

## Chapitre IV: Les glissements de terrain et les méthodes de confortement

### IV.1. Introduction

Les problèmes de stabilité de pentes se rencontrent fréquemment dans la construction des routes, des canaux, des digues et des barrages. En outre certaines pentes naturelles sont ou peuvent devenir instables. Une rupture d'un talus peut être catastrophique et provoquer des pertes en vies humaines ainsi que des dégâts naturels considérables.

Un mouvement de terrain est un déplacement, plus ou moins brutal, du sol ou du sous-sol sous l'effet d'influences naturelles (agent d'érosion, pesanteur, séisme, etc.) ou anthropiques (exploitation de matériaux, déboisement, terrassement, etc.). Ce phénomène comprend diverses manifestations, lentes ou rapides, en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux considérés et de leur structure. Les glissements de terrain sont des accidents graves, parfois de grande ampleur, se produisent soudainement ou peuvent durer plusieurs mois. Ils affectent aussi bien des ouvrages construits par l'homme que des pentes naturelles.

Les mouvements de terrain sont très variés, par leur nature (glissements de terrains, éboulements rocheux, coulées de boues, effondrements de vides souterrains, affaissements, gonflement ou retrait des sols, ...etc) et par leur dimension (certains glissements, peuvent atteindre plusieurs dizaines de millions de m<sup>3</sup>).

Dans la pratique cependant, les choses sont très complexes du fait des incertitudes sur:

- Les conditions initiales, notamment en profondeur.
- Les propriétés mécaniques des terrains, en général hétérogènes, non linéaires, anisotropes, discontinus, ...
- Les conditions hydrauliques : position de la nappe, phénomènes se produisant en zone non saturée. L'eau est la cause déclenchante de la plupart des mouvements; c'est un facteur variable dans le temps.

### IV.2. Classification des mouvements de terrain

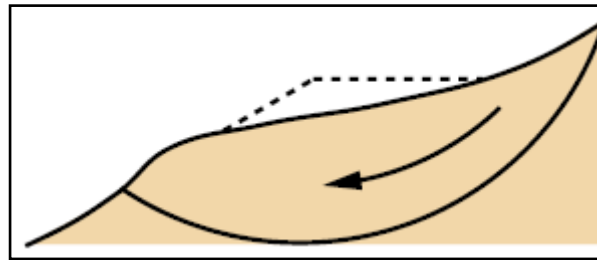
#### IV.2.1. Types de rupture

La stabilité des pentes intéresse aussi bien les pentes naturelles que les talus artificiels. Toute étude de cette dernière doit être précédée d'une reconnaissance géologique très fine qui nous permet de mettre en évidence des hétérogénéités locales, et d'autres facteurs (pendage des couches, circulations d'eau,...etc.). La classification n'est pas une fin en soit, mais un moyen de dénombrer les principaux types de mouvements.

Dans leur construction et leur fonctionnement, les talus subissent des conditions de chargement variées. Nous pouvons classer les types de rupture liés aux mouvements de terrains, en deux groupes; ceux associés aux pentes naturelles et ceux des talus artificiels.

#### IV.2.1.1. Pententes naturelles

Il s'agit des talus existants, peu homogènes et présentant des variations géologiques et éventuellement des discontinuités. Les accidents observés dans ce cas montrent qu'il est possible de classer les instabilités de terrain en trois grandes familles :



**Fig.IV.1.** Exemple d'un mouvement de terrain

- Les glissements qui se caractérisent par l'apparition de surfaces de cisaillement relativement bien définies à l'intérieur du milieu. La forme de surface de rupture observée permet de classer ces glissements en trois catégories : plane, circulaire (glissement rotationnel simple ; glissement rotationnel complexe), et quelconque.
- Les écoulements et les coulées boueuses qui se caractérisent par une déformation et un écoulement de type visco-plastique ou fluide.
- Les éboulements (par perte de la cohésion, fluage).

La majorité des glissements observés se rattache assez correctement à l'une des familles précédentes. La première famille étant la plus répandue.

#### IV.2.1.2. Talus artificiels

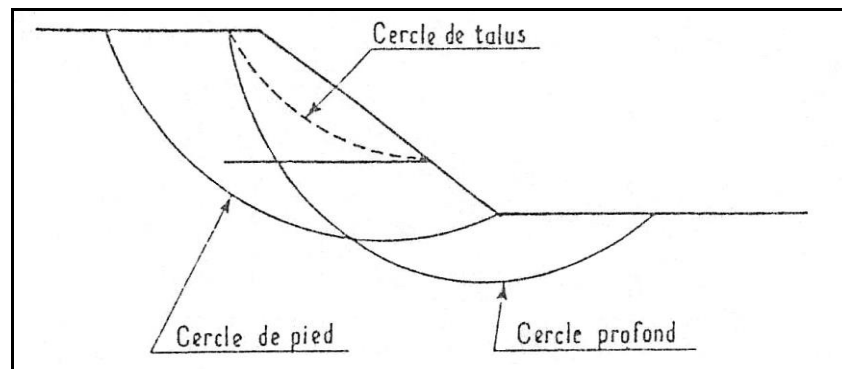
Les talus artificiels sont essentiellement affectés par des glissements et parfois par des phénomènes de fluage. On peut les classer en fonction des types d'ouvrages :

