

## **TRAINING COURSE ON HILL PONDS**

### **ANNEX 3 CANEVAS POUR LE DIMENSIONNEMENT ET ETUDES DES RETENUES COLLINAIRES**



**01/2003**

## SOMMAIRE

### I. Introduction

### II. Étude de faisabilité

#### II.1 - Choix du site

#### II.2 - Recherche des données

##### II.2.1 - Bassin versant

##### II.2.2 - Données meteorologiques

#### II.3 - Levé topographique

##### II.3.1 - Levé de l'axe de la digue

##### II.3.2 - Levé de la cuvette( courbe H / V)

##### II.3.3 - Levé du lit de l'oued

##### II.3.4 - Levé de la zone du déversoir

#### II.4 – Transport solid

#### II.5 - Étude géotechnique

### III - Dimensionnement des ouvrages

#### III.1 - Côte de la buse, évacuateur intermédiaire (Hb)

#### III.2 - Côte du déversoir (Hd)

#### III.3 - Côte de maximum retenue (Hmaxr)

#### III.4 - Largeur du déversoir (Ld)

#### III.5 - Côte de la crête (Hc)

### IV - Dimensionnement du remblai

#### IV.1- Remblai au dessous du terrain naturel

#### IV.2 - Zone d'assise du barrage

#### IV.3 - Tranchée d'encrage

## I - Introduction

Cet canevas a pour but principal, la description des différentes phases entrant dans la conception d'une retenue collinéaire et il est composé par les différentes parties:

- étude de faisabilité: localisation du site et recherche des données sur le bassin versant (données climatiques et morphologiques),
- dimensionnement hydraulique: calcul des différentes côtes et dimensionnes caractéristiques du barrage,
- dimensionnement du remblai: caractérisation de la forme et calcul des dimensionnes du remblai.

Avant d'entreprendre toute phase d'étude, il faut d'abord savoir à quelle fin sera utilisé la retenue et donc il sera nécessaire de connaître les besoins annuels en eau et leur répartition dans l'année.

## II - Étude de faisabilité

L'étude de faisabilité doit précéder toutes les études ultérieures plus approfondis sur le site. Il faut tout d'abord choisir en fonction de caractéristiques de la zone et des nécessités en eau le type d'ouvrage, à ce propos on peut avoir les cas suivants:

- ≠ retenue collinaire creusé sur coté de la vallée,
- ≠ retenue collinaire créé par un petit barrage en terre compacté,
- ≠ simple captation des sources existantes avec des bassins pour le stockage des eaux.

L'étude de faisabilité est composé par la choix du site, recherche des données climatiques et morphologiques sur le bassin versant, levé topographique de la cuvette de la retenue et étude géotechnique.

### II.1 - Choix du site

La choix du site est la phase la plus délicate dans la conception de une retenue d'eau barrage parce que il aura beaucoup d'influence sur la réalisation et la vie de l'ouvrage.

Un fois identifié la zone d'intervention, pour la choix du site, sont nécessaires des cartes au moins à l'échelle 1:50-20.000, ou des photos aériennes, pour étudier la géomorphologie de la zone.

Dans la choix du site on doit tenir compte des plusieurs facteurs. En effet il faut considérer les buts du barrage, les caractéristiques d'écoulement du cours d'eau et les caractéristiques de la cuvette de la retenu.

Si on considère importante le stockage du barrage alors il est nécessaire d'empêcher le colmatage de la retenu par les sédiments. Pour prévenir l'ensablement de la retenue est nécessaire éviter, pour l'emplacement du barrage, des zones fortement érodables, en particulier des zones sablonneuses.

Si on dispose pas des mesures de transport solide du cour d'eau, par fois peut être suffisante de remarquer les caractéristiques du lit pour avoir un idée de son transport solide. En effet un lit très large avec une profonde couche de sable est signe de un transport solide supérieur de un lit plus étroit avec peu de sable au dessous.

On localise le site à aménager à l'aide des cartes à l'échelle 1/20-50.000 ou à l'aide des photos aériennes. Ensuite on se rend sur le site pour choisir l'implantation des ouvrages en tenant compte de la géomorphologie de la zone.

Pour éviter les problèmes dues à la sédimentation et quand le volume de stockage à rechercher n'est pas assez important on peut évaluer la possibilité de réaliser la cuvette de la retenue sur un cote de la vallée principal aussi en creusant une partie de son volume. Dans ce cas l'ouvrage sera en dérivation

et pas en ligne et il doit être équipé avec un système de captation et de conduite des eaux à partir de l'axe principal jusqu'à la retenue.

