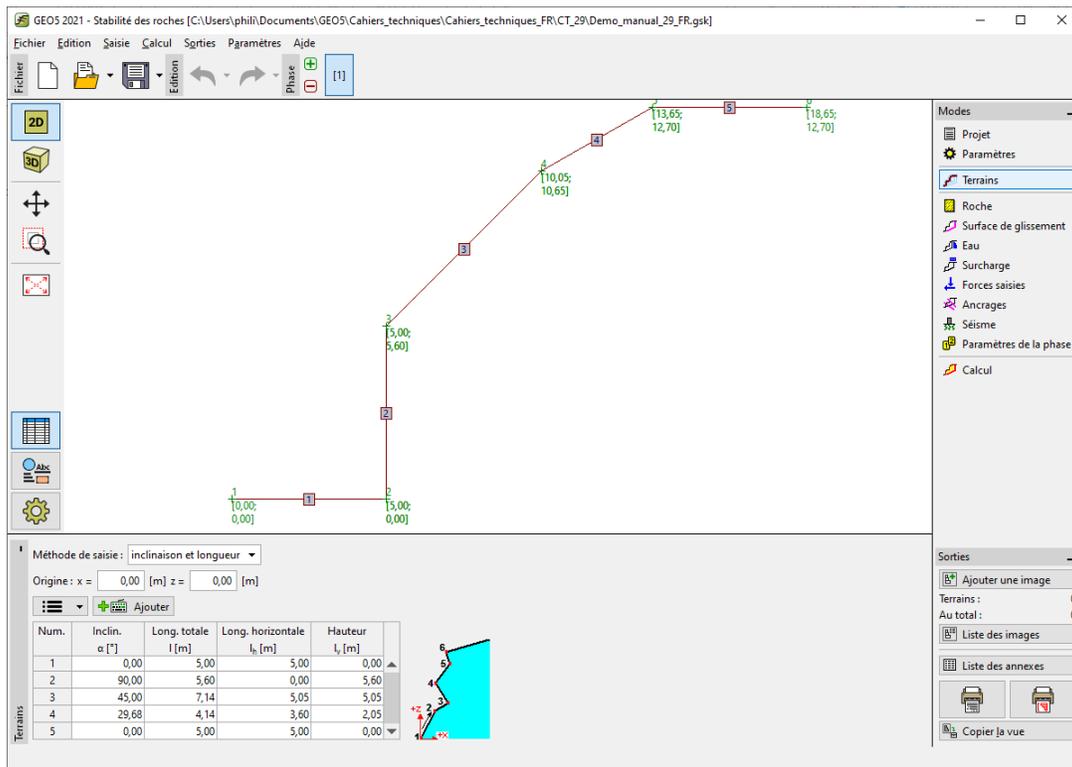


FIGURE 4 – Cadre « Terrain » - Saisie des tronçons

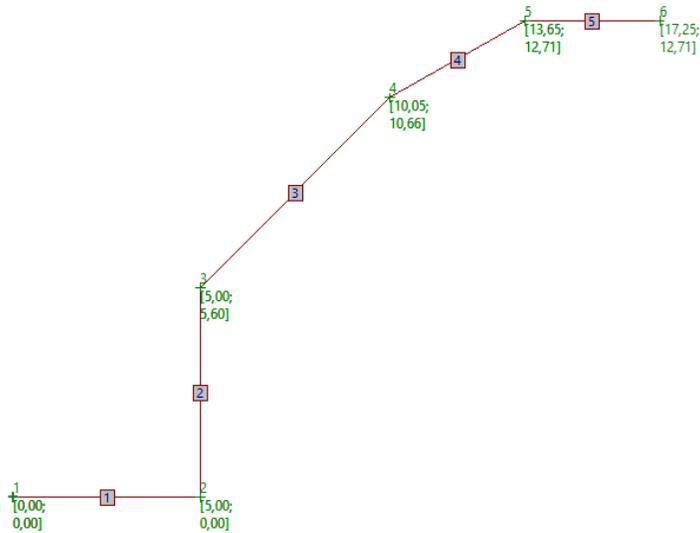


FIGURE 5 – Modélisation de la pente en détail

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 $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$
- angle de frottement effectif $\varphi' = 43^\circ$
- cohésion effective $c' = 423 \text{ kPa}$

