

# ***OUVRAGES HYDRAULIQUES***

## ***Objectifs pédagogiques généraux du cours***

A l'issue de ce module les apprenants seront capables de :

- Décrire et comprendre le fonctionnement des différents types d'ouvrages hydrauliques
- Dimensionner sommairement les ouvrages hydrauliques les plus courants
- Exploiter et entretenir les ouvrages

***Pré requis*** : Hydrologie, hydraulique appliquée, géotechnique

## ***Consignes***

Ordinateur, traitement de texte (MSWord ou OpenOffice writer), papier millimétré

**Auteur**  
Founémé A. MILLOGO  
**Ingénieur en Hydraulique**

**Date de création**  
Août 2009

# Table des matières

<b>I. INTRODUCTION</b>	<b>5</b>
<b>I.1. Rôles et importance des ouvrages hydrauliques</b>	<b>5</b>
<b>I.2. Typologie des ouvrages hydrauliques</b>	<b>5</b>
<b>II. OUVRAGES DE MOBILISATION DES EAUX DE SURFACE</b>	<b>6</b>
<b>Introduction</b>	<b>6</b>
<b>II.1. PETITS BARRAGES EN TERRE</b>	<b>6</b>
II.1.1. Généralités	6
II.1.2. Critères de choix du type de barrage	8
II.1.3 Types de barrages en terre	8
II.1.4. Détermination du volume de la retenue	10
II.1.5. Etude de la digue	14
II.1.6. Etude de l'évacuateur de crues	17
II.1.7 Autres ouvrages annexes	19
II.1.8. Construction du barrage	20
II.1.9. Surveillance et entretien du barrage	21
<b>II.2. BOULIS</b>	<b>23</b>
II.2.1. Généralités	23
II.2.2. Etudes et réalisation	23
II.2.3. Fonctionnement	24
<b>II.3. Bâches</b>	<b>26</b>
II.3.1. Généralités	26
II.3.2. Etudes et réalisation	26
II.3.3. Fonctionnement	28
<b>Conclusion</b>	<b>28</b>
<b>Activités d'apprentissage chapitre 2</b>	<b>29</b>
<b>III. OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT</b>	<b>30</b>
<b>Introduction</b>	<b>30</b>
<b>III.1. Radiers routiers</b>	<b>30</b>
III.1.1 Généralités	30
III.1.2 Etude – réalisation - fonctionnement	31
<b>III.2. Dalots</b>	<b>35</b>
III.2.1 Généralités	35
III.2.2 Etude – réalisation-fonctionnement	36
<b>III.3 PONT</b>	<b>39</b>
III.3.1 Généralités	39
III.3.2 Etude – réalisation- fonctionnement	40
<b>Conclusion</b>	<b>42</b>
<b>Activités d'apprentissage chapitre 3</b>	<b>42</b>
<b>IV. OUVRAGES DE REGULATION ET DE PROTECTION</b>	<b>43</b>
<b>Introduction</b>	<b>43</b>
<b>IV.1. canaux, seuils, et répartiteurs</b>	<b>43</b>
IV.1.1. Canaux	43
IV.1.2. Seuils	47

IV.1.3. Répartiteurs	49
<b>IV.2 Bassins de rétention et de dissipation</b>	<b>51</b>
a) Généralités	51
b) Etude – réalisation -fonctionnement	51
<b>Conclusion</b>	<b>52</b>
<b>Activités d'apprentissage chapitre 4</b>	<b>52</b>
<i>Conclusion générale</i>	<i>54</i>
<i>Bibliographie</i>	<i>55</i>
<i>Webographie</i>	<i>56</i>
<i>Glossaire</i>	<i>56</i>
<i>Annexe 1 coupe type d'un barrage en terre</i>	<i>60</i>

## **Mots clés**

Barrages, évacuateur, boulis, bêche, retenue, réservoir, seuil, canaux, radiers, dalot, pont, répartiteur, bassin de rétention, dissipation, prise d'eau thalweg, tirant d'eau, section mouillée, périmètre mouillé, revanche, hauteur critique, gabion, affouillement, batardeau, efficience.

# I. INTRODUCTION

## *Objectifs spécifiques liés au chapitre*

*Introduction au cours*

*Connaissance des ouvrages et de leur importance*

### **I.1. Rôles et importance des ouvrages hydrauliques**

En aménagement rural, la mobilisation de l'eau est un facteur important pour la satisfaction des besoins des populations (irrigation, usages domestiques, usage pastoral, pêche). Plusieurs types d'ouvrages sont utilisés, en fonction des besoins à satisfaire et des conditions des sites. Les ouvrages hydrauliques (ouvrages de mobilisation et connexes) participent à l'atteinte de la sécurité alimentaire (irrigation d'appoint), à la création de nouveaux revenus (cultures de contre saison, pêche, élevage) et à la préservation de l'environnement (création de zones humides).

### **I.2. Typologie des ouvrages hydrauliques**

Les ouvrages hydrauliques peuvent être regroupés en plusieurs catégories :

- Les ouvrages de mobilisation (barrages, boulis, puits et réservoirs divers) ;
- Les ouvrages de transport, de régulation et de protection (canaux, conduites, seuils, répartiteurs, bassin de dissipation, déversoirs de sécurité...) ;
- Les ouvrages de franchissement des cours d'eaux et thalweg (radiers, dalots, siphons, ponts...) ;

Les principaux ouvrages cités ci-dessous sont traités dans les chapitres qui suivent.

## II. OUVRAGES DE MOBILISATION DES EAUX DE SURFACE

### *Objectifs spécifiques liés au chapitre*

*Connaissance des ouvrages*

*Description et dimensionnement et des ouvrages*

### *Activités d'apprentissage liées au chapitre*

*Lecture du cours, traitement des exercices d'application ou TD*

### **Introduction**

Les ouvrages de mobilisation des ressources en eau sont des ouvrages destinés à recueillir l'eau pour la satisfaction de besoins divers. Ils sont nombreux et les principaux rencontrés en équipement rural sont abordés dans le présent cours. Il s'agit notamment des petits barrages, des boullis et de réservoirs divers.

Les paramètres hydrologiques suivants sont utilisés pour le dimensionnement des ouvrages :

- Pour les barrages : les apports pour déterminer le volume du réservoir à créer et le débit de la crue de projet (décennale ou centennale) pour dimensionner l'évacuateur de crues ;
- Pour les boullis, les apports pour déterminer le volume ;
- Pour les bâches et réservoirs, les hauteurs de pluies pour déterminer le volume.

## **II.1. PETITS BARRAGES EN TERRE**

### **II.1.1. Généralités**

#### **Définition**

Le barrage est un ouvrage artificiel ou naturel construit à travers le lit d'un cours d'eau, retenant ou pouvant retenir de l'eau ; il peut aussi servir à faire une dérivation du cours d'eau. Le barrage barre sur toute sa largeur une section de la vallée et qui crée ainsi une dépression artificielle étanche à l'eau.

#### **Effets des barrages**

- Stocker une part importante des apports d'eau ;
- Relever le plan d'eau amont.

### **Cas particuliers de barrages :**

Le barrage peut être souterrain : ouvrage souterrain construit en vue de retenir l'eau d'une nappe souterraine. Exemple : barrage de Naré au Burkina.

Barrage de stériles : barrage construit avec les stériles miniers (résidus de terres des mines) en vue de stocker les résidus (liquides ou solides, souvent dangereux) de ces mines.

### **Exigences des barrages**

Le barrage répond à deux exigences principales :

- **l'étanchéité** : empêcher le passage de l'eau ;
- **la stabilité** : résister à la poussée de l'eau.

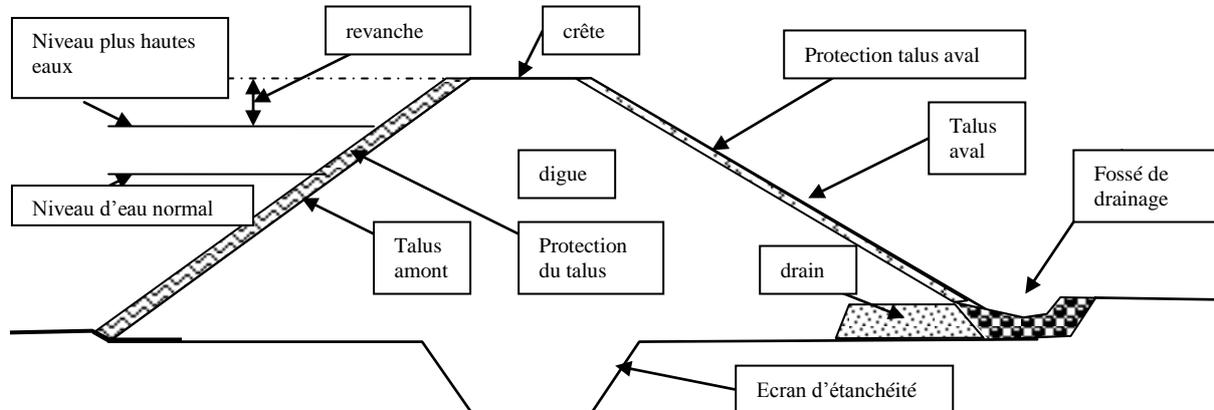
En plus il doit pouvoir **laisser passer les crues** sans dommages (disposer d'un système d'évacuation des crues)

### **Principaux éléments du barrage :**

- une digue ou barrage principal ;
- un évacuateur de crues ;
- un ou des ouvrages de prise ;
- un ouvrage de vidange.

### **Principaux usages des eaux mobilisées par les barrages :**

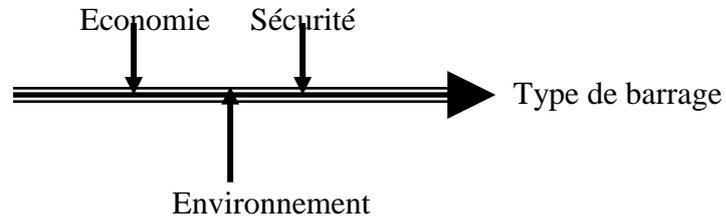
- Agriculture irriguée
- Production d'énergie
- Alimentation en eau potable et industrielle
- Abreuvement des animaux
- Production halieutique
- Navigation
- Protection contre les crues
- Activités récréatives
- Lagunage
- Soutien d'étiage
- Protection contre les remontées d'eau salée



**Figure 2.1 Coupe transversale d'un barrage en terre**

### II.1.2. Critères de choix du type de barrage

Forme de la vallée  
Risque sismique  
Géologie et géotechnique  
Matériaux de construction  
Crues à maîtriser  
Conditions climatiques



Les petits barrages sont utilisés généralement pour les usages suivants :

- agriculture irriguée ;
- alimentation domestique ;
- abreuvement du bétail ;
- production halieutique (pêche et/ou pisciculture) ;
- cultures de décrues ou par inondations.

Le chapitre sur les barrages porte sur les petits barrages en terre.

### II.1.3 Types de barrages en terre

#### Barrage homogène

Il est constitué d'un massif de terre compactée homogène imperméable muni d'un dispositif de drains et de protection mécanique amont

**Condition principale:** disposer sur place et en quantité suffisante permettant d'obtenir après compactage, les conditions d'étanchéité et de stabilité suffisantes.

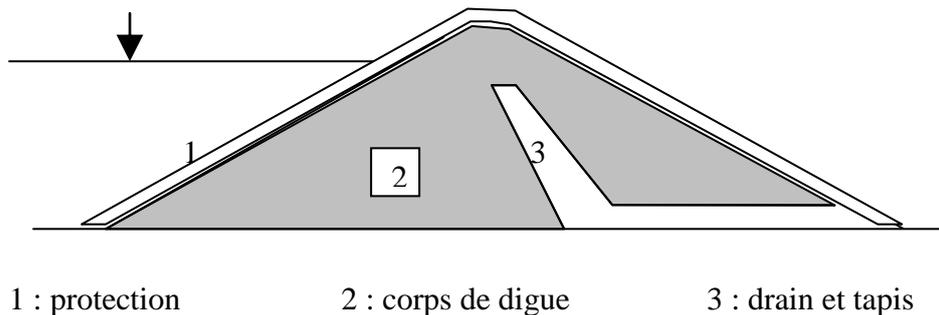


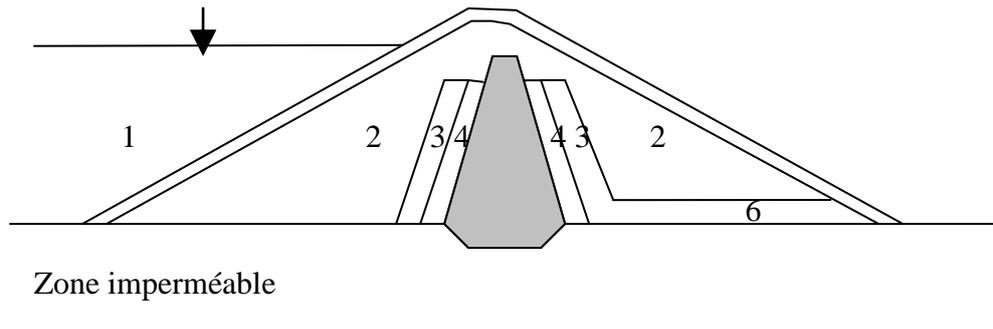
Figure 2.2 Barrage homogène

## Barrages à noyau

Il est constitué d'un massif à zones dont chacune est constituée d'un matériau différent. L'étanchéité est assurée par un noyau étanche en matériau argileux au centre ou à l'amont du barrage.

Le noyau est maintenu en place (épaulé) par une ou plusieurs zones en matériaux grossiers relativement perméables qui assureront la stabilité.

Entre les zones il est nécessaire d'interposer des couches filtrantes de transition en cas de discontinuité de granulométrie des matériaux.



- |                |                    |                |                  |
|----------------|--------------------|----------------|------------------|
| 1 : protection | 2 : corps de digue | 3 : transition | 4 : filtre drain |
| 5 : noyau      | 6 : tapis drainant |                |                  |

Figure 2.3 Barrage à noyau

## Barrages à masque amont

C'est un barrage homogène avec un masque amont qui est une paroi étanche plaquée sur le talus amont du barrage tel que le béton bitumineux, géotextile ...