## II.2 - Recherche des données

### II.2.1 - Bassin versant

L'étude du bassin versant du barrage d'écrêtement permet de caractériser la zone du point de vue d'écoulement des eaux de pluie en fonction de la géomorphologie et du type du réseau hydrographique du bassin versant.

Il faut tout d'abord délimiter la surface du bassin versant sur une carte et en suite déterminer le réseau hydrographique et les différents types des sols.

La superficie est déterminée à partir de la délimitation du bassin versant sur les cartes ou sur les photos aériennes par planimétrie. Cette délimitation se fait en suivant la ligne de partage des eaux.

La forme du bassin a une influence sur l'écoulement. En effet un bassin étroit aura un temps de réponse supérieur par rapport à un autre bassin plus large à parité des autres caractéristiques.

Pour caractériser la forme du bassin on peut utiliser plusieurs coefficients parmi lesquelles l'indice de compacité de Gravelius ( $I_{comp}$ ), ou coefficient de forme, qui est le rapport entre le périmètre du bassin et le périmètre de un cercle avec la même surface du bassin (voir "Crues et apports", page. 4).

*L'ORSTOM a réalisé plusieurs campagnes de mesure d'écoulement dans toute la région sahélienne. Les données récoltées dans ces campagnes ont permis la rédaction d'une simple schématisation de la procédure de transformation pluie-écoulement faite par Rodier. Cette schématisation permet d'abord d'avoir une classification des bassins versants selon certains paramètres morphologiques et en suite de calculer certains caractéristiques d'écoulement (temps de montée, coeff. de ruissellement).*

*Pour la classification des bassins hydrographiques sont pris en compte les caractéristiques suivantes: la superficie, la forme, l'hypsométrie et les types de sol. Il faut introduire les définitions suivantes:*

- *indice de forme (indice de compacité)  $I_{comp} = 0.282 P S^{1/2}$  avec P et S périmètre et surface du bassin,*

- *rectangle équivalent: il est un rectangle qu'a la même superficie, le même indice de forme et la même distribution hypsométrique du bassin considéré, sa longueur est donnée par l'expression*

$$L = S^{1/2} (I_{comp} / 1.128) (1 + (1 - (1.128 / I_{comp})^2)^{1/2}) \quad (\text{en km})$$

- *indice global de pente  $I_g = D / L$  (en m/km)*

*avec D que reprisent la dénivelé en mètres entre les altitudes qui ils ont un pourcentage de surface du bassin au-dessus de 5 et 95 %, mais si les pentes transversales du bassin sont beaucoup plus importantes que  $I_g$  (c'est à dire la différence dépasse le 20%) alors il est nécessaire de prendre en compte un indice global de pente corrigé avec la formule*

$$I_{gcorr} = ((n-1) I_g + IT) / n$$

*avec*

- $n = 2$  pour  $L > 5$  km
- $n = 3$  pour  $5 < L < 25$  km
- $n = 4$  pour  $25 < L < 50$  km
- $n = 3$  pour  $L > 50$  km

*IT est la pente transversale, exprimé en m/km, déterminé par la moyenne entre 4 à 6 pentes transversales.*

Avec  $I_g$  il est possible de faire une première classification des bassins versants, pour compléter cette classification il est nécessaire de considérer les types de sol pour déterminer l'appartenance du bassin à une des classes suivantes de perméabilité:

- TI (P1): strictement imperméable
- PI: particulièrement imperméable
- I (P2) : imperméable
- RI (P3) : relativement imperméable
- P (P4) : perméable
- TP : très perméable.

En utilisant cette classification il est possible d'utiliser des formules qui donnent les temps de montée  $t_c$  (en minutes) en fonction de  $I_g$  et de la classe de perméabilité, ces formules sont dérivées de l'élaboration des mesures expérimentales:

$I_g = 60$	$t_c = 3.02 (S-0.1)^{1/2} + 4.5$
$I_g = 25$	$t_c = 6.64 (S-0.1)^{1/2} + 9$
$I_g = 15$	$t_c = 9.49 (S-0.2)^{1/2} + 16$
$I_g = 7$	$t_c = 20 (S-0.3)^{1/2} + 23$
$I_g = 3$	$t_c = 71 (S-0.3)^{1/2} + 75$

L'individuation du réseau hydrographique sert pour avoir une estimation des capacités de drainage du bassin. Il faut considérer qu'une goutte d'eau qui tombe sur le bassin versant avant d'arriver au barrage doit d'abord parcourir une portion de terrain avant d'attendre un bras du réseau hydrographique ou, en général, la vitesse d'écoulement est majeure que celle de l'écoulement de l'eau sur le terrain. Pour ce la un bassin versant avec un réseau hydrographique très dense aura un temps de réponse inférieur par rapport à un autre bassin avec un réseau moins dense, bien sûr à parité des autres conditions.

