

MÉTHODES DE CALCUL DE STABILITÉ DES TALUS

1. HYPOTHÈSES CLASSIQUES DE LA MÉTHODE DE L'ÉQUILIBRE LIMITÉ

- Le problème est supposé bi – dimensionnel .C'est une hypothèse simplificatrice (assez courante en surface et en volume).
- Il existe une ligne de glissement.
- Le sol est considéré comme ayant un comportement rigide plastique avec le critère de Coulomb.
- La rupture, si elle a lieu, se produit en tout point d'une ligne de glissement continue en même temps (pas de rupture progressive).
- Le coefficient de sécurité « F » traduit l'écart entre l'état d'équilibre et la rupture.

2. DÉFINITION DU COEFFICIENT DE SÉCURITÉ

L'analyse courante de la stabilité consiste, sur la base d'une description à deux dimensions de la pente à étudier les conditions d'équilibre de la masse de sol, supposée monolithique, délimitée par une surface de rupture et soumise aux efforts suivants :

Poids propre du massif, réactions du sol en place le long de la surface de rupture, pressions interstitielles, chargements extérieurs éventuels [5].

En un point de la surface de rupture potentielle, le coefficient de sécurité (local) est défini comme le rapport de la résistance au

Cisaillement du sol τ_{\max} à la contrainte de cisaillement τ s'exerçant réellement sur la surface :

$$F_{\text{local}} = \tau_{\max} / \tau$$

Si $F > 1$, il n'y a pas rupture ;
si $F = 1$, il y a rupture locale.

La résistance au cisaillement (τ_{\max}) est égale à la cohésion non drainée pour les sols fins à court terme. Dans le cas général, elle dépend de la contrainte effective normale σ' selon le critère de rupture de Mohr-Coulomb :

$$\tau_{\max} = c' + \sigma' \tan \phi'$$

Il est donc nécessaire de faire des hypothèses sur la répartition des contraintes normales σ' . Une façon d'évaluer les contraintes de cisaillement τ consiste à écrire qu'elles résultent de l'équilibre limite pour des caractéristiques du sol réduites :

$$\tau = \frac{c'}{F} + \frac{\sigma'}{F} \tan \phi'$$

L'étude de stabilité consiste à rechercher la surface de rupture la plus défavorable (dans une famille donnée, par exemple circulaire), c'est-à-dire dont le coefficient de sécurité est le plus faible : c'est elle qui conditionne la stabilité du versant. On verra que, généralement, un coefficient de sécurité de 1,2 à 1,5 suivant les cas recherchés.

3. Méthodes de calcul de stabilité des talus

Les chercheurs géotechniciens proposent plusieurs méthodes d'évaluation et de prédiction des catastrophes naturelles engendrées par les glissements de terrain.

Les principales méthodes de calcul de la stabilité des talus sont :

- Les méthodes basées sur l'équilibre limite.
- Les méthodes des éléments finis.
- Les méthodes des abaques.

Pour les méthodes sur l'équilibre limite. La mise en équation du problème de l'équilibre d'une masse de sol peut se faire de deux manières :

- a) étudier l'équilibre de l'ensemble de la zone de glissement. La ligne de rupture est la plupart du temps supposé circulaire. C'est la « méthode globale » (méthode de TAYLOR ; de CAQUOT ; de BIAREZ....).
- b) Ou bien on décompose le talus en tranches dont on étudie d'abord l'équilibre individuel, avant de globaliser le résultat en faisant intervenir certaines hypothèses simplificatrices ; c'est la « méthode des tranches » (méthode de FELLENIUS, méthode de BISHOP...).

Les principales méthodes utilisées actuellement :

3.1. Méthode de calcul des glissements plans :

Pour les ruptures planes les calculs sont très simples et des formules peuvent être définies pour obtenir facilement les conditions de stabilité. Ce type d'analyse permet de définir des critères fréquemment utilisées dans la mesure où beaucoup de glissements naturels se produisent le long de discontinuité plane.

