

1.1. Introduction

Les glissements de terrain sont des mouvements affectant les talus et les versants naturels. Ils peuvent être déclenchés par des événements naturels tels que de fortes précipitations, l'érosion, ou des séismes, mais également être induits directement ou indirectement par des activités humaines comme les travaux de terrassement. Ces glissements peuvent causer des dommages significatifs aux infrastructures et constructions.

1.2. Causes de glissement de terrain

La présence d'eau est souvent un facteur déterminant dans les glissements de terrain : des pluies intenses peuvent éroder des pentes, déplacer des matériaux déposés dans les lits des cours d'eau, et déclencher des mouvements de terrain. Les glissements peuvent également être provoqués par des modifications des conditions hydrauliques (par exemple, la vidange d'un réservoir) ou être induits par des séismes.

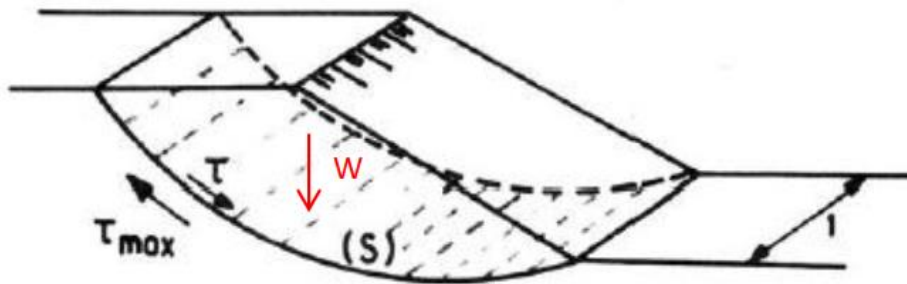
1.3. Classification des glissements de terrain

- Glissements **simples** : Ces glissements affectent généralement des matériaux meubles tels que l'argile ou la marne et se déroulent souvent de manière lente.
- Glissements **rotationnels** : Caractérisés par un basculement de la masse glissante, ils suivent une surface de rupture approximativement circulaire.
- Glissements **plans** : Ils se produisent lorsqu'une surface plane sert de guide à la rupture, permettant un glissement le long de cette surface.
- Glissements **complexes** : Sur des terrains hétérogènes, des glissements complexes peuvent se former, intégrant des segments de mouvements rotationnels et d'autres de mouvements plans.

1.4. Analyse de stabilité

L'analyse de stabilité consiste à comparer la contrainte de cisaillement τ agissant réellement le long de la surface S avec la résistance au cisaillement maximale du sol. τ_{max} La rupture est supposée se produire simultanément en tout point, et le coefficient de sécurité (local) F est défini comme suit :

$$F = \frac{\tau_{max}}{\tau}$$



Si $F > 1$: le glissement ne se produit pas

Si $F \leq 1$: une rupture par glissement est possible

De manière générale, la résistance au cisaillement est définie par :

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

La contrainte de cisaillement pouvant se développer le long de la ligne de glissement est responsable des forces qui mobilisent le poids W , et s'exprime par :

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

Objectif : déterminer la surface de glissement la plus critique, correspondant au coefficient de sécurité minimal.

Les méthodes couramment utilisées pour cet objectif sont :

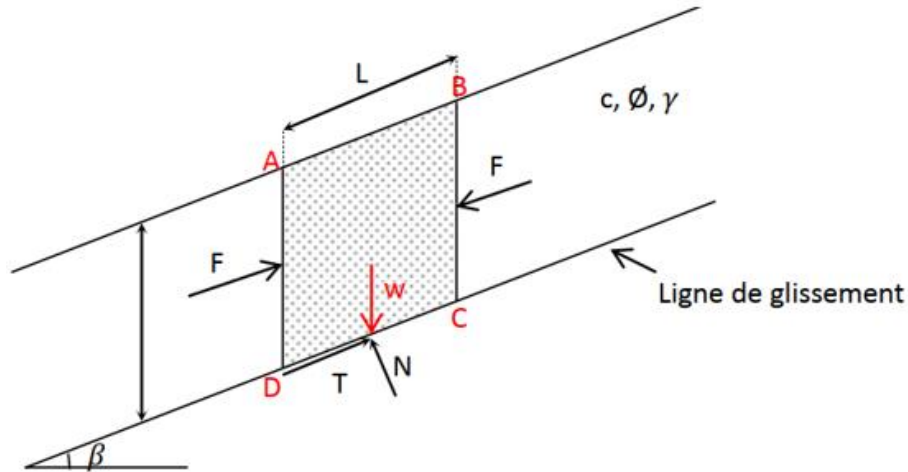
- Le calcul en rupture plane,
- Le calcul en rupture circulaire (méthode des tranches),
- La rupture non circulaire (méthode des perturbations).

1.5. Stabilité des pentes infinies (1910)

La méthode est utilisée pour un milieu homogène avec ou sans écoulement parallèle à l'inclinaison de la pente.

1.5.1. Calcul du coefficient de sécurité en cas de rupture plane (sans présence d'eau)

Pour un talus avec une surface de glissement plane (voir schéma ci-dessous), le coefficient de sécurité F peut être déterminé en analysant l'équilibre des forces appliquées sur une tranche de sol ABCD.