Pour la caractérisation du réseau hydrographique on peut utiliser la densité de drainage exprimé comme le rapport entre la longueur totale du réseau et la surface du bassin. Une autre classification plus approfondie de l'hydrographie du bassin peut être faite à l'aide du degré de ramification du drainage (méthode de Horton).

Une autre caractéristique très importante pour le bassin est l'altimétrie parce que il a beaucoup d'influence sur l'écoulement. En particulier il faut considérer la courbe hypsométrique du bassin et le profilé altimétrique de l'axe principal du kori.

La courbe hypsométrique montre les pourcentages de surface du bassin entre deux courbes altimétriques et sert aussi pour avoir une idée sur le condition d'évolution du bassin versant. Le profilé altimétrique de l'axe principale sert pour connaître les conditions d'érosion, la capacité de transport solide et surtout la vitesse d'écoulement.

Une classification très importante qui utilise les caractéristiques altimétriques du bassin est celle avec l'index global de pente  $I_g$  (voir "Crues et apports", pages 5 et 11).

Pour ce qui concerne les sols on peut faire beaucoup de classification selon les types des sols et leur utilisation mais la plus importante et selon le degré de perméabilité (voir "Crues et apports", page 11).

Il faut remarquer l'importance d'utiliser le même ordre de précision pour pouvoir obtenir des résultats comparables et utiles pour la classification du bassin versant, c'est à dire qu'il faut utiliser des cartes topographiques à la même échelle et la même classification des sols pour tous les bassins qui on veut mettre en relation.

## II.2.2 - Données meteorologiques

Pour une retenue à but agricole ou pastorale , il faut chercher l'adéquation entre volume de la retenue et les apports en année/mois défavorables (année/mois sèche). La collecte et l'analyse des données doit porter sur une série longue des données disponibles de la zone ou d'une zone voisine de condition similaire.

Une étude minutieuse doit aboutir à un remplissage en toute année du réservoir avec un rapport le plus faible possible entre le volume de stockage et le volume d'écoulement moyen annuel.

Pour le dimensionnement de une retenue colinéaire est nécessaire la connaissance des caractéristiques d'écoulement par une série des mesures assai longue. En général est très difficile de avoir à disposition une étude statistique sur l'écoulement, par contre est presque toujours disponible un étude statistique sur la pluviométrie de la zone d'intervention ou de une zone voisine des conditions similaires.

Pour cette motivation on doit rechercher les données pluviométriques et utiliser des méthodes pour la transformation pluie et apports pour connaître les caractéristiques d'écoulement.

En particulier pour le dimensionnement des retenues collinéaires est nécessaire de connaître la fréquence de la pluviométrie moyenne annuelle/mensuelle (valeurs moyennes mensuelle et sa standard deviation), qui sert pour le dimensionnement du volume de stockage, et la fréquence des pluies maximales avec leur temps de retour (analyse de Gumbel), qui sert pour le dimensionnement du déversoir.

A fin de quantifier les pertes d'eau par evaporation on doit meme disposer des données relatives à l'evaporation moyenne par mois, si on ne dispose pas de ces données il faut donc utiliser des formules qui permettent d'estimer l'évaporation à partir des autres données comme la temperature et l'humidité.

## II.3 - Levé topographique

Quelque soit le but imposé à l'ouvrage à exécuter , le levé topo constitue un appui indispensable sur lequel on doit s'appuyer sur l'appréciation du site choisi. Donc la précision dans les mesures est d'une importance capitale tant au niveau des études sommaires de reconnaissance qu'au stade du projet d'exécution. En particulier le levé topo doit aboutir à la définition de la courbe hauteur - volume de la retenue, au profil en long du kori et à l'axe du barrage.

La courbe hauteur-volume dérive du levé topo de l'axe choisi et de la cuvette, le procédé de levé par layonnage permet de ressortir le maximum de détail sur les différentes sections transversales de la cuvette donc le maximum de détail indispensable pour une bonne appréciation du volume de la retenue.