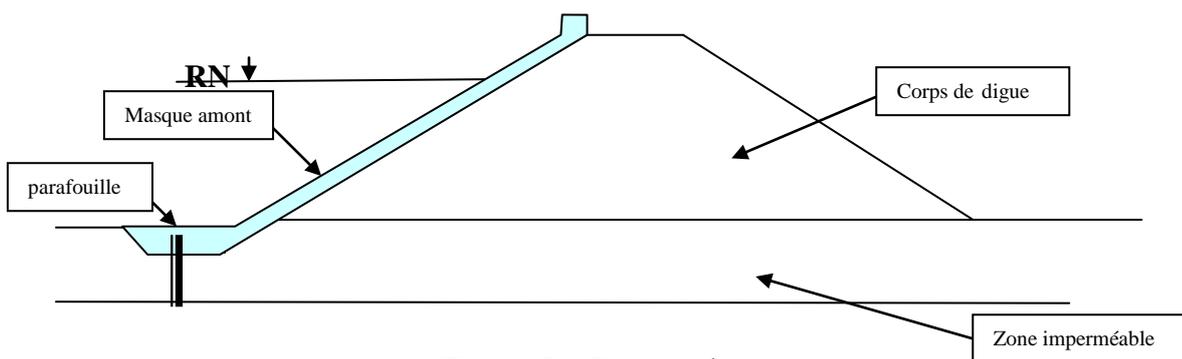


Figure 2.4 Barrage à masque amont

## II.1.4. Détermination du volume de la retenue

### a) Choix du site

Le meilleur emplacement est un endroit où la vallée se rétrécit. En amont du rétrécissement, la vallée doit être plus évasée et de faible pente pour permettre d'emmagasiner le plus grand volume. La digue est la plus petite et donc la moins coûteuse.

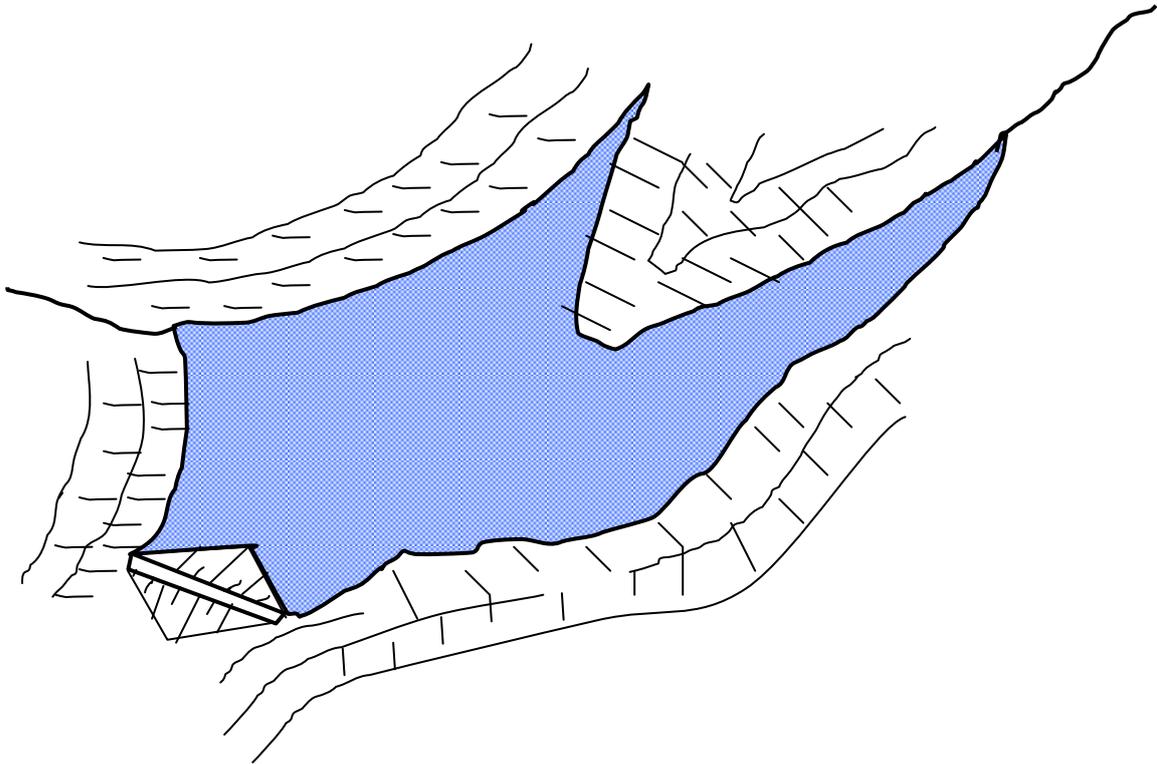


Figure 2.5 Zone favorable à l'implantation d'un barrage

### b) Evaluation des besoins en eau en zone

Pour dimensionner la capacité du barrage, il faut évaluer les besoins en eaux à satisfaire. L'estimation des principaux besoins donne les chiffres suivants (à titre indicatif source annexe N° 3):

- **besoins domestiques** : alimentation en eau des populations  
Centres ruraux : 30 à 150 l/ personne /jour

- **besoins du bétail** :

Bovins :	30	l/tête/jour
Petits ruminants :	20	l/tête/jour
Chevaux :	25	l/tête/jour
Porcs :	15	l/tête/jour

- besoins agricoles : besoin en eau des plantes par saison		
Riz :	15 000 à 20 000	m <sup>3</sup> /ha
Maraîchage :	5 000 à 7 000	m <sup>3</sup> /ha
Céréale :	7 000 à 10 000	m <sup>3</sup> /ha

### c) Evaluation des apports

Le volume d'eau écoulé dans le cours d'eau dépend de plusieurs facteurs :

- le bassin versant : sa surface, sa forme, la végétation, le type de sol ... ;
- la pluviométrie : quantité annuelle, fréquence, intensité et durée des pluies ;

Le volume d'eau écoulé peut être estimé par les mesures du débit ou par l'utilisation de plusieurs autres méthodes hydrologiques.

### d) Capacité de la retenue

La capacité de la retenue est déterminée à partir des courbes de niveau qui sont tracées à partir des relevés topographiques de la retenue.

Une méthode simple

$$V = \frac{1}{2.67} \times H \times S \quad \text{Formule de Gresillon}$$

avec

- V = volume en m<sup>3</sup>
- H = hauteur d'eau au-dessus du déversoir en m
- S = surface de la retenue (à la hauteur H) en m<sup>2</sup>

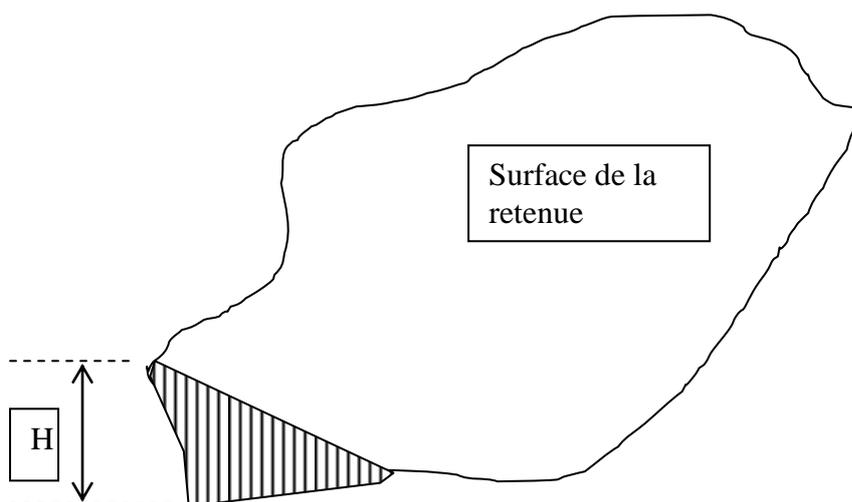
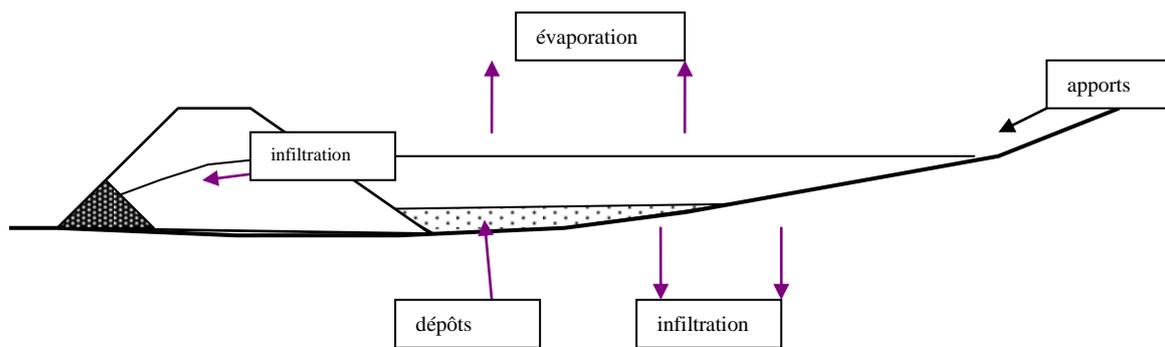


Figure 2.6 Vue d'une retenue

Pour déterminer la hauteur du barrage il faut tenir compte des pertes qui se produisent pendant le remplissage et pendant l'utilisation.

Ces pertes sont dues à :

- l'évaporation à la surface du plan d'eau : elle peut atteindre 2 à 2.5 m dans les zones arides ;
- l'infiltration à travers la fondation du barrage : elle peut être importante dans les sols perméables ;
- l'infiltration à travers la digue, le long des bajoyers et des ouvrages enterrés : elle peut être négligée si le barrage est bien construit ;
- l'envasement de la retenue par les sédiments apportés par les eaux: il peut être important et rapide si le bassin versant est soumis à une érosion importante.

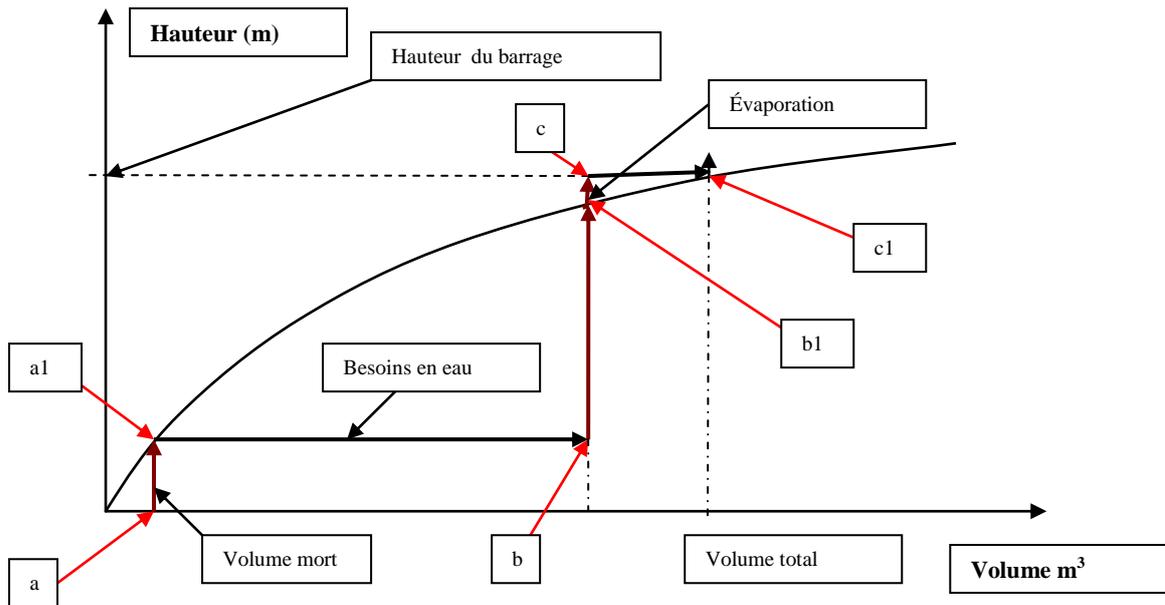


**Figure 2.7 Pertes d'une retenue**

Le volume de la retenue sera égal à la somme des besoins en eau et des pertes. Le volume de la retenue doit être égal ou inférieur au volume des apports sinon la retenue ne se remplirait pas.

Le niveau minimum d'exploitation est le niveau en dessous duquel les prélèvements d'eau ne sont plus possibles (charge d'eau faible ou volume insuffisant ; il se situe au-dessus du niveau correspondant aux dépôts de sédiments).

La hauteur du barrage peut être déterminée par la méthode graphique **ci-dessous** :



**Figure 2.8 : Détermination de la hauteur du barrage à partir de la courbe hauteur – volume**

Principales étapes de la méthode graphique :

**i) Volume mort**

Le volume mort est estimé en  $m^3$ . Quelques valeurs indicatives :

Erosion	Apports en sédiments en $m^3/km^2/an$
Faible	250 – 500
Moyenne	500 – 1000
Forte	1000 - 2000

**Tableau 1 : Valeurs indicatives d'apports en sédiments**

A partir de la superficie du bassin versant et de la durée de vie de l'ouvrage, le volume mort peut être estimé.

Le volume mort est porté sur l'abscisse au point (a). (a1) est la projection du volume mort sur la courbe.

**ii) Besoins en eau**

Le volume des besoins en  $m^3$  est reporté horizontalement à partir de (a1) et l'on obtient (b) ; la verticale dressée à partir de (b) coupe la courbe en (b1).

**iii) Evaporation**

L'évaporation estimée en m est reportée verticalement à partir de (b1) jusqu'à (c). De (c) l'horizontale rejoint la courbe en (c1).

L'abscisse de (c1) est le **volume normal** ou **volume de la retenue** recherché et son ordonnée est la **hauteur normale du barrage**. La hauteur normale du barrage correspond au niveau de retenue normale (niveau RN ou encore plan d'eau normal PEN).

**iv) Revanche + suremplissage de crues**

A la hauteur obtenue en iii) on ajoute la hauteur de **suremplissage** due aux crues et la **revanche** pour obtenir la **hauteur totale du barrage**. La cote de retenue normale augmentée de la hauteur de suremplissage due aux crues donne le niveau des plus hautes eaux (niveau PHE).

Le schéma en **annexe 1** présente une coupe type de barrage en terre et la terminologie usuelle.

### **II.1.5. Etude de la digue**

#### **a) Recherche et identification des matériaux**

Lors du choix du site, il est nécessaire de rechercher les matériaux nécessaires à la construction de la digue. On recherche aussi les matériaux requis pour la construction des autres ouvrages : granulats (sable et gravier) pour la confection des bétons et enrochement pour la protection des talus.

Les matériaux de la digue sont à rechercher à proximité du site du barrage (environ 500 m de rayon pour les petits barrages)

Les terres qui conviennent sont :

#### **Pour les barrages homogènes :**

- Mélange d'argile et de limon ;
- Terre graveleuse ou sablonneuse avec au moins 20% d'argile et de limons

#### **Pour les barrages hétérogènes**

- Argiles pour le noyau
- Sables, graviers limons et enrochement pour les autres zones

Les terres qui ne sont pas acceptables sont les terres tourbeuses qui contiennent plus de 5% de matières organiques.

Le volume du barrage est la quantité de terre utilisée pour la construction du barrage.

#### **b) Etude des fondations du barrage**

Les fondations du barrage sont les terrains situés sous la digue, le lit du cours d'eau ou les berges.

Les fondations doivent fournir un support stable au remblai et empêcher des infiltrations excessives sous la digue.

De mauvaises fondations peuvent entraîner des risques pour le barrage :

- Tassements ;
- Glissements ;
- Infiltrations.

