

Introduction

Les infiltrations qui se produisent à travers le corps du barrage et ses fondations, doivent être considérées sous deux aspects :

- le premier : est la perte d'eau qui réduit le volume emmagasiné,
- le deuxième : est que ces pertes d'eau peuvent compromettre la stabilité de l'ouvrage sous l'influence du phénomène de renard et des pressions de l'infiltration.

Et pour l'étude de stabilité du barrage, dans ce chapitre, nous allons nous intéresser à la longévité d'un barrage, qui est liée à la rupture de ses talus amont et aval.

Nous nous essayerons de montrer le mécanisme qui conduit à la rupture de ces talus en pentes naturelles et nous étudierons les méthodes de calcul qui permettent de déduire si un talus est stable ou non.

Toutefois, l'étude de la stabilité peut être précédée d'une reconnaissance géologique très fine, qui permet souvent de mettre en évidence des facteurs pas toujours quantifiables, influant lourdement sur le coefficient de sécurité. [20]

VII-1. Etude des infiltrations dans le barrage et ses fondations

La perméabilité dans un barrage en terre existe toujours, même si les pertes d'eau par infiltration sont faibles et pour déterminer ces infiltrations, il est impératif d'évaluer les éléments suivants :

- la ligne de saturation ou phréatique,
- le débit de fuite de l'eau par infiltration,
- l'épaisseur du drain.

VII-1-1. La ligne de saturation**VII-1-1-1. Détermination de l'équation de la ligne de saturation**

La ligne de saturation peut être déterminée par les différentes méthodes suivantes :

A) Le calcul numérique

Le calcul numérique est réalisé sur l'ordinateur, il peut résoudre le problème des infiltrations par le biais des programmes mis au point, afin de déterminer la position de la ligne de saturation, le potentiel hydraulique et, le débit de fuite.

B) Le modèle électrique

L'analogie électrique est basée sur le fait que le potentiel électrique est régi par la même loi que le potentiel hydraulique.

C) Le modèle graphique

Il représente une méthode simplifiée, la plus souvent utilisée. Cette méthode donne des résultats approchés, mais en général suffisants. L'écoulement des eaux d'infiltrations dans le barrage est régi par la loi de DARCY, $V = K * i$ (K : coefficient de perméabilité en (m/s) et i : le gradient hydraulique).

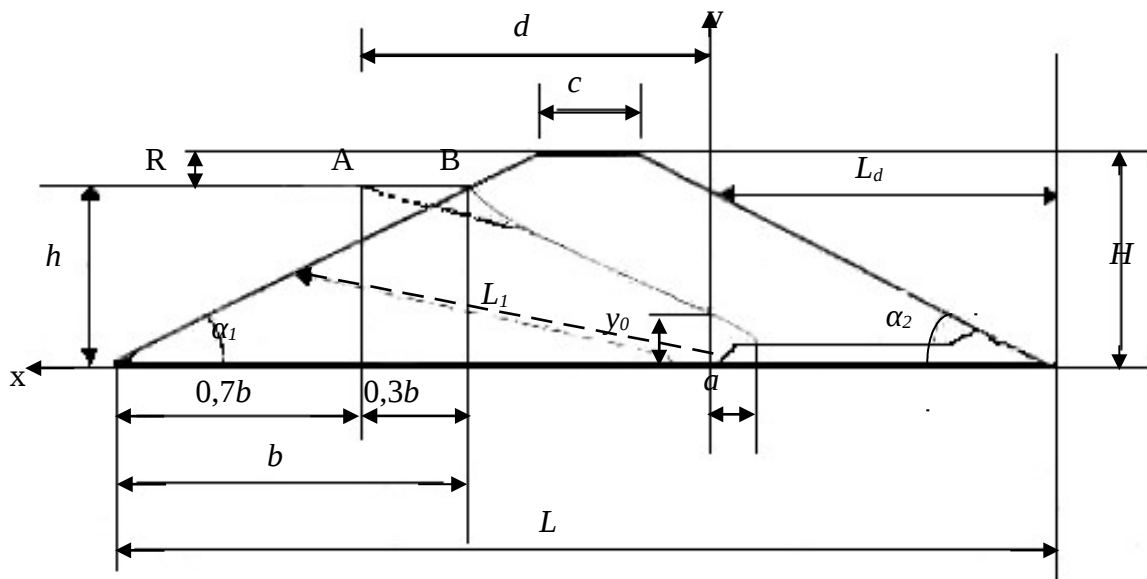
VII-1-1-2. Tracé de ligne de saturation

Dans le cas d'une digue homogène drainée, reposant sur une assise imperméable, KOSENY a montré que la ligne de saturation (ligne phréatique) est une parabole d'axe horizontal, dont le foyer est l'extrémité amont du drain, auquel se raccorde la ligne phréatique.

Elle a pour équation : $y^2 - y_0^2 - 2xy_0$

Avec : $Y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$ (7-1)

Les paramètres d, h, Y_0 sont représentés sur la figure (7-1)



A : ligne phréatique (-----)
 B : parabole de KOSENY (——)

Figure (7-1) : tracé de ligne de saturation et la parabole de KOSENY.

La parabole de base coupe le plan d'eau au point A à une distance ($AB = 0.3b$). La ligne de saturation dans le massif se confond sensiblement avec la parabole de KOSENY. Pour tracer cette ligne il faut raccorder la parabole de KOSENY au point B du plan d'eau par une courbe normale au parement amont en B [figure (7-1)].

VII-1-1-3. Calcul de l'emprise de barrage

Elle est estimée par la formule suivante :

$$L = C + H \left[\frac{1}{\text{tg} \alpha_1} + \frac{1}{\text{tg} \alpha_2} \right] \dots\dots\dots (7-2).$$

Avec

C : largeur de la crête du barrage ($C = 5.65$ m) ;

H : hauteur totale de barrage ($H = 14.04$ m) ;

α_1 et α_2 : les parements amont et aval [d'après le tableau (6-2) : $\text{tg} \alpha_1 = 1/2.5$ et $\text{tg} \alpha_2 = 1/2.5$].