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

##### a) Talus en déblai et talus en remblai sur sols compressibles

Les ruptures ont d'une façon générale, l'allure de glissements rotationnels circulaires; On distingue :

- Les cercles de talus se produisent généralement dans les sols hétérogènes, la base du cercle correspondant à une couche plus résistante.
- Les cercles de pied (sont les plus courants dans ce type d'ouvrage).
- Les cercles profonds ne se produisent que dans le cas où le sol situé sous le niveau du pied du talus est de mauvaise qualité.



**Fig. IV.2.** Différents types de rupture circulaire

### IV.3. Notions sur les glissements de terrain

#### IV.3.1. Définition des glissements de terrain (Landslides)

Les glissements affectent les sols ; ces mouvements ont lieu le long d'une surface de sol définie dans des terrains meubles (plus particulièrement argileux), autrement dit dans des sols par opposition aux roches. Les vitesses de rupture sont variables; dans certain cas, la rupture est précédée par de signes annonciateurs, dans d'autres cas, elle est brutale.

Le mouvement est engendré par l'action de la gravité, des forces extérieures (hydrauliques, ou sismiques), ou d'une modification des conditions aux limites. Leur vitesse est variable, plus les glissements de terrain sont superficiels, plus la fissuration des sols est visible en surface.

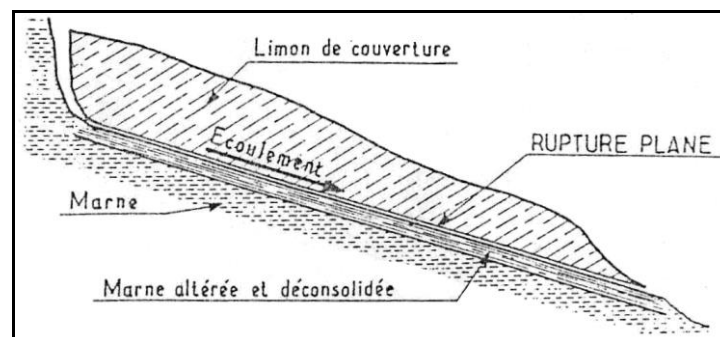
Les indices caractéristiques pouvant être observés dans les glissements de terrain sont généralement la formation d'une niche d'arrachement, des fissurations, des bourrelets (au pied), des arbres basculés ou tordus, des zones de rétention d'eau.

#### IV.3.2. Types des glissements de terrain

La forme de la surface de rupture permet de définir deux grandes catégories de glissements :

##### IV.3.2.1. Glissement plan

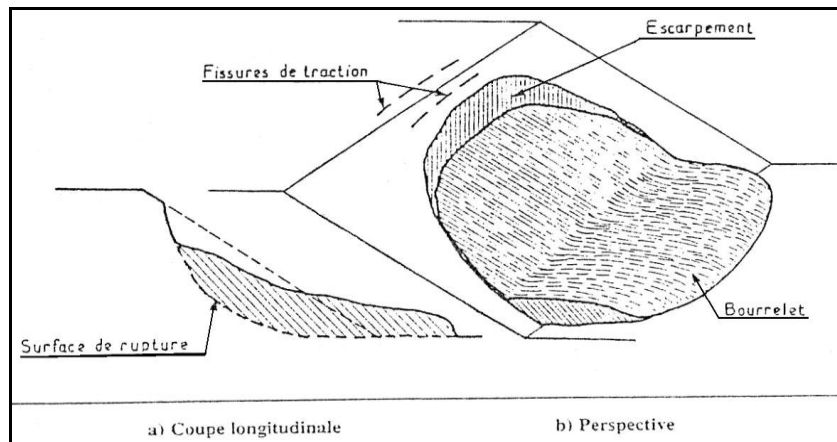
En général, la ligne de rupture est une couche mince de mauvaise qualité sur laquelle s'exerce souvent l'action de l'eau. Une telle couche est appelée "couche savon" (**Fig. IV.3**).



