

Chap. 2

INVESTIGATIONS PRELIMINAIRES DANS LES ETUDES DE BARRAGES

1- Introduction:

2-4 Définition:

Les études préliminaires d'un projet de barrage concernent les opérations de recherche et de choix du site du futur barrage en cernant tous les problèmes relatifs aux conditions topographiques, géologiques, géotechniques et hydrologiques.

2-5 Le choix du site.

Après avoir fixé les objectifs de la réalisation d'un barrage dans une zone donnée, on commence l'étude de faisabilité par la recherche d'un site apte à satisfaire ces objectifs fixés au préalable. Cette recherche est effectuée sur des documents existants (carte d'état major, photos aériennes ; cartes géologiques etc...) en général, à ce stade d'étude on choisit plusieurs sites. Le choix définitif doit tenir compte de plusieurs facteurs dont, l'utilisation de l'eau, mais surtout on doit rechercher le site qui donne le m³ d'eau mobilisé le plus économique possible et il est conseillé de vérifier sommairement l'inégalité suivante:

$$\frac{\text{volume d'eau stockée}}{\text{volume du matériaux de barrage}} \geq 5 \quad \text{Pour les petits barrages}$$

$$\frac{\text{volume d'eau stockée}}{\text{volume du matériaux de barrage}} \geq 10 \quad \text{Pour les grands barrages}$$

Le choix définitif du site, se fait après la visite du(ou des) site afin de se fixer sur les points suivants :

- Accès au site.
- Couvert végétal du bassin versant.
- Morphologie du cours d'eau et de son bassin versant.
- Zone de retenue d'eau.

2- Etude topographique.

2-1 introductions.

L'étude topographique concerne le bassin versant, la vallée du cours d'eau à l'amont et à l'aval du barrage, le site du barrage, la retenue et éventuellement les zones d'emprunts.

2-2 Topographies du bassin versant.

La topographie du bassin versant se fait sur des cartes existantes à des échelles les plus précises possibles pour pouvoir cerner la morphologie du bassin versant indispensable aux études hydrologiques (surface du bassin versant, son périmètre, sa forme, sa pente, sa couverture végétale, son réseau hydrographique, etc....).

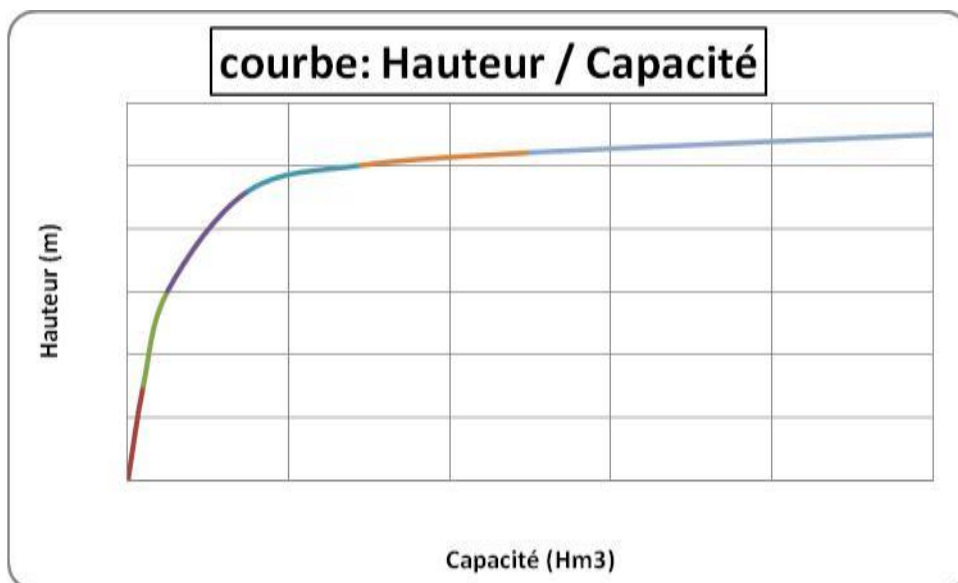
2-3 Topographies de la vallée du cours d'eau.