Le profil en long sur le lit mineur du koris permet d'apprécier la pente longitudinale du lit et aide sur le choix de la cote du calage des niveaux de retenues maximum.

Au cours du levé topographique est nécessaire de lever l'axe de la digue, la cuvette, le lit de l'oued et la zone d'installation du déversoir.

### II.3.1 - Levé de l'axe de la digue

Après l'implantation des piquets d'axe, on procède à ce dit levé. On fait la station sur un des piquets de l'axe pour lever les différents points de l'axe de la digue afin de calculer les distances et les côtes.

### II.3.2 - Levé de la cuvette

Il se fait en deux étapes à savoir:

- la matérialisation de la courbe de niveau délimitant la cuvette une fois établie la cote maximale du plan d'eau,
- levé de détail de la superficie de la retenue.

La courbe de niveau délimitant la cuvette sera calée à la cote prévue comme maximale à cet stade selon l'importance du barrage.

A l'intérieur de la retenue on peut procéder au lève des points par layonnage, selon des lignes parallèles à l'axe du barrage, qui doivent être matérialisés à l'avance.

Après avoir fini le report du levé on trace les courbes de niveau sur le plan. On détermine la surface partielle correspondant à chaque courbe de niveau. Pour calculer le volume correspondant à une cote on utilise la formule

$$V(h) = V(h-1) + \frac{S(h) - S(h-1)}{2} * 1 \text{ m} + S(h-1) * 1 \text{ m} \quad (\text{volume cumulé})$$

où  $V(h)$  et  $S(h)$  représente le volume et la surface correspondant à la cote  $h$  et  $V(h-1)$  et  $S(h-1)$  le volume et la surface correspondant à la cote  $h-1$ ; la cote est exprimé en mètre et la dénivelé entre deux courbes est de 1 mètre.

Une fois calculées les surfaces et les volumes correspondant à chaque cote on peut tracer les courbes hauteur-surface-volume de la cuvette.

### II.3.3 - Levé du lit de l'oued

**Le profil en long de l'oued doit être mesuré pour calculer la pente longitudinale et donc estimer la capacité de transport solide.**

### II.3.4 - Levé de la zone du déversoir

Est aussi importante dans la choix de un site de tenir en compte du positionnement du déversoir parce que en general sont cout represent une pourcentage importante du cout total de la retenue et donc son positionnement optimal permet de diminuer son cout.

## II.4 – Transport solide

Pour l'estimation du transport solide y il a deux aspect qui il faut considerer:

- ✍ productivité de sediment du bassin versant,
- ✍ capacité de transport solide de l'oued.

Le premier aspect depends essentiellement de caractéristiques geologiques du bassin versants et da sa utilisation. Pour une estimation grossiere du volume de sediments on peut utiliser une valeur pour la productivité de sediments par an compris entre 0.5 et 2 mm/an.

Le profil en long de l'oued doit être mesuré pour calculer la pente longitudinale et donc estimer la

capacité de transport solide avec une parmi les formules de la littérature (la méthode de Shields est en general cella plus utilisé).

En fonction de la pente de l'oued qui rentre de la retenue est aussi possible de positionner une série des seuils en cascade en amont de la retenue a fin de favoriser la sédimentation des matériaux transportés par le oued au dehors de la retenue.

## II.4 - Étude géotechnique

Il complète les observations faites au moment de la visite sur le terrain et détermine la nature des matériaux de fondation et leurs caractéristiques mécaniques , ce qui permet de choisir les types de fondation et son dimensionnement en fonction de la charge d'eau disponible en amont de l'ouvrage par rapport au point le plus bas du koria ( Règle de Bligh-Lane).

L'étude géotechnique doit prévoir des sondages le long de l'axe de l'ouvrage, dans la zone du déversoir, dans la cuvette et dans la zone de la carrière.

## III - Dimensionnement hydraulique des ouvrages

La retenue est caractérisé par un volume de stockage, au dessous du niveau de la buse, et un volume de laminage entre niveau buse et niveau de maximum retenu.

Le volume de stockage doit être dimensionné sur la base du volume d'écoulement moyenne annuelle, parce que il doit se remplir même dans les années plus sèches et, au même temps, permettre un écoulement suffisant pour la vie des populations, animaux et végétation à l'aval du site.