**Fig. IV.3.** Schéma d'un glissement plan

#### IV.3.2.2. Glissement rotationnel simple

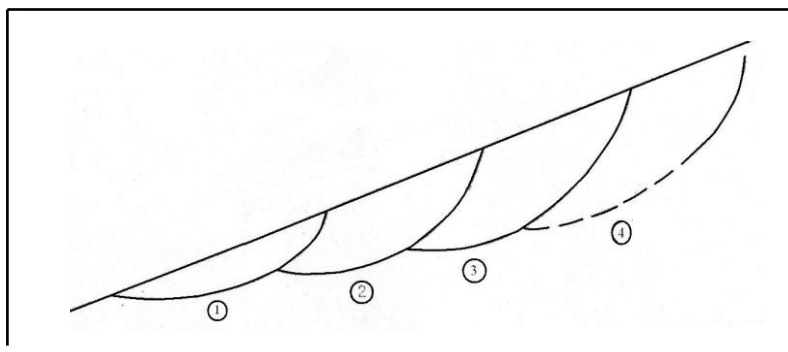
C'est le type de glissement le plus fréquent. La surface de rupture présente une forme simple et peut être assimilée à une portion de cylindre (**Fig.IV.4**) dans la plus part des cas. L'analyse du risque de rupture par le calcul est alors abordable par des méthodes classiques.



**Fig.IV.4.** Schéma d'un glissement rotationnel

#### IV.3.2.3. Glissement rotationnel complexe (ou glissement quelconque) :

Un glissement rotationnel complexe est un glissement multiple «**emboîtés**» les uns dans les autres. L'apparition du premier glissement, en bas de la pente, provoque une perte brutale de butée pour les terres situées au dessus, et aussi des glissements successifs remontant vers l'amont (**Fig. IV.5**).



**Fig.IV.5.** Glissements successifs emboîtés.

Dans un très grand nombre de cas, il faut cependant noter que les glissements ne se réduisent pas à l'un ou à l'autre de ces types, mais résultent d'une composition plus ou moins complexe des deux.

En considérant la longueur du glissement (L) et son épaisseur (D), **Hutchinson** et **Skempton (1969)** sont parvenus à définir un critère pour différencier les deux types de glissement :

- Si  $D/L < 0,15$ , le glissement de translation prédomine.
- Si  $0,15 < D/L < 0,35$ : on considère que la rupture a lieu par rotation.

### IV.3.3. Principaux causes des glissements de terrain

La manifestations des glissements de terrain résulte généralement de la combinaison des facteurs aggravants (permanentes) ou déclencheurs, que l'on décrit ci-dessous :

#### IV.3.3.1. Facteurs conditionnants

Les facteurs conditionnants sont ceux qui déterminent les conditions de stabilité ou d'instabilité du versant :

- **La lithologie** : représente un facteur conditionnant majeur dans la stabilité des versants. Elle étudie les caractéristiques mécaniques d'un matériau, sa perméabilité, son état d'altération conditionne la pente limite d'équilibre et l'occurrence du mouvement.
- **La pente** : est l'un des facteurs déterminants dans le mode de formation des glissements de terrain. En effet, pour qu'une rupture puisse se produire sur un versant, il faut qu'il y ait l'intervention de la gravité accompagnée d'un appel au vide. Ce phénomène ne pouvant prendre naissance sur des terrains plats, la prise en compte du degré de pente des versants et des couches est d'une importance capitale.
- **Le relief** : par sa composante altimétrique représente aussi l'un des facteurs les plus déterminants dans la genèse des glissements de terrains. Ainsi, plus que l'altitude augmente, plus le risque d'occurrence de mouvement de terrain est présent.
- **La structure géologique** : le pendage, la présence de joints de stratification, de plis, de schistosité constituent des zones de faiblesse dans un massif.
- **Proximité du réseau de drainage** : est généralement liée au phénomène d'érosion hydrique parmi lesquels on trouve les sapements de berges. Ce phénomène se développe généralement dans les portions des cours d'eau où la vitesse d'écoulement est suffisamment puissante pour éroder la partie basale d'un versant.
- **L'activité tectonique récente à actuelle** : peut conditionner ou déclencher un mouvement de masse au niveau de la zone de broyage des failles (cisaillements et/ou décrochements) formée de matériaux fragilisés. L'occurrence des mouvements de masse se trouve généralement accentuée à proximité des résurgences.

#### IV.3.3.2. Facteurs déclenchants

Les facteurs déclenchants engendrent les mouvements par changements rapides des conditions du versant définies par les facteurs déterminants :

- **L'eau**, déclencheuse et accélératrice de glissement : lorsque l'eau s'infiltre dans le sol, elle prend la place qu'occupait l'air dans les interstices. L'eau étant plus lourde que l'air, elle peut surcharger le sol, favorisant la gravité et compromettant la cohésion.
- **les précipitations** : tiennent un rôle direct dans le déclenchement des mouvements de masse. En effet, la pluviométrie agit directement sur le déclenchement des mouvements de masse en diminuant la résistance au cisaillement et en rendant les terrains gorgés d'eau plus plastiques ; ce qui a pour conséquence directe le déplacement de la masse sous son propre poids.
- **L'hydrogéologie** : les infiltrations et les circulations d'eau dans le sol contribuent largement au déclenchement des glissements de terrain en modifiant les caractéristiques des matériaux et en entraînant une pression interstitielle dans le sol.