La topographie de la vallée revêt un caractère particulier à la sécurité des biens et des individus après la réalisation de l'ouvrage tant à l'amont (détermination du relèvement maximum du niveau d'eau du cours d'eau pour délimiter les zones qui seront submergées après la mise en eau), qu'à l'aval (cas de rupture du barrage).

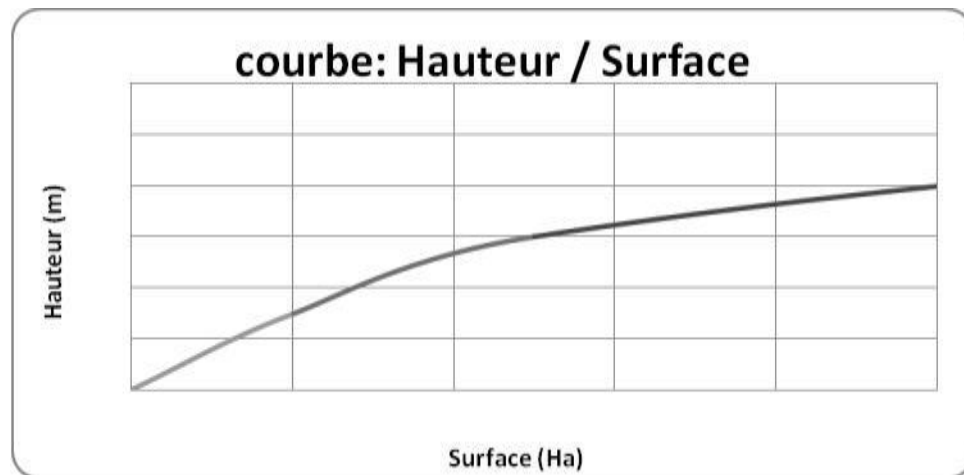
2-4 Topographie du site du barrage et de sa retenue.

La topographie du site du barrage et de sa retenue doit mener à l'élaboration de plan topographique à partir des quels on peut dresser divers courbes:

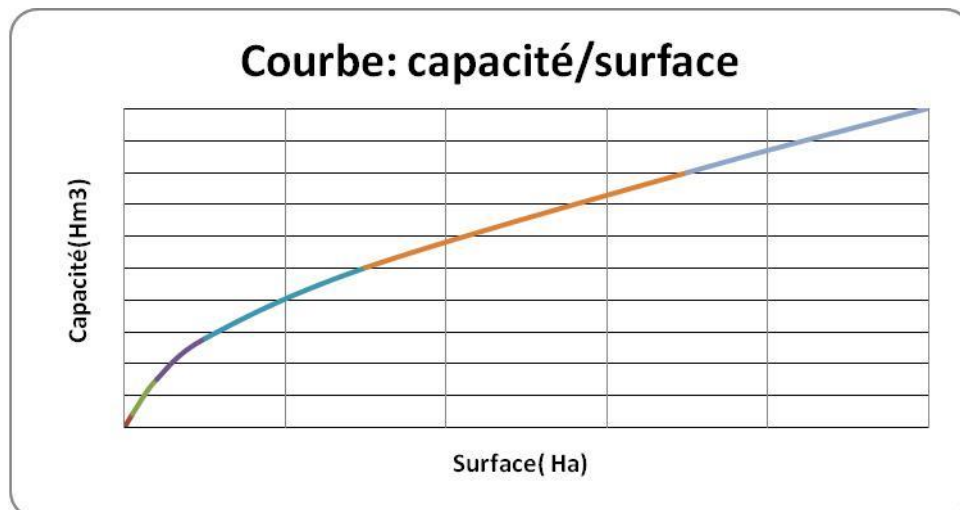
- Courbe Capacité/Hauteur.



- **Courbe Surface/Hauteur.**



- **Courbe volume/ surface**



Ces plans seront également utilisés pour implanter l'emprise du barrage et tous les ouvrages annexes.

3- Etude géologique et géotechnique.

3-1 Introduction.

Les études géologiques et géotechniques d'un barrage sont effectuées dans le but de vérifier les points suivants:

- la stabilité et l'étanchéité des fondations de l'ouvrage, de ses ouvrages annexes, de la cuvette ainsi que ses fondations.
- La recherche des matériaux de construction, leurs identifications et la vérification de leurs qualités et leurs quantités.

