

## Suite- Cours 2 : Barrages en remblai

## I.2.2-Les barrages en remblai

**- Introduction:**

Les barrages en remblai (souples) sont, soit des digues en terre, soit des digues en enrochements, ils sont construits par des matériaux naturels comme l'argile, les roches, et les pierres, ses parties principales sont :

- Le noyau : en sols fins pour assurer l'étanchéité du barrage, sa position est variée, verticale, inclinée, centrée...etc.
- Les recharges : est un corps constitué par des massifs perméables (en alluvions ou en enrochements) qui assure la stabilité de l'ouvrage.
- Le drain : en sols perméables pour assurer l'écoulement de l'eau dans le sol et diminue la pression interstitielle.
- Les filtres : ce sont des parties peu épaisses, on les place entre les différentes parties contre l'infiltration des eaux et pour éviter le phénomène de renard (l'érosion interne).
- Le rip-rap : couche superficielle constitué par des blocs d'enrochements sur les côtés du remblai pour le protéger contre les vagues,

**I.2.2.1-Les barrages en remblai, caractéristiques générales :****\*Les barrages en terre**

- Les barrages en terre peuvent être construits, pratiquement dans toutes régions avec des matériaux locaux, sans limitation de hauteurs et sur des fondations pas suffisamment solides.
- Ils sont pratiquement les seuls qui peuvent être employés lorsque le sol de fondation est constitué par des matériaux non rocheux, tels que les couches d'alluvions des fonds de vallées. Le corps de l'ouvrage et le masque d'étanchéité peuvent s'adapter aux mouvements du sol de fondation (barrages souples).
- Possibilité de la mécanisation à haut niveau dans la construction.
- L'impossibilité de conduire le débit de crue à travers l'ouvrage et présence de l'écoulement souterrain dans le corps du barrage qui peut provoquer la déformation du barrage en cas de fondation perméable.

**\*Les barrages en enrochements** sont largement utilisés dans les zones éloignées où le ciment est coûteux et les matériaux pour un barrage en terre ne sont pas disponibles. Ces ouvrages peuvent être construits sur un sol de fondation rocheux, où non rocheux à condition que celui-ci soit suffisamment résistant pour ne pas provoquer une rupture du masque d'étanchéité par tassement.

- Les barrages en enrochements sont très stables (pas de sous pressions) et n'est pas influencé par les conditions naturelles.
- Ils présentent l'inconvénient d'utiliser un grand volume de matériaux (3 à 4fois celui d'un barrage poids de même volume). Ils sont très vulnérables en cas de submersion par déversement (comme c'est le cas pour les barrages en terre). Bien que les fuites y soient fréquentes. Leurs coûts sont bien comparables à ceux des barrages en béton.

**I.2.2.2- Propriétés des matériaux de construction****- Les barrages en terre :**

Ils peuvent être construits pratiquement de tous les types de matériaux disponibles sur site. Le meilleur matériau pour les barrages homogènes est le mélange de particules de diverses dimensions. Les vides entre les particules de