- **La végétation** : la couverture végétale joue un rôle très important dans la stabilité des talus qui peut être favorable (les racines augmentent la cohésion du sol), ou défavorable (l'effet du vent sur les arbres qui constitue un effort moteur, l'effet de levier qui peut arracher les arbres et laisser des vides dans le sol, l'érosion de la roche...), de plus, elle peut nous renseigner sur la position de la nappe.

- **Le réchauffement climatique** : le climat, va jouer sur l'instabilité. Les cycles de gel/dégel, les précipitations intenses ou continues sur une longue durée, vont avoir un impact sur le terrain et amener à des glissements.

- **Séismes et vibrations** : la mise en vibration des éléments du sol peut être à l'origine de la déstabilisation des masses en place. Les mouvements de terrain de très grandes amplitudes peuvent être déclenchés par les séismes, particulièrement dans les zones fortement sismiques.

- **Actions anthropiques** : on peut citer :

- ✓ Les surcharges : Le déclenchement peut intervenir en jouant directement sur la force motrice par effet de surcharge gravitaire. Cette surcharge résulte d'un stockage naturel de matériaux sur le versant instable.
- ✓ La modification de l'hydrologie : la modification des apports en eau par une activité humaine peut créer ou aggraver le risque de glissement de terrain.
- ✓ L'influence des travaux : les opérations de terrassement, lors des chantiers de construction, peuvent entraîner la suppression d'une butée de pied, stabilisatrice d'une masse de terrain, ou l'augmentation de la pente faite de matériaux suffisamment incohérents pour cette nouvelle topographie. De même, une opération de remblaiement en partie supérieure d'un versant engendre une surcharge qui peut déclencher ou aggraver un glissement.

#### IV.3.4. Classification des glissements de terrain

Il existe nombreuses classifications des glissements de terrain basées sur différents critères : vitesse, cinématique, morphologie de la rupture, profondeur...etc.

##### IV.3.4.1. Selon la vitesse

La vitesse moyenne des glissements de terrain atteint le plus souvent quelques millimètres par an pour un glissement sub-stabilisé et très lent, et quelques centimètres à quelques décimètres par an pour un glissement actif (Varnes, 1978).

La vitesse de glissement d'un terrain permet de distinguer les glissements permanents et les glissements spontanés.

- **Glissement de terrain permanent** : Le mouvement est régulier vers l'aval sur une longue période, la masse se déplace le long d'une surface de glissement existante.
- **Glissement de terrain spontané** : Le mouvement terrain meuble et/ou de roche est relativement rapide vers l'aval suite à un déclenchement subit ; contrairement au glissement permanent. Ce glissement forme toujours une nouvelle surface de glissement ou zone de rupture (coulée de boue par exemple).

Le tableau IV.1 suivant présente les classifications selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme :

**Tab.IV.1.** Classification selon la vitesse moyenne de glissement à long terme (Varnes, 1978).

Glissement	Vitesse
Substabilité, très lent	0-2cm/an
Peu actif, lent	2-10cm/an
Actif	>10cm/an

#### IV.3.4.2. Selon la profondeur de la surface de rupture des glissements

Les glissements peuvent être classés selon la profondeur estimée de la surface de rupture (Varnes, 1978), car lors l'évaluation du danger potentiel que représente un glissement, on ne doit pas seulement considérer son volume ou sa vitesse, il faut aussi tenir compte des mouvements différentiels qui peut se manifester et entraîner au basculement des bâtiments ou à l'apparition de fissures.

Le tableau IV.2 suivant présente les différentes valeurs de classification selon la profondeur de la surface de glissement.

**Tab.IV.2.** Classification selon la profondeur de la surface de glissement (Varnes, 1978).

Glissement	Profondeur de la surface de rupture
Glissement superficiel	0-2m
Glissement profond	2-10m
Glissement semi profond	10-30m
Glissement très profond	>30m

En fonction de la profondeur de la surface de rupture (Tab.IV.2), on distingue :

##### a. Glissement superficiel

Dus à des pics de pression interstitielle. Ils peuvent également être modifiés indirectement par les changements climatiques.

##### b. glissement semi profond

Où la profondeur est comprise entre 2m à 10m.

##### C. Glissement profond

Les glissements profonds se rapportent à des phénomènes d'instabilité de plus grande ampleur, qui peut affecter l'ensemble d'un versant.

#### IV.4. Calcul de stabilité

Parmi les méthodes de calcul à la rupture on a :

- Les méthodes globales qui ne conviennent que pour des profils de talus simple en sol homogène et isotrope.
- Les méthodes par tranches, qui sont plus souple, le talus est partagé en tranche Verticales, profil de talus non rectiligne, hétérogénéité du sol, la ligne de glissement quelconque.

Cette dernière s'appelle aussi « méthode suédoise » due à **Petterson (1916)** développée pour les ruptures circulaires par **Fellenius (1927)**, perfectionnée par la suite par **Bishop en 1954**, étendue enfin aux ruptures non circulaires par **Nonveiller en 1965**.