3-2 les travaux de reconnaissance.

Cette étape d'investigation peut se résumer dans ce qui suit :

Phase - 1	Phase- 2	Phase-3
<ul style="list-style-type: none">• Enquête et études sur documents existants.• Analyse de la géologie régionale.• Levées d'affleurement dans la cuvette et sur site.• Levée des matériaux de recouvrements.• Repérage de carrières pour enrochements et graviers.• Levées de versants instables sur site et dans la cuvette.• Définition de la nature et de l'origine des matériaux charriés.• Hydrogéologie du bassin versant, de la cuvette et du site.• Etablir un rapport détaillé des formations géologiques.• Interprétation sommaire.	<ul style="list-style-type: none">• Reconnaissances superficielles : décapage, tranchées, puits etc...• Prospections géophysiques.• Sondages et essais in situ.• Essais géotechniques simples menant à la classification des matériaux.• Etablir un compte rendu détaillé.• Proposition d'un type d'ouvrage.	<ul style="list-style-type: none">• Sondages complémentaires.• Essais de mécanique des sols.• Identification en laboratoire de la nature des roches.• Analyses de l'eau et de l'argile.• Essais d'abattage des roches.• Chantier expérimental de compactage si c'est nécessaire.

- | | | |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Dresser un programme de reconnaissance. | | |
|---|--|--|

3-3 Cuvette.

L'étude géologique de la cuvette porte sur deux points essentiels, son étanchéité et la stabilité de ses versants et cela en identifiant la nature du sol couvrant sa surface, on doit également vérifier l'imperméabilité de ces sols ou à la limite proposer les solutions nécessaires pour les rendre imperméables. On doit aussi rechercher l'existence de failles et fractures traversant la cuvette.

On doit aussi vérifier la stabilité des versants de la cuvette en recherchant toute traces d'anciens glissements, d'amorces de nouveaux glissements ou des zones pouvant être sujets à des glissements après la mise en eau de cette cuvette.

3-4 Site du barrage.

L'étude géologique du futur barrage doit porter sur deux aspects essentiels à savoir, la recherche de la situation du substratum et la couverture récente.

Le substratum qui est constitué par des formations anciennes est le plus souvent situé à des profondeurs importantes. Il est étudié par le biais de puits, tranchées, forages et par la prospection géophysique, son étude doit mener à la détermination de la couche altérée ou décomprimée et du type de sa perméabilité.

Cette étude doit aussi mener à la détermination des accidents tectoniques du site.

3-5 rappels sur la géotechnique.

3-5-1 Introduction.

L'étude géotechnique doit porter sur la détermination des caractéristiques mécaniques et hydrauliques des sols de fondations de l'ouvrage et des sols pouvant être employés comme matériaux de construction d'une digue.

Pour les matériaux de construction on doit rechercher une (ou des) zones d'emprunts (ballastières) de préférence dans la cuvette et estimer la quantité de matériaux disponible qui doit être de l'ordre de 1.5 à 2.0 fois le volume de la digue.

3-5-2 Caractéristiques des sols.

- **Classification des sols.**

La structure d'un sol nous renseigne sur l'agencement des grains entre eux, quand à la texture, elle nous renseigne sur la taille prédominante des particules du sol. En général on dispose de plusieurs méthodes qui se basent en gros sur la division des particules des sols en trois gammes de tailles ou fractions texturales : sable, argile et limon.

Exemple 1: Massachusetts institut of technology.