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

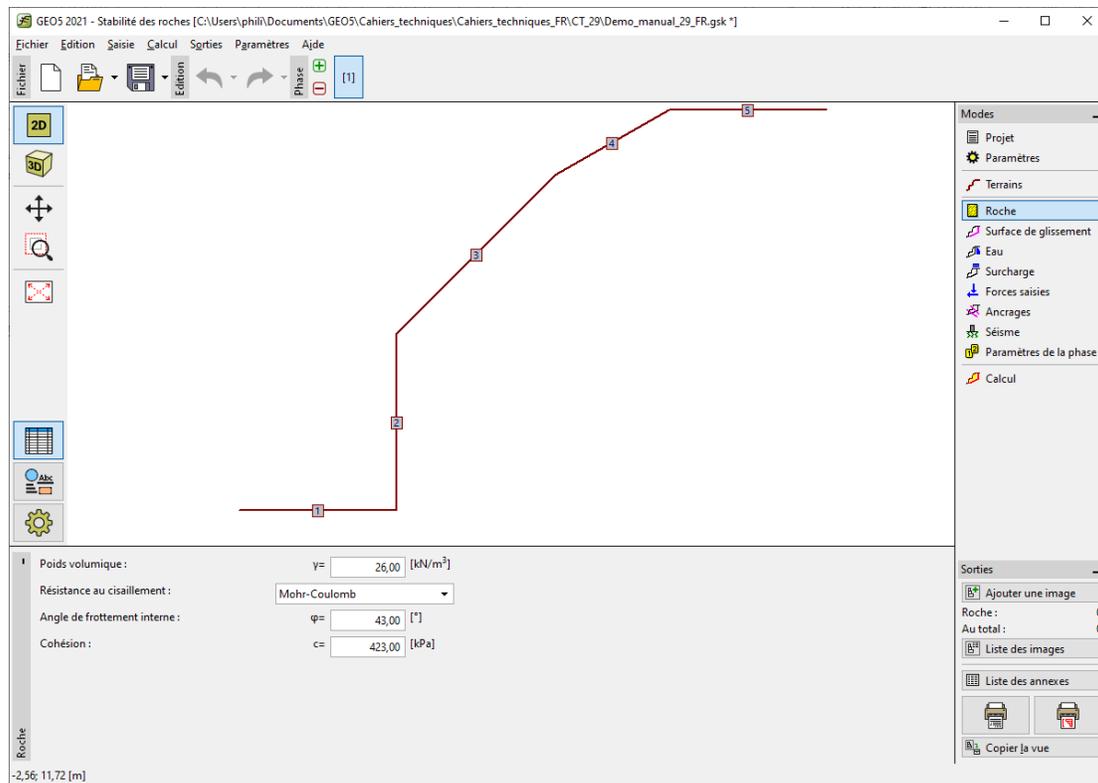


FIGURE 6 – Cadre « Roche »

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

Le cadre « Surface de glissement » permet de saisir les informations associées à un plan de rupture par cisaillement. Sur la base du levé géologique, il a été déterminé que ce plan aurait une déviation de $45^\circ + \varphi^*/2$ par rapport à l'horizontale. L'angle de résistance au cisaillement de la roche n'est pas constant mais dépend de l'état de contrainte dans la masse rocheuse et peut être déterminé graphiquement par l'angle de frottement calculé comme la tangente des cercles d'enveloppe de Mohr non linéaires. Par conséquent, nous devons déterminer sa valeur ; dans un premier temps, nous allons calculer la contrainte normale maximale au pied du mur. D'après la coupe transversale, nous constatons que la hauteur du mur actif est de $h_a = 10,65$ m, de là :

$$\sigma_{max} = \gamma \cdot h_a = 26 \times 10,65 = 277 \text{ kPa}$$

Le levé géologique nous indique que la cohésion effective de la roche vaut $c' = 423$ kPa et que la résistance moyenne à la compression de la roche vaut 60 MPa, par conséquent, la contrainte normale maximale $\sigma_{max} = 277$ kPa est inférieure à la résistance maximale du métabasalte. Nous pouvons donc déterminer l'angle de résistance au cisaillement de la roche à partir d'une représentation graphique de l'enveloppe de Mohr de notre pente de roche métabasaltique, nous trouvons $\varphi^* = 72^\circ$ (dans le premier intervalle de contrainte). L'inclinaison de la surface de rupture par cisaillement calculée par rapport à l'horizontale est un angle de $45^\circ + \varphi^*/2 = 45 + 72/2 = 81^\circ$.