### 1) Stabilité en rupture circulaire avec coefficient de sécurité global

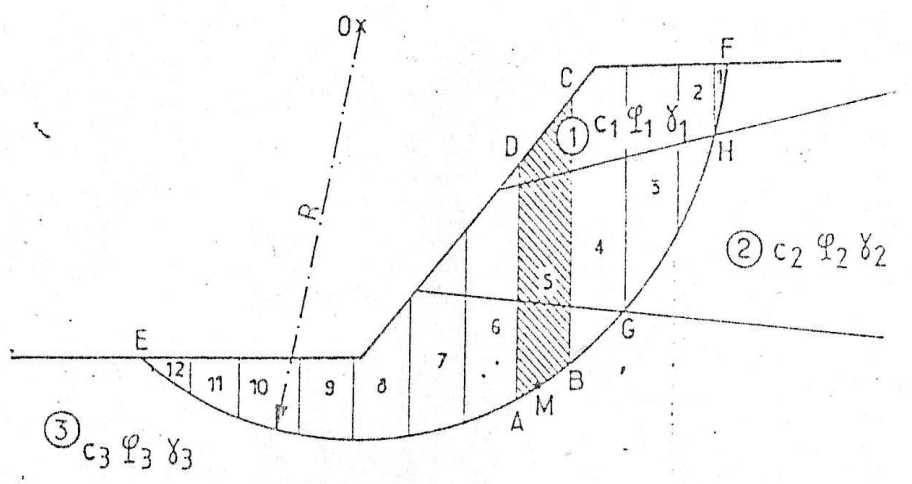
#### (a) Méthode des tranches de FELLENIUS ou méthode Suédoise (rupture circulaire)

C'est la méthode la plus simple pour l'analyse de stabilité des talus. Fellenius suppose que le volume de glissement délimité par la surface de glissement et la topographie du talus est subdivisé en (n) tranches. Chaque tranche est considérée comme un solide indéformable, en équilibre sur la ligne de glissement. Considérons un talus recoupant un certain nombre de couches de sols de caractéristiques différentes :  $C_i$ ,  $\phi_i$ ,  $\gamma_i$ . On veut déterminer le coefficient de sécurité vis-à-vis du glissement ( $F_s$ ), il est défini :

$$F_s = \frac{\sum \text{Moments résistants}}{\sum \text{Moments moteurs}}$$

Soit un cercle quelconque de centre « O » et de rayon « R ».

Cette méthode consiste à diviser le volume concerné dans l'arc E M F en une série de tranches verticales limitées par des plans verticaux (**Fig.IV.6**).



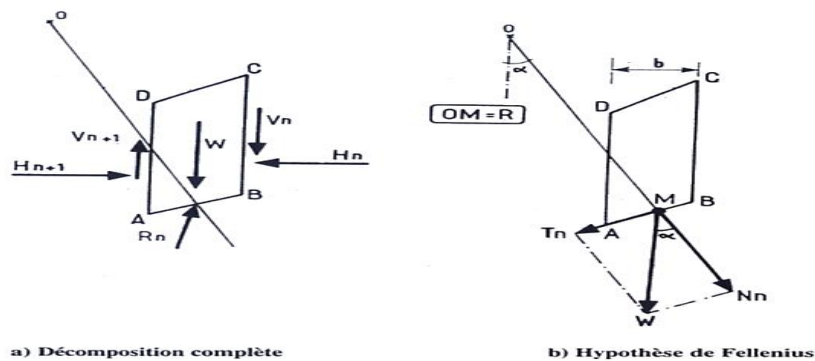
**Fig.IV.6.** Découpage en tranches d'un talus.



## Etude de la tranche (détermination du coefficient de sécurité)

### a. Absence de la nappe :

Les différentes forces qui agissent sur cette tranche (**Fig. IV.7**) sont les suivantes :



**Fig. IV.7. Forces agissant sur la tranche n**

- $W_i$  : poids de la tranche ABCD se décompose en une force normale " $N_n$ " et une force tangentielle " $T_n$ ".
- $R_n$  (force résistante) : la résistance du sol due à sa cohésion et son angle de frottement interne.
- les réactions sur les faces verticales BC et AD décomposées en réactions horizontales  $H_n$  et  $H_{n+1}$ , et en réactions verticales  $V_n$  et  $V_{n+1}$ .
- les pressions hydrauliques.

Définissons par rapport au centre "O" :

- **Les moments moteurs** : comme celui du poids des terres  $W$  (et des surcharges éventuelles), qui tend à provoquer le glissement ;
- **Les moments résistants** : comme ceux des réactions s'opposant globalement au glissement de la tranche.

Le moment résistant est fourni par la valeur maximale que peut prendre la composante tangentielle  $R_n$ .