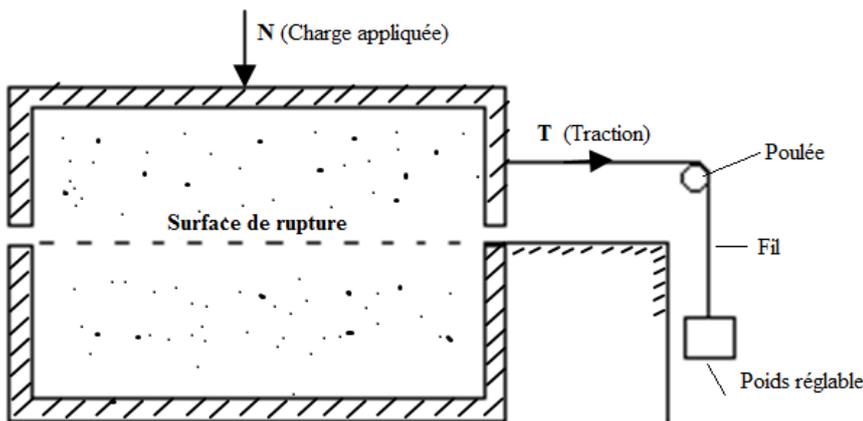
## Partie A: Barrages

## Chapitre 02. Différents types de barrages et choix du profil type

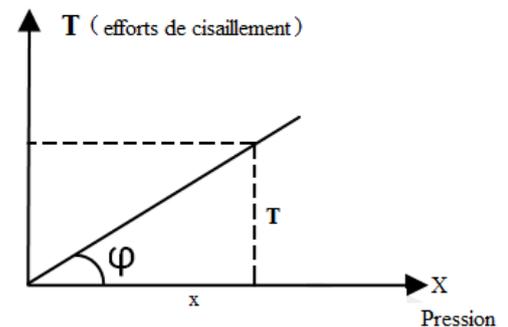
grandes dimensions sont remplis par les particules de silt et de sable. Ce qui augmente l'angle de frottement et réduit la perméabilité. Les matériaux sont classifiés en deux types :

- **Les matériaux granulaires (Pulvérulents)** constitués par des grains (de diamètre moyen  $> 0.05$  mm) juxtaposés sans liant (sable par exemple). Ils préservent leurs individualités et sont caractérisés par un angle de frottement interne  $\varphi$  qui peut être mesuré par un essai de cisaillement (Fig.III-1). L'appareil utilisé se compose de deux boîtes parallélépipédiques ; l'une est fixe, l'autre est soumise à une traction  $T$ .

La contrainte de cisaillement  $T = N \operatorname{tg} \varphi$ , avec  $N$  est la contrainte normale à la surface de rupture appliquée aux particules solides et  $\varphi$  est l'angle de frottement interne du matériau. Par exemple, l'angle  $\varphi$  des sables est compris entre  $27^\circ$  et  $33^\circ$  ( $0.5 < \operatorname{tg} \varphi < 0.67$ ).



a)- Appareil de l'essai



b)- Graphique résultant de l'expérience de la mesure de  $\varphi$  (Cas d'un sable sec)

Fig.III-1

- **Les matériaux cohésifs** : Ils sont constitués par des grains très fins (de diamètre  $< 0.05$  mm) séparés les uns des autres par des lamelles d'eau (argile par exemple). Ces matériaux conservent la forme artificielle qui lui est donnée et présentent de la cohésion après certain temps. Cette cohésion est due, d'une part aux forces d'attraction mutuelles (réciproques) entre particules, d'autre part aux forces de tension superficielle de l'eau capillaire qui les sépare. Leur résistance au cisaillement est donnée par la loi de Coulomb (Fig.III-2) :  $T = c + N' \operatorname{tg} \varphi$ , avec  $N'$  la pression normale effective. Pour un matériau perméable tel que le sable ou le gravier  $N' = N$ . Pour un matériau imperméable tel que l'argile, l'eau qui subsiste dans la masse de l'échantillon est soumise à une pression  $P$  appelée pression hydrostatique interne ou pression interstitielle ; par suite  $N' = N - P$ . Ainsi, la pression interstitielle  $p$ , a pour effet de réduire la résistance au cisaillement et donc la stabilité des massifs. La cohésion  $c$  est égale à la résistance au cisaillement lorsque la charge normale  $N'$  est nulle. Par exemple, une argile est caractérisée par les deux valeurs suivantes ( $\varphi = 25^\circ$  et  $c = 2 \text{ t/m}^2$ ).