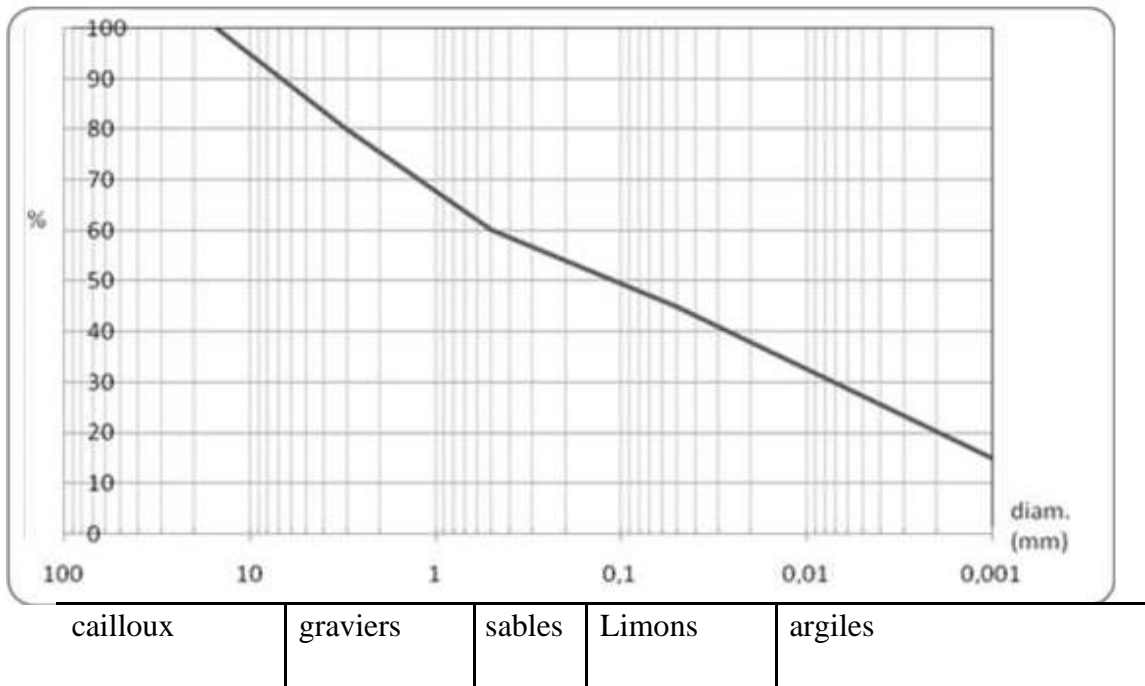
Argiles	Limons			sables			graviers
	fins	moyens	grossiers	fins	moyens	grossiers	
	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2.0

Exemple 2 : U.S Bureau of reclamation.

argiles	Limons	sables				graviers
		Très fins	fins	moyens	grossiers	
	0.005	0.05	0.1	0.25	0.5	1.0

- **Courbe granulométrique.**

La courbe granulométrique est un moyen pour caractériser la texture d'un sol en séparant les particules par groupe de taille grâce à une série de tamis calibrés.



- **Teneur en eau.**

La teneur en eau est une propriété très importante d'un sol par son intervention dans le compactage de ce sol.

$$w = \frac{P - P_s}{P_s} * 100 \quad [\text{En \%}].$$

Avec. P : Poids de l'échantillon humide.

P_s : Poids de l'échantillon sec.

- **Limites d'Atterberg.**

Les limites d'atterberg se rapportent en particulier aux sols argileux et donc aux teneurs en argile d'un sol donné. Ainsi on peut déterminer les teneurs en eau qui donnent les états suivants :

- Passage de l'état boueux à l'état plastique est donné par la teneur en eau qui est la limite de liquidité (W.L.).
- Passage de l'état plastique à l'état solide est donné par une teneur en eau qui est la limite de plasticité (W.P.).

- Passage de l'état plastique à l'état solide avec retrait est donné par une teneur en eau qui est la limite de retrait (W.R.).

On définit l'indice de plasticité (I.P.) comme la différence (W.L.-W.P.)

Ainsi on peut caractériser un sol comme suite :

$IP \geq 10$, c'est un sol assez argileux.

$IP \geq 30$ sol très argileux.

- **Caractéristiques mécaniques des sols:**

- **Indice des vides (e):**

C'est un indice qui nous renseigne sur la facilité ou non du compactage d'un sol, ainsi un sol est dure à compacter s'il contient moins de vides.

$$e = \frac{V_{\text{vides}}}{V_{\text{solides}}}$$

Avec. V_{vides} : volume des vides.

V_{solides} : volume des solides.