AN
$$L = 5.65 + 14.04 \left[\frac{1}{1/2.5} + \frac{1}{1/2.5} \right] = \mathbf{75.85}$$
 m

VII-1-1-4. Calcul de la longueur du drain

Elle est estimée par la formule suivante :

$$l = \left(\frac{1}{4} \dot{\alpha} \frac{1}{3} \right) L \dots\dots\dots (7-3)$$

Soit
$$l = \frac{1}{3.5} L$$

Avec

L : l'emprise de barrage ;

l : longueur du drain.

AN
$$l = \frac{1}{3.5} * 75.85 = \mathbf{21.67}$$
 m \approx **22** m

VII-1-1-5. Calcul de (b)

C'est la projection horizontale de la ligne mouillée du talus amont. Elle est définie par la formule suivante :

$$b = (H - R) \frac{1}{\text{tg} \alpha_1} \dots\dots\dots (7-4)$$

Avec

H : hauteur totale de barrage (H = 14.04 m) ;

R : la revanche de la digue (R = 1.5m) ;

tg α₁ = 1/ 2.5 : pente du talus amont.

AN $b = (14.04 - 1.5) \frac{1}{1/2.5} = \mathbf{31.35 \text{ m}} \approx \mathbf{31 \text{ m}}$

VII-1-1-6. Calcul de (d)

Il est calculé par la formule suivante :

$$d = L - 1 - 0.7 b \dots\dots\dots (7-5)$$

AN $d = 75.85 - 1 - 0.7 * 31 = \mathbf{53.15 \text{ m}}$

VII-1-1-7. Calcul de (Y₀)

Il est calculé par la formule suivante :

$$Y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \dots\dots\dots (7-6)$$

Ou $h = H - R$, $x = l_d$ et $y = h$: selon l'équation de KOSENY

Avec

H : hauteur totale de barrage (H = 14.04 m) ;

R : la revanche de la digue (R = 1.5m).

AN $Y_0 = \sqrt{(12.54)^2 + (53.15)^2} - 53.15 = \mathbf{1.46 \text{ m}}$

D'où l'équation du débit de fuite :

$$x = \frac{y^2 - y_0^2}{2y} = \frac{y^2 - (1.46)^2}{2 * 1.46} = 0.34 y^2 - 0.73 \Rightarrow x = 0.34 y^2 - 0.73$$

VII-1-2. Evaluation de débit de fuite

En appliquant la loi de DARCY, on évalue approximativement le débit de fuite à travers le corps du barrage. Pour un mètre linéaire du barrage, la loi de DARCY s'écrit comme suit :

$$q = K * S * i = K * S * \frac{H}{L_1} \dots\dots\dots (7-7)$$

7)

Avec

q : débit par mètre linéaire du barrage ;

S : longueur mouillée du parement amont du barrage,

K : coefficient de perméabilité de DARCY ;

h : la hauteur d'eau à l'amont du barrage, $h = NNR - 60$;

L_1 : longueur moyenne des lignes de courant. Elle est prise comme étant la distance séparant l'extrémité amont du drain horizontal et le centre de la digue mouillée du parement amont.

Elle est calculée comme suit :

$$L_1 = \sqrt{(d + 0.2b)^2 + \left(\frac{h}{2}\right)^2} \dots\dots\dots (7-8)$$

AN $L_1 = \sqrt{(53.15 + 0.2 * 31)^2 + \left(\frac{11.5}{2}\right)^2} = \mathbf{59.63 \text{ m}}$

VII-1-2-1. Calcul de (S)

Il est calculé par la formule suivante :

$$S = \sqrt{(b)^2 + (h)^2} \dots\dots\dots (7-9)$$

AN $S = \sqrt{(31)^2 + (11.5)^2} = \mathbf{33.06 \text{ m}}$

Le débit par mètre linéaire du barrage q de l'équation (7-7) est :

$$q = 10^{-8} * 33.06 * \frac{11,5}{59.63} = \mathbf{6.37 * 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}}$$

Au bout de 6 mois de service, on aura un volume de :

$$V = 6 * 30 * 24 * 3600 * 6.37 * 10^{-8} = \mathbf{0.99 \text{ m}^3} \approx \mathbf{1 \text{ m}^3}.$$

Remarque

On remarque que le débit de fuite, calculé pour la digue est faible mais pas négligeable, d'où la nécessité d'évacuer cette eau hors des fondations, car elle devient un danger pour la stabilité de l'ouvrage.

Ainsi, il est nécessaire d'envisager un dispositif de protection contre ces eaux, qui est composé de deux organes à savoir le drain et le filtre.

VII-1-3. Dispositifs de protection

VII-1-3-1. Le drain

C'est un organe qui est destiné à évacuer les eaux infiltrées à travers le massif. Il est constitué soit de gravier perméable, de tuyau en béton poreux ou en plastique perforé, ces derniers sont entourés d'une couche de gravier. Ils existent plusieurs types de drains à savoir le drain horizontal, le drain vertical et, le drain tapis filtrant. Les systèmes de drainage sont constitués des matériaux ayant une forte perméabilité ($K = 10^{-4}$ m/s). De ce fait la circulation des eaux d'entraîner des particules adéquates. Pour maîtriser ces phénomènes on renforce le drain par un filtre. [10]

VII-1-3-2. Le filtre

Il est destiné à retenir les fines particules entraînées par les filets d'eau, circulant dans le massif il est constitué de couches successives de matériaux perméables de granulométrie de plus en plus étroite, pour empêcher le passage des particules les plus fines du massif ainsi, chaque couche du filtre doit jouer le rôle de filtre pour la couche précédente dans le sens de l'écoulement de l'eau.