### c) Profil du barrage

#### *Pente des talus*

Les pentes des talus des petits barrages sont données dans le tableau ci-dessous :

Hauteur du barrage (m)	Type de barrage	Pentes des talus	
		amont	aval
Inférieure à 5 m	Homogène	1/2,5	1/2
	À zones	1/2	1/2
5 à 10 m	Homogène	1/2	1/2
	À zones	1/2,5	1/2,5

**Tableau 2 : Valeurs indicatives des pentes des talus à confirmer par un calcul de stabilité** (Sources : Techniques des barrages en aménagement rural)

#### *Largeur de la crête*

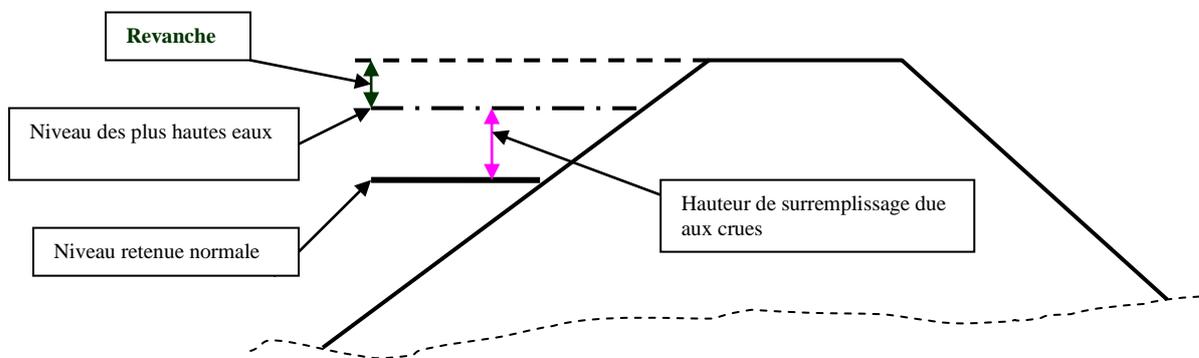
La largeur en crête de la digue doit être de 3 m au minimum pour faciliter la circulation des engins de terrassement avec une légère pente de 1 à 2% pour l'évacuation des eaux de pluie vers l'amont.

Si une route passe sur le barrage, la largeur en crête doit être augmentée selon le type d'automobiles.

#### *Revanche minimum*

La revanche minimum est la distance minimale entre le niveau des plus hautes eaux et le la crête de la digue. La hauteur de revanche minimale est de 1 m.

La revanche sert à éviter que les eaux ne débordent pas sur la crête du barrage sous l'effet des vagues.



**Figure 2.9 Hauteur de surremplissage et revanche**

#### *Prévention des infiltrations*

Quelle que soit la nature des couches de fondations ou des remblais, il y a toujours des infiltrations sous la digue et dans les remblais.

On peut contrôler les infiltrations par les méthodes ci-dessous :

- **Mise en place d'un drain vertical ou à la base du talus aval**

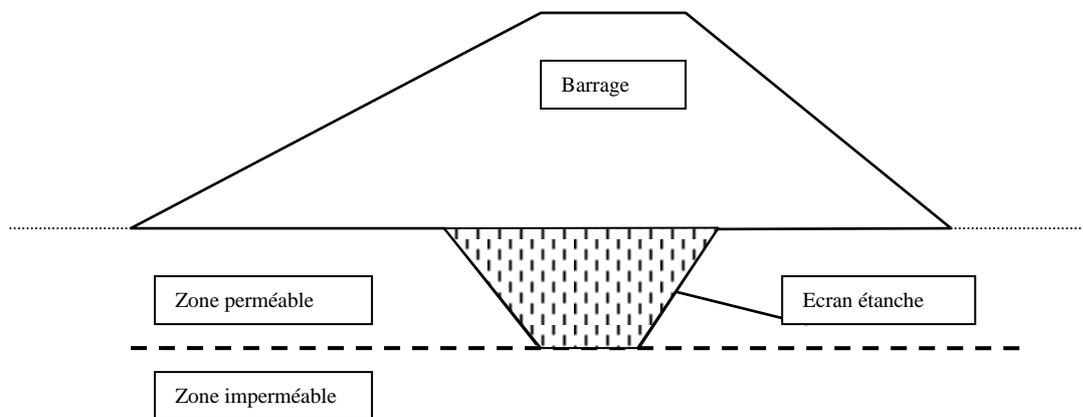
Cas d'un drain à la base il est constitué par :

- Une couche de sable en contact avec la digue et ou le terrain naturel
- Une couche de sable grossier
- Une couche de gravier au centre du filtre.

Le drain horizontal a une épaisseur minimale de 1 m.

- **Construction d'un écran d'étanchéité ou parafouille**

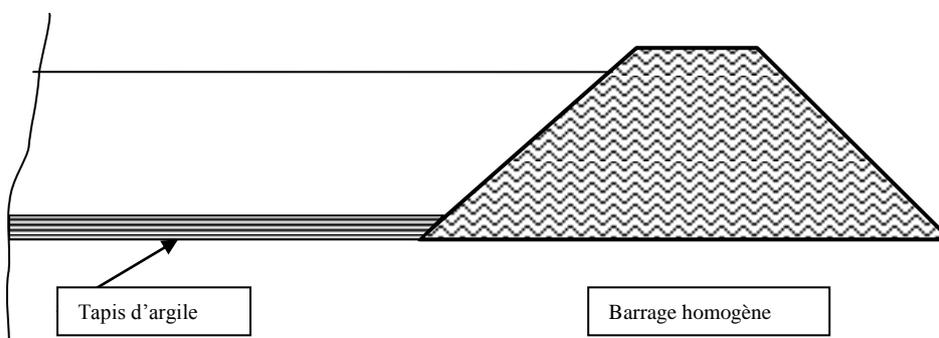
Il est constitué d'une tranchée creusée sous la digue et remplie de matériaux imperméables ; la tranchée est assez profonde pour atteindre la roche ou la couche imperméable. Sa largeur minimale est de 3m avec des pentes de 1/1.



**Figure 2.10 Ecran d'étanchéité d'un barrage**

- **Construction d'un tapis étanche**

Le tapis est un prolongement, en matériau imperméable, des digues homogènes ou du noyau des digues hétérogènes. Le tapis rallonge le chemin d'infiltration et diminue les pertes d'eau. L'épaisseur minimale est de 0,5 m.



**Figure 2.11 Tapis étanche**

**d) Protection des talus**

Les talus des barrages sont soumis à 3 types d'érosions dues :

- ◆ au ruissellement des eaux de pluies ;
- ◆ à l'action des vagues ;
- ◆ à l'action destructrice des animaux ;

### **Protection du talus amont**

Selon la disponibilité des matériaux, on pourra protéger le talus amont du barrage avec :

- ***Des enrochements en vrac***

Les enrochements ont une dimension de 20 à 30 cm et être posés en double couche sur une couche de transition (ou couche de pose) en sable et gravier.

- ***Un perré***

Des pierres sèches de 30 à 40 cm placées et rangées sur une couche de transition (ou couche de pose) en sable et gravier.

### **Protection du talus aval**

- ***Engazonnement du talus***

Les graines sont semées sur une couche de terre végétale est étalée sur le talus. Cette méthode convient dans les zones sans saison sèche prolongée.

- ***Couche de pierres ou de graviers***

Une couche de transition est posée sur le talus avant la pose de la couche de gravier de 30 à 40 cm.

## ***II.1.6. Etude de l'évacuateur de crues***

### ***Considérations générales***

L'évacuateur de crues est un ouvrage essentiel au barrage. Il a pour rôle d'éviter la submersion de la digue en évacuant les plus fortes crues.

Pour les petits barrages, c'est le débit de la crue décennale qui est utilisé pour le dimensionnement de l'évacuateur.

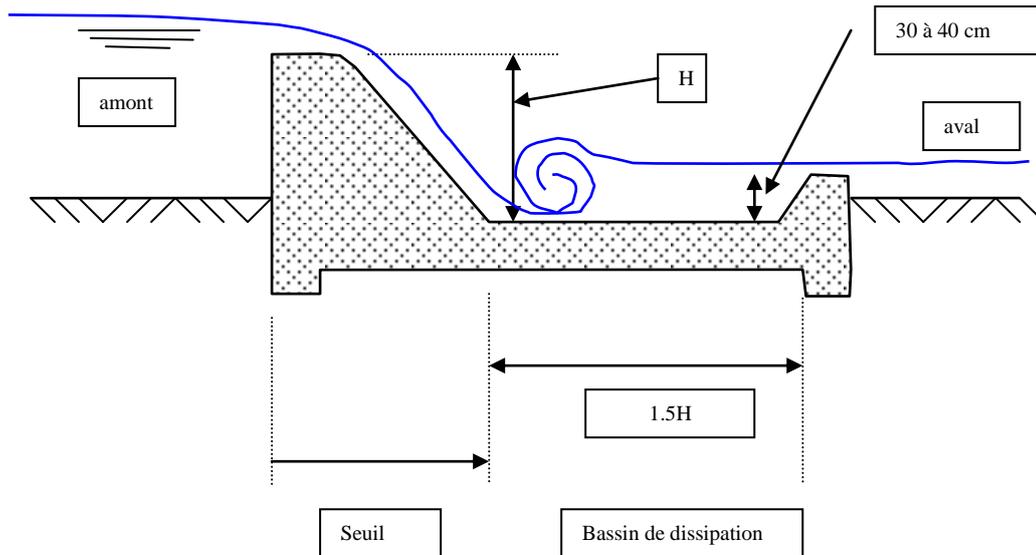
L'évacuateur peut être placé au centre de la digue ou sur l'une des rives.

### ***Evacuateur central***

Il est fait en béton, en maçonnerie ou en gabions et est encadré par des bajoyers (murs latéraux qui protègent la digue).

A l'aval du barrage, un bassin de dissipation permet de réduire l'énergie de l'eau après la chute.

La longueur du bassin est égale à au moins 1.5 fois la hauteur de chute. Sa profondeur est de 30 à 40 cm.



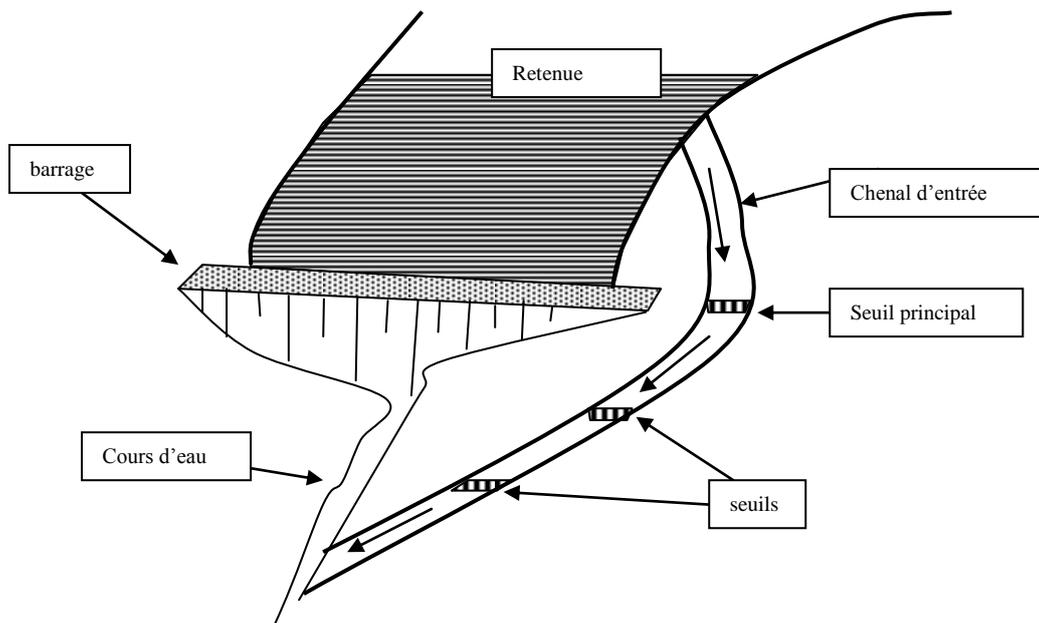
**Figure 2.12 Evacuateur de crues central**

### *Evacuateur latéral*

L'évacuateur de crues latéral est un chenal ouvert creusé dans les berges du cours d'eau et situé à côté d'une extrémité de la digue. Son implantation dépend des conditions topographiques et géologiques du site. En général, il est composé de :

- un chenal d'amenée qui dirige le courant vers le passage ;
- un seuil qui détermine le débit d'écoulement ;
- un chenal d'évacuation qui raccorde l'ouvrage au lit principal du cours d'eau. Ce chenal contient des seuils destinés à réduire l'énergie de l'eau.

Le chenal peut être revêtu ou non en fonction de la nature des sols de fondation ; les seuils sont en béton ou en gabions.



**Figure 2.13 Evacuateur de crues latéral**

### ***II.1.7 Autres ouvrages annexes***

#### **a) vidange de fond ou ouvrage de vidange**

C'est un ouvrage destiné principalement à vider le barrage.  
Il se compose de : un orifice muni d'une vanne et une conduite d'évacuation.

#### **Il peut assurer les fonctions suivantes:**

- vidanger complètement de la retenue (purge et entretien) ;
- servir éventuellement d'évacuateur auxiliaire ;
- abaisser le niveau d'eau pour ou en cas de danger pour le barrage (naturels ou conflits armés);
- contrôler de la montée du plan d'eau lors du premier remplissage ;

#### **b) Prise d'eau**

C'est un ouvrage destiné à prélever l'eau de la retenue pour les divers usages.

Elle se compose généralement de :

- un orifice pouvant être dans une tour ;
- une conduite enterrée dans le corps du barrage ;
- une vanne pour le réglage du débit.

## ***II.1.8. Construction du barrage***

### **a) Implantation**

Le site étant choisi, on repère l'axe avec des bornes en béton installées à chaque extrémité. Ces bornes serviront de repères pendant les travaux et ne doivent pas être déplacés. Dans l'alignement des repères, on plante des piquets à intervalles réguliers. Sur la base de ce relevé, on peut déterminer :

- la hauteur des remblais en chaque point ;
- la largeur de la digue à la base ;
- le volume des remblais.

### **b) Mise en place d'un batardeau**

Le batardeau est barrage provisoire construit à l'amont du site pour protéger la zone des travaux contre les inondations.

Si les travaux se réalisent entièrement pendant une saison sèche, le batardeau n'est pas nécessaire.

L'eau stockée par le batardeau peut être utilisée pour les travaux (compactage) et éventuellement gâchage des bétons.

### **c) Préparation des fondations**

Pour les fondations rocheuses, la surface de contact entre la roche et le remblai doit être aussi imperméable que le reste des remblais.

Il faut éviter les surfaces lisses et les fissures non colmatées.

La terre végétale et le rocher altéré sont à enlever à la pelle, à la pioche ou à la barre à mine et évacués hors du chantier.

Pour les fondations meubles, l'axe de la digue est décapé jusqu'à l'obtention d'une surface propre dépourvue de matières végétales. Si les fondations sont perméables, un écran d'étanchéité est réalisé jusqu'au rocher (ou jusqu'au sol imperméable).