D'après la loi de **Coulomb**, elle s'écrit :

$$(R_n)_t = C_i \cdot AB + N_n \cdot \tan \varphi_i$$

La somme des moments résistants pour toutes les tranches sera :

$$\sum_{n=1}^{n=m} (C_i \cdot AB + N_n \cdot \tan \varphi_i)$$

Avec :

m: nombre total de tranches, R : rayon du cercle de glissement.  
 Ci,  $\phi_i$  : caractéristiques mécaniques de la couche dans laquelle est situé l'arc de la tranche AB.  
 Par ailleurs, le moment moteur est dû à  $T_n$  et égal à  $T_n R$ , d'où:

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} (C_i \cdot AB + N_n \cdot \tan \phi_i)}{\sum_{n=1}^{n=m} T_n}$$

Sachant que :  $N = W \cdot \cos \alpha$

$$T = W \cdot \sin \alpha$$

$$L = \overset{\frown}{ab} = \frac{b}{\cos \alpha}$$

La formule précédente devient :

- **Cas d'un sol homogène ( $C, \Phi = \text{cte}$ )**

$$F_s = \frac{C \cdot \sum \frac{b_i}{\cos \alpha_i} + \tan \phi \sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \cos \alpha}{\sum_{n=1}^{n=m} W \cdot \sin \alpha}$$

- **Cas d'un sol hétérogène ( $C_i, \Phi_i$ )**

$$F_s = \frac{\sum_1^n \left( C_i \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i} + W_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \tan \phi_i \right)}{\sum_1^n W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

### Remarque :

Les paramètres géométriques intervenant dans le calcul de  $F_s$  sont donc :

b : largeur de la tranche.

L : longueur développée de la surface de rupture.

$\alpha$  : l'angle orienté que fait le rayon du cercle passant par le lieu de la base de la tranche avec la verticale.

La hauteur de la tranche pour le calcul du poids W.

### b. Présence de la nappe

La prise en compte des écoulements est assez délicate. La méthode des tranches de Fellenius est appliquée en utilisant la loi de Coulomb :

$$\tau = C' + (\sigma - u) \tan \phi'$$

### - Détermination de la pression interstitielle (U) :

La prise en compte des écoulements est assez délicate. La méthode des tranches de **Fellenius** est appliquée en utilisant l'équation de Coulomb :  $\tau = C + (\sigma - U) \cdot \tan \phi$

La pression interstitielle « U » en chaque point du massif de sol se détermine à partir du réseau d'écoulement.

Considérons la tranche A B C D (**Fig.IV.8**), la valeur de « U » est donnée sur la figure par :

$$U = \gamma_w \cdot Z_w$$

$Z_w$  : La distance entre le point M et le point N où l'équipotentielle passant par M recoupe la surface libre.

Par définition de l'équipotentielle, les charges hydrauliques en M et en N sont identiques On a donc

$$U = (Z_n - Z_m) \gamma_w$$

### - Calcul du coefficient de sécurité global

Soit : **W** : le poids total de la tranche A B C D,  $V_1$  et  $V_2$  les volumes :

$$W = \gamma_h \cdot V_1 + \gamma_{sat} \cdot V_2$$

**N** et **T** : les composantes normale et tangentielle sur l'arc AB du poids W de la tranche ABCD

La résistance maximale au cisaillement le long de AB est donnée par :

$$C \cdot AB + (N - U \cdot AB) \tan \phi$$

La somme des moments résistants pour toutes les tranches :

$$\sum_{n=1}^{n=m} [C_i \cdot AB + (N - U \cdot AB) \tan \phi_i] \Rightarrow F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [C_i \cdot AB + (W_i \cdot \cos \alpha_i - U \cdot AB) \tan \phi_i]}{\sum_{n=1}^{n=m} T}$$

La formule précédente devient :

$$F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left[ C_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} + \left( W_i \cdot \cos \alpha_i - \frac{U \cdot b_i}{\cos \alpha_i} \right) \tan \phi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

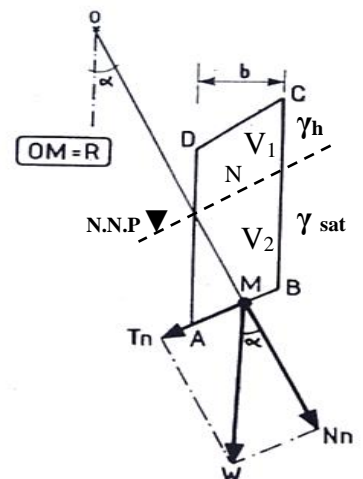


Fig.IV.8. Présence de nappe

#### IV.4. Stabilité en rupture plane (glissement plan)

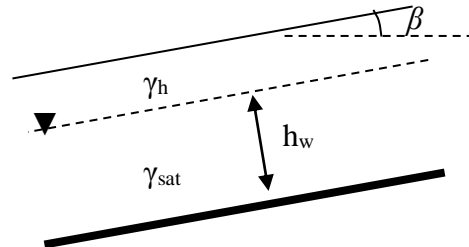
Soit une pente indéfinie d'inclinaison ( $\beta$ ) dans un sol ayant pour caractéristiques :