Dans la suite est montré un possible méthode de dimensionnement des barrages d'écrêtages, le schéma des calculs est nécessairement simplifié et par fois on montre des valeurs par les différentes coefficients introduits. Ces valeurs doivent être considéré des valeurs moyenne qui puissent être changé avec des connaissance plus approfondis des phénomènes naturelles qui ils servent pour schématiser.

---

Pour connaître les caractéristiques d'écoulement dans un bassin versant quand on ne dispose pas des mesures directes il est nécessaire d'utiliser une méthode pour la transformation pluie-écoulement qui puisse permettre d'évaluer la réponse du bassin à une pluie donnée. Dans la zone considérée il faut faire un bilan hydrique selon la schématisation suivante:

$$P = E + I + D_{\text{sup}} + D_{\text{sot}}$$

avec : P pluie  
E évaporation évapotranspiration  
I infiltration  
D<sub>sup</sub> écoulement superficiel  
D<sub>sot</sub> écoulement souterrain,

il est nécessaire de spécifier une période de temps bien déterminé pour faire le bilan hydrique qui pourra être fait sur une base annuelle, mensuelle, journalière ou pour une seule pluie, selon les nécessités.

---

A l'aide des données pluviométriques on passe à l'étude des ouvrages hydrauliques. La pluviométrie moyenne annuelle (P<sub>ma</sub>) et la superficie du bassin versant nous permet de déterminer le volume d'écoulement annuel (V<sub>em</sub>) qui passe dans le kori.

$$Vem = Ce \times Pma \times S$$

avec  $Ce$  = coeff. d'écoulement moyen annuel (0.05 à 0.2 est un valeur probable pour bassins versants avec un surface < 10 Km<sup>2</sup>)

$Pma$  = pluviométrie moyenne annuelle (de 400 à 1300 mm)

$S$  = superficie du bassin versant.

Le dimensionnement de la retenue doit être faite en tenant en compte:

- ✍ les besoins en eau de cultures,
- ✍ les pertes par évaporation et par infiltration,
- ✍ les pertes de volume par sédimentation,
- ✍ les apports par les eaux de crue ou par le captage de sources.

Voir l'annexe B pour un exemple.

La pluie centenaire nous permet de dimensionner le déversoir du barrage. Cette pluie centenaire détermine le volume d'écoulement ( $Vec$ ). La durée de la pluie centenaire doit être le même qui le temps de montée du bassin.

$$Vec = Kr \times S \times Pc$$

avec:  $Kr$  = coeff. de ruissellement pour une crue (0.65 à 0.85 selon le terrain, voir "Apports des crues")

$Pc$  = hauteur de une pluie exceptionnelle,

$$Qm = \frac{2 \times Vec}{tb} \quad \text{si on considère l'hydrogramme des crues trianguler,}$$

avec  $tb$  = temp de base ( $tb = 2-3 \times tc$  expression du temp de base en fonction du temp de montée)

$$Qmax = Alpha \times Qm$$

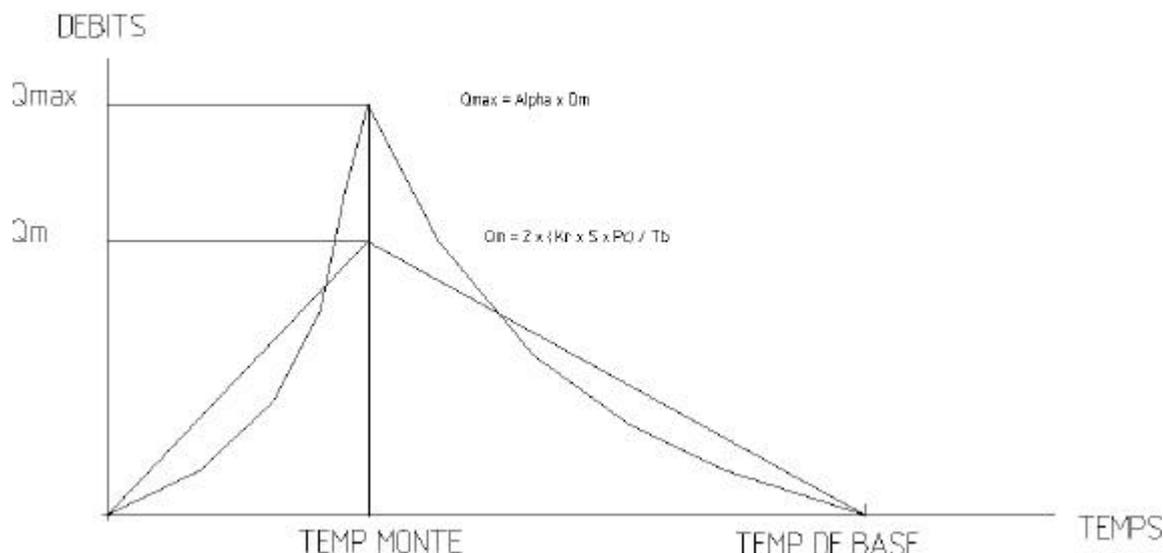
$Alpha = 1.1$  à  $1.4$  selon les caractéristiques du bassin versant et sert pour tenir compte qui l'hydrogramme des crues il n'est pas trianguler,

