

## Chap. 5

### STABILITE DES BARRAGES EN TERRE

#### AU GLISSEMENT.

#### 1- Généralité.

##### 1-3 introduction.

Le glissement de terrain peut toucher des talus naturels ou des talus artificiels, la ligne de glissement est quelconque mais pour faciliter les calculs, on l'assimile en général à une forme circulaire. Les causes de glissement peuvent se résumer dans:

- Modification du moment moteur (surcharge).
- Modification des conditions hydrauliques (apparitions d'écoulement, vidange rapide d'un réservoir etc..).
- Modification des caractéristiques géotechniques des matériaux du terrain.

##### 1-4 Rappels.

Les matériaux de construction utilisés dans la construction de barrage en terre peuvent être :

- pulvérulents (sable) et cela lorsque la cohésion est nulle, donc un tel matériau est constitué de grains sans liens entre eux. Ce type de matériau est caractérisé par un angle de frottement interne ( $\varphi$ ) qui est mis en évidence par l'essai de cisaillement.
- Cohérent (argile) avec une cohésion qui n'est pas nulle. Ce type de matériau est caractérisé par un angle de frottement interne ( $\varphi$ ) et une cohésion (C).

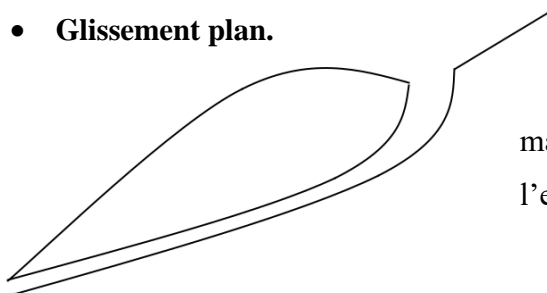
#### 2 Types de mouvements des terrains. 2-1 Talus naturels.

##### • Ecoulements et chutes de pierres.

Ca concerne des chutes de pierres qui se détachent pour s'écrouler vers le bas ou des écoulements de sol généralement saturé par de grandes quantités d'eau.

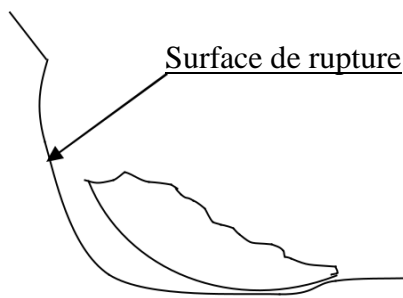
##### • Glissements.

##### • Glissement plan.

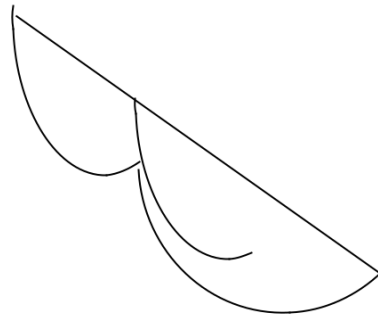


La ligne de rupture suit une couche mince de mauvaises caractéristiques, souvent avec l'action de l'eau, cette couche est appelée « couche savon »

- **Glissement rotationnel simple ou complexe.**



Glissement rotationnel simple.



Glissement rotationnel complexe.

- **Solifluxion.**

C'est un phénomène superficiel qui est dû aux variations volumiques du sol suivant les saisons (gèle, dégel, sécheresse, humidité etc...). Ce phénomène est observé en général dans les pentes constituées d'argile gonflant.

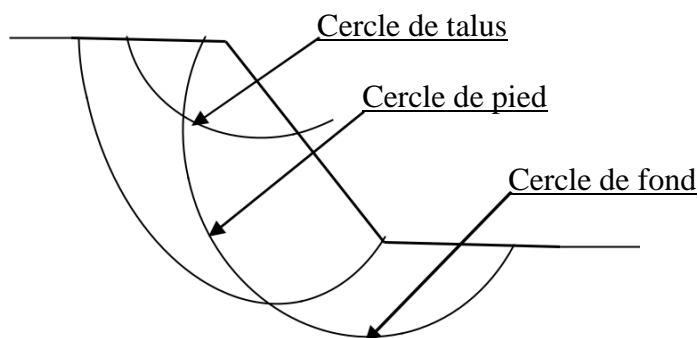
- **Coulées boueuses.**

Ces coulées boueuses sont dues à des écoulements importants d'eau transportant des matériaux solides.