- **Poids spécifique apparent (γ):**

$$\gamma = \frac{P_{\text{eau + air}} + P_{\text{solides}}}{V_{\text{total}}}$$

Avec. $P_{\text{eau+air}}$: poids de l'eau et de l'air.

P_{solides} : poids des solides.

V_{total} : volume total de l'échantillon.

- **Poids spécifique sec (γ_d):**

$$\gamma_d = \frac{P_{\text{solides}}}{V_{\text{total}}}$$

Avec. P_{solides} : poids des solides.

V_{total} : volume total de l'échantillon.

- **Poids spécifique des grains solides (γ_s):**

$$\gamma_s = \frac{P_{\text{solides}}}{V_{\text{solides}}}$$

Avec. P_{solides} : poids des solides.

V_{solides} : volume des solides.

- **Poids spécifique saturé (γ_{sat}):**

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{P_{\text{eau}} + P_{\text{solides}}}{V_{\text{total}}}$$

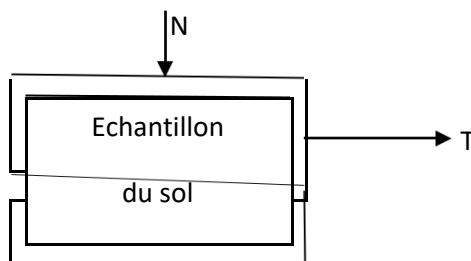
Avec. P_{eau} : poids de l'eau.

P_{solides} : poids des solides.

V_{total} : volume total.

• **Angle de frottement interne (φ) et cohésion(C).**

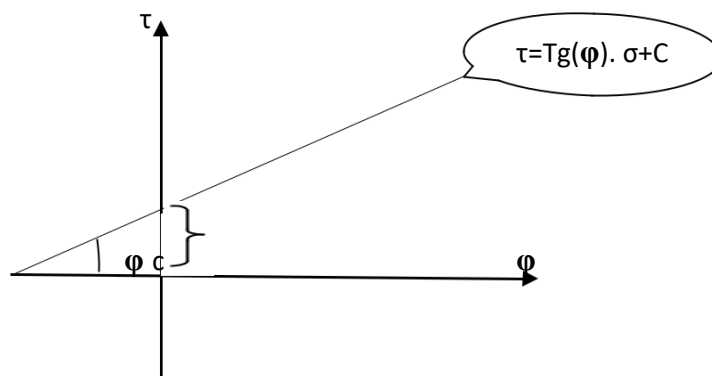
Boite de cisaillement simple de Casagrande.



Avec : $\sigma = \frac{N}{S}$ -Contrainte normale.

$\tau = \frac{T}{S}$ -Contrainte tangentielle

Ainsi on peut tracer la droite de Coulomb



- **Etude des fondations.**

Pour le terrain des fondations de l'ouvrage et de ses ouvrages annexes, on doit s'intéresser, en particulier à deux points essentiels :

- Il faut déterminer les contraintes maximales que peut supporter ces fondations, ce qui conditionne le choix du type de l'ouvrage, ainsi sur terrain meuble, on opte souvent pour un barrage souple du genre, en terre ou enrochement et pour des terrains rocheux on opte pour des ouvrages en béton.
- On doit déterminer la perméabilité des couches en dessous du barrage par des essais Lugeon qui consistent au sondage de forages et on y injecte de l'eau sous pression (remarque : unité Lugeon, UL=débit de fuite d'eau de 1 litre par minute et par mètre linéaire de forage avec une pression de 10 bars appliquée pendant 10 minutes).

4- Etude hydrologique.

4-1 Apports liquides.

- **Introduction.**

L'étude des apports doit être faite en fonction du rôle de la retenue et de son importance, car la détermination du volume de la retenue exige une bonne connaissance des reports d'une année à une autre et de la répartition dans l'année (apport mensuel ou saisonnier). ainsi on peut parler de type de régularisation.

- Régularisation mensuelle: les retenues se remplissent pendant les mois où un excédent d'eau pour se vider durant les mois où il ya un déficit.
- Régularisation saisonnière : les retenues se remplissent pendant les saisons humides et se vident pendant les saisons sèches.
- Régularisation interannuelle : les excédents des apports non utilisés en années humides sont stockés pour être utilisés en années sèches.