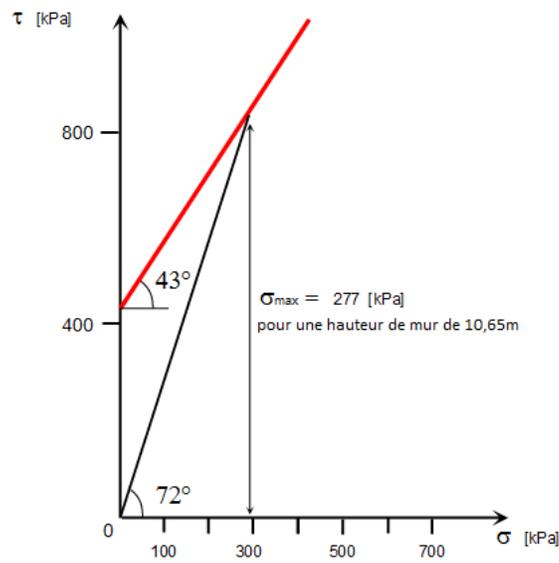


FIGURE 7 – Courbe de résistance maximale au cisaillement de la roche

L'inclinaison du plan de rupture par cisaillement est de $\alpha = 81^\circ$ et le point marquant le début de la surface (talon de la pente) a pour coordonnées $(x = 5,0 \text{ m}, z = 0,0 \text{ m})$. Le type de la surface de glissement sera plan (par défaut), car nous n'avons pas d'informations détaillées la concernant (dilatance). La formation d'une fissure de traction n'est pas considérée sur la base de l'opinion du géologue.