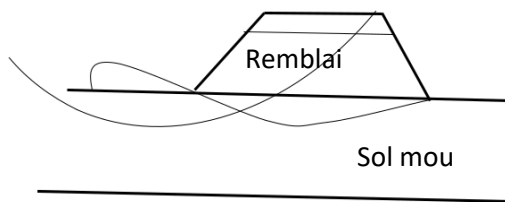
## 2-2 Talus artificiels.

- **Talus en déblai ou remblai sur sol non compressible.**

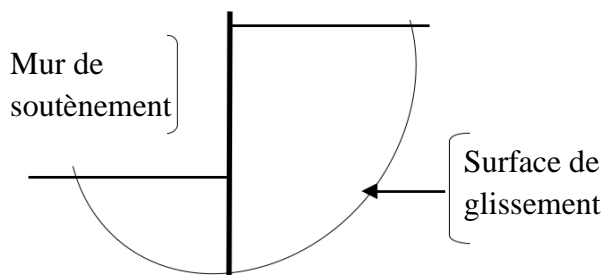
L'allure de glissement peut être circulaire ou rotationnel.



- Talus et remblai sur sol compressible.



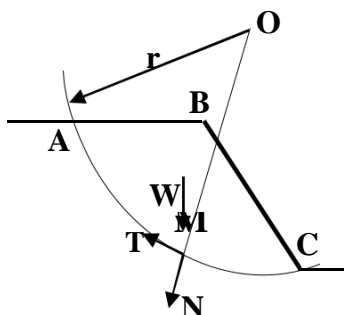
- Glissement sous le soutènement.



### 3 Notions de coefficient de sécurité.

Le tenseur des contraintes de tous les points d'un massif, sont pratiquement impossible à déterminer, d'ailleurs une grande partie du massif reste en équilibre élastique et une mince bande autour de la ligne de glissement passe à l'état d'équilibre plastique.

Il est impossible de déterminer les contraintes dans un talus stable, donc on suppose qu'on se trouve à la limite d'un glissement et on introduit la notion du coefficient de sécurité



La ligne de glissement est représentée sur le dessin par l'arc AMC, et on doit chercher l'équilibre de la masse délimitée par ABCMA. Normalement plusieurs forces s'appliquent à cette masse, mais dans ce cas on se limite

A la seule force de pesanteur  $W$ . cette force développe

Un moment moteur qui tend à provoquer le glissement, et pour équilibrer ce moment moteur, des contraintes de cisaillement se développent, le long de la ligne de glissement.

$$\text{Soit : } r \int_c^A \tau \cdot ds$$

Avec :  $d$  – surface élémentaire.

$\tau$  – contrainte de cisaillement.

$r$  - rayon du cercle de glissement.

Puisque le talus est en équilibre donc la distribution des contraintes tangentielles n'est pas critique et on dispose d'une certaine marge de sécurité qu'on peut apprécier par un coefficient de sécurité au glissement  $F_s$ . généralement, on recommence l'opération plusieurs fois et on recherche la surface par laquelle passe un cercle qui donne le coefficient de sécurité minimal.

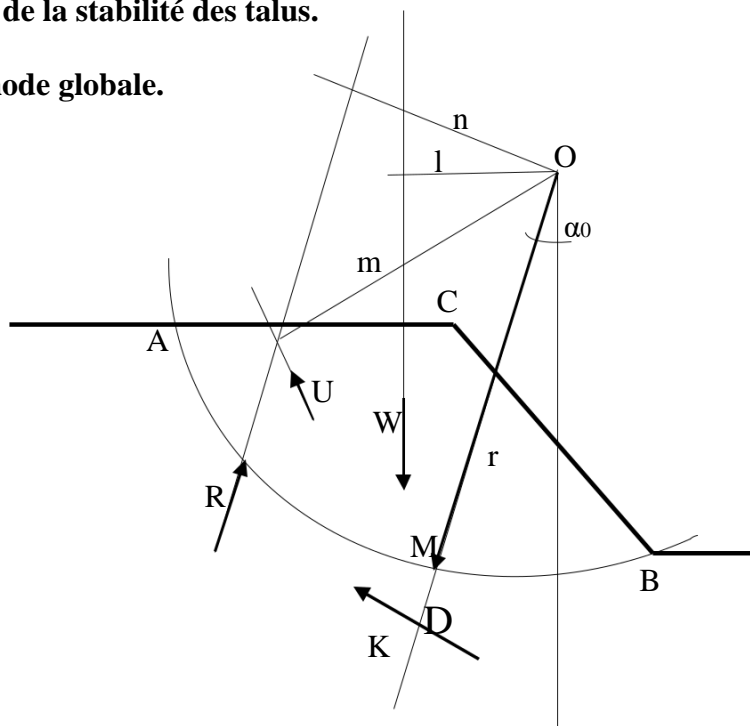
Ainsi, si l'équilibre est réalisé sur la ligne de glissement, on peut écrire:

$$F_s = \frac{\text{Moment des Forces stabilisatrices}}{\text{Moment des Forces Motrices}} = 1$$

Mais en général, pour plus de sécurité ce coefficient  $F_s$  est toujours pris supérieur à l'unité.

#### 4 Calcul de la stabilité des talus.

##### 4-1 Méthode globale.



Les forces qui s'appliquent au contour CBMA, sont :

- Le poids des terres  $W$ .

- La force transmise par la nappe d'eau U.
- Les contraintes le long de la ligne de glissement

AMB. Au point M on a :

$$c'' = \frac{c}{F} \quad \text{Avec : } c'' - \text{contrainte de cohésion.}$$

$$f'' \text{ Contrainte de frottement tel que } \operatorname{tg} \varphi'' = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{F} \quad \text{Avec : } F \text{ coefficient de frottement.}$$

La résultante des forces élémentaires agissant le long de la ligne de glissement peut se décomposer en deux forces :

$K'$  - effet de la cohésion.

$K''$  - effet de des frottements.

- $R$  - résistance sur la ligne de glissement.

Pour que la zone ACBMA soit en équilibre, il faut que l'ensemble des forces est une résultante nulle et la sommes des moments de ces forces soit nulle.

$$\begin{aligned} & \rightarrow \quad \rightarrow \quad \rightarrow \quad \rightarrow \\ & \triangleright \quad \mathbf{W + U + K'' + R = 0} \\ & \triangleright \quad \mathbf{W.l - U.m - R.n - 2\alpha \cdot r^2 \frac{C}{F} = 0} \end{aligned}$$

On constate ce qui suit :

- $\vec{W}$  ;  $\vec{U}$  - sont parfaitement connues.
- $\vec{K}''$  - est connue si on se fixe F.
- On ne connaît pas la distribution des contraintes le long de l'arc AMB.
- On ne connaît pas la direction et l'intensité de  $\vec{R}$ .

Plusieurs méthodes sont employées pour calculer la stabilité des talus, elles sont toutes fonctions des hypothèses et manières de définir les deux derniers points des constatations ci-dessous.

Parmi ces méthodes on cite les plus employées:

- méthode de Biarez.
- Méthode de Taylor et Caquot.

#### 4-2 Méthode des tranches.

- **Présentation du problème.**

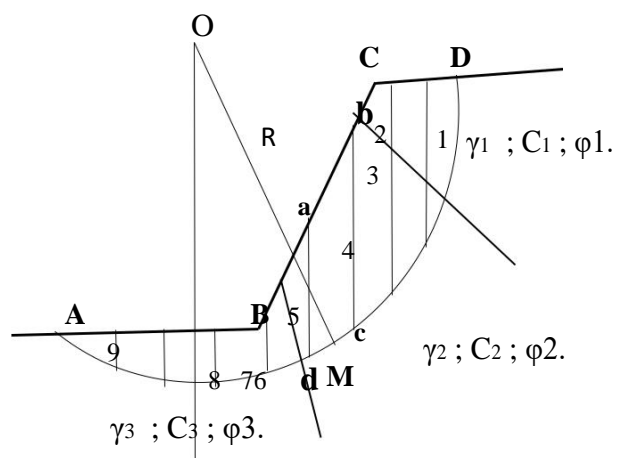
Sachant que la majorité des talus sont hétérogènes (surtout les barrages), donc l'étude de leur stabilité ne peut se faire par la méthode globale comme pour les masses homogènes. Ainsi on peut utiliser une méthode où le massif est divisé en petits volumes élémentaires simples avec une ligne de glissement simple se développant dans un milieu plus au moins homogène.