$\gamma_h$  : poids volumique au dessus de la nappe,

$\gamma_{sat}$  : poids volumique saturé au dessous de la nappe,

C et  $\phi$  : la cohésion et l'angle de frottement interne du sol

La nappe est située sur une hauteur ( $h_w$ ) et s'écoule parallèlement à la pente ce qui est le cas le plus courant (**Fig.IV.9**) :



a. En présence de nappe : 
$$F_s = \frac{C + \left( \sum_0^Z \gamma_i \cdot h_i - \gamma_w \cdot h_w \right) \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \phi}{\sin \beta \cdot \cos \beta \sum_0^Z \gamma_i \cdot h_i}$$

b. En absence de nappe : 
$$F_s = \frac{C + \gamma \cdot h \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \phi}{\gamma \cdot h \cdot (\sin \beta \cdot \cos \beta)}$$

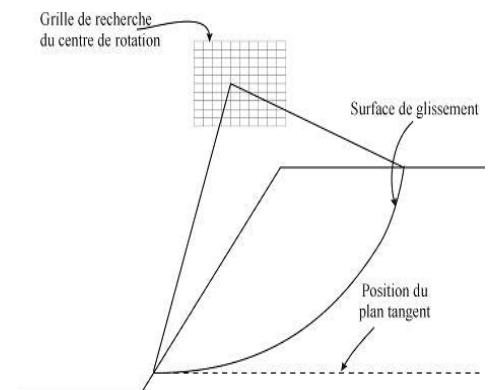
#### IV.5. Recherche de coefficient de sécurité minimal

Pour connaître le coefficient de sécurité réel ; il faut définir le cercle donnant la valeur minimale de  $F_s$  (facteur de sécurité) ; C'est en effet le long de cette surface de glissement la rupture se produira.

Il n'y a pas de méthode précise pour définir le cercle de glissement. La méthode souvent utilisée consiste à calculer le coefficient de sécurité pour un nombre suffisant de cercles en quadrillant les surfaces de ruptures.

En général, il y a infinité de possibilités, car :

- Pour un cercle donné, on peut faire varier le rayon du cercle.
- La position du centre peut varier horizontalement et verticalement.



Après l'obtention des coefficients de sécurité ( $F_s$ ), on peut choisir la valeur minimale de ces derniers, cette valeur permet de déterminer le cercle de glissement. Aussi les calculs sur ordinateurs sont d'un emploi courant.

### Les spécialistes estime que :

Le talus reste toujours stable si :  $F_s > 1.5$

Le glissement est pratiquement instable si :  $F_s < 1$

Le talus est douteux si :  $1 \leq F_s \leq 1.5$

## IV.6. Méthodes de confortement

Les confortements des talus en glissement sont l'ensemble des méthodes qui servent à stabiliser les masses des terrains instables. Le choix de la méthode de confortement dépend des caractéristiques et des conditions de chaque site, telles que : le type des sols, conditions de drainage, surcharge et, d'autre part, coûts économiques (quand il existe plusieurs solutions de confortement). Ainsi le choix de la méthode de confortement d'un glissement dépend de ses dimensions et de son origine.

De façon générale, les méthodes de confortement peuvent être groupées en quatre groupes :

- ✓ Les terrassements : actions sur la géométrie et l'équilibre des masses ;
- ✓ Les drainages : actions sur le régime hydraulique et les pressions interstitielles ;
- ✓ Les renforcements : renforcements mécaniques ;
- ✓ Protection superficielles (végétalisation, plantation, etc.).

### IV.6.1. Terrassements

Les conditions de stabilité étant directement liées à la pente du terrain, le terrassement reste le moyen d'action le plus naturel. On peut distinguer trois groupes de méthodes de stabilisation par terrassement (Fig.IV.10) qui sont:

- Les actions sur l'équilibre des masses : allègement en tête, remblai en pied ;
- Les actions sur la géométrie de la pente : purge et reprofilage ;
- Les substitutions partielles ou totales de la masse instable.

#### a) Allègement en tête

L'allègement en tête de glissement consiste à venir terrasser dans la partie supérieure (Fig.IV.10). Il en résulte une diminution du poids moteur et, par conséquent, une augmentation du coefficient de sécurité.

#### b) Remblai de pied

Le chargement en pied d'un glissement est une technique souvent utilisée et généralement efficace (Fig.IV.10). L'ouvrage, également connu sous le nom de banquette, berme ou butée, agit en contre-balancement des forces motrices. Afin qu'il soit efficace, il faut réaliser un ancrage dans les formations sous-jacentes en place.