### **d) Construction des ouvrages**

Les matériaux sont transportés, déposés et répandus pour atteindre l'épaisseur requise. Si le matériau naturel n'a pas la teneur en eau requise pour un bon compactage, on procède à son humidification soit au banc d'emprunt soit après épandage à l'aide d'une citerne munie d'une rampe distributrice. Le compactage se fait à l'aide d'engins de compactage.

L'épaisseur des couches et le nombre de passes de l'engin sont déterminés par une planche d'essais réalisée sur le chantier.

La digue est construite avec une sur largeur de 20 à 40 cm qui permet un bon compactage des talus qui sont ensuite découpés à la pente requise.

### **e) Autres travaux**

**Tolérance de tassement :** quand le remblai de la digue est terminé, on lui ajoute une hauteur de remblai, d'environ 5% de la hauteur du barrage, pour couvrir les tassements futurs.

**Drain :** Le drain vertical ou le drain de pied est réalisé en même temps que la digue.

**Fossé de pied :** Un fossé est réalisé à l'extrémité du drain qui sert à évacuer les eaux infiltrées et les eaux de ruissellement sur le talus aval

### ***II.1.9. Surveillance et entretien du barrage***

#### **a) Contrôle du tassement**

Les tassements proviennent des réarrangements des grains de matériaux des fondations ou des remblais; ils se soldent par un affaissement des remblais visible en surface. La cote de la crête doit être contrôlée chaque année à l'aide d'un niveau et à partir des repères posés lors de la construction.

Les tassements excessifs peuvent avoir pour effet le déversement par-dessus la digue, ce qui va endommager celui-ci.

Si le tassement est trop important, il est nécessaire de surélever la digue pour retrouver sa cote en crête initiale.

Les tassements peuvent se produire de façon inégale (tassement différentiel). Ceci est très dangereux car des fissures peuvent apparaître et constituer des voies propices pour les fuites.

#### **b) Contrôle des infiltrations**

Les infiltrations à travers et sous la digue peuvent provoquer le phénomène de renard hydraulique et entraîner la destruction du barrage.

Une surveillance attentive des suintements à la base du talus aval permettra de vérifier qu'il n'y a pas d'augmentation de débit ou de transport de matériaux.

On peut réduire les infiltrations en mettant en place un tapis étanche à l'amont.

On peut aussi réaliser une tranchée drainage à la base de la digue à l'aval afin d'assurer le bon drainage et éviter le transport de matériaux.

#### **c) Entretien des talus**

Il dépend du revêtement de protection mis en place.

- sur les talus enherbés, l'herbe doit être coupée chaque année après qu'elle a produit des graines ;
- sur les talus revêtus de pierre ou de moellons, vérifier que les moellons sont bien en place et faire les corrections nécessaires.
- les arbustes et les arbres doivent être déracinés sur les talus amont et aval.

#### **d) Entretien des structures annexes**

##### ***○ Prise d'eau***

Il faut régulièrement nettoyer l'entrée de la prise d'eau pour éviter qu'elle soit obstruée par des branches, des objets flottants ou des sédiments.

##### ***○ Evacuateur de crues***

Il faut régulièrement nettoyer l'entrée de l'évacuateur pour éviter qu'elle soit obstruée par des branches ou des objets flottants.

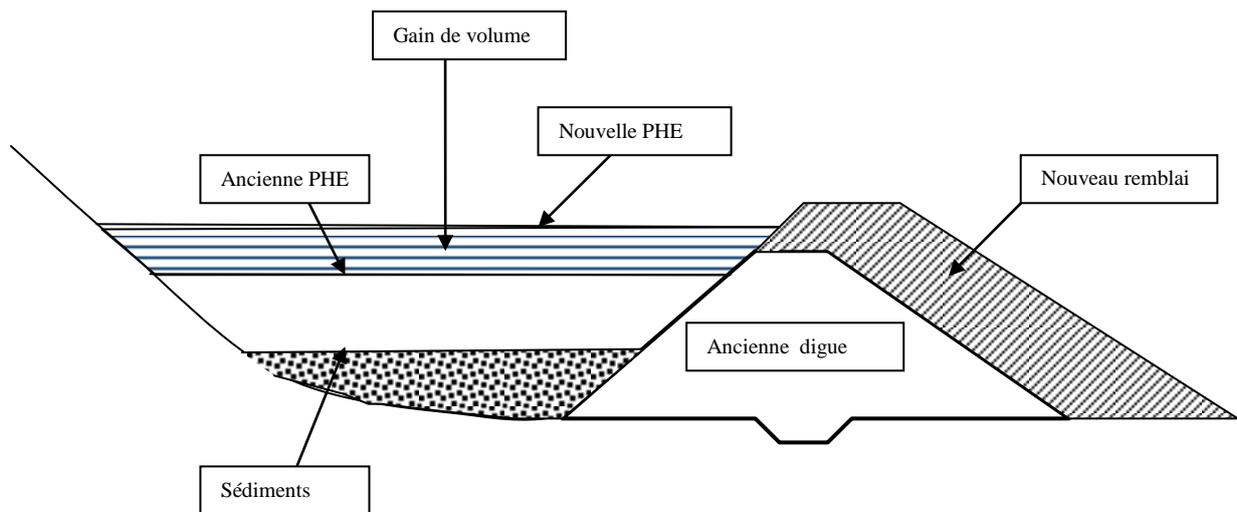
Il faut aussi vérifier et réparer les éventuels affouillements à l'aval du déversoir et des seuils.

- **Comblement de la retenue par des sédiments**

Sous l'effet de l'érosion du bassin, la retenue peut se combler de sédiments et perdre sa capacité de stockage.

Il existe plusieurs méthodes pour faire face à ce problème :

- le dragage de la retenue c'est-à-dire l'enlèvement des sédiments ; cette méthode qui implique l'utilisation d'engins de terrassements est très onéreuse ;
- le rehaussement de la digue qui est la méthode la plus économique.



**Figure 2.14 Rehaussement de la digue**

## **II.2. BOULIS**

### ***II.2.1. Généralités***

Un bouli est un réservoir (mare artificielle) creusé dans le sol, de formes et de dimensions variables, destiné à recueillir les eaux de ruissellement en saison de pluies.

Les principaux éléments du bouli sont :

- le chenal d'alimentation ;
- le bassin de sédimentation ;
- le seuil ;
- le réservoir (bassin) ;
- la digue de protection

Il est utilisé pour la satisfaction des besoins domestiques :

- cultures vivrières et fourrage ;
- pépinières et reboisement
- abreuvement des animaux (abreuvoirs hors zone grillagée) ;
- autres usages domestiques.

### ***II.2.2. Etudes et réalisation***

Les études préliminaires à la réalisation d'un bouli sont :

- levé topographique de la zone d'implantation y compris la liaison avec le marigot ou le bas-fond ;
- reconnaissance hydrologique afin d'identifier le marigot qui alimentera le bouli et d'évaluer les apports en saison de pluies ;
- reconnaissance géologique pour identifier la nature des sols et des sous-sols (perméabilité, facilité à déblayer) ;
- Enquête socio-économiques au niveau des bénéficiaires afin d'évaluer leur intérêt pour ce type de réalisation ;

Le bouli est implanté en dehors mais à proximité du marigot ou du bas-fond ;

Le marigot est coupé à l'aval de la prise d'eau par un seuil qui permet de dériver l'écoulement vers le bouli.

Un bassin de sédimentation est construit à l'entrée du chenal d'alimentation avec, environ, la largeur au plafond de 3m, la profondeur de 1.5m et la pente de 2/1; le chenal et le bassin de sédimentation sont renforcés par des blocs en enrochement ;

Le bassin du bouli est en forme d'un tronc de cône cylindrique de dimensions variables.

Le bassin est alimenté par un canal à fond plat de longueur variable et généralement inférieure à 200m ;

Une digue localisée entre la zone de maraîchage et la zone de boisement sert à protéger le bouli contre les eaux sauvages (non décantées qui peuvent facilement le combler de sédiments). Ce sont les déblais du bassin et du chenal d'alimentation qui sont utilisés pour réaliser cette digue;

Des escaliers permettent d'accéder à l'eau sans dégrader les talus ;

### **II.2.3. Fonctionnement**

#### **a) Exploitation**

Les dimensions des boulis (diamètres du plafond et en gueule) sont variables en fonction des besoins, de la ressource disponible et de la nature des sols :

- cote du fond est à -4 m environ par rapport au terrain naturel ;
- pentes des berges sont de 2/1 à 3/1 ;

Le bassin de sédimentation est de forme circulaire avec les dimensions qui peuvent être les suivantes :

- diamètre du plafond : 20 m ;
- diamètre en gueule : 30 m ;
- cote du fond est à -2.5m par rapport au terrain naturel ;
- pentes des berges sont de 2/1.

La digue concentrique a les dimensions suivantes :

- largeur à la base : 18 m ;
- pentes des talus : 1V/3H.

Une couronne autour du bassin est destinée aux cultures maraîchères et au fourrage ;

Une deuxième couronne située au-delà de la digue est destinée au reboisement ;

Des escaliers permettent d'accéder à l'eau sans dégrader les talus ;

Le bouli est entouré d'une clôture pour empêcher l'accès des animaux.

Les abreuvoirs sont réalisés en dehors de la zone grillagée et sont alimentés manuellement.

Des ouvertures sont faites dans le remblai pour permettre l'accès à la zone de reboisement.

#### **b) Fonctionnement et entretien**

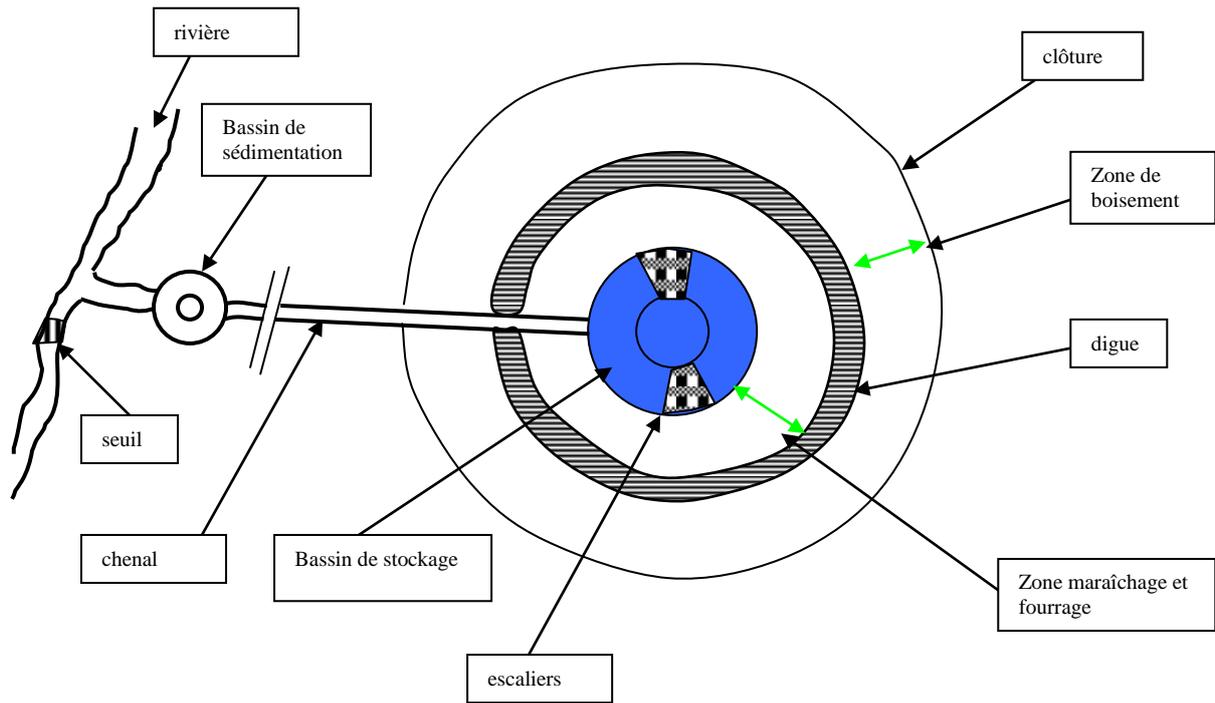
Le bouli nécessite en début de saison la construction du seuil ou d'une diguette en matériau fusible en matériaux traditionnels sur le marigot en aval de la dérivation pour le remplissage.

Le bouli se vide en saison sèche du fait de l'utilisation de l'eau et de l'évaporation.

Les principaux travaux d'entretien du bouli sont :

- le nettoyage du bassin principal et du bassin de sédimentation ;
- la réparation des dégâts dus à l'érosion dans le chenal.

Ces travaux sont à exécuter par les exploitants.



**Figure 2.15 schéma type de la vue d'un bouli**

## II.3. Bâches

### III.3.1. Généralités

Les réservoirs qui sont présentés ci-dessous sont des ouvrages enterrés ou hors sol de mobilisation de l'eau en faible quantité, notamment les eaux de pluies.

Ces ouvrages peuvent jouer les rôles suivants :

- réduire les variations de la disponibilité de l'eau ;
- stocker l'eau près des utilisateurs ;
- fournir une eau de bonne qualité.

Ils se composent généralement de :

- une aire de captage : toiture, drains dans un rocher ;
- un système de transport : conduites entre le lieu de captage et le lieu de stockage ;
- un ouvrage de stockage : bâche, citerne, cuve.

L'eau mobilisée par bâches est destinée à la consommation humaine et accessoirement aux autres usages domestiques.

### II.3.2. Etudes et réalisation

L'évaluation d'un site pour la réalisation d'un réservoir de captage porte sur les éléments suivants :

- l'existence d'une bonne aire de captage (toiture en tôle de préférence) ;
- les caractéristiques du sol pour la réalisation du réservoir ;
- la disponibilité des matériaux de construction.

La taille du réservoir dépend deS :

- quantités d'eau à collecter ;
- attentes et besoins ;
- coûts des ouvrages.