Pour éviter le colmatage et la dégradation du filtre, il est conseillé d'utiliser des sables

dont le coefficient d'uniformité est : $\frac{D_{60}}{D_{10}} < 2$.

D_{60} : pourcentage des grains de diamètres < 60 mm ;

D_{10} : pourcentage des grains de diamètres < 10 mm.

Par ailleurs un filtre ne doit pas se dégrader par entraînement ni se colmater. Pour cela, on réalise un filtre d'une composition granulométrique telle que :

- les particules les plus fines du barrage seraient retenues, si non elles étaient entraînées hors de l'ouvrage.
- Les fines particules qu'il contient soient retenues à l'intérieur des vides existants entre les particules les plus importantes.

Les règles les plus utilisées sont celles proposées par THERZAGUE, à savoir les limites recommandées pour satisfaire les critères des filtres.

1) D_{15} du filtre / D_{85} du matériau de base = 4 à 5

Cependant le filtre ne contient pas plus de 5% de matériaux fins de diamètre 0.07 mm.

2) D_{15} du filtre / D_{85} du matériau de base \leq 5.

3) D_{85} du filtre / ouverture maximale du drain \geq 2.

4) les courbes granulométriques des filtres doivent être sensiblement parallèles à celle de la terre du remblai.

VII-1-3-3. Calcul de l'épaisseur du drain

Elle est calculée par la formule suivante :

$$e = 2\sqrt{q \frac{1}{K}} \dots\dots\dots (7-$$

11)

Avec

e : épaisseur du drain en (m) ;

q : débit de fuite en (ml) ;

K : coefficient de perméabilité ; ($K = 10^{-6}$ m/s pour les sables).

AN $e = 2\sqrt{6.37 * 10^{-8} * \frac{1}{10^{-6}}} = 0.50 \text{ m} = 50 \text{ cm}.$

L'épaisseur du drain doit être :

- suffisante pour rendre l'évacuation de l'eau facile. Dans notre cas elle est évaluée à 0.5m ce qui est satisfaisante,
- capable d'évacuer un débit de fuite ; double que celui calculé. On peut estimer ce débit par la formule suivante :

$$q' = K * e_d * \frac{A}{L_d} \dots\dots\dots (7-12)$$

Avec

q' : égal à deux fois le débit de fuite ; $q' = 2 * q = 2 * 6.37 * 10^{-8} = 12.74 * 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$;

L_d : longueur du drain, $L_d = 22 \text{ m}$;

e_d : épaisseur du drain en mètre pour le double de débit de fuite calculé selon la formule DUPUIT, qui s'écrit comme suit :

$$\frac{q'}{K} = \frac{0.5e_d}{L_d} \Rightarrow e_d = \sqrt{\frac{2 * q' * L_d}{K}} \dots\dots\dots (7-13)$$

$$AN \quad e_d = \sqrt{\frac{2 * 12.74 * 10^{-8} * 22}{10^{-6}}} = 2.36 \text{ m.}$$

VII-1-4. Disposition des drains et des filtres dans un barrage en terre.

VII-1-4-1. Drain tapis filtrant

Souvent ce type de drains est placé à l'aval de massif. Son rôle est d'intercepter les infiltrations dans le massif, c'est-à-dire de rabattre la phréatique d'une part et d'autre part pour évacuer le débit de fuite qui s'infiltré à travers le massif. Ce type de drain s'étend sur 1/4 ou 1/3 de l'emprise de barrage.

On note aussi que ce type de drain est efficace que dans les massifs isotropes pour les quels la conductivité verticale est égal à la conductivité horizontale ($k_v = k_h$). Par ailleurs dans le cas d'un massif anisotrope, le drain tapis n'est pas efficace. En revanche, le drain tapis peut être bâti sur deux types de fondations :

- fondations perméables [figure (7-2)].
- fondations imperméables [figure (7-3)].

Puisque les eaux infiltrées sont interceptées par le massif des fondations donc il entraîne des éléments fins qui constituent l'ouvrage, d'où la nécessité de protéger par un filtre inverse.

VII-2. Etude de stabilité

Pour que l'ouvrage présente une sécurité suffisante avec ses pentes, certaines hypothèses ont été émises. [6]

- PETERSON (1955), après analyse de plusieurs glissements qui s'étaient produits en Suède, a conclu que la directrice de la surface de rupture pouvait être assimilée à un cercle. Il s'agissait d'un massif argileux pratiquement homogène pour lequel il ne faisait intervenir que des frottements internes.

- FELLENIUS a repris cette idée en ne considérant que les forces de cohésions. Il a ainsi proposé la méthode classique, qui suppose que la rupture se produit simultanément en tous les points de la surface et que le massif qui surmonte celui-ci se déplace d'un bloc sans aucune déformation. Il semble cependant que dans le massif homogène, la rupture ne se produit pas simultanément dans tous les points. Elle commence au contraire en un point, puis elle se propage, il n'y a plus de mouvement en bloc, donc le massif se déforme progressivement.