- **Apports annuels.**

L'estimation de l'apport annuel doit se faire à manière à ce qu'il se rapproche le plus possible de la réalité car il a une grande influence sur la capacité de la retenue et donc sur la taille du barrage et sur son cout global. Cette estimation se fait suivant que l'on dispose ou non des données hydrométriques et climatiques.

- **1^{er} cas :**

Si on dispose de données hydrométriques en nombre suffisant, soit une série de mesure suffisamment longue (au moins 15 années ; voir plus pour les barrages de grande taille) l'apport moyen annuel est considéré comme une variable aléatoire qui suit une loi statistique ce qui nous permet de déterminer : le débit moyen interannuel, l'écart type, les débits fréquents etc.....,

- **2^{ème} cas :**

Si on dispose de données hydrométriques en nombre insuffisant, soit une série courte qui ne peut représenter le phénomène hydrologique, de sorte qu'une étude statistique directe n'est pas envisageable, dans ce cas, il est possible d'étendre la série d'observation par analogie avec un autre bassin versant où l'on dispose d'une série longue et en recherchant une corrélation avec la pluviométrie sur les deux bassins.

- **3^{ème} cas :**

Si on ne dispose pas de données hydrométriques, la seule possibilité que nous avons c'est d'utiliser des formules empiriques pour calculer le débit moyen annuel, ces formules se basent dans leur ensemble sur des données climatiques et morphologiques du bassin versant.

- **Apports mensuels :**

Généralement la détermination de l'apport interannuel s'avère insuffisant et souvent, on est obligé de déterminer la répartition de l'apport dans l'année (d'un mois à un autre ou d'une saison à une autre).

4-2 Estimations de la crue de projet.

- **Introduction.**

On appelle crue de projet, la crue de débit maximum que l'ouvrage peut faire passer à l'aval sans subir de dégâts qui peuvent mettre en danger son fonctionnement. Il est aussi indispensable de vérifier que la surélévation du niveau dans la retenue par le laminage de crues ne provoque pas des dégâts à l'amont,

- **Fréquence de la crue de projet.**

En général, le choix de la fréquence de la crue de projet se fait par le biais d'un calcul technico- économique et suivant les dommages qui seraient causés à l'aval en cas de rupture

de l'ouvrage, la fréquence est choisie plus faible si les dégâts sont importants (pour les ouvrages importants, on adopte pour une fréquence de 10^{-3}).

- **Estimation du débit de crue.**

L'estimation de la crue de projet pour une fréquence donnée est en fonction de la disponibilité des données hydrométrique en nombre suffisent ou non.

- **1^{er} cas :**

Dans le cas où les données hydrométriques sont disponibles en nombre suffisent, on procède par la méthode statistique directe (traitement de la série, ajustement suivant une loi adaptée, et calcul du débit maximum de fréquence voulue).

- **2^{ème} cas :**

Dans le cas où les données sont en nombre insuffisant, on peut étendre la série (par analogie avec d'autres bassins versant) pour se retrouver dans le 1^{er} cas.

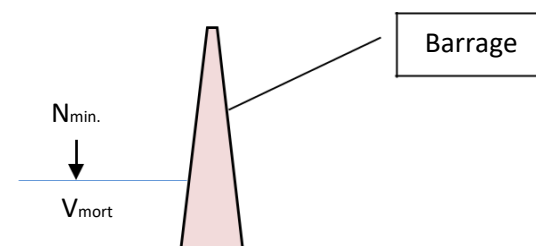
- **3^{ème} cas :**

Dans le cas où il n'existe pas de données hydrométriques, on peut employer des formules empiriques sommaires qui se basent sur les caractéristiques morphologiques et climatiques du bassin versant.

5- Niveaux caractéristiques du barrage.

5-1 Niveau minimum de retenue (Nmin.R.).

Le niveau minimum de retenue ou niveau du volume mort correspond au volume dit mort, qui est le volume destiné à l'accumulation des transports solides pour la durée de vie de l'ouvrage.