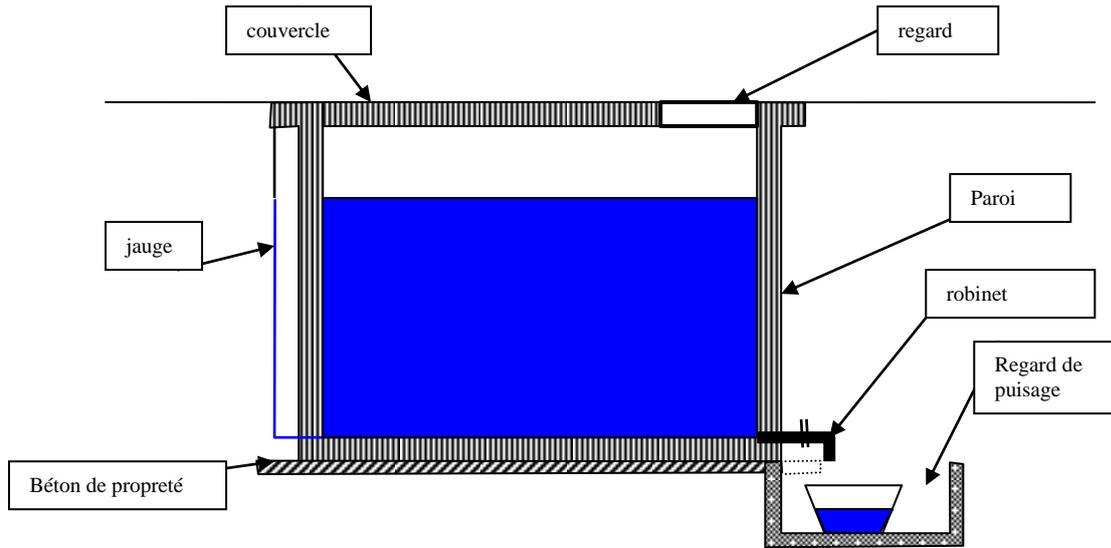
Le système de collecte comprend :

- **la toiture** : en tôle surface fonction des besoins
- **les gouttières** : pente d'au moins 0,5 % et assez large
- **les citernes ou réservoirs** : **en PVC** pour les citernes de faible capacité ou **en béton**

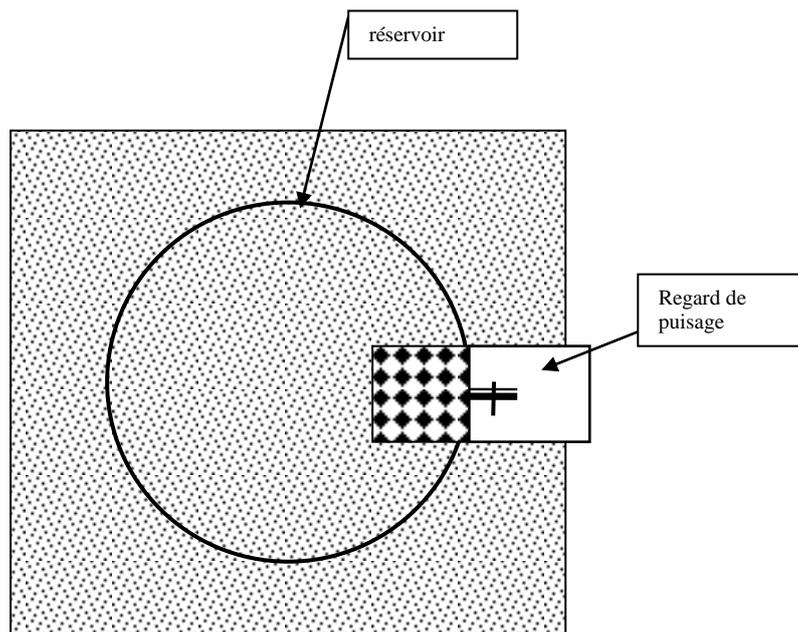
En raison de leur destination (retenir de l'eau), les réservoirs doivent être étanches : cette qualité est obtenue pour les réservoirs en béton par :

- un dosage élevé du béton (350 à 400 kg/m<sup>3</sup>)
- la réalisation d'un enduit.

Le réservoir est muni d'un couvercle pour éviter les contaminations et d'un regard.



**Figure 2.16 coupe d'un réservoir hors sol**



**Figure 2.17 réservoir vue de dessus**

### *II.3.3. Fonctionnement*

Pour les réservoirs hors sol, l'eau est prélevée par un robinet (cadenassé si nécessaire) placé dans un regard ; Ils peuvent être munis d'un regard de puisage et d'un tuyau transparent servant de jauge de niveau.

Pour les réservoirs enterrés, l'eau est prélevée à l'aide d'une puisette ;

Le système de captage des eaux de pluies nécessite des activités d'entretien et de protection :

- en début de saison des pluies, l'ensemble du système doit être nettoyé et débarrassé de tous sédiments et débris ; on procèdera au lavage du réservoir ; de même on procèdera au nettoyage des gouttières et tuyaux pour toute période sèche de plus d'un mois ;
- les eaux des premières pluies sont dérivées et ne pénètrent pas dans le réservoir car elles peuvent contenir des saletés ;

Un responsable de la gestion du système est désigné : il veille à la bonne utilisation de l'eau (usage économique), au contrôle de l'état des différents ouvrages et entreprend les activités d'entretien ou de réparation nécessaires.

#### **Exemple d'utilisation : réservoirs hors sol ou impluviums dans la province du Yatenga (Nord Burkina)**

Suite à la pollution des eaux souterraines par l'arsenic, rendant celles-ci impropres à la consommation humaine, les impluviums ont été choisis comme une des solutions pour l'alimentation des populations en eau potable. Plusieurs de ces ouvrages ont été construits et sont encore en service.

### **Conclusion**

Les ouvrages de mobilisation des eaux de surface présentés dans ce chapitre sont courants en zones rurales, surtout celles arides et sont très demandées les populations. Ils sont souvent relativement simples mais nécessitent le plus grand sérieux aussi bien à l'étude qu'à la réalisation compte tenu de leur coût et des importants besoins à satisfaire. Les ouvrages hydrauliques ont besoin d'être entretenus et cette activité doit être menée régulièrement.

## Activités d'apprentissage chapitre 2

### EXERCICE 2.1

La retenue d'un barrage en terre homogène a les caractéristiques suivantes :

a) tableau hauteur/volume

Hauteur (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Hauteur (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
1	100 000	6	2 500 000
2	250 000	7	3 650 000
3	500 000	8	5 150 000
4	950 000	9	6 750 000
5	1 150 000	10	8 450 000

b) Le volume des besoins en eau agricoles est de : 4 000 000 m<sup>3</sup>

c) le volume mort est estimé à 1000 000 m<sup>3</sup>

d) L'évaporation annuelle est estimée à 1,5 m

### Questions

- Tracez la courbe hauteur – volume de la retenue sur papier millimétré : les volumes en abscisse avec 2 cm pour 1 000 000 m<sup>3</sup> ; les hauteurs en ordonnées avec 1 cm pour 1m.
- Déterminez la hauteur normale du barrage ;
- Calculez la hauteur totale en considérant une hauteur de laminage surremplissage de 0,5 m et de la revanche de 1 m ;
- Proposez la largeur en crête du barrage et les pentes des talus en justifiant vos choix.

### Exercice 2.2

Soit un bouli avec un bassin de forme circulaire et de dimensions suivantes :

- Diamètre du plafond : 48 m
- Diamètre en gueule : 64 m
- Cote du fond est à -4 m par rapport au terrain naturel

- Quel est le volume du bassin ?
- Quels sont les pentes des berges ?
- Quels avantages et inconvénients à creuser un bassin plus profond pour le même volume ?

### Exercice 2.3

On veut construire un barrage dans une vallée dont le profil est donné par le tableau ci-après :

Numéros des profils	Cotes du terrain naturel (m)	Distances partielles (m)	Numéros des profils	Cotes du terrain naturel en m	Distances partielles (m)
A	5	0	F	1	45
B	4	90	G	3	45
C	3,5	60	H	4	60
D	3	60	I	4,5	60
E	2	60	J	5	60

- Sur du papier millimétré, représentez le profil de la vallée ; (Echelle verticale : 1cm = 1m ; échelle horizontale : 1cm = 60 m) ;
- La hauteur du barrage étant de 4 m au-dessus du terrain naturel au point F, sur le graphique précédent, tracez la ligne représentant la crête et déterminez la hauteur du barrage aux points D, E, G, I ;
- La distance AJ représente t - elle la longueur en crête du barrage ? pourquoi ?

## III. OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT

### *Objectifs spécifiques liés au chapitre*

- Connaître les ouvrages ;
- Dimensionner les ouvrages, notamment les dalots et radiers ;
- Exploiter et entretenir les ouvrages.

### *Activités d'apprentissages liés au chapitre*

*Lecture du cours, traitement des exercices d'application*

### **Introduction**

Les routes jouent un rôle important dans le transport de personnes et de marchandises. Elles sont amenées à traverser les voies d'eau diverses (fleuves, canaux, thalwegs et dépressions) qui constituent des obstacles à franchir. Toute submersion d'une route peut avoir des conséquences négatives suivantes:

- la gêne ou même la suspension de la circulation ;
- la dégradation de la route elle-même (diminution de la **portance**);

Les ouvrages de franchissement sont des ouvrages qui permettent de traverser un cours d'eau, un thalweg, un canal ou une dépression. Le dimensionnement hydraulique des principaux d'entre eux est présenté dans les paragraphes qui suivent.

### **III.1. Radiers routiers**

#### **III.1.1 Généralités**

Un radier est un ouvrage qui permet de franchir les rivières en basses eaux et qui est submergé en cas de crues. Le radier est établi sur le fond de la rivière et l'eau passe exclusivement par-dessus. Il est donc construit sur cours d'eau qui reste sec une bonne partie de l'année et ayant de faible pente des berges. Ce type d'ouvrage convient surtout en zone sahélienne ou désertique.

Le radier se compose de des éléments principaux suivants:

- un radier en béton ou béton armé ;
- les remblais de raccordement avec la piste ;
- la protection amont ;
- la protection aval ;
- les balises de signalisation.

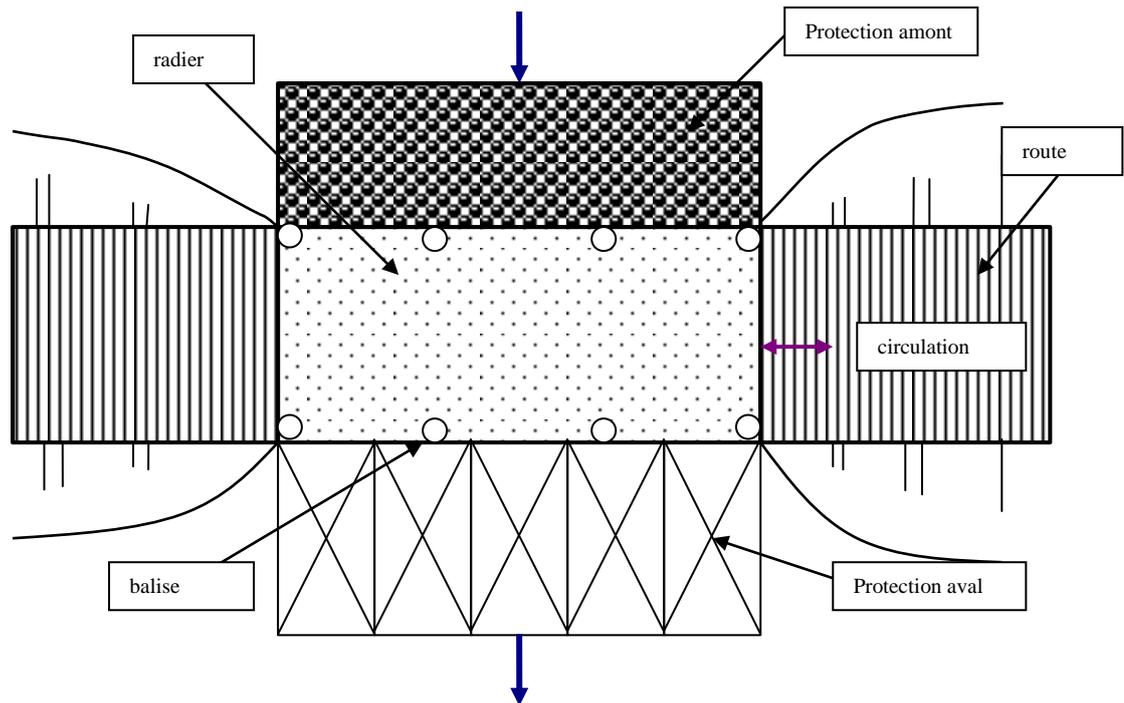


Figure 3.1 vue de dessus d'un radier

### III.1.2 Etude – réalisation - fonctionnement

#### a) Typologie

Le franchissement d'une rivière par un radier est moins coûteux que le dalot ou le pont mais il présente un inconvénient majeur : le trafic est interrompu lors des crues.

Dans le choix d'un radier on examinera les conséquences de l'interruption du trafic routier et on s'intéressera particulièrement au cas des camions qui peuvent transporter des denrées périssables.

L'interruption est due souvent à la hauteur d'eau qui peut correspondre aussi à des vitesses excessives. On admet généralement une hauteur d'eau de 0,40 m pour les voitures et 0,60 m pour les camions ; pour ces niveaux, la vitesse ne doit pas dépasser 1,5 m/s.

Les radiers sur les axes importants sont prévus en béton armé. Le radier lui-même est encre dans le sol et est protégé à l'amont et surtout à l'aval contre l'érosion régressive par un tapis de gabions semelle ou un enrochement.

En fonction du profil du cours d'eau à traverser, on rencontre généralement trois types de radiers :

- **Radier horizontal (figure 3.2)**

Il est réalisé pour le franchissement des cours d'eau de grandes largeurs avec des lames d'eau faibles.

L'écoulement sur le radier est semblable à un écoulement sur un déversoir à seuil épais et le débit est déterminé par la formule suivante (formule de Bazin) :

$$Q = 1,9 \cdot (0,70 + 0,185 \cdot H_{am}/B) \cdot L \cdot H_{am}^{3/2} \text{ où}$$

Q = débit de pointe de la crue en m<sup>3</sup>/s;

H<sub>am</sub> = hauteur d'eau sur le seuil en m;

B = largeur du radier (distance dans le sens de l'écoulement) en m ;

L = longueur du radier en m.

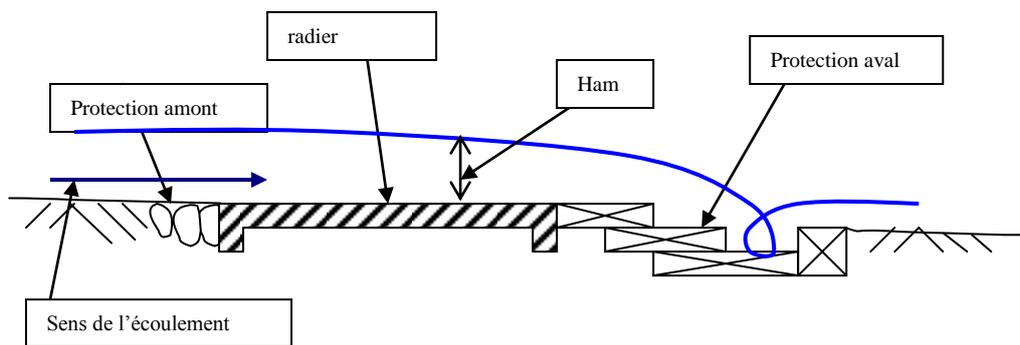


Figure 3.2 Radier horizontal

- **Radier à parties courbes**

La morphologie du site (peu large et profond) peut imposer la réalisation d'un radier avec des parties courbes comme l'indique la figure ci-dessous.