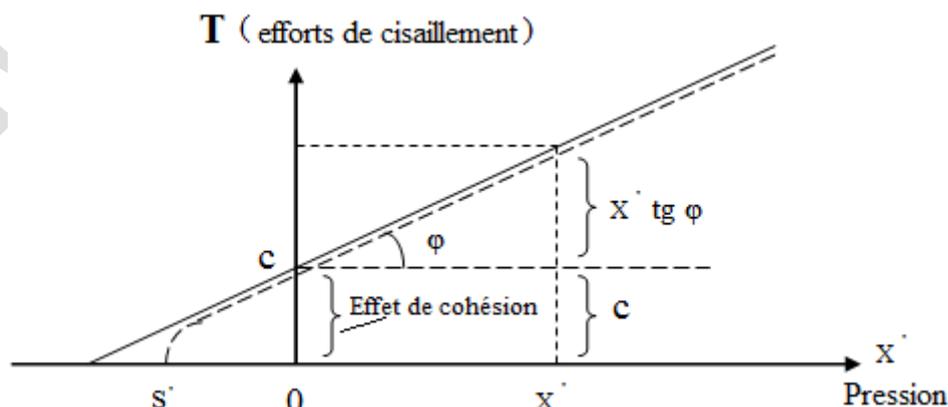


Fig.III-2

## Partie A: Barrages

### Chapitre 02. Différents types de barrages et choix du profil type

-Si une grande quantité de matériaux perméables est disponible sur site, tel que du sable et du gravier, et si les matériaux argileux doivent être importés, le barrage sera construit avec un petit noyau imperméable en argile, et les matériaux localement disponibles constitueront la majeure partie de la digue. Du béton a été utilisé pour construire le noyau imperméable, mais n'a pas la flexibilité de l'argile.

-Si les matériaux perméables ne sont pas disponibles sur site, le barrage peut être construit de matériaux argileux avec drains souterrains, de sable et/ou de gravier importés.

#### - Forme et composants principaux du barrage

Le profil en travers des barrages en terre a une forme de trapèze. La largeur à la base est déterminée par la pente des talus des parements (Fig.III-3). Si le sol de la fondation n'est pas moins solide que le sol des corps des barrages, la pente des talus du barrage de remblai peut être pris comme suit (Tab.III-1).

Tab.III-1

Hauteur du barrage (m)	La pente des talus	
	$m_1$	$m_2$
<5	2 - 2.5	1.5 - 1.75
5 - 10	2.25 - 2.75	1.75 - 2.25
10 - 15	2.5 - 3	2 - 2.5
15 - 50	3 - 4	2.5 - 4
> 50	4 - 5	4 - 4.5

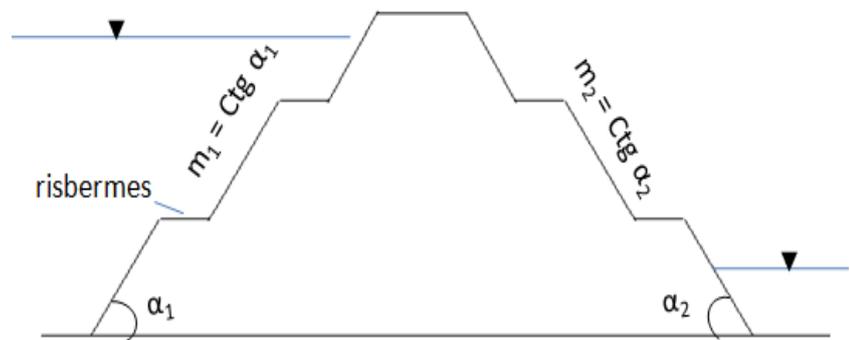


Fig.III-3

#### - Classification des barrages en terre

Les barrages en terre sont les plus anciens barrages, construits par un noyau argileux (centré ou incliné) pour assurer l'étanchéité, comme il y a d'autres types des barrages en terre réalisés par un masque en béton armé, béton bitumineux, membrane mince, ou bien l'asphalte pour l'étanchéité. On peut les classer essentiellement en deux catégories : Les barrages en terre homogènes et les barrages en terre zonés (hétérogènes).