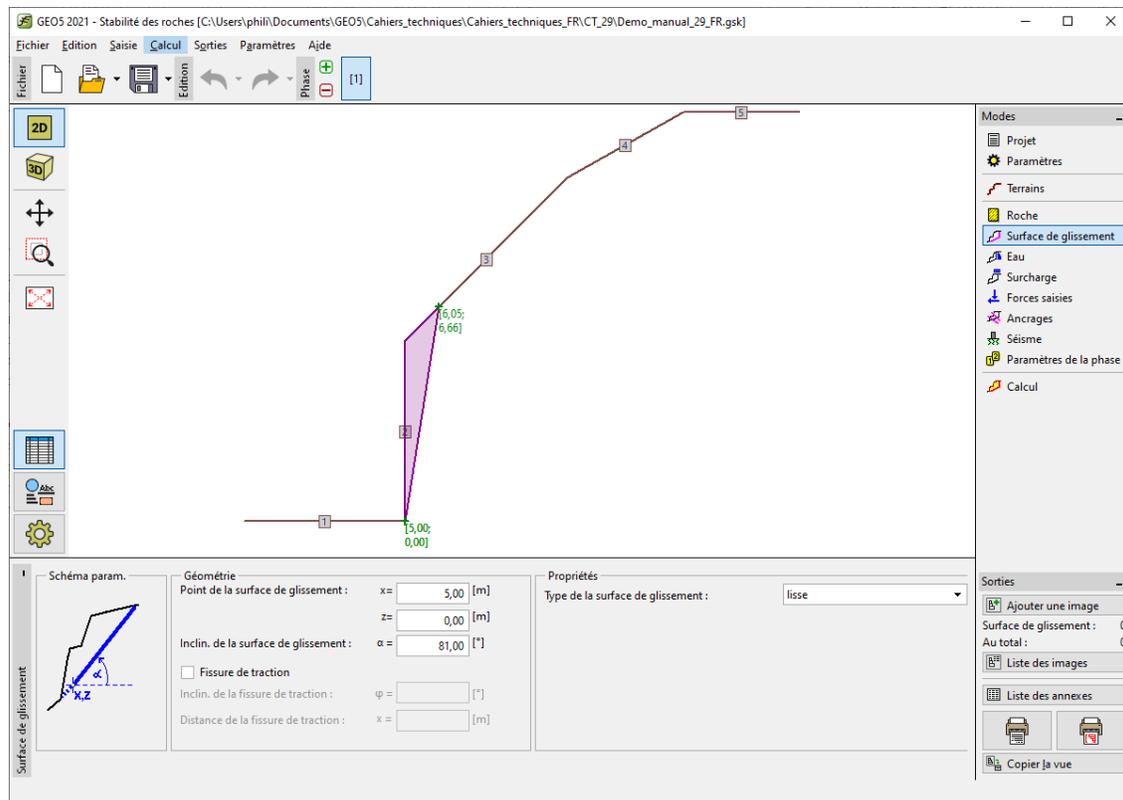


FIGURE 8 – Cadre « Surface de glissement »

3.1.5 Influence des eaux souterraines

L'influence des eaux souterraines est saisie dans le **cadre « Eau »**. Du point de vue hydrogéologique, aucune fracture aquifère n'a été observée sur la paroi rocheuse, nous laissons donc le paramètre par défaut - sans calcul de l'impact de la nappe phréatique.

3.1.6 Saisie de la surcharge

Le **cadre "Surcharge"** permet d'introduire une charge agissant sur la pente rocheuse et le terrain en surface. Un mur-poids en béton armé et une chaussée sont situés au bord de la pente rocheuse. Cette surcharge n'est pas nécessairement considéré comme utile dans le calcul, car elle n'agit pas sur le coin de roche actif.

3.1.7 Paramétrage de la phase de conception

Le **cadre « Paramètres de la phase »** nous permet sélectionner la situation de calcul appropriée pour l'étude. Ici, nous déterminons le coefficient de sécurité de l'excavation de la pente en fonction de la durée de vie de la construction, nous sélectionnons donc la situation de calcul « 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 $SF = 37,75 \gg 1,5$.