Ainsi apparaît la méthode « dite Suédoise », par Peterson (en 1916), elle sera développée pour des ruptures circulaires par Fellenius (en 1927), pour être bien perfectionnée par Bishop (1965). Il existe aussi une méthode de Nonvier pour des lignes de glissement quelconques.

- **Principe de la méthode.**

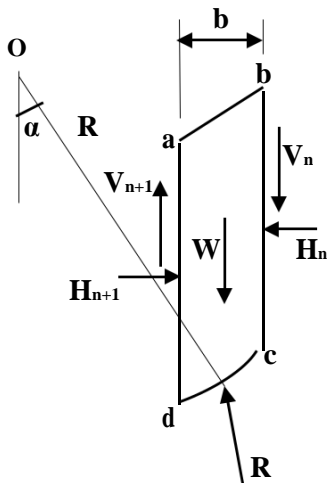
Si on considère un talus constitué d'un certain nombre de couches de sol de caractéristiques:  $\gamma_i$  ;  $C_i$  ;  $\phi_i$ .

Si on considère un cercle quelconque de centre (O) et de rayon (r) pour lequel on cherche à déterminer le coefficient de stabilité au glissement. la méthode consiste à découper le secteur ainsi formé en tranches verticales.



On procède à l'étude de la tranche abcd.

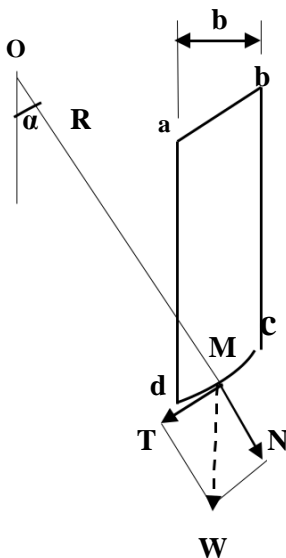
Le bilan des forces qui agissent sur cette tranche sont :



- Le poids  $W$
- La réaction sous-jacente  $R$ .
- Les réactions sur les faces horizontales  $H_n$  et  $H_{n+1}$ .
- Les réactions sur les faces verticales  $V_n$  et  $V_{n+1}$

#### • Méthode de Fellenius.

Dans cette méthode on fait l'hypothèse où la seule force à considérer dans les calculs est le poids de la tranche.



Si on décompose le poids  $W$  en force normale  $N$  et en force tangente  $T$ , nous aurons la force qui tend à provoquer le glissement serait,  $T$ , avec un moment moteur de  $T.R$

Et celle qui résiste à ce glissement serait,  $C.dl + N.tg\phi$  avec un moment résistant de,  $R.(C.dl + N.tg\phi)$ .

Donc le coefficient de stabilité pour toute la zone délimitée par ABCDMA serait:

$$F_s = \frac{\sum R.(C.dl + N.tg\phi)}{\sum R.T}$$

$$F_s = \frac{\sum (C.dl + N.tg\phi)}{\sum T}$$

L'arc du cercle étant très petit, on peut l'assimiler à un segment de droite, ce qui nous donne en définitif.





$$F_s = \frac{\left( \sum_i \left[ \frac{C \cdot b}{\cos(\alpha)} + \left( W \cos(\alpha) - \frac{U \cdot p}{\cos(\alpha)} \right) \cdot \text{tg } \varphi \right] \right)}{\sum W \cdot \sin(\alpha)}$$

Cas de l'absence du séisme.

$$F_s = \frac{\left( \sum_i \left[ \frac{C \cdot b}{\cos(\alpha)} + \left( W \cos(\alpha) - \frac{U \cdot p}{\cos(\alpha)} \right) \cdot \text{tg } \varphi \right] \right)}{\sum W \left[ \sin(\alpha) + \frac{1}{R} \cdot a \right]}$$

Cas de présence du séisme.

**p**- bras de levier de la force de pression.

Pour le calcul manuel du coefficient de sécurité au glissement on peut adopter le modèle du tableau suivant :

Cercle N°... ...	Coordonnées du centre du cercle : x=.... y=.....										Rayon. R=.....	
N° de tanche.	W	α	W. cos(α)	W. sin(α)	C.b/ cos(α)	U	p	Up/ cos(α)	Tg(φ)	[Wcos(α) - Up/ cos(α)]. Tg(φ)	W[sin(α) + a.1/R]	
1												
2												
3												
n												
total			Σ	Σ	Σ			Σ		Σ	Σ	F <sub>s</sub> =...

