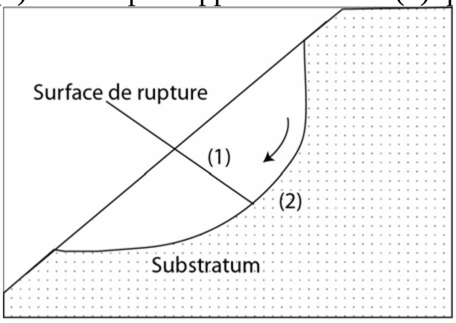
STABILITE DES TALUS (Barrages en terre)

METHODES DE CALCUL DE LA STABILITE DES TALUS

Les méthodes de calcul de stabilité des terrains sont basées sur la constatation suivante : lorsqu'il y a glissement de terrain, il y a séparation d'une masse du sol du reste du massif et son glissement se fait suivant une surface de rupture. Ayant défini une surface de rupture « S », on étudie la stabilité de la masse (1) mobile par rapport au massif (2) qui est fixe (figure I.16).



Définition du coefficient de sécurité

Le calcul de la stabilité des talus est généralement estimé à l'aide d'un coefficient appelé : coefficient de sécurité F_s. Ce coefficient est défini comme étant le rapport du moment par rapport à un point fixe de la résultante des forces résistantes au glissement aux forces provoquant le glissement.

$$F_s = \frac{\sum \text{Moments des forces résistant au mouvement}}{\sum \text{Moments des forces provoquant le mouvement}}$$

Théoriquement, le talus est dit stable si $F_s > 1$. L'état d'équilibre limite (rupture) est obtenu lorsque $F_s = 1$. Mais dans la pratique, le coefficient F_s est compris entre 1,15 et 1,30 en tenant compte des facteurs suivants :

- Les erreurs dues à l'exactitude des méthodes de calcul de la stabilité du bord.
- Les incertitudes expérimentales de la détermination des propriétés physico-mécaniques des roches, comme par exemple la valeur moyenne du poids volumique des roches composant le massif.
- Les incertitudes de la détermination de l'influence de la fissurité.
- L'influence des charges dynamiques provoquées par le tir, par le mouvement des moyens de transport et par les séismes.

Méthodes de calcul de la stabilité

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

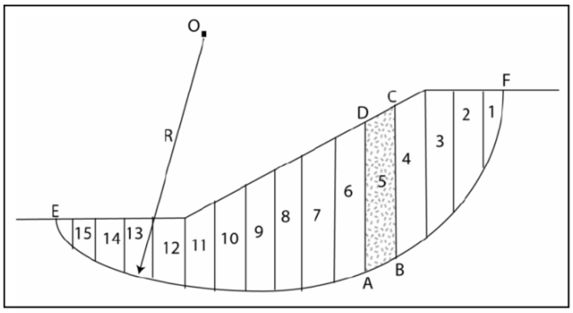
- Les méthodes basées sur l'équilibre limite.
- Les méthodes des éléments finis.
- Les méthodes des abaques.

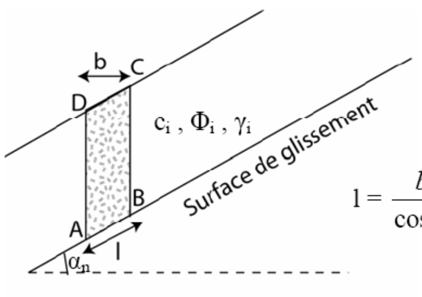
Pour les méthodes sur l'équilibre limite. La mise en équation du problème de l'équilibre d'une masse de sol peut se faire de deux manières :

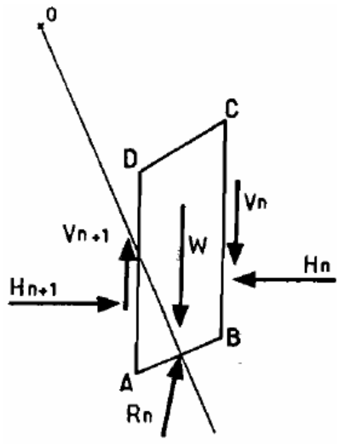
- Ou bien on étudie l'équilibre de l'ensemble de la zone de glissement. La ligne de rupture est ; la plupart du temps supposé circulaire. C'est la « **méthode globale »** (méthode de TAYLOR ; de CAQUOT ; de BIAREZ…..).
- Ou bien on décompose le talus en tranches dont on étudie d'abord l'équilibre individuel,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

Dans ce qui suit, on développera la méthode des tranches, qui sera utilisée dans le cadre de notre cours.