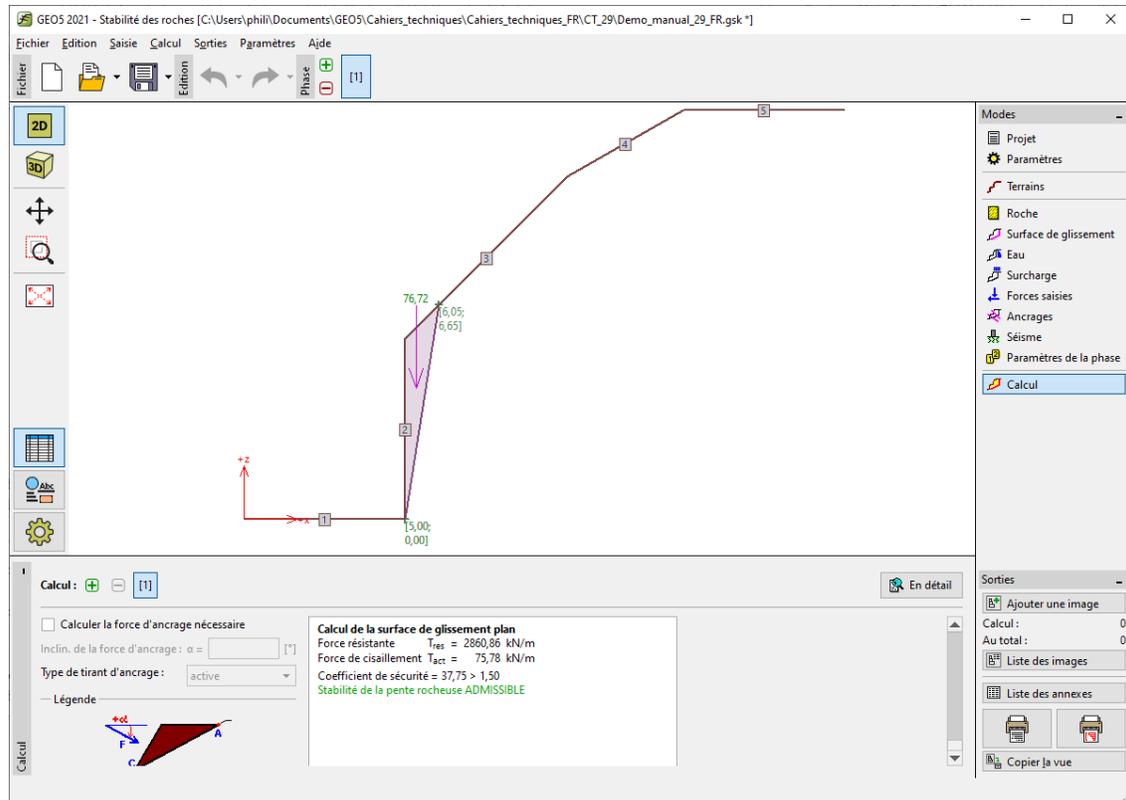


FIGURE 9 – Cadre « Calcul »

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

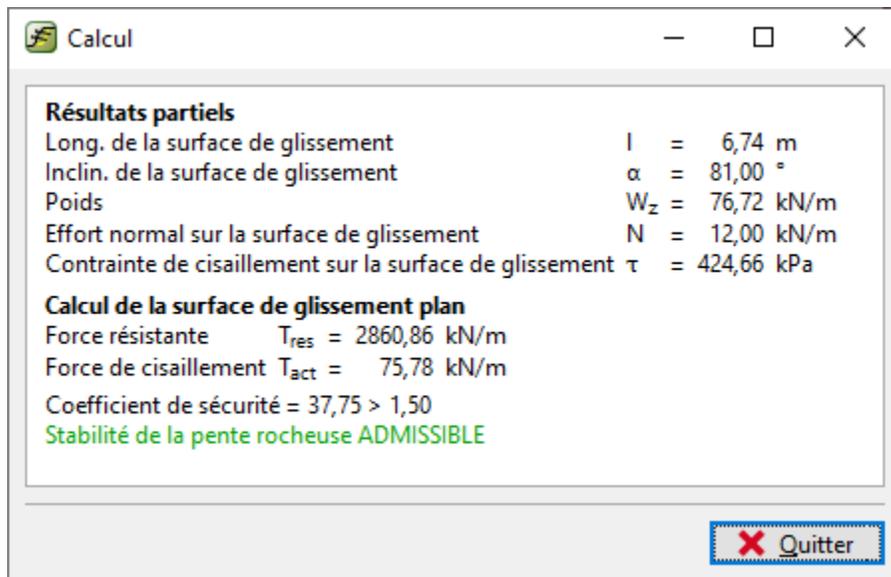


FIGURE 10 – Résultat détaillés du cadre « Calcul »

4 Conclusion

Pour notre étude, nous avons obtenu le coefficient de sécurité $SF = 37,75 \gg 1,5$. Cela signifie que la stabilité à long terme de la pente rocheuse proposée est satisfaisante vis à vis du coefficient de sécurité 1,5 pour une échelle de temps long et ne nécessite pas de mesures supplémentaires pour augmenter sa stabilité. Si l'on craint que l'eau de surface pénètre dans le système de fissures et provoque un changement dans les conditions évaluées de la pente rocheuse, cette crainte n'est pas fondée pour les raisons suivantes :

- le metabasalte, en tant que roche solide, ne sera pas perturbé de manière significative dans les fissures (c'est-à-dire qu'il ne modifiera pas ses paramètres de cisaillement) et, en outre, les fissures ne contiennent pas de matériau de remplissage de nature différente
- l'élévation théorique de la nappe jusqu'au niveau supérieur du coin actif (en raison de la construction future) réduira de façon minimale le degré de stabilité calculé, ce qui peut également être vérifié par le calcul ($SF = 30,58$)
- pour une montée de la nappe irréaliste jusqu'au bord de la paroi rocheuse, on obtient un coefficient de sécurité $SF = 20,32$ qui reste en deçà de l'exigence initiale.