Cette méthode a été perfectionnée par BISHOP. Elle peut donner lieu à une application graphique qui est appelée la méthode de COURTENEY. [8]

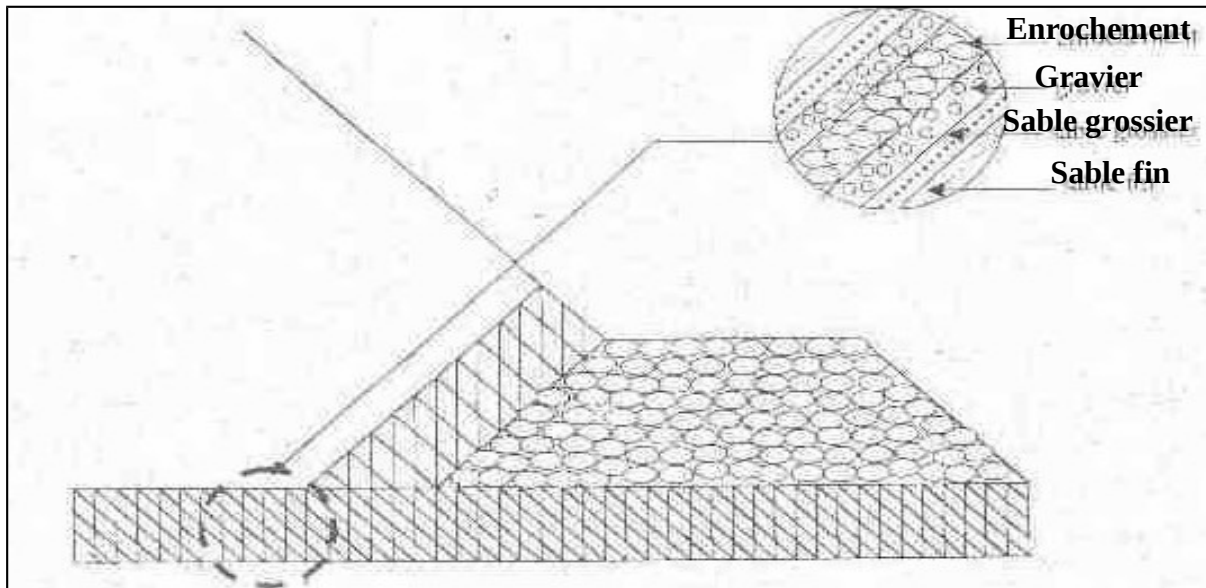


Figure (7-2): tapis filtrant, cas des fondations perméables

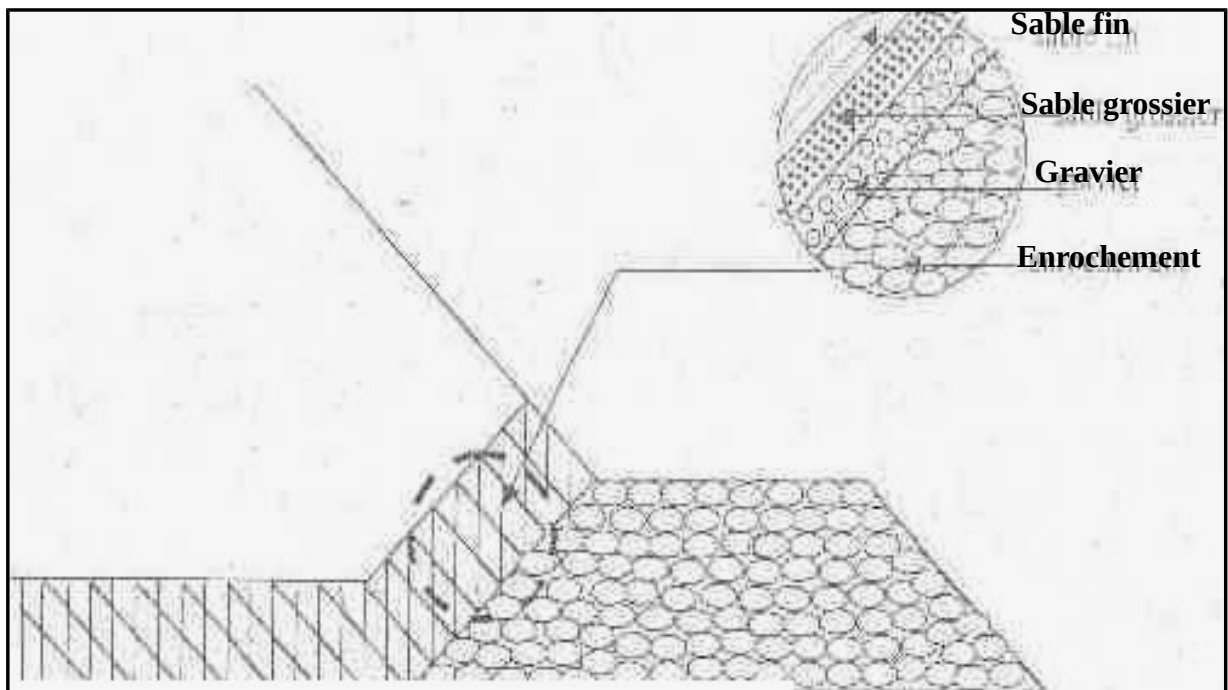


Figure (7-3) : tapis filtrant, cas des fondations imperméables

VII-2-1. Recherche de l'origine de glissement

Les glissements des talus sont dus à :

- l'augmentation des sollicitations qui provoque en général un glissement en bloc, avec une surface de rupture bien caractérisée.
- la rupture par submersion qui peut se produire pour un déversement très faible par-dessus la crête, surtout pour un barrage en terre. Le mécanisme d'érosion régressive s'amorce à partir du coin aval de la crête et progresse jusqu'à ce qu'une brèche soit ouverte. Le phénomène peut avoir une durée de quelques minutes à quelques heures selon la granulométrie des matériaux, leur cohésion, le revêtement de la crête et la hauteur de lame d'eau.
- la rupture par le phénomène de renard qui peut être rapide une fois qu'il est initié. [8]

VII-2-2. Calcul de stabilité

VII-2-2-1. Méthodes des tranches de FELLENIUS

VII-2-2-1-1. Le principe

Considérons un talus recoupant un certain nombre de couches de sol de caractéristiques différentes à savoir : C_b : cohésion de la tranche, γ_b : densité du sol, ϕ_b : angle de frottement interne du sol.