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 – **Figures**







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 :

- Son poids $W = \gamma_n.h_n.b_n$
- 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.

a. Dans **la méthode de FELLENIUS** (1936), appelée aussi méthode suédoise, on considère que :

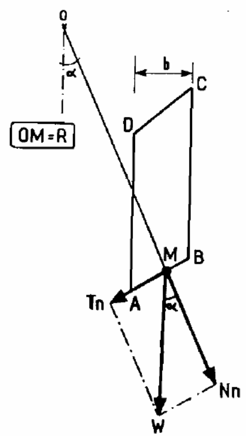
- La ligne de glissement est de forme circulaire
- On néglige totalement les efforts inter-tranches
- La seule force agissant sur l'arc AB est le poids W.

Par rapport au centre O, on peut définir :
- le moment moteur comme celui du poids des terrains W tendant à provoquer le glissement.
- le moment résistant maximal fourni par la valeur maximale que peut prendre la composante tangentielle de R.

D'après la loi de Coulomb :
$R_n = c_n.AB + N_n.\tan\Phi_n$ (1)
Par ailleurs : $N_n = W_n \cos\alpha_n$ (2)
Donc : $R_n = c_n.AB + W_n \cos\alpha_n \tan\Phi_n$ (3)
D'autre part : $AB = l_n = \frac{b_n}{\cos\alpha_n}$ (4)
La somme des moments résistants maximaux s'écrit donc :

$$\sum_{1}^{m} \mathbf{R.}\ (\mathbf{c_i.}\ \frac{b_n}{\cos\alpha_n} + \mathbf{W_n \cos\alpha_n \tan\Phi_i}) \qquad (5)$$

Où : m = nombre total de tranches.
C_i, Φ_i = caractéristiques mécaniques de la couche dans laquelle est situé l'arc AB.
- Le moment moteur est dû à T_n et égal à $\mathbf{T_n.R}$



Par ailleurs : $\mathbf{T_n = W_n \sin\alpha_n}$ (6)	

En remplaçant (19) et (20) dans l'équation (14), on obtient l'expression du facteur de sécurité :

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

Les paramètres intervenant dans le calcul de F_s sont donc :

- 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.

b. 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 :

$F_s = \dfrac{\sum_{n=1}^{m}(c_i b_i + W_n \operatorname{tg}\phi_i)}{m_\alpha \sum_{n=1}^{m} W_n \sin\alpha_n}$	avec $m_\alpha = \cos\alpha_i \,[1 + \dfrac{\operatorname{tg}\alpha_i \operatorname{tg}\phi_i}{F_s}]$

Pour déterminer F_s il faut procéder par itérations successives. La première itération est faite en adoptant, comme valeur F_{s0} le coefficient de sécurité obtenu par la méthode de Fellenius.

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.

- Si on tient compte de la pression interstitielle l'effort N sera remplacé par (N-P)

$$k_g = \frac{\sum(N_i - P_i)\operatorname{tg}(\varphi) + \sum c_i L_i}{\sum T_i} \geq k_g^{adm} = 1.5$$

- Avec l'effort séismique on obtient:

$$k_g = \frac{\sum(N_i - P_i)\operatorname{tg}(\varphi) + \sum c_i L_i}{\sum T_i + a\sum N_i} \geq k_g^{adm} = 1.1$$

RECHERCHE DU CERCLE CRITIQUE

Le cercle critique est défini comme le cercle de glissement ayant le plus petit coefficient de glissement. Comme la méthode d'analyse emploie différentes hypothèses, le cercle critique peut varier d'une méthode à l'autre. Où il est choisi parmi le tri de plusieurs cercles étudiés définis chacun par son centre et son rayon.

Sa recherche consiste à choisir par plusieurs cercles celui ayant le petit coefficient de glissement.

La méthode des droites perpendiculaires

a- Parmi une infinité de centres de cercles de glissement et une infinité de rayons, figure le cercle ayant le plus petit coefficient de glissement connu souvent comme le cercle critique.
b- Pour qu'un talus reste stable, il faut que son cercle critique ait un coefficient de glissement supérieur au coefficient admissible.
c- Du pied du talus aval "o", on porte une droite verticale "oa" égale à la hauteur H du barrage, ensuite une droite horizontale "ab" égale à (4 à 5)H, et du point "b" une droite qui passe par le sommet aval de la crête.
d- Sur cette droite, on porte plusieurs points (o1, o2, ...,on) et pour chaque point on fixe (3à 6) rayons qui passe par une partie du talus et parfois par la fondation. Parmi les coefficients de glissement trouvés, on porte le plus petit sur le centre de son cercle par un segment perpendiculaire.
e- Pour tous les points "oi", on trouve un cercle qui présente une valeur minimale du coefficient de glissement correspondant à un point critique o' sur la droite.
f- Sur une droite perpendiculaire à la première et qui passe par la point o', on refait le même travail, on trouve un deuxième point o". et pour une troisième droite un point o'" jusqu'à ce que deux points successives se coïncident.
g- Le dernier point de cette opération est appelé le centre du cercle critique et le plus petit coefficient de glissement correspondant est appelé le coefficient critique qui doit être supérieur au coefficient admissible.