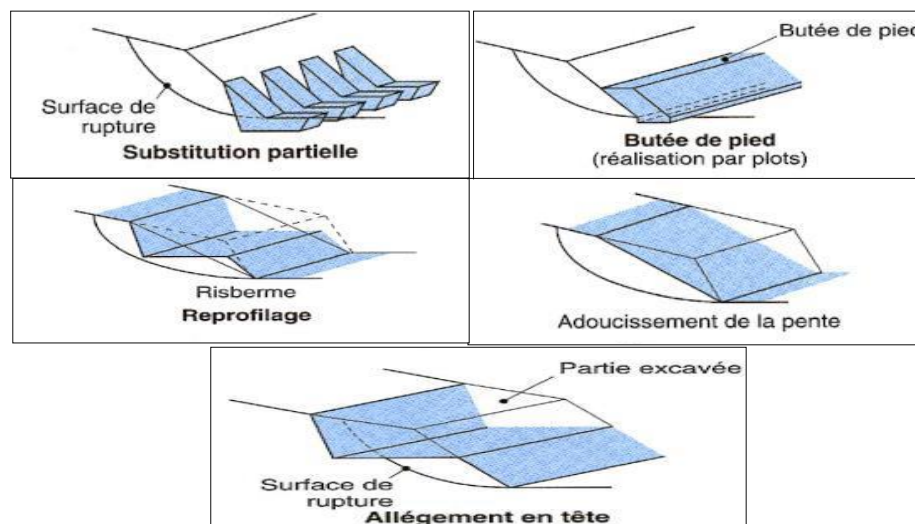
#### d) Reprofilage

La stabilité d'un talus étant directement liée à sa pente, il est assez simple d'accroître la sécurité par retalutage du terrain naturel (Fig.IV.10). Dans ce sens, le procédé s'apparente à l'allègement en tête : il consiste en un adoucissement de la pente moyenne.

#### e) Substitution

La substitution totale consiste à venir purger l'ensemble des masses glissées ou susceptibles de glisser, et à les remplacer par un matériau de bonnes caractéristiques mécaniques (Sanglerat et al.1983). La purge est évidemment un traitement très radical qui nécessite toutefois de prendre quelques précautions comme : (1) être bien certain du volume concerné par le glissement ; (2) purge plus profondément que la surface de glissement sous peine de réaliser un confortement sans aucune efficacité ; (3) assurer un bon accrochage au contact massif sol en place et un bon drainage du massif de substratum).

Ces techniques peuvent être totales ou partielles sous forme de bèche, contreforts, masques drainants, éperons drainants.



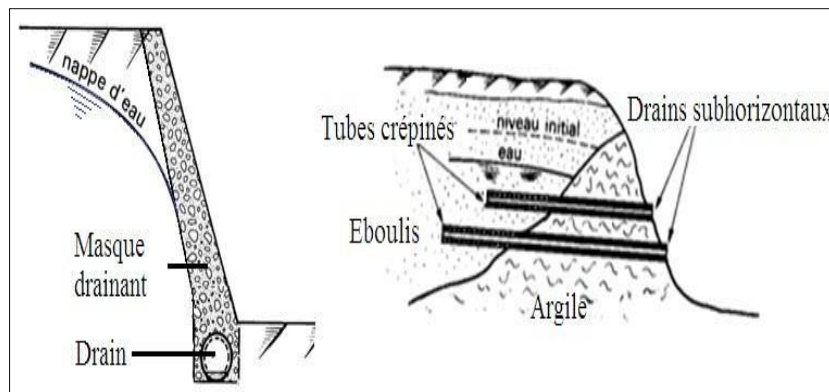
**Fig.IV.10.** Différentes méthodes de stabilisation par terrassement.

#### IV.6.2. Dispositifs de drainage

L'eau joue un rôle négatif sur la stabilité des talus, afin de réduire ce risque les dispositifs de drainages sont les solutions les plus efficaces.

Le drainage peut évacuer l'eau de la zone ou encore éviter l'alimentation en eau de la zone par collecte et canalisation des eaux de surface (Fig.IV.11). Le drainage d'un massif instable peut être réalisé de plusieurs façons.

- Par drainage superficiel pour réduire les infiltrations et l'érosion en réalisant des fossés, des descentes d'eau, caniveaux, etc.
- Par drainage profond pour rabattre la nappe en mettant en place des galeries, des tranchées, des éperons drainants, des drains subhorizontaux ou drains verticaux, puits et galeries drainantes.



**Fig. I.13.** Action de drainage sur un talus soumis à une nappe.

#### IV.6.3. Boisement et reforestation

L'action stabilisatrice d'un couvert végétale, le rôle mécanique de la végétation est joué par les racines, et notamment d'une forêt, sur un versant, préventivement ou en guise de remède, est un fait acquis chez les scientifiques et les techniciens, et les service forestiers des pays de montagnes affectés par des glissements ont entrepris depuis longtemps des reboisements là où la déforestation est précisément rendue responsable de l'aggravation des phénomènes.