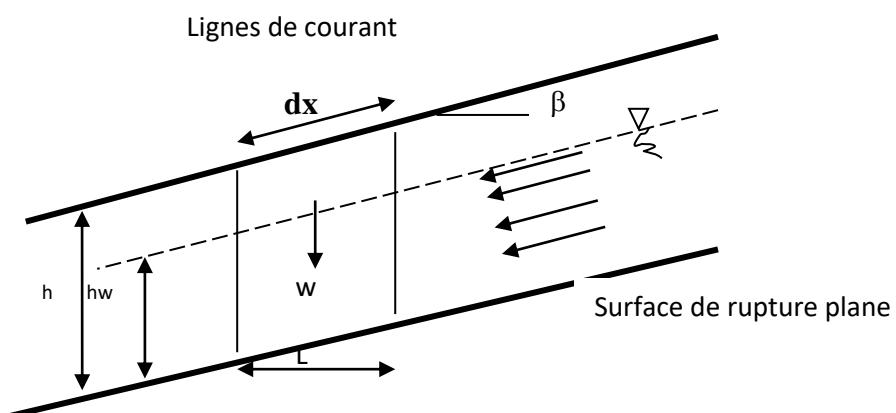


Figure 1 : Glissement plan [5].

Le coefficient de sécurité est donné par l'expression suivante :

$$F_S = \frac{C'L + (W \cos \alpha - U) \tan \varphi'}{W \sin \alpha}$$

Dans laquelle

L : longueur du talus,

β : pente,

W : poids des terres en mouvement,

U : résultante des pressions interstitielles éventuelles,

c' : cohésion effective

φ' : angle de frottement interne effectif .

$$\tau_{max} = c' \frac{dx}{\cos\beta} + (N - U) \tan\varphi'$$

on obtient l'expression suivante pour F:

$$F = \frac{2}{\sin 2\beta} \frac{c'}{\gamma} + \frac{(\gamma_h - \gamma_w) \tan\varphi'}{\gamma h \tan\beta}$$

selon le type de matériau et les conditions hydrauliques, cette expression se simplifie :

- pour un sol pulvérulent

$$F = \frac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$$

- pour un sol à comportement purement cohérent

$$F = \frac{2}{\sin 2\beta} \frac{cu}{\gamma}$$

3.2. Méthode globale

cette méthode s'applique à une argile saturé en condition non drainé c-à-d à court terme

$c = cu$ et $\phi = \phi_u$

$$F = Ms/Mm$$

Tel que :

Ms : Moment stabilisateur qui s'oppose à la rupture

Mm : Moment moteur qui favorise la rupture tel que

$$Mm = W \cdot a$$

$$Ms = Cu \cdot La \cdot R$$

La : longueur d'arc

$$La = \frac{\theta(2\pi R)}{wa} \theta$$

3.3. Méthode des tranches :

Cette méthode consiste à considérer les forces qui tendent à retenir un certain volume de terrain, délimité par les forces libres du talus et une surface de rupture potentielle, et celles qui tendent à la mettre en mouvement.

Soit un cercle quelconque de centre **O** et de rayon **R** pour lequel on vérifie la sécurité vis-à-vis du risque de glissement. La méthode des tranches consiste à découper le volume de sol (compris dans l'arc **EF**) en un certain nombre de tranches limitées par des plans verticaux.

En l'absence d'eau, une tranche (n) est soumise à un poids **W** tel que :

$$W = \gamma_n \cdot h_{sn} \cdot b_n$$

- Les efforts inter-tranches décomposés en efforts horizontaux H_n et H_{n+1} et en efforts verticaux V_n et V_{n+1}
- La réaction R_n du milieu sous-jacent sur l'arc AB (résistance de cisaillement). Elle se décompose en une composante normale et tangentielle