Soit un cercle quelconque de centre O et de rayon R pour le quel on veut déterminer le coefficient de sécurité F vis-à-vis du risque du glissement. La méthode consiste, tout d'abord, à découper le volume du sol intéressé (compris dans l'arc AMB) en certain nombre de tranches limité par des plans verticaux. Il convient de réaliser le découpage de telle façon que l'intersection du cercle de glissement et d'une limite de couches [points C et D sur la figure (7-4)] corresponde à une limite entre deux tranches. L'expérience montre qu'il n'est pas nécessaire de découper le massif en un très grand nombre de tranches pour obtenir une précision satisfaisante.

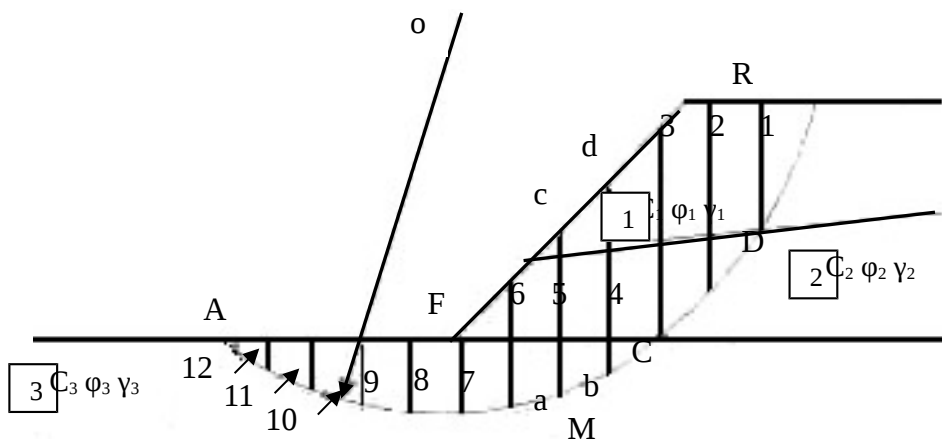
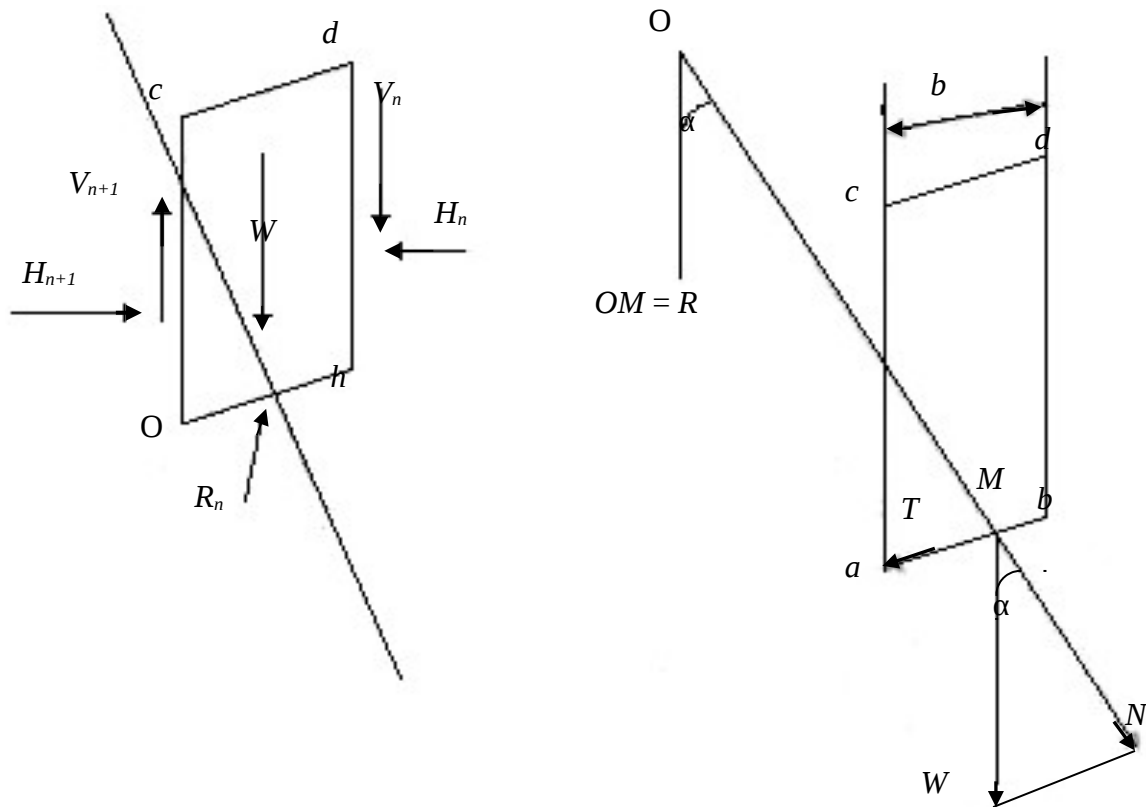


Figure (7-4) : découpage en tranche d'un

Pour l'application de la méthode de FELLENIUS. Considérons l'équilibre de la tranche abdc dessus. Les forces agissant sur la tranche sont représentées sur la figure (7-5) ; à savoir :

- son poids W ,
- la réaction R_n du milieu sous-jacent sur l'arc ab, H_{n+1} et H_n ;
- les réactions sur les verticales H_n et H_{n+1} et, en réactions verticales V_n et V_{n+1} . Il s'agit de forces internes au massif étudié. [6]



Force agissant sur une tranche (a)

hypothèse de FELLENIUS (b)

Figure (7-5) : les différentes forces agissantes sur la tranche.