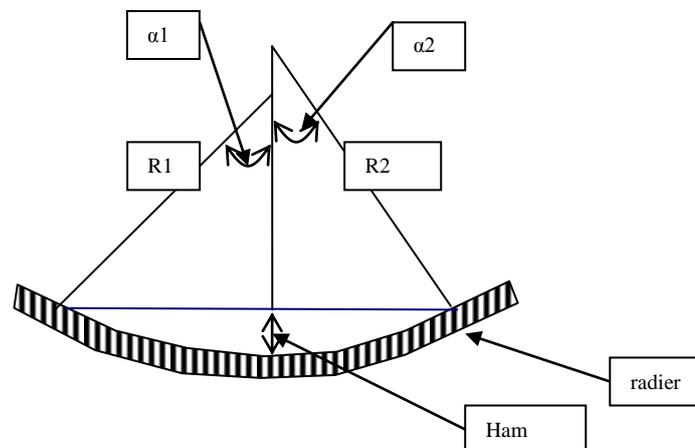


Figure 3.3 Radier à parties courbes

Le débit de l'écoulement sur le radier est donné par la formule suivante :

$$Q = 1,136 \cdot (\sqrt{R1} + \sqrt{R2}) \cdot (0,70 + 0,185 \cdot H_{am}/B) \cdot H_{am}^2 \quad \text{où}$$

Q = débit de pointe de la crue en m<sup>3</sup>/s;

R1 et R2 = rayons de courbure en m ;

H<sub>am</sub> = hauteur d'eau amont en m;

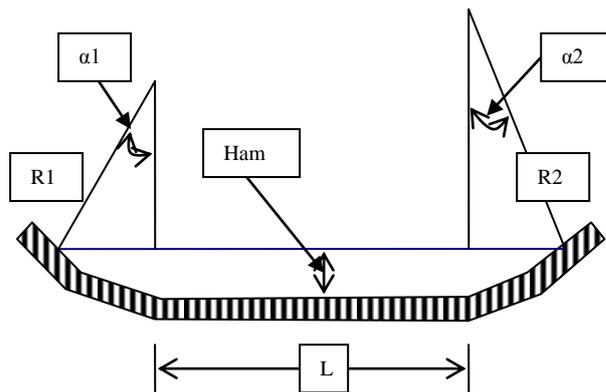
B = largeur du radier (distance dans le sens de l'écoulement) en m ;

- **Radier à palier horizontal avec parties courbes**

Il existe une troisième type de radier qui est une combinaison des deux précédentes représenté par la figure 3.4

Dans ce cas, le débit est la somme des débits :

- sur le radier horizontal de longueur L ;
- dans les deux parties courbes.



**Figure 3.4 Radier à palier horizontal avec parties courbes**

**b) Protection aval des radier contre l'affouillement**

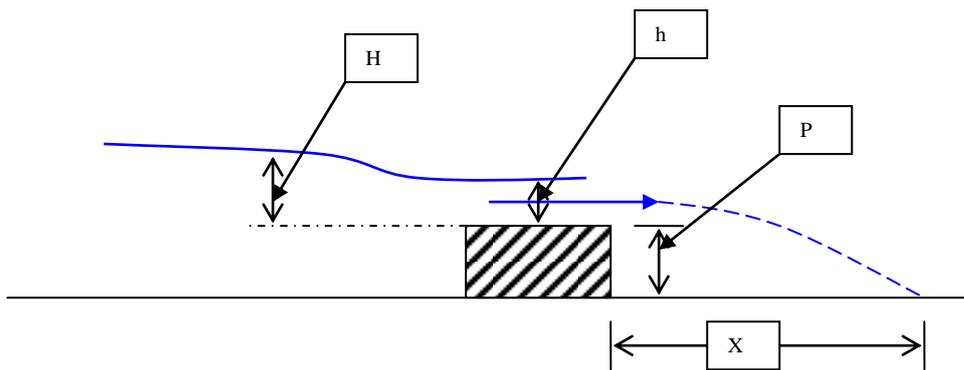
Les risques d'affouillement à l'aval d'un radier sont élevés et pour assurer la pérennité de l'ouvrage il est nécessaire de réaliser une protection adéquate. Comme l'indique la figure 3.5, pour un radier surélevé, les affouillements se produisent théoriquement sur une longueur maximale, à l'aval du radier de :

**X<sub>max</sub> = H+p avec :**

X = la longueur de la zone d'affouillement ;

p = épaisseur de radier ou hauteur du seuil ;

H = hauteur d'eau à l'amont du seuil.

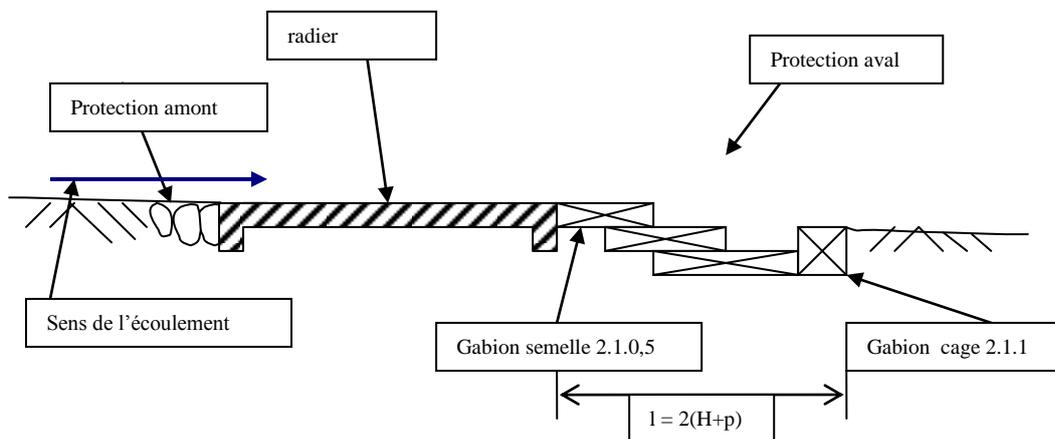


**Figure 3.5 Détermination de la zone d'affouillement**

Pour protéger efficacement l'ouvrage, on réalise la protection sur une longueur de  $X = 2 \times (H+p)$ .

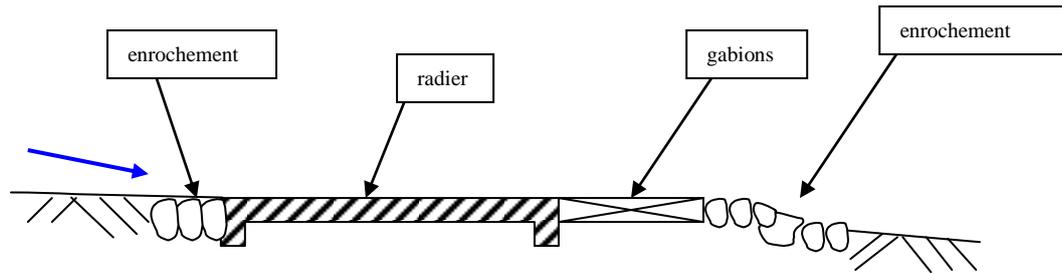
La protection aval est généralement faite en gabions semelle de 2m x 1m x 0,5m. Dans le cas d'un radier surélevé, on aménage les gabions en escalier afin d'atteindre le fond de la rivière à l'extrémité de la protection (voir figure 3.6). La protection peut se terminer par un gabion cage 2m x 1m x 1m servant de dissipateur d'énergie.

Dans le cas d'un radier avec des parties courbes, la charge et la hauteur déversante diminuent de l'axe de la rivière vers les rives. Dans la détermination de la longueur de la zone d'affouillement, on tiendra compte de la variation de  $p$  et  $H$ .



**Figure 3.6 Coupe d'un radier avec protection aval en escalier**

Si les risques d'affouillements sont faibles, la protection aval peut être allégée comme l'indique le schéma ci-dessous :



*Figure 3.7 Coupe d'un radier en zone de faible affouillement*

### c) Signalisation

Des balises de signalisation sont placées à l'entrée et à la sortie du radier ainsi que sur les côtés. Elles permettent de signaler la présence de l'ouvrage et de délimiter pour les usagers. Il s'agit généralement de piliers en béton armés peints en rouge et blanc d'environ 1,50 m de hauteur.

### d) Entretien du radier

Le contrôle de l'ouvrage est organisé après chaque saison pluvieuse et après chaque crue importante afin de détecter les anomalies ou dégradations éventuelles. L'entretien consiste en la réparation des dégradations diverses qui peuvent se produire sur le radier, ses protections (amont ou aval) et les remblais d'accès.

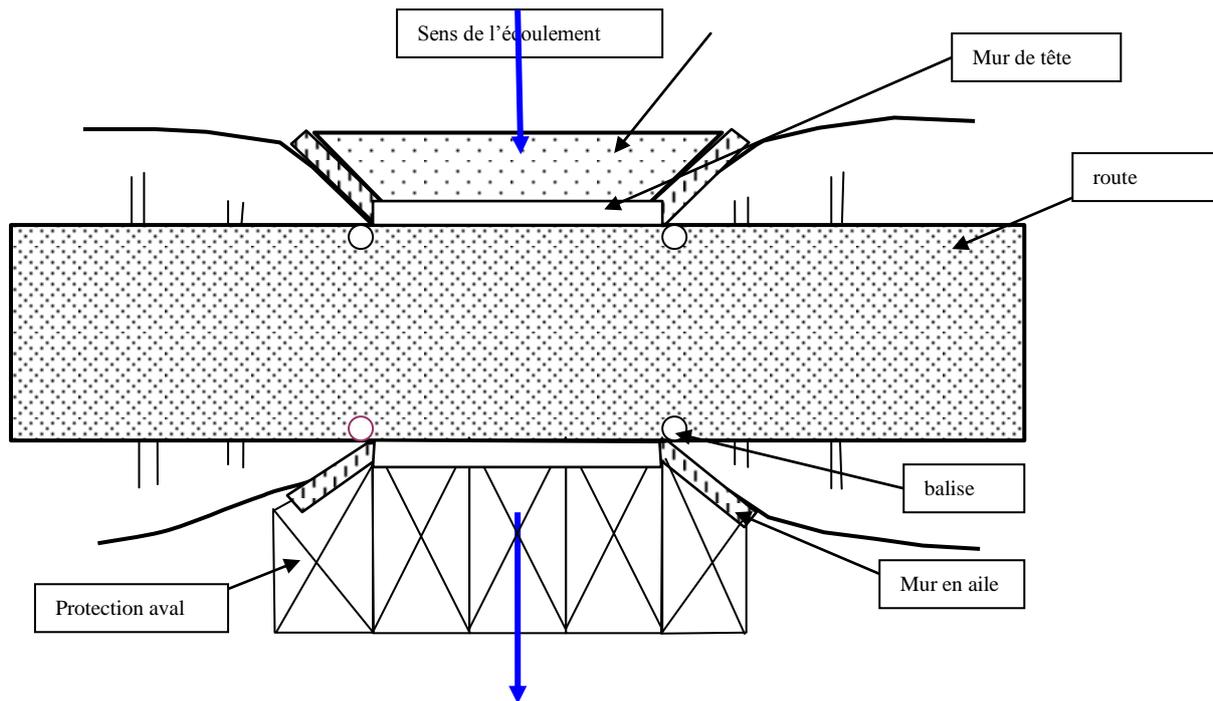
## III.2. Dalots

### III.2.1 Généralités

Le dalot est un ouvrage de franchissement placé sous la chaussée. Il est généralement en béton armé et présente une section rectangulaire ou carrée.

Le dalot est constitué par les éléments principaux suivants (voir figure 3.8 ci-dessous):

- un radier ou une semelle en béton armé ;
- des piédroits ;
- une dalle ou des dallettes sont en béton;
- deux murs de tête ;
- quatre murs en aile en amont et en aval ;
- l'enrochement de protection amont et aval ;
- les remblais d'accès ;



**Figure 3.8 vue de dessus d'un dalot**

Trois types de dalots sont utilisés :

- les dalots ordinaires constitués de piédroits verticaux, fondés sur une semelle ou un radier général, sur lesquels repose une dalle ou les dallettes en béton armé ;
- les dalots cadres dans lesquels la dalle, les piédroits et le radier constituent une structure rigide en béton armé ;
- les dalots portiques semblables aux dalots cadres mais sans radier (les piédroits sont fondés sur des semelles).

On adopte les dalots pour des débits élevés, supérieurs à  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### III.2.2 Etude – réalisation-fonctionnement

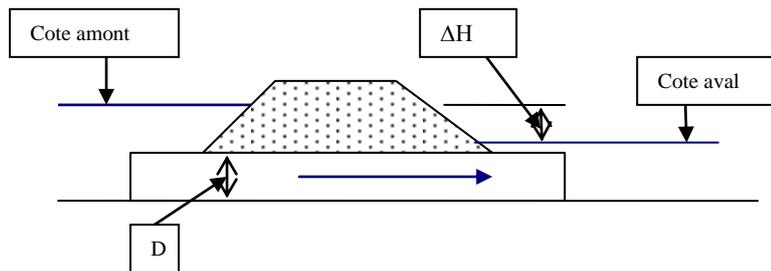
Le débit de la crue de projet est déterminé par l'étude hydrologique.

#### Conditions de fonctionnement

On distingue deux types de fonctionnement :

- la sortie noyée : le niveau de l'eau à l'exutoire dépasse le bord supérieur de du dalot ; l'écoulement est en charge.
- la sortie libre : le niveau de l'eau à l'exutoire est en dessous du bord supérieur de du dalot ;

#### a) Sortie du dalot : cas de la sortie noyée - calcul de la surélévation



**Figure 3.9 dalot avec sortie noyée**

La formule générale applicable dans le cas d'un dalot fonctionnant avec une sortie noyée est la suivante (obtenue par application du **théorème de Bernoulli** entre les cotes amont et aval de l'ouvrage):

$$\Delta H = Q^2/2gS_m^2 ( K_e + (2gL/K^2 R_h^{4/3})+1) \text{ avec}$$

$\Delta H$  = surélévation ou différence entre la cote amont et la cote aval ;

$Q$  = débit en  $m^3/s$

$S_m$  = section mouillée en  $m^2$

$L$  = longueur de l'ouvrage en m ;

$K$  = le coefficient de rugosité

$R_h$  = rayon hydraulique ;

$K_e$  = coefficient d'entrée du dalot :

- $K_e = 0,4$  pour dalots avec murs en aile inclinés de  $30$  à  $75^\circ$  sur l'axe avec toit à bord franc;
- $K_e = 0,2$  pour dalots avec murs en aile inclinés de  $30$  à  $75^\circ$  sur l'axe avec toit à bord arrondi;

Pour un dalot rectangulaire de largeur  $B$ , de hauteur  $D$  et de longueur  $L$ , on a  $S_m = BD$ ,  $P_m = 2(B+D)$  et le rayon hydraulique est  $R_h = BD/ 2(B+D)$  ;

En pratique, connaissant le débit  $Q$  et la vitesse limite (maximum  $3$  m/s dans les dalots), on détermine par itération  $B$  et  $D$  de telle sorte que la surélévation soit compatible avec le projet. Pour faciliter la réalisation, le rapport  $D/B$  est limité à des valeurs « rondes » comprises entre  $0,5$  et  $2$ .