Pour le dimensionnement du déversoir on utilise donc une pluie centenaire, le débit maximum ( $Qmax$ ) calculé est diminué pour tenir compte de l'effet de laminage du barrage et représente le débit de projet ( $Qp$ ).

$$Qp = \beta \times Qmax \quad \text{débit de projet}$$

avec ( $\beta = 0.8$  à  $0.9$ ), pour tenir compte de l'effet de laminage de la retenue.

## HYDROGRAMME DES CRUES

**III.1 - Cote prise**

La prise doit être positionnée à la hauteur qui correspond au volume mort de la retenue, volume qui doit être dimensionné sur la base de la sédimentation prévue. Les dimensions de la conduite qui partent de la prise doivent être calculées en fonction du débit maximum qui doit être prélevé de la retenue pour l'irrigation.

**III.2 - Côte déversoir (Hd)**

Le déversoir est calé à la cote qui sert pour garantir un volume de stockage suffisant calculé en fonction des besoins en eau, des pertes par évaporation et des apports.

de maximum de retenue en faisons de garantir une charge suffisante pour évacuer les eaux de crue.

**III.2 - Côte de maximum retenue (Hmax)**

La cote de maximum retenue est calculée à partir de la cote du déversoir (Hd) augmentée par la hauteur correspondante à la charge d'eau nécessaire sur le déversoir pour évacuer le maximum débit prévu.

$$H_{max} = H_d + C_d$$

Cd = charge sur le déversoir (1-1.5 m, pour ne pas charger trop les gabions du déversoir)

Le débit du projet doit être évacué avec une charge admissible ne comportant pas de risque à l'ouvrage et nécessitant trop de disposition constructive pouvant augmenter considérablement le coût de l'ouvrage et par conséquence le coût du projet .

### III.4 - Largeur du déversoir (Ld)

On utilisant la formule pour le calcul du débit du déversoir (chute sans obstacles)

$$Q_p = L_d \times C_d (2 \times g \times C_d)^{1/2}$$

on trouve la largeur du déversoir:

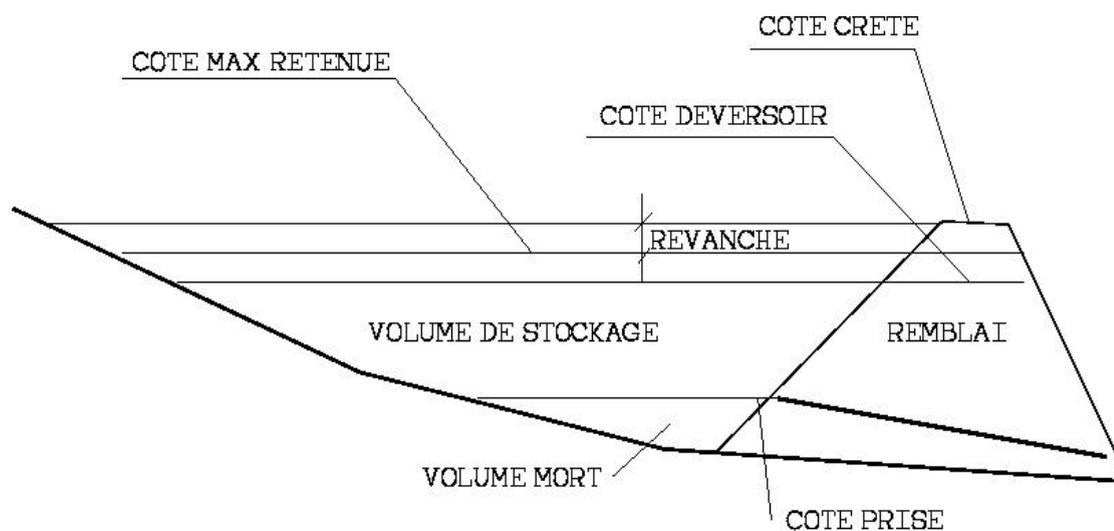
$$L_d = \frac{Q_p}{C_d (2 \times g \times C_d)^{1/2}}$$

La valeur du coefficient Cd varie en fonction de caractéristiques du déversoir entre 0.32 et 0.4. L'aménagement d'un bassin de dissipation est lié à l'importance de la charge sur le déversoir et de la hauteur de chute.