W : le poids de la tranche ABCD

$$W = \gamma L h \cos\beta$$

N et T les réactions normale et tangentielle à la base du bloc,

La force perpendiculaire à la ligne de glissement

$$N = W \cos\beta$$

La force parallèle à la ligne de glissement

$$T = W \sin\beta$$

Donc, les contraintes normales et de cisaillement appliquées sur la ligne de glissement sont :

$$\sigma' = \frac{N}{A} = \frac{\gamma L h \cos^2\beta}{L \cdot 1} = \gamma h \cos^2\beta$$

$$\tau = \frac{T}{A} = \frac{\gamma L h \cos\beta \sin\beta}{L \cdot 1} = \gamma h \cos\beta \sin\beta$$

On a :

$$\tau_{max} = c' + \sigma' \tan\phi' = c' + \gamma h \cos^2\beta \tan\phi'$$

Le coefficient de sécurité $F = \frac{T_{max}}{T}$

$$F = \frac{c + \gamma h \cos^2\beta \tan\phi}{\gamma h \cos\beta \sin\beta} = \frac{c}{\gamma H \cos^2\beta \tan\beta} + \frac{\tan\phi}{\tan\beta}$$

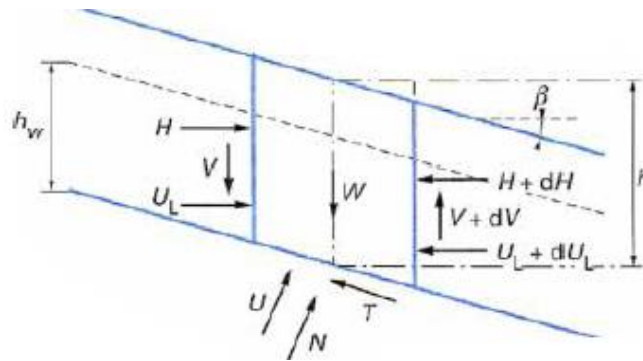
La hauteur H_{cr} critique pour un facteur de sécurité connue est donné par :

$$H_{cr} = \frac{c}{\gamma * \cos^2\beta * (F * \tan\beta - \tan\phi)}$$

1.5.2. Calcul de coefficient de sécurité en rupture plane (avec nappe d'eau)

Pour la même configuration, mais avec une nappe d'eau en surface, le coefficient de sécurité est alors déterminé par la relation suivante :

$$F = \frac{c'}{\gamma * H * \sin\beta * \cos\beta} + \frac{(\gamma * h - \gamma_w * h_w) \tan\phi'}{\gamma * h * \tan\beta}$$



Cas particulier de la nappe :

Pour une nappe d'eau en surface, les formules deviennent :

$$F = \frac{c}{\gamma_{sat} H \cos^2 \beta \tan \beta} + \frac{\gamma' \tan \varphi}{\gamma_{sat} \tan \beta}$$

La hauteur critique est déterminée par la relation :

$$H_{cr} = \frac{c}{\cos^2 \beta * (F * \gamma_{sat} * \tan \beta - \gamma' * \tan \varphi)}$$

Avec : $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$

Pour un matériau purement frottant :

- en l'absence d'eau :

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

- lorsque la nappe affleure en surface ($h_w = h$)

$$F = \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_{sat}}\right) \frac{\tan \varphi'}{\tan \beta}$$

Ce qui donne, pour un sol courant ($\gamma \approx 20 \text{ kN/m}^3$)

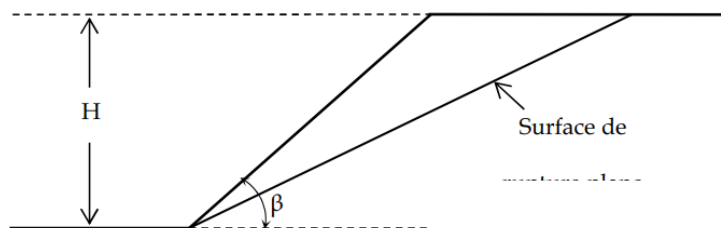
$$F = \frac{1}{2} \frac{\tan \varphi'}{\tan \beta}$$

Pour un matériau présentant un comportement purement cohérent :

$$F = \frac{1}{\cos \beta * \sin \beta} \frac{c_u}{\gamma_{sat}}$$

1.6. Stabilité des pentes finies (Méthode de Culmann, 1886)

Cette méthode est basée sur les hypothèses que la surface de rupture est plane et que le milieu est homogène, sans présence d'eau.



En faisant l'équilibre des forces s'exerçant sur le coin susceptible de glisser, on obtient le coefficient de sécurité et la hauteur critique suivants :

$$F = \frac{4 * c}{\gamma * H} \left[\frac{\sin \beta * \cos \varphi}{1 - \cos(\beta - \varphi)} \right]$$

$$H_{cr} = \frac{4 * c}{\gamma} \left[\frac{\sin \beta * \cos \varphi}{1 - \cos(\beta - \varphi)} \right]$$