### b) Revanche

Pour un dalot qui peut fonctionner en charge, la revanche est destinée à constituer une sécurité contre les déversements de l'eau par-dessus les remblais par suite des vagues formées par le vent.

La revanche est calculée avec la formule suivante :

**$R = h + V^2/2g$  avec**

$h$  = hauteur des vagues en m ;  $h = 0,5 + (\sqrt{L})/3$  ;  $L$  = longueur du plan d'eau amont en km (formule **de Mallet et Pacquant**) ;

$V$  = vitesse de propagation des vagues en m/s ; ( $V = 1,5 + 2/3h$ )

**c) Cote de la crue de projet**

La cote de la crue de projet est déterminée selon la formule de **MANNING-SRTICKLER** :

$$Q = K \cdot S_m \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

- $Q$  débit de la crue de projet en  $m^3/s$  ;
- $R_h$  = rayon hydraulique (en m) défini comme le rapport de la section mouillée  $S_m$  sur le périmètre mouillé  $P_m$  ;
- $I$  = pente longitudinale du terrain ;
- $K$  = coefficient de rugosité ;
- $S_m$  = section mouillée ;

**d) Cote minimale des remblais**

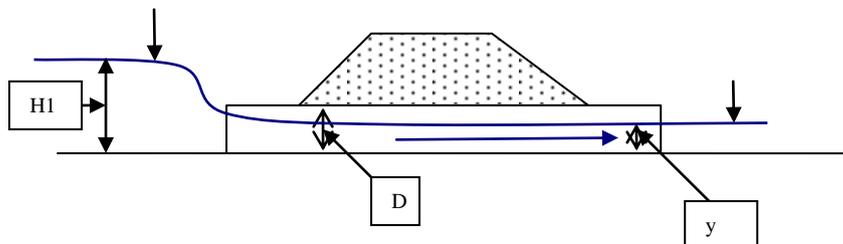
La cote minimale des remblais est donnée par :

**Cote minimum des remblais = cote de la crue de projet + surélévation due à l'ouvrage + revanche.**

**e) Sortie libre**

Lorsque la sortie est libre, deux cas se présentent (figure 3.10) :

- si  $H_1$  est  $\leq 1,25D$ , l'écoulement se fait en charge et le débit est donné par :  
 $Q = CS \sqrt{(2g \cdot H_1 - y)}$
- si  $H_1$  est  $\geq 1,25D$ , l'écoulement peut se faire à surface libre ou à pleine charge (en fonction de  $H_1/D$  et la longueur de l'ouvrage).



**Figure 3.10 dalot avec sortie libre**

**d) Dispositions constructives**

- ◆ Le radier ou la semelle est en béton armé dosé à  $350 \text{ kg/m}^3$  posé sur un béton de propreté de 5 cm d'épaisseur minimale dosé  $150 \text{ kg/m}^3$ ;
- ◆ Les piédroits sont en béton armé (dosage  $350 \text{ kg/m}^3$ ) ou en maçonnerie de moellons;
- ◆ La dalle ou les dalles sont en béton armé (dosage  $350 \text{ kg/m}^3$ ) ;
- ◆ Les deux murs de tête peuvent être en en béton ou en maçonnerie de 40 cm d'épaisseur ; par rapport au remblai fini, ils doivent être visibles sur une hauteur d'au moins 40 cm.
- ◆ Les quatre murs en aile en amont et en aval sont sous forme de diffuseur en béton ou en maçonnerie pour protéger la piste et diriger l'écoulement sous le dalot ;
- ◆ La protection amont et aval sert à la protection contre l'érosion et/ou les affouillements; il peut être en perré sec ou en gabions (solution plus durable) et il doit mesurer au minimum 2 m.
- ◆ Les balises de signalisation sont placées à l'entrée et à la sortie du dalot.

Le remblayage du dalot et des ses accès se fait en matériaux adéquats compactés par couches successives de 0,15m.

Le remblai s'étale de 10 m de part et d'autre de l'ouvrage en une pente douce pour permettre aux véhicules de s'y engager avec aisance et sécurité. Les talus de ce remblai seront protégés par du perré maçonné si l'écoulement des eaux risque de provoquer l'érosion.

#### **d) Entretien du dalot**

Le contrôle de l'ouvrage est organisé après chaque saison pluvieuse et après chaque crue importante afin de détecter les anomalies ou dégradations éventuelles. L'entretien consiste en la réparation des dégradations diverses qui peuvent se produire sur le radier, ses protections (amont ou aval) et le remblai d'accès. Il faut surtout enlever régulièrement tous les détritiques (terres, branchages, ...) qui se déposent à l'entrée du dalot et qui peuvent peu à peu diminuer la section d'écoulement et rendre l'ouvrage inefficace.

### **III.3 PONT**

#### **III.3.1 Généralités**

Le pont est un ouvrage qui permet de franchir une dépression ou un obstacle (cours d'eau, voies de communication) en passant par-dessus. Il est construit sur cours d'eau lorsque :

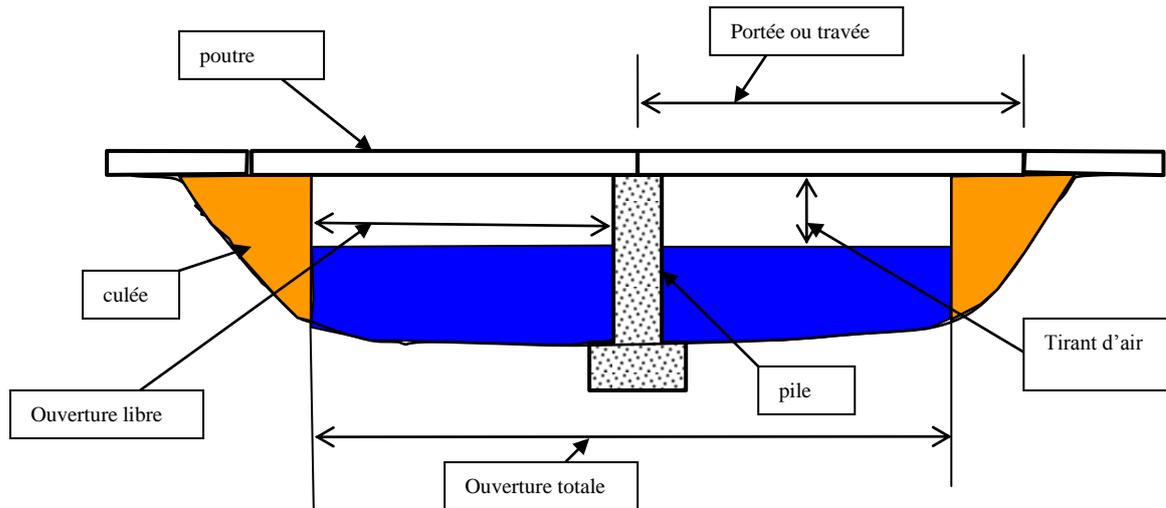
- le débit est important ;
- la dépression est très profonde ;
- le trafic routier est élevé.

Il se compose de trois parties principales:

- les fondations qui permettent de transmettre les efforts au terrain ;
- les appuis comprenant :
  - les culées qui servent d'appuis aux extrémités du tablier et supportent les poussées des remblais ;
  - les piles qui supportent le tablier entre les culées ;
- un tablier qui supporte les voies de circulation (automobiles, piétons, animaux); il peut être en une ou plusieurs travées en fonction de la largeur de la vallée à traverser ;

**Selon leur fonction, on rencontre les ponts suivants :**

- pont –route qui porte une route ou une autoroute ;
- pont rail qui porte une voie ferrée ;
- passerelle qui porte une voie piétonne ;
- pont – aqueduc ou aqueduc est un pont qui porte une canalisation d'eau ;
- pont-canal qui porte un canal.



**Figure 3.11 coupe d'un pont à poutre droite**

**III.3.2 Etude – réalisation- fonctionnement**

L'étude d'un pont porte généralement sur les aspects essentiels suivants :

- hydrologie et hydraulique pour la détermination des crues et des conditions d'écoulement;
- géologie pour détermination du type et de la profondeur des fondations ;
- trafic pour les dimensions (largeur du pont, surcharges d'exploitation...);
- dimensions des structures du pont (piles culées et tablier) ;

**Dans ce paragraphe du cours, ce sont les aspects hydrauliques du dimensionnement qui sont abordés.**

L'étude hydraulique consiste à déterminer les caractéristiques suivantes du pont :

- la hauteur naturelle de l'eau ;
- la surélévation de la cote provoquée par l'ouvrage ;
- le tirant d'air.

La hauteur sous le pont (hauteur de sous-poutre) est la somme de : **hauteur naturelle de l'eau + surélévation du niveau due au pont + tirant d'eau.**

a) hauteur naturelle de l'eau

La hauteur naturelle de l'eau est déterminée à partir de la crue de projet qui est elle-même estimée par les méthodes hydrologiques. La hauteur est calculée à partir des formules usuelles de débit (Manning-Strickler) et des caractéristiques géométriques de la section d'écoulement. La crue de projet à prendre en compte dépend de l'importance de la route.

#### **b) Surélévation de la cote provoquée par l'ouvrage ;**

Le débit de la crue de projet correspond à la pointe de l'hydrogramme de la crue de projet ; il s'agit d'un débit qui est observé pendant un temps relativement court et il n'est pas économique de réaliser un ouvrage capable de le faire passer sans entrave.

Il est d'usage de dimensionner le pont avec un passage inférieur à celui requis par le débit de pointe de la crue de projet ; lorsque celui-ci arrive, il y a un étranglement de la section d'écoulement, ce qui entraîne une surélévation du niveau d'eau à l'amont du pont. La présence des piles participe aussi à la surélévation du niveau d'eau.

#### **c) Tirant d'air**

Un cours d'eau transporte souvent des débris et corps flottants qui peuvent obstruer la section d'écoulement sous le pont et mettre en danger l'ouvrage étant entendu que le tablier du pont n'est pas dimensionné pour supporter des charges horizontales importantes. En plus toute submersion du pont entraîne l'interruption du trafic et des risques de destruction des remblais d'accès.

Le tirant d'air est prévu pour diminuer le risque d'obstruction partielle ou totale du pont. Il dépend des risques de charriage et de l'importance de l'ouvrage.

Pour des ponts de longueur inférieure à 50 m, on adopte généralement un tirant d'eau au moins égal à :

- ◆ 1 m en zone désertique et sahélienne ;
- ◆ 1,50 m en zone de savane ;
- ◆ 2 m en zone à végétation arbustive dense ;
- ◆ 2,50 m en zone forestière.

#### **d) Entretien**

Le contrôle de l'ouvrage est organisé de façon régulière et surtout après chaque crue importante afin de détecter les anomalies ou dégradations éventuelles.

Du point de vue du dimensionnement hydraulique, en plus du risque d'obstruction du passage, le pont est confronté aux risques d'affouillements, autour des piles, qui constituent une des causes les plus fréquentes des accidents sur ces ouvrages. L'affouillement est lié à la diminution de la section d'écoulement au droit de l'ouvrage, ce qui augmente la vitesse d'écoulement.

Il existe différentes méthodes de protection des piles des ponts contre les affouillements qui sont prises en compte dans la conception de l'ouvrage : tapis d'enrochement, caissons de fondation, ...

L'entretien courant consiste en la réparation des dégradations diverses qui peuvent se produire sur les remblais d'accès et en l'enlèvement régulier tous les débris (branchages, ...) qui se

déposent à l'entrée du pont et qui peuvent peu à peu diminuer la section d'écoulement et rendre l'ouvrage inefficace.

Il existe aussi une surveillance spécialisée qui concerne les structures du pont (état du béton, capacité des piles, des poutres et du tablier).

## Conclusion

Les ouvrages de franchissement présentés ci-dessus sont des ouvrages qui passent souvent inaperçus tant qu'ils jouent leur rôle. Leur dysfonctionnement peut avoir de nombreuses conséquences fâcheuses (perte de temps, inaccessibilité, dommage aux moyens de transport, allongement des itinéraires ...). Leur bon fonctionnement dépend beaucoup du débit de la crue choisie pour leur dimensionnement. Il est donc indispensable d'accorder le plus grand soin à l'étude hydrologique préalable. Comme tous les autres ouvrages de génie civil les ouvrages de franchissement ont besoin d'un entretien régulier !

## Activités d'apprentissage chapitre 3

### Exercice 3.1

Soit un radier horizontal, à fond de lit, proposé pour le franchissement d'un thalweg par voitures et camions. Le débit de pointe de la crue de projet est de  $6,35 \text{ m}^3/\text{s}$ . La largeur de la route est de 7 m.

- 1) Déterminez la longueur du radier de sorte que :
  - les voitures seules puissent circuler lors du passage de la crue ;
  - les voitures et les camions puissent circuler lors du passage de la crue.
- 2) Proposez une protection minimale contre l'affouillement à l'aval du radier

### Exercice 3.2

Soit à évacuer un débit de pointe de  $14 \text{ m}^3/\text{s}$ . La cote maximale admissible du remblai au franchissement est de 14,40 m, le fond du thalweg étant de 10,0m, soit une hauteur de remblai de 4,40m. La cote maximale de l'eau à l'aval est de 13,00m. La largeur du dalot est prise égale à 4 m.

La largeur de la plate-forme routière au droit du franchissement est de 9 m (y compris la voie piétonne). La pente des talus est de 1/1. Le dalot a des murs en aile inclinés de  $45^\circ$  sur l'axe avec toit à bord chanfreiné  $K_e = 0,2$  ;  $K = 60$  ;  $v = 2 \text{ m/s}$ .

Calculez :

- 1) la longueur de l'ouvrage ;
- 2) la surélévation du niveau d'eau
- 3) la revanche en sachant que la longueur du plan d'eau est de 0,8 km ;
- 4) la cote minimale des remblais ; est – elle compatible avec la cote maximale admissible ?

# IV. OUVRAGES DE REGULATION ET DE PROTECTION

## *Objectifs spécifiques liés au chapitre*

- Connaître les ouvrages ;
- Dimensionner les ouvrages ;
- Exploiter et entretenir les ouvrages.

## *Activités d'apprentissages liés au chapitre*

### *Lecture du cours, traitement des exercices d'application*

## **Introduction**

Les ouvrages de régulation et de protection regroupent plusieurs catégories d'ouvrages :

- les ouvrages de transport : canaux, conduites,
- les ouvrages de répartition de l'eau : partiteurs, modules, pertuis ;
- les ouvrages de protection : bassin de tranquillisation, déversoirs latéraux, siphons.

Leurs rôles sont le transport de l'eau, sa répartition en fonction des besoins du réseau et la protection de ce réseau.