### III.5 - Cote de la crête (Hc)

La cote de la crête est calculé on augmentant la cote de maximum retenue de la revanche, qui dans le cas des petits barrages d'écrêtage est de 0.5 m, pour tenir compte de la formation des vagues.

$$H_c = H_{max} + 0.5 \text{ m.}$$



#### IV - Dimensionnement du remblai

Un fois dimensionné les ouvrages hydrauliques il faut calculer les dimensions du remblai, qui aura une pente de 1/3 soit sur le talus à l'amont et sur celui à l'aval. Pour garantir l'accessibilité de l'ouvrage on fixe la largeur de la crête à 3 m. Pour améliorer le contact entre les remblais et le terrain de fondation on réalise une tranchée d'ancrage et un décapage de la zone d'assise du barrage. La profondeur nécessaire pour un bon ancrage et décapage sont fonction du type de terrain de fondation, dans la suite on donne des indications pour le calcul de ces profondeurs, les valeurs calculés doit être considérés moyenne et corrigés en fonction du type de terrain.

##### IV.1 - Remblai au dessous du TN

A l'aide du profil en long de la digue on détermine le volume de remblai. On a:

$$V1 = D_1 \times \frac{S_1 + S_2}{2} + D_2 \times \frac{S_2 \times S_3}{2} + \dots + D_n \times \frac{S_{n-1} + S_n}{2}$$

ou  $S_i$  représente la superficie de la section  $i$  du remblai, et  $D$  est la distance entre la section  $i$  et cela  $i+1$ .

##### IV.2 - Zone d'assise du barrage

Pour une bonne mise en ouvre du remblai il faut décaper le terrain naturel pour une profondeur de environ 1/10 de la hauteur des remblais. Le volume à décaper est calculé avec la formule suivante:

$$V2 = D_1 \times \frac{Sd_1 + Sd_2}{2} + D_2 \times \frac{Sd_2 \times Sd_3}{2} + \dots + D_n \times \frac{Sd_{n-1} + Sd_n}{2}$$

avec  $Sd_n = (6 \times H_n) \times 1/10 \times H_n$

##### IV.3 - Tranchée d'ancrage

Pour garantir un bon ancrage du remblai au terrain est nécessaire l'exécution de une tranchée dans l'axe du barrage. La largeur de la tranchée d'ancrage est fixé a 6 m pour garantir l'accès aux engins, sa profondeur est fonction de la hauteur des remblais ( $1/4 H$ ). Pour calculer le volume de remblais nécessaire on utilise la formule:

$$V3 = D_1 \times \frac{St_1 + St_2}{2} + D_2 \times \frac{St_2 \times St_3}{2} + \dots + D_n \times \frac{St_{n-1} + St_n}{2}$$

avec  $St_n = 3 \times H_n \times 1/4$

Le volume total du remblai sera:

$$Vr = V1 + V2 + V3.$$

**Annexe A**  
**Description schématique de l'étude de faisabilité**

**A - Hypothèse sur les cultures à utiliser**

- ∞ superficies de cultures à utiliser
- ∞ besoins en eau de cultures par mois et par unité de superficie
- ∞ besoins en eau par mois

**B - Recherche de statistiques sur les données hydro-meteorologiques**

- ∞ pluviométrie: moyenne mensuelle et sa variation entre les années (moyenne et deviation standard), valeurs extrêmes (loi de Gumbel )
- ∞ evaporation
- ∞ temperature

**C - Recherche de caractéristiques du bassin versant**

- ∞ surface
- ∞ périmètre
- ∞ forme
- ∞ altimétrie (courbe hypsométrique, dénivelé spécifique)
- ∞ paramètres dérivés (Indice de compacité, Indice globale de pente, etc.)
- ∞ perméabilité de sols
- ∞ couverture végétale
- ∞ estimation du transport solide