##### a)- Les barrages en terre homogènes

Ils sont complètement structurés par un seul matériau, le plus utilisé c'est l'argile puisque il est imperméable donc garantit la stabilité du barrage, dont les matériaux les plus fins sont à l'amont et les plus grossiers à l'aval (Fig.III-4).

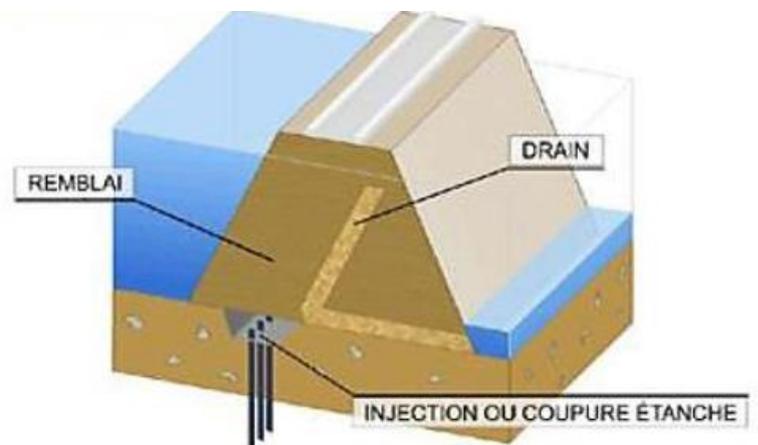


Fig.III-4

##### a)- Les barrages en terre zonés (hétérogènes)

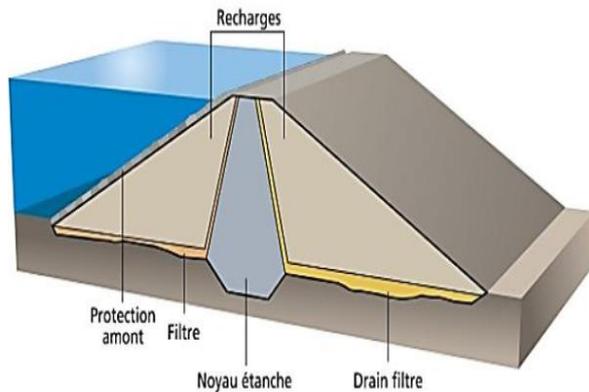


Fig.III-5

### - Les barrages en enrochement

En général, ce type de barrages est composé d'enrochements de volume compris entre 0.1 et 10 m<sup>3</sup> (0.25 à 25 tonnes). La mise en œuvre des enrochements se fait de deux façons différentes. Ils peuvent être soit rangés à la main ou au moyen d'une grue, soit déposés en vrac. L'inconvénient de ce dernier procédé est que l'ouvrage est soumis après achèvement à des tassements importants (de l'ordre de 5% de la hauteur).

Ceux-ci peuvent être réduits en procédant à un arrosage d'eau sous hautes pressions, pendant la construction. Cet arrosage permettra de chasser les éléments fins d'entre les points de contact des enrochements et par suite de réaliser un remplissage des intervalles entre grosses pierres au moyen d'éléments fins. Le compactage du massif étant assuré par la chute des enrochements de hauteurs pouvant atteindre 50 m. La Figure 12 montre un profil en travers type d'un barrage en enrochement de forme de trapézoïdale.

comprend deux parties :

- Un corps constitué par des massifs perméables en enrochements, qui assure la stabilité de l'ouvrage.
- Un masque d'étanchéité interne ou externe.

La pente des talus est de l'ordre de 1/1. Les barrages en enrochements de faible hauteur, peuvent avoir des talus plus pentus, 1H/2V. En général, le talus aval est de pente 1.3H/1V, correspondant à l'angle de frottement interne des enrochements. Pour des barrages de hauteur supérieure à 60 m, les talus amont ont en général des pentes de 1.3H/1V.

#### \* Classification des barrages en enrochements

✓ Suivant les matériaux de construction on divise les barrages en enrochements en :

- barrages en enrochements en vrac ou en maçonnerie

✓ Suivant la qualité du masque :

- barrages à masque souple (en argile).