- **Estimation du transport solide.**

L'estimation de la quantité du transport solide se fait habituellement en traitant les séries d'observations, et en l'absence des enregistrements sur le cours d'eau on peut employer des formules empiriques dont les plus utilisées sont:

- **Formule de Tixeront.**

$$T_a = \alpha \cdot L_e^{0,15}$$

Avec : T_a – taux d'abrasion en [t/km²/an].

L_e - Lamme d'eau écoulée en [mm].

α – coefficient pondéré en fonction de la perméabilité du bassin versant.

($\alpha = 75; 350; 1400$ pour successivement des surfaces très perméables;

Moyennement perméables et imperméables).

- **Formule de Fourier.**

$$T_a = \frac{1}{36} \cdot \left(\frac{P_{\text{moy.mens.max}}}{P_{\text{moy.ann}}} \right)^{2,65} \cdot \left(\frac{h}{S} \right)^{0,46}$$

Avec : T_a – taux d'abrasion en [t/km²/an].

$P_{\text{moy.mns.max.}}$ - Précipitation moyenne mensuelle du mois le plus pluvieux (en mm).

$P_{\text{moy.ann.}}$ – Précipitation moyenne annuelle (en mm).

$h = 0,45(H_{\text{max}} - H_{\text{min}})$ (en m).

H_{max} et H_{min} – altitude maximale et minimale du bassin versant (en m).

S – surface du bassin versant (en km²).

- **Volume mort.**

$$V_{\text{mort}} = \frac{T_a \cdot S \cdot N}{\gamma_{\text{vase}}}$$

Avec : V_{mort} - volume mort (en m^3).

T_a – taux d’abrasion en $[\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{an}]$.

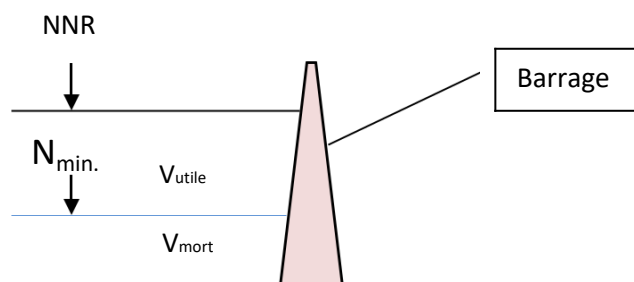
S – surface du bassin versant (en km^2). N -

durée de vie de l’ouvrage (en années).

γ_{vase} - poids volumique de la vase (en t/m^3).

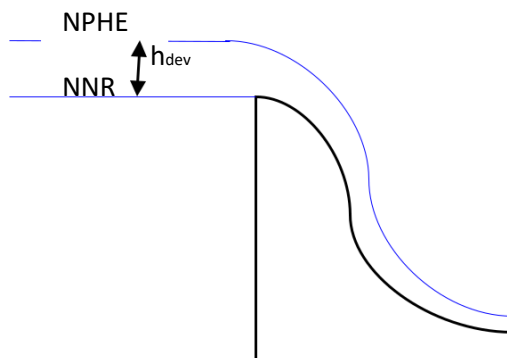
5-2 Niveau Normal de Retenue (N.N.R.).

Le niveau normal de retenue correspond à la hauteur normale et qui est fonction de la capacité utile de retenue. La détermination de la capacité utile est obtenue en procédant à la régularisation des débits d’apport en tenant compte des besoins de consommation et des pertes par évaporation et infiltration.



5-3 Niveau Maximum de Retenue ($N_{\text{max.R}}$).

Ce niveau est aussi appelé niveau des plus hautes eaux (**N.P.H.E.**), il est égal au niveau normal de retenue majoré de la charge au-dessus du déversoir lors du déversement de la crue du projet.



Pour déterminer la hauteur de déversement (h_{dev}) on doit procéder au laminage de la crue de projet qui est régi par l'équation suivante:

$$Q_{crue}(t).dt = Q_{dev}(t).dt + S(z).dz$$

Avec: $Q_{crue}(t)$: débit entrant durant le temps dt

$Q_{dev}(t)$: débit déversé durant le temps dt

$S(z)$: surface du plan d'eau à la cote z .