**D - Implémentation du modèle hydrologique**

- ∞ choix du modèle à utiliser
- ∞ INPUT: pluviométrie, caractéristiques du bassin versant
- ∞ OUTPUT: volume eau disponible (debit max sortant en cas d'ouvrage en ligne)

**E - Préparation du schéma préliminaire de l'ouvrage**

- ∞ choix de la typologie (ouvrage en dérivation ou en ligne)
- ∞ levé topographique du site
- ∞ investigation géotechnique
- ∞ volume de stockage réalisable

**F - Confrontation entre:**

- ∞ besoins en eau par mois                      <= Hypothèse sur les cultures à utiliser
- ∞ volume eau disponible                      <= modèle hydrologique
- ∞ volume de stockage réalisable           <= schéma préliminaire de l'ouvrage
- ∞ pertes de volume par evaporation, infiltration et sedimentation

**G - Dimensionnement définitif de l'ouvrage**

- ∞ levé topographique de détail
- ∞ investigation géotechnique complete sur le site et les matériaux de construction
- ∞ dimensionnement du remblai
- ∞ dimensionnement du déversoir

**Annexe B**

**Exemple de dimensionnement du volume de stockage  
de une retenue collinaire**

TABLEAU 1 – BESOINS EN EAU DE CULTURES

Mois	Volume eau demandé par les cultures	
	(m3)	
1		0.0
2		0.0
3		0.0
4		0.0
5		0.0
6		20000.0
7		30000.0
8		30000.0
9		0.0
10		0.0
11		0.0
12		0.0

TABLEAU 2 – DONNEES STATISTIQUES DE PLUIE ET D'EVAPORATION

Mois	PLUIE		EVAPORATION	
	Hauteur moyenne	Deviation standard	Hauteur moyenne	Deviation standard
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	239.0		34.1	
2	174.0		33.6	
3	160.0		55.8	
4	75.0		81.0	
5	33.0		117.8	
6	3.0		144.0	
7	0.5		167.8	
8	0.5		158.0	
9	4.0		114.0	
10	27.0		83.7	
11	106.0		54.0	
12	188.0		37.2	
TOTAL	1010.0		TOTAL	1081.0

TABLEAU 3 – ANALYSE STATISTIQUE

EXEMPLES D'ANALYSE STATISTIQUE DE VALEURS MENSUELLES DE PLUIE

Mois de janvier	STATIONS		
	Année	A	B
1991	100	100	180
1992	101	110	20
1993	99	90	40
1994	98	100	160
1995	102	100	170
1996	103	130	30
1997	97	90	150
1998	100	80	50
<b>MOYENNE</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>STANDARD DEVIATION</b>	<b>2</b>	<b>15.11857892</b>	<b>70.50835817</b>
<b>VARIATION ENTRE LES ANNEES</b>	<b>Rien</b>	<b>peu importante</b>	<b>trés importante</b>

TABLEAU 4 – MODELE HYDROLOGIQUE

Mois	Superficie bassin versant =		Coeff. De ruissellement	Volume d'ecoulement m3
	1.2Km2			
	Hauteur moyenne pluie (mm)			
1	239.0		0.1	28680
2	174.0		0.1	20880
3	160.0		0.1	19200
4	75.0		0.1	9000
5	33.0		0.1	3960
6	3.0		0.1	360
7	0.5		0.1	60
8	0.5		0.1	60
9	4.0		0.1	480
10	27.0		0.1	3240
11	106.0		0.1	12720
12	188.0		0.1	22560
	1010		0.1	121200

TABLEAU 5 – CONFRONTATION DE VOLUMES

Mois	Sup. Moyen retenue 20000 (m2)			
	Volume eau perdu par evaporation*	Volume eau demandé par les cultures	Volume d'ecoulement	Volume dans la retenue
	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)
1	682	0	28680	49814
2	672	0	20880	70012
3	1116	0	19200	88540
4	1620	0	9000	96424
5	2356	0	3960	98764
6	2880	20000	360	76768
7	3356	30000	60	43948
8	3160	30000	60	10652
9	2280	0	480	-1800
10	1674	0	3240	1566
11	1080	0	12720	11640
12	744	0	22560	21816
	<b>21620</b>	<b>80000</b>	<b>121200</b>	<b>98764</b>

\* volume d'eau évaporé dans l'hypothèse de avoir une superficie moyenne de la retenue de 20000 m2.