Nous définissons par rapport au centre O :

- le moment moteur comme celui du poids des terres W et la surcharge éventuelle, tendant à provoquer le glissement,
- les moments résistants comme ceux des réactions s'opposant globalement au glissement de la tranche, à savoir les moments de R_n , H_n et H_{n+1} ; V_n et V_{n+1}

Le coefficient est défini par le rapport :

$$f = \frac{\sum_{AB} \text{des moments résistants maximaux}}{\sum_{AB} \text{des moments moteurs}} \dots\dots\dots (7-13)$$

Pour simplifier considérablement les calculs, FELLENIUS a admis les hypothèses suivantes :

- 1) au niveau de chaque tranche :

$$H_{n+1} + H_n = 0 \quad \text{et} \quad V_n \text{ et } V_{n+1} = 0$$

2) la force tangentielle T a tendance à entraîner le glissement, elle est motrice. TN est la composante tangentielle du poids de toute la matière contenue dans la tranche N (sol et eau) réduite de 1%. La densité utilisée pour calculer TN est donc la densité saturée pour la portion située sous la ligne phréatique et la densité humide pour la partie située au-dessus.

3) la force N est stabilisatrice, car elle mobilise le frottement interne. Elle crée une force résistance N_{tg} opposée à T . Mais dans un milieu saturé, seules les forces inter-granulaires sont susceptibles de mobiliser un frottement. N est donc la composante du poids immergé ; c'est-à-dire le poids calculé à partir de la densité saturée diminuée de 1. appelant cette composante N' .

Les hypothèses 2 et 3 sont ingénieuses, car elles permettent d'éviter le calcul de la pression interstitielle (p) qui est toujours une opération complexe.

VII-2-2-2.variante

Une variante plus élaborée de la méthode de FELLENIUS consiste à négliger la simplification de l'hypothèse $N^{\circ} = 3$ et à tenir compte de la pression interstitielle (p). On prend alors pour N la composante normale du poids total réduite de 1%, calculée à partir de la densité saturée. La composante N engendre une pression totale moyenne N/dl à partir de laquelle, il faut déduire la pression interstitielle (p) dominante dans cette zone.

La force de frottement mobilisée le long de cet arc dl est alors :

$$(N/dl - p) tg \varphi dl = (-N pdl) tg \varphi \dots\dots\dots(7-14)$$

Le moment des forces résistantes :

$$\Sigma (N - pdl) tg \varphi R + \Sigma (c. dl) R = R [\Sigma (N - pdl) tg \varphi + c.l] \dots\dots\dots (7-15)$$

Le moment des forces motrices s'écrit alors :

$$\Sigma T.R = R \Sigma T \dots\dots\dots (7-16)$$

Le coefficient de sécurité s'écrit :

$$F = \frac{\sum(N - pdl)tg\varphi + c.dl}{\sum T} \dots\dots\dots (7-16)$$

b_i : la largeur de la tranche,

$dl = \frac{b_i}{\cos \theta}$; Où θ représente l'angle formé par la verticale passant par O et la droite joignant O au centre de l'arc dl .

$$N'_i = N - pdl$$

$$N'_i = 0.9W_i \cos \theta_i - 0.1 W_i \sin \theta_i - p_i \frac{b_i}{\cos \theta_i}$$

$$T_i = 0.9 W_i \sin \theta_i - 0.1 W_i \cos \theta_i$$

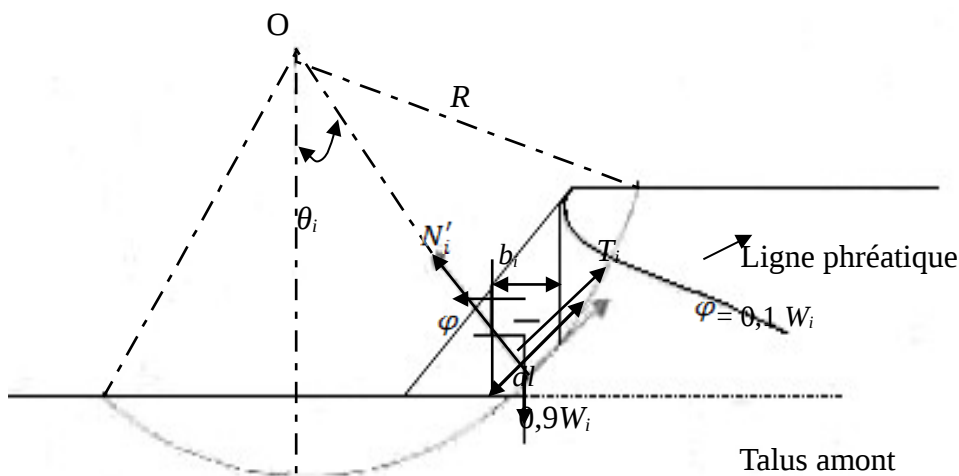


Figure (7-6): la variante.

Il

vient :

$$F = \frac{\sum_{i=0}^n \left[\left(0.9W_i \cos \theta_i - 0.1W_i \sin \theta_i - p_i \frac{b_i}{\cos \theta_i} \right) tg\varphi + \frac{cb_i}{\cos \theta_i} \right]}{\sum_{i=0}^n (0.9W_i \sin \theta_i + 0.1W_i \cos \theta_i)} \dots\dots\dots (7-17)$$

$$\Rightarrow F = \frac{\sum_{i=0}^n \left[(0.9W_i \cos^2 \theta_i - 0.05 \sin 2\theta_i W_i - p_i b_i) tg\varphi + cb_i \right] \frac{1}{\cos \theta_i}}{\sum_{i=0}^n (0.9W_i \sin \theta_i + 0.1 \cos \theta_i)}$$

VII-2-2-2-1. Calcul de la pression interstitielle

La pression interstitielle se calcule à la base de chaque tranche, à partir du réseau d'écoulement [figure (7-7)].

$$p_i = (h_i - Z_i) * \gamma_w \dots\dots\dots (7-18)$$

Avec

h_i : charge hydraulique,

Z_i : côte par rapport à un plan de référence passant par le plan horizontal du pied du talus.