- barrages à masque rigide (en béton armé).

- barrages à noyaux souple (en argile).

- barrages à noyaux rigide (en béton armé).

#### \* Etanchéité et conditions de construction

Les éléments d'étanchéité se composent de deux parties : l'une en élévation et l'autre en fondation.

**a) Masque en élévation :** En élévation, le masque est constitué par une couche de matériaux imperméables placée en général sur le parement amont. Cette couche est soit :

Ce type de barrages est compliqué, fabriqué par plusieurs matériaux à partir de leurs granularités, chaque matériau placé dans une zone bien déterminée dans le corps du barrage pour protéger le noyau, et la séparation entre les différentes zones est faite par des filtres de transition.

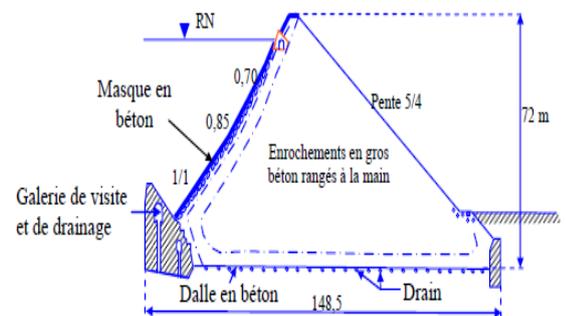


Fig 6: Barrage en enrochements du Ghib

## Partie A: Barrages

## Chapitre 02. Différents types de barrages et choix du profil type

\* une dalle en **béton armé** avec des joints bitumineux.

\* une couche de **béton bitumineux** de 10 à 15 cm d'épaisseur reposant sur une forme en béton et protégée par une couche de béton armé.

Dans ces deux types, les masques sont posés sur une couche de pierres rangées de plusieurs mètres d'épaisseur compris entre deux couches filtrantes (en sable et gravier) qui empêchent l'entraînement des matériaux du noyau dans le corps de l'ouvrage (couche filtrante aval) ou à travers le revêtement de protection (couche filtrante amont).

### b) Masque en fondation

Lorsque le terrain de fondation est perméable, le masque en élévation est prolongé par une parafouille analogue à celui réalisé pour les digues en terre.

Le problème majeur rencontré avec les barrages en enrochements est celui des importants tassements au moment du premier remplissage après la fin de construction. Des déplacements verticaux et horizontaux supérieurs à 5 % ont été observés. C'est pourquoi, la face imperméable doit être très flexible, autrement des dommages importants risquent d'accompagner les tassements. Une solution effectuée au nord Américaine à ce problème, consiste à mettre des masques provisoires sur le barrage et de les remplacer par la suite par des masques permanents une fois le tassement est terminé. Ces masques provisoires sont en général en bois.

#### \* Les conditions de stabilité

sont analogues à celles étudiées dans le cas des barrages en terre. Si le sol de fondation est constitué par des éléments fins, il faut assurer la prévention contre les effets de renards par infiltration sous la base : pour cela, il convient de placer un filtre en éléments de diamètre compris entre celui des matériaux du sol de fondation et celui des enrochements, de façon à empêcher l'entraînement des matériaux fins du sol de fondation à l'intérieur du corps de l'ouvrage.

#### - Calcul de la stabilité du barrage

##### A- Barrage en enrochement en vrac :

Un barrage en enrochement subit l'action de toutes les forces comme les autres barrages, mais son volume est grand, c'est pourquoi il n'existe pas le glissement du barrage. Cependant, les pentes des talus doivent être inférieures aux valeurs admissibles pour assurer la condition de stabilité des talus.