- **Méthode de bishop.**

- Méthode détaillée.

$$F_s = \frac{1}{\sum W \sin(\alpha)} \sum \frac{[W + (V_n - V_{n+1}) - U \cdot b] \cdot \text{tg}(\varphi) + cb}{\cos(\alpha) + \sin(\alpha) \cdot \frac{\text{tg}(\varphi)}{F_s}}$$

Le calcul de  $F_s$  se fait par approximations successives en définissant  $V_n$  et  $V_{n+1}$ , après avoir fait des hypothèses.

- Méthode simplifiée :

$$F_s = \frac{1}{\sum W \sin(\alpha)} \sum \frac{[W - U \cdot b] \cdot \text{tg}(\varphi) + cb}{\cos(\alpha) + \sin(\alpha) \cdot \frac{\text{tg}(\varphi)}{F_s}}$$

#### 4-3 Cas d'étude de la stabilité des barrages en terre.

- **Fin de construction.**

A la fin de la construction du barrage, les matériaux utilisés se trouvent encore à l'état mécanique des taux de compactage et il faut s'assurer que dans cette situation, le barrage serait stable au glissement, généralement on vérifie la stabilité du talus aval.  $F_{s(adm)}=1,5$ .

- **Régime permanent.**

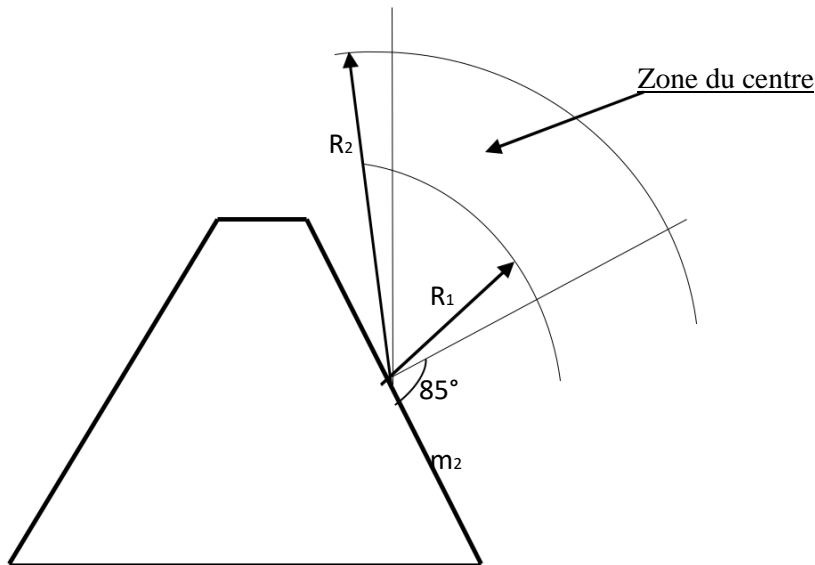
Dans, ce cas le talus le plus exposé au glissement est le talus aval. Dans ce cas l'étude se fera avec réseau d'écoulement et vérifié avec et sans séisme.  $F_{s(adm)}(\text{avec séisme})=1.05$  ;  $F_{s(adm)}(\text{sans séisme})=1.5$ .

- **Vidange rapide.**

Dans ce cas le talus le plus exposé au glissement est le talus amont, on doit tracer le réseau d'écoulement qui s'inverse dans une grande partie du massif.  $F_{s(adm)}=1.05$ .

#### 4-4 Zone du centre du cercle critique.

La zone où se situe le centre du cercle critique ne peut être connue avec précision, néanmoins des méthodes d'approches sont proposées par des chercheurs sans l'unanimité parmi tous les spécialistes de barrages. On cite parmi ces méthodes celle de Fadeev.



Dans cette méthode, il est proposé de rechercher le centre du cercle critique dans la zone ainsi délimitée, avec les rayons des deux arcs pris sur le tableau suivant:

Pente $m_2$	1	2	3	4	5	6
$R_1/H_b$	0,75	0,75	1,0	1,5	2 ;2	3 ;0
$R_2/H_b$	1,5	1,75	2,5	3,75	4,8	5,5