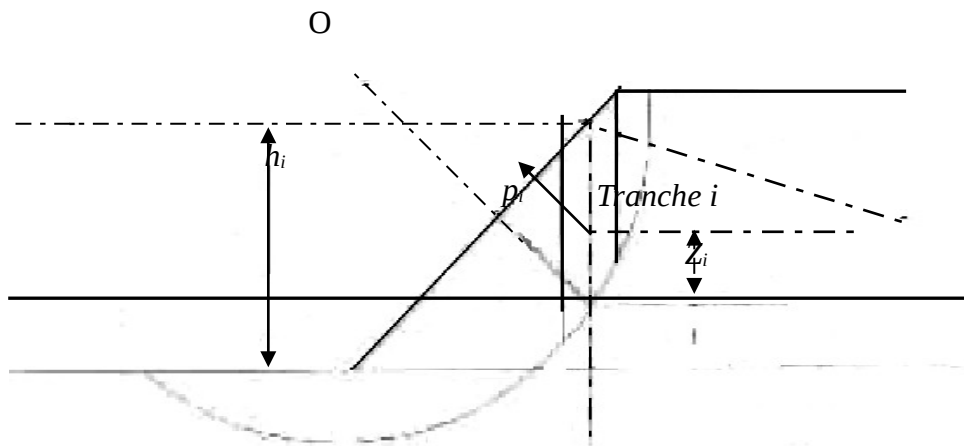


Figure (7-7) : calcul de la pression interstitielle

VII-2-2-3. La méthode de BISHOP

BISHOP a publié en 1954 une méthode détaillée permettant de calculer le coefficient de sécurité F , en tenant compte de ces sollicitations. Cette méthode consiste à faire l’hypothèse que $V_n - V_{n+1} = 0$ quelle que soit la tranche considérée.

Le coefficient de sécurité est donné par la formule générale suivante :

$$F = \frac{\sum \frac{c \cdot dl + (N - pdl) \cdot \text{tg} \varphi}{m_x}}{\sum T} \dots\dots\dots (7-$$

19)

m_x : est un coefficient différent pour chaque tranche, donnée en fonction de F .

$$m_x = \cos \theta_i \left(1 + \frac{\text{tg} \theta_i \cdot \text{tg} \varphi}{F} \right)$$

θ_i : angle entre l’élément dl et l’horizontale.

$$F = \frac{[(W_i \cos \theta_i^2 - p_i \cdot b_i) \text{tg} \varphi + C_i \cdot b_i] \cos \theta_i}{W_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots (7-20)$$

Remarque

Le coefficient de sécurité est effectué par la méthode de FELLENIUS dans un premier temps. Puis on introduit m_x dans le calcul ce qui donne une deuxième évaluation plus fine.

VII-2-2-3-1. Détermination du lieu géométrique des centres de cercles de rupture

A) construction de la droite MD

- A partir du point B, on trace une droite qui fait un angle α_1 avec le parement du talus.
- A partir du point C, on trace une droite qui fait un angle α_2 avec l’horizontale. Ces droites se coupent au point D.
- On trace une horizontale située à une distance de $2H$ (H : hauteur du barrage) sous la crête de la digue.
- On trace une verticale située à $4.5H$ du pied de talus, ces deux dernières droites se coupent en M.

La droite qui joint M et D est le lieu géométrique des centres de cercles de rupture [figure (7-8)].

Les angles α_1 et α_2 sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau (7-1) : valeurs des angles α_1 et α_2 .

Angle d'obliquité de talus (B) ou la pente	α_1 en ($^\circ$)	α_2 en ($^\circ$)
60° ou 1/6	29°	40°
45° ou 1/1	28°	37°
33° ou 1/1,5	26°	35°
26° ou 1/2 et moins	25°	35°

B) courbe enveloppe

Pour chaque centre du cercle de glissement, on trace une droite orthogonale à la droite MD et avec une échelle on reporte la valeur du coefficient de sécurité correspondante au cercle de rupture sur cette droite.