##### B- Barrage en maçonnerie :

Un barrage en maçonnerie à un profil en travers plus petit que le profil des autres types des barrages en enrochements. Suivant la condition de l'équilibre des forces appliquées, le profil théorique à une forme triangulaire (fig.8-10), la condition de stabilité de laquelle est :

$$Kg = \frac{f(P + R_2)}{R_1} = \frac{f(\gamma_1 H^2 \operatorname{tg} \alpha + \gamma \frac{H^2}{2} \operatorname{tg} \alpha)}{\gamma \frac{H^2}{2}}$$

Ici :  $f$  - Coefficient de frottement interne.

$$R_1 = \gamma \frac{H^2}{2} - \text{Poussée de l'eau.}$$

$$R_2 = \gamma \frac{H^2}{2} \operatorname{tg} \alpha - \text{Poids de l'eau sur le parement amont.}$$

$$P = \gamma_1 H^2 \operatorname{tg} \alpha - \text{Poids propre du barrage.}$$

$\gamma_1$  - Poids spécifique des matériaux du barrage.

$\gamma = 1$  - Poids spécifique de l'eau.

$Kg$  - Coefficient de sécurité de non-glissement.

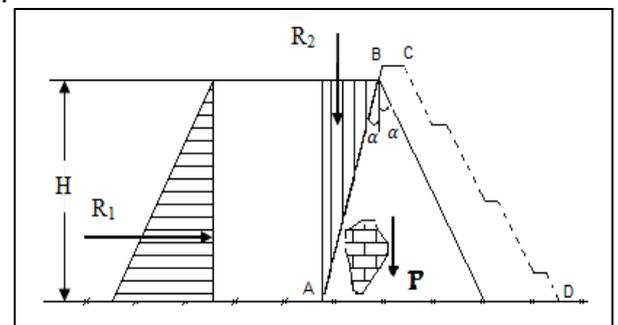


Fig.7: Barrage en maçonnerie

## Partie A: Barrages

### Chapitre 02. Différents types de barrages et choix du profil type

Pour le barrage en maçonnerie de porosité d'environ 0,27 avec  $\gamma_1 = 2,7(1-0,27) = 1,97 \text{ tf/m}^3$  et  $f = 0,3$ , quand  $Kg = 1,2$ , de (8-15) on obtient :  $\text{tga} = 0,8$ .

En pratique, le profil du barrage a une forme de trapèze ABCD (fig.8-10), c'est pourquoi la stabilité du barrage augmente. En réalité des barrages en maçonnerie ont souvent une pente de parement amont de  $m_1 = 0,7$  et du parement aval variée de  $m_2 = 1$  à base à 0,7 au sommet. Pour les barrages de grande hauteur, sur le parement aval il y a des risbermes avec écartement vertical de 6 à 8m.

#### - Le tassement du barrage en enrochement :

L'inconvénient du barrage enrochement est de produire un grand tassement, causé par le compactage sous l'action du poids propre du barrage. Ce tassement dépend du procédé d'exécuter des travaux, c'est-à-dire, dépend de la porosité initiale des enrochements pendant la période de construction. Le tassement peut atteindre 0,5 à 1,5% de la hauteur du barrage.

Le calcul du tassement du barrage est réalisé dans le but de la détermination du volume des matériaux de construction. Le tassement durant la période de construction peut être déterminé par l'expression:

$$S_{\text{const}} = \sum_1^n \frac{ap}{1 + \varepsilon_0} \Delta h$$

Avec:

$n$  : nombre de couches des enrochements exécutées.

$a$  – coefficient de compactage ( $\text{cm}^2/\text{kgf}$ ).

$P$  – Pression sur une couche considérée, produite par le poids des couches des enrochements supérieures ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ).

$\Delta h$ : hauteur d'une couche d'enrochements en cm, prise entre 50 à 150cm.

$\varepsilon_0$  - porosité initiale des matériaux.

Dans la période d'exploitation, le tassement du barrage, réalisé par le procédé de compactage des couches, l'une après l'autre, est d'environ 0,5 à 1% de la hauteur du barrage. Le tassement du barrage en enrochements en vrac, compactés par un jet d'eau, est d'environ 1,5% de la hauteur.