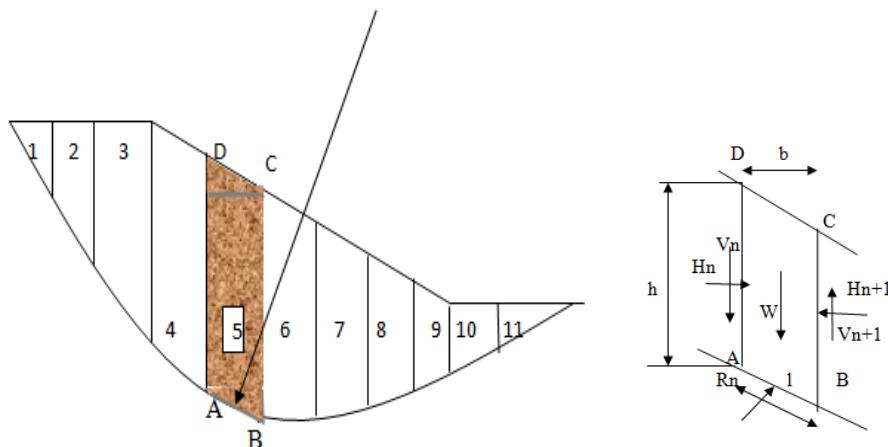


Figure 2: Méthode des tranches [5].

3.3.1. Dans la méthode de FELLENIUS (1936),

Cette méthode néglige les forces qui existent entre les tranches, elle consiste à admettre que, la résultante de H_i et V_i est égale à H_{i+1} et V_{i+1} avec une ligne d'action qui coïncide. Cette résultante parallèle à la base de la tranche. Quand les tranches adjacentes ont différentes inclinaisons de la base, cette hypothèse simplificatrice conduit à des erreurs [9].

Donc l'expression du facteur de sécurité sera :

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^m \left(C_i \frac{b_n}{\cos \alpha_n} + W_n \cos \alpha_n \tan \phi_i \right)}{\sum_{n=1}^m W_n \sin \alpha_n}$$

Les paramètres intervenant dans le calcul de F_S sont donc [10] :

- b , la largeur des tranches ;
- α l'angle orienté que fait le rayon du cercle passant par le milieu de la base de la tranche avec la verticale ;
- la hauteur de la tranche pour le calcul du poids W .

En partant d'une estimation initiale (pour : $F = 1$), et ensuite calcul d'une valeur mise à jour en utilisant l'équation

Ceci doit être répété jusqu'à ce que la valeur de F ne change plus. En général, la procédure converge assez rapidement. Comme les calculs doivent être exécutés par un programme informatique de toute façon (de nombreux cercles doivent être étudiés) les itérations peuvent être facilement intégrées programme.

- ☞ Si $F = 0$ les méthodes Bishop et Fellenius sont identiques.
- ☞ Si $F > 0$ Méthode évêque donne habituellement des valeurs un peu plus faibles [2].

Parce que la méthode Bishop est plus cohérente (équilibre vertical est satisfaite), et il confirme les résultats connus pour des cas particuliers, il est souvent utilisé en géotechnique ingénierie. D'autres méthodes ont été développées, mais les résultats diffèrent généralement que légèrement de ceux obtenus par la méthode de Bishop

3.3.2. Méthode de BISHOP simplifiée (1954) :

Dans cette méthode on considère que :

- La ligne de glissement est toujours de forme circulaire.
- Les efforts verticaux inter-tranches sont nuls ($V_n - V_{n+1} = 0$).

Le facteur de sécurité est donné par la formule suivante :

$$F_S = \frac{\sum_{n=1}^m (c_i b_i + W_n \tan \phi_i)}{m_a \sum_{n=1}^m W_n \sin \alpha_n}$$

avec :

$$m_a = \cos \alpha_i \left[1 + \frac{\tan \alpha_i \tan \phi_i}{F_S} \right]$$

Pour déterminer F_S il faut faire itération et ainsi de suite.

Après trois ou quatre itérations la valeur de F reste la même après le troisième chiffre après la virgule. on peut procéder par itérations successives. La première itération est faite en adoptant comme valeur $F_{S0} = 1$ et on calcule ensuite la valeur de Bishop.

- La méthode de Fellenius donne des résultats pessimistes par rapport à la méthode de Bishop. Les écarts sur F_S peuvent atteindre 10 %. La méthode de Fellenius a l'avantage de simplicité et donc peut être utilisée dans tous les cas courants [10].