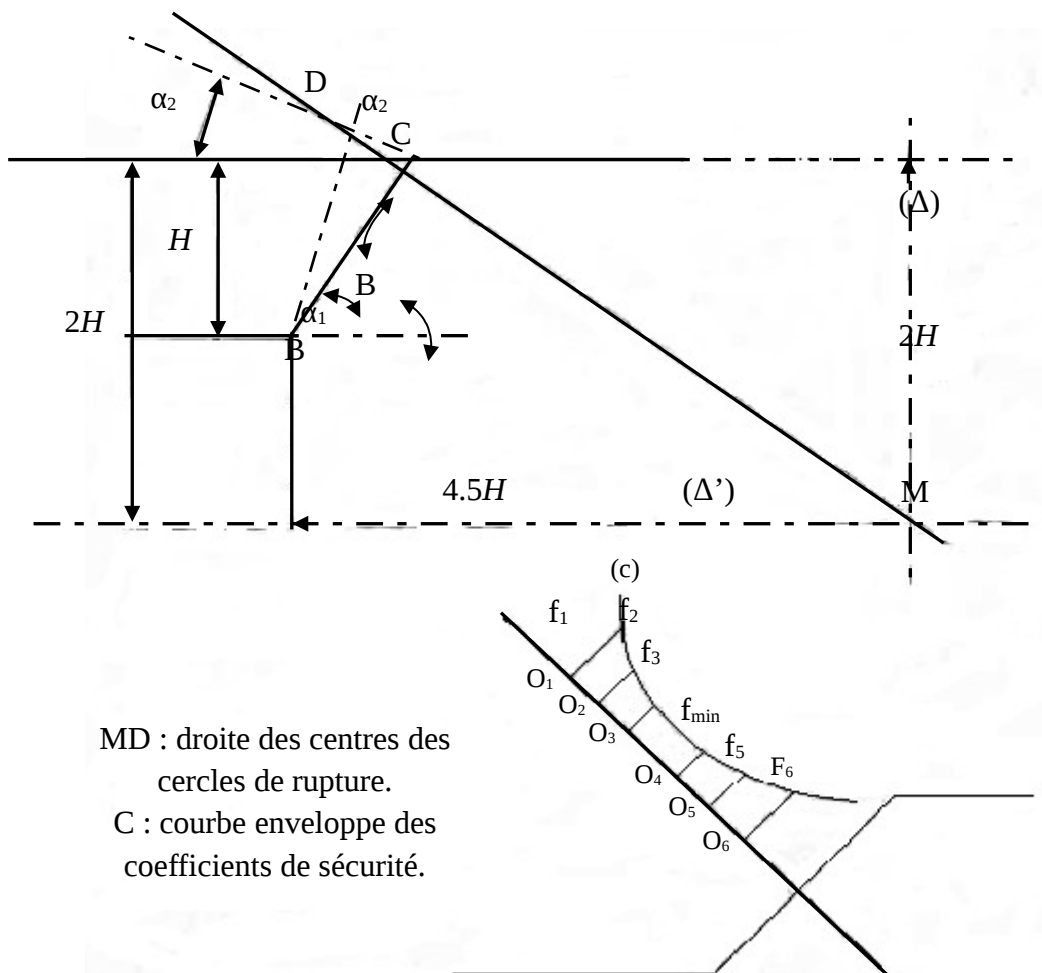


Figure (7-8) : détermination du lieu géométrique des centres de cercles de rupture

VII2-3. Circonstance de calcul de stabilité

Les calculs se font pour le talus amont et aval :

- pour le talus aval, la répartition des pressions interstitielles est celle qui résulte de l'écoulement permanent vers le drain aval, le réservoir étant plein derrière le barrage.

- pour le talus amont, la stabilité minimale est obtenue dans le cas de la vidange rapide.

Pratiquement, avec les matériaux utilisés, toute vidange durant moins d'un mois est considérée comme rapide. On a alors, au sein de l'ouvrage, la répartition de la pression interstitielle la plus défavorable. Dans le tableau, nous donnons le coefficient de sécurité à atteindre pour les cas sus cités.

Tableau (7-2) : les différents coefficients de sécurité.

Cas de sollicitation	Le coefficient de sécurité minimum	
	Sans séisme	Avec séisme
Talus amont		
- retenue au N.N.R	1.4	1.05
- vidange rapide	1.2	1.05
Talus amont	1.4	1.05

VII-2-4. Calcul des coefficients de sécurité

Pour le Calcul des coefficients de sécurité, nous avons utilisé un logiciel appelé GSLOPE qui permet de calculer les différents coefficients de sécurité et de choisir le plus critique (minimum) afin de définir ainsi son cercle de glissement ; cela en s'appuyant sur l'analyse de BISHOP, et en introduisant les données de base (les caractéristiques dimensionnelles de la digue, les caractéristiques topographiques et géologiques du site).

L'avantage de ce logiciel (GSLOPE) est qu'il permet de tracer un très grand nombre de cercles de glissement (par exemple 100 à 200), de trouver ainsi avec une très bonne approximation et rapidité, le cercle le plus défavorable pour la stabilité du talus donc le plus critique ainsi son coefficient de sécurité.

Il est à noter que le calcul de stabilité est fait en tenant compte de l'effet du séisme de la région sur les deux talus. Nous récapitulons les résultats obtenus par le logiciel GSLOPE dans le tableau (7-3).

Tableau (7-3) : valeurs des coefficients de sécurité obtenus, par le logiciel GSLOPE.

Retenue pleine (N.N.R)		Retenue vide	
Talus amont	Talus aval	Talus amont	Talus aval

Avec séisme	X	3	102	0.75	102
	Y	75	79	55.75	77
	R	80	81	58.75	79.5
	F	1.47	1.43	1.51	1.45
Sans séisme	X	7	97	1.75	97
	Y	51	76	66.50	76
	R	56	82	68.75	82
	F	2.87	1.49	1.62	1.49

R : rayon de cercle de glissement ;

X, Y : coordonnées du centre de glissement ;

F : coefficient de sécurité.

L'expérience a montré qu'il est dangereux d'avoir un coefficient de sécurité inférieur aux normes citées dans le tableau (7-2). Généralement, il doit être supérieur ou égal à 1,4 dans le cas d'essai sans séisme et supérieur ou égal à 1,05 dans le cas d'essai avec séisme, ceci pour les deux talus.

Conformément aux normes, nous remarquons que tous les coefficients de sécurité obtenus dans notre cas sont supérieurs aux normes. Ceci confirme la stabilité des talus de notre digue.

Conclusion

En conclusion, dans l'étude des infiltrations dans le barrage et ses fondations, on note que l'infiltration des eaux à travers la digue, est un phénomène qui est dû au gradient hydraulique et au coefficient de perméabilité. L'écoulement gravitaire de ces filets d'eaux entraînant avec lui les particules fines de sable. Ainsi, sous l'effet de pression elle forme un petit tunnel qui est dévastateur pour l'ouvrage et un danger pour la stabilité de l'ouvrage.

Pour cela il faut protéger la retenue en évacuant ces eaux. La protection est assurée au moyen d'un filtre inversé placé au pied de la digue et un drain tapis filtrant qui intercepte les eaux du barrage puis les évacuer à l'extérieur.

L'étude de la stabilité de talus amont et de talus aval est la partie essentielle de conception des barrages en terre.

Dans cette partie d'étude nous avons évalué le coefficient de sécurité de chaque talus dans différents cas (avec et sans séisme), en utilisant le logiciel GSLOPE qui est basé sur la méthode de BISHOP simplifiée. Les résultats obtenus de l'application de ce logiciel sont représentés dans le tableau (7-3).

Les valeurs des coefficients de sécurité obtenus dans notre cas sont supérieures aux normes, ce qui est satisfaisant et cela confirme la stabilité des talus de notre digue.