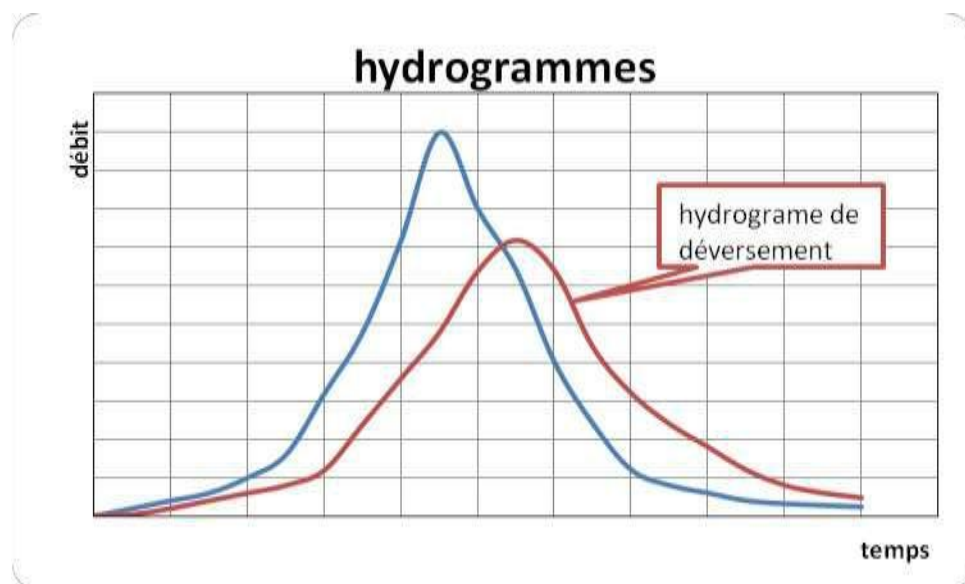
Dt : intervalle de temps.

Dz : variation du niveau d'eau dans la retenue durant dt .

La solution de cette équation consiste à rechercher le maximum de dz pour l'hydrogramme de la crue de projet. Plusieurs méthodes de résolution approchées peuvent être employées dont nous pouvons citer:

- méthode grapho-analytique de Hildenblat.
- méthode de Kotcherine.
- méthode pas à pas.

Le mécanisme de laminage de la crue de projet peut être représenté par le graphique ci-dessous.



5-4 Niveau de crête du barrage (N_{crete}).

Le niveau de crête du barrage est déterminé par l'estimation d'une revanche qui prend en considération la hauteur des vagues qui se forment sur le plan d'eau, de la hauteur de déferlement de ces vagues qui se projetent vers le haut du barrage à cause de la vitesse de propagation des vagues lorsqu'elles rencontrent le parement du barrage et d'une hauteur de sécurité en fonction de la classe de l'ouvrage.

$$R = 0,75h_v + \frac{V_v^2}{2g} + s$$

Avec : R- revanche (en m).

h_v – hauteur des vagues (en m)

V_v – vitesse des vagues (en m/s).

S – hauteur de sécurité en fonction de la classe du barrage (en m)

- **Hauteur des vagues.**

La hauteur des vagues peut être estimée par les formules empiriques suivantes:

- Formule de Stevenson.

$$h_v = 0,75 + 0,34 \sqrt{F} - 0,26^4 \sqrt{F} \quad \text{pour } F \leq 18 \text{ Km}$$

$$h_v = 0,34 \sqrt{F} \quad \text{pour } F > 18 \text{ Km}$$

- Formule de Molitor.

$$h_v = 0,75 + 0,032 \sqrt{V \cdot F} - 0,27^4 \sqrt{V \cdot F} \quad \text{pour } F \leq 30 \text{ Km}$$

$$h_v = 0,032 \sqrt{V \cdot F} \quad \text{pour } F > 30 \text{ Km.}$$

Avec : h_v – hauteur des vagues (en m)

F – Longueur maximale de la retenue ou Fetch. (en Km).

V – vitesse moyenne du vent (en Km/heure).

- **Vitesse des vagues:**

La vitesse des vagues peut calculée par la formule empérique de Guillaed.

$$V_v = 1,5 + 2 \cdot h_v$$

Avec : h_v – hauteur des vagues (en m)

V_v – vitesse des vagues (en m/s).