La plupart de ces ouvrages sont présentés ci-dessous :

## **IV.1. canaux, seuils, et répartiteurs**

### **IV.1.1. Canaux**

#### **a) Généralités**

Les canaux sont des ouvrages hydrauliques linéaires qui permettent le transport de l'eau à surface libre. On rencontre plusieurs types de canaux :

- canaux d'adduction,
- canaux d'irrigation,
- canaux d'évacuation des eaux usées et/ou de pluies,
- canaux de navigation.
- ...

Dans un canal, l'écoulement de l'eau s'effectue à ciel ouvert (surface libre) et obéit à des lois hydrauliques faisant intervenir le débit, la pente et les caractéristiques de la section transversale (superficie, rugosité, forme géométrique).

Généralement on utilise des formules empiriques (CHEZY, MANNING- STRICKLER) pour dimensionner les canaux.

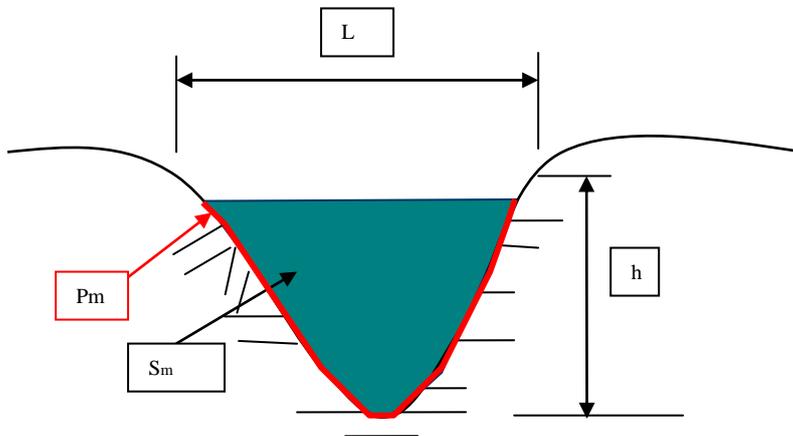
L'utilisation de celle de MANNING- STRICKLER est présentée ci-dessous :

$$V = K \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \text{ où}$$

- V est la vitesse de l'écoulement en m/s
- R est le rayon hydraulique (en m) défini comme le rapport de la section mouillée  $S_m$  sur le périmètre mouillé  $P_m$
- I est la pente longitudinale du canal varie de 1/10 000 (10 cm/km) à 1/100 (10 m/km)
- K est un coefficient de rugosité ;

Et  $Q = V \cdot S_m$  avec

- Q : débit dans le canal  $m^3/s$
- $S_m$  : section mouillée  $m^2$
- V : vitesse de l'écoulement en m/s



**h** : tirant d'eau

**L** : largeur au miroir ou largeur en gueule

**Figure 4.3** Eléments géométriques d'une section droite

Canaux artificiels - nature des surfaces	Etat des canaux			
	Parfait	bon	Assez bon	mauvais
Ciment lissé	100	91	83	77
Canaux revêtus en béton	83	71	72	56
Pierres sèches	40	33	30	29
Moellons dressés	77	71	67	58
Canaux et fossés en terre, droits et uniformes	58	50	44	40
Canaux en terre, à larges méandres	44	40	36	36
Canaux à fond en terres, côté avec des pierres	36	33	30	29

**Tableau 5** Quelques valeurs du coefficient de rugosité K utilisées dans la formule de MANNING- STRICKLER (Source annexe bibliographique 1)

**Note :** Le coefficient de rugosité est souvent noté n avec  $K= 1/n$

Pour un débit donné (déterminé par les besoins à satisfaire à l'aval et les pertes), on recherche la section la plus économique. Mais généralement ce sont les considérations pratiques d'exécution et d'exploitation qui guident le choix de la forme du canal. Les sections-types les plus couramment rencontrées sont les sections rectangulaires et trapézoïdales.

## b) Caractéristiques des canaux

- **Pentes des talus et vitesse admissible**

La pente du canal et celle des talus doit être telle que la vitesse de l'eau assure un débit suffisant sans entraîner une érosion du fond et des parois.

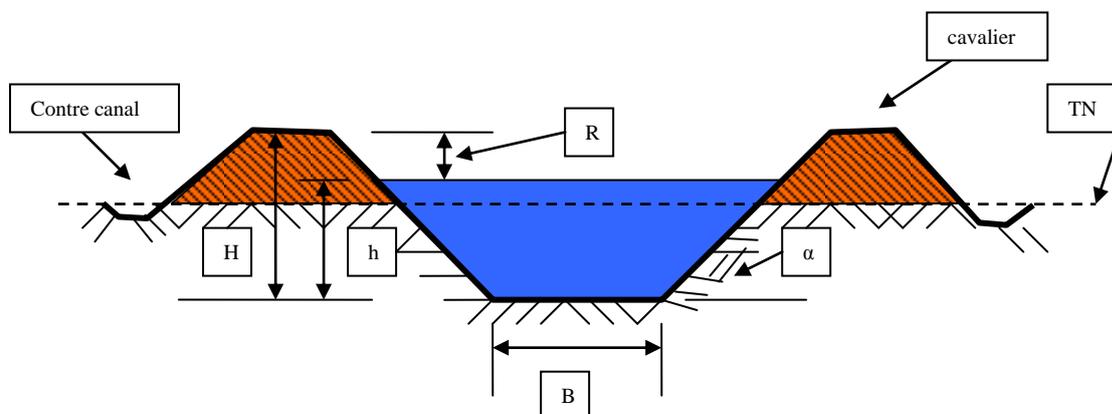
La pente longitudinale d'un canal varie de 1/10 000 (10 cm/km) à 1/100 (10 m/km).

Un canal ne doit pas avoir de contre pente et son plafond doit s'abaisser constamment et régulièrement de l'amont vers l'aval. Lorsque la pente est trop forte, on introduit des chutes dans le tracé du canal.

Les vitesses d'écoulement sont comprises entre 0,5 et 1m/s pour les canaux en terre et entre 0,75 m/s et 1,5 m/s pour les canaux revêtus.

Les pentes des talus des canaux trapézoïdaux varient de 2/3 pour les canaux en terre à 1/1 pour les canaux revêtus. Les canaux rectangulaires ont toujours des parois verticales et sont toujours revêtus.

- **Canal de section trapézoïdale**



**Figure 4.4 : Canal trapézoïdal**

**Les différents éléments sont :**

- ◆ B : largeur du plafond (de 0,20 m à 1,00 m) ;
- ◆ H : hauteur totale du canal ;
- ◆ h : tirant d'eau ;
- ◆ R : revanche ( $R = 3/10 H$ ) comme  $H = h+R$ ,  **$R = 3/7 * h$**
- ◆  $\alpha$  : angle du talus avec l'horizontale (pour le fruit usuel du talus de  $2V/3H$ ,  $\alpha = 34^\circ$ ).

## Canal de section rectangulaire

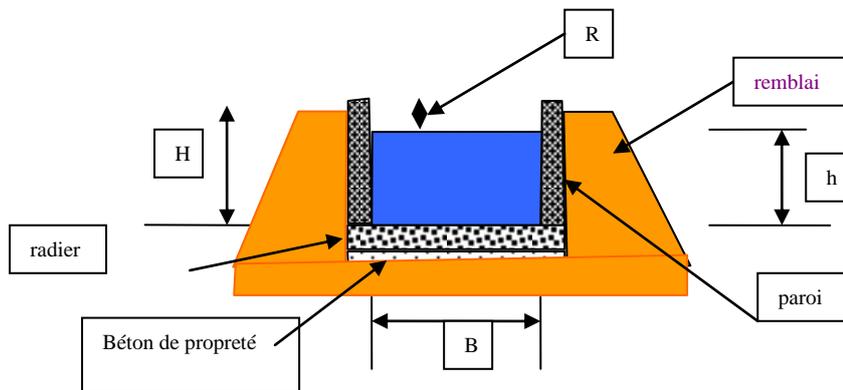


Figure 4.5 : Canal rectangulaire ( $P_m = B + 2.h$  ;  $S_m = B.h$ )

Les différents éléments du canal rectangulaire sont :

- ◆ B : largeur du plafond (de 0,20 m à 1,50 m avec  $B = \text{environ } 2h$ ) ;
- ◆ H : hauteur totale du canal ;
- ◆ h : tirant d'eau ;
- ◆ R : revanche ( $R = h/3$ )

### • Revêtement des canaux

Le revêtement d'un canal remplit trois rôles :

- diminuer la rugosité des berges pour faciliter l'écoulement de l'eau ;
- assurer l'étanchéité des berges du canal ;
- accroître la résistance des talus à l'érosion

Les canaux trapézoïdaux peuvent ne pas être revêtus tandis que les canaux rectangulaires sont toujours revêtus.

Les revêtements peuvent être de différentes natures :

#### ◆ Revêtement en maçonnerie

Ce type de revêtement est moins onéreux (si le coût de la main d'œuvre est faible) mais d'exécution lente ; par ailleurs il entraîne des frottements élevés et donc des vitesses faibles.

#### ◆ Revêtement en béton

Il se présente sous la forme de béton appliqué directement sur le canal avec ou sans armatures ou bien d'un revêtement préfabriqué. L'épaisseur varie de 5 cm à 15 cm. Ces revêtements résistent à l'érosion et permettent de grandes vitesses d'écoulement, ce qui entraîne la réduction de la section du canal. Ils sont par contre coûteux et sensibles aux sous-pressions et aux variations de températures ; il est réalisé avec des joints dont l'espacement est d'environ 50 fois l'épaisseur.

### c) Efficience

Les pertes d'eau dans les canaux sont souvent importantes alors que l'eau est parfois rare et coûteuse ; ces pertes sont les suivantes :

- les pertes par évaporation : elles sont peu importantes et sont souvent négligées ;
- les pertes par percolation : elles sont fonction de la nature du terrain, de la hauteur d'eau, de la vitesse d'écoulement, du profil du canal, de la présence de la végétation.

Au total les pertes dans un canal varient de 5 à 40% ; les valeurs les plus utilisées sont comprises entre 10 et 20 %.

L'efficacité d'un canal exprime son efficacité ou son rendement ; une efficacité de 0,8 signifie que les pertes dans le canal sont de l'ordre de 20% du débit. Le débit de dimensionnement d'un canal est donc le rapport du débit théorique (calculé) par l'efficacité.

#### d) Surveillance des canaux

La surveillance de l'état des canaux se fait en :

- contrôlant le débit des contre-canaux ; une augmentation de ce débit peut signaler une fuite à travers le revêtement ou une dégradation des parois ;
- vérifiant l'état du revêtement et des berges ;
- contrôlant le niveau d'eau dans les remblais.

### IV.1.2. Seuils

Les déversoirs sont des orifices de grandes dimensions ouverts à la partie supérieure. La crête constitue le seuil du déversoir, les côtés sont les joues.

Les déversoirs fournissent régulation statique et sûre.

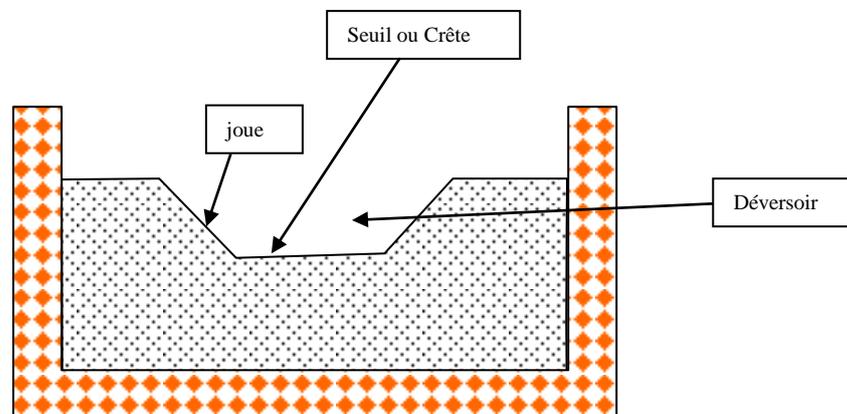
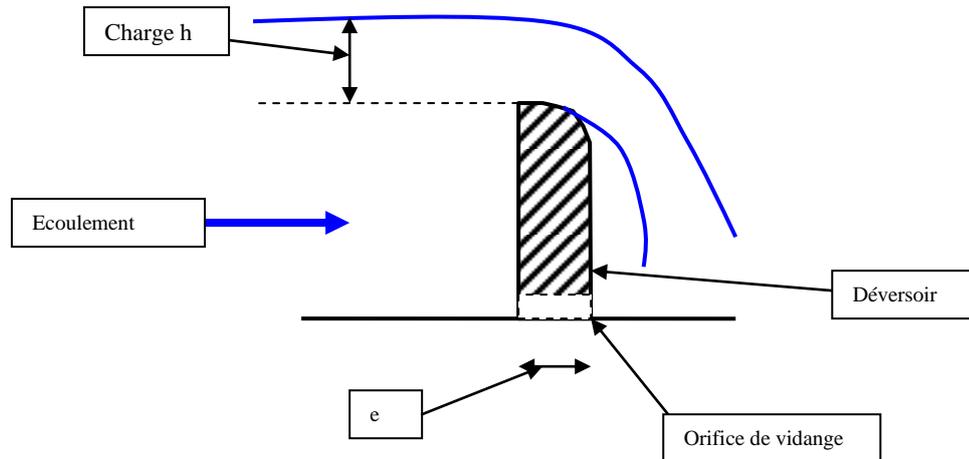


Figure 4.1 Vue d'un déversoir

La cote de la crête et la largeur déversante sont déterminées en fonction du débit et des caractéristiques du canal ; l'emplacement du déversoir est fixé en fonction de la position des prises d'eau.

Le but du déversoir ou du seuil est de maintenir devant chaque prise un plan d'eau compatible avec son fonctionnement.



**Figure 4.2 Coupe d'un déversoir**

Les déversoirs peuvent être :

- ◆ **à seuil mince** :  $e \leq h/2$  (plaque mince destiné à la mesure des débits) ;
- ◆ **à seuil épais** :  $e > h/2$  ce sont les seuils utilisés pour la régulation des débits dans les canaux d'irrigation.

De façon générale la formule du débit sur un déversoir est la suivante :

$$Q = m \cdot l \cdot (2g)^{1/2} \cdot h^{3/2} \text{ en m}^3/\text{s}$$

Où  $m$  = coefficient fonction de la forme et de l'épaisseur du seuil

$l$  = largeur déversante ou longueur du seuil en m

$h$  = hauteur d'eau sur le seuil en m.

Plusieurs formules permettent de déterminer le débit à un déversoir ; parmi elle, la **formule de BELANGER** :

$$Q = 0,385 \cdot l \cdot (2g)^{1/2} \cdot h^{3/2}$$

Pour les seuils épais et les bords arrondis,  $Q = 0,40 \cdot l \cdot (2g)^{1/2} \cdot h^{3/2}$

Les déversoirs favorisent les dépôts à l'amont ; on prévoit donc à la partie basse du seuil un pertuis muni d'une vannette pour l'évacuation des dépôts.

### IV.1.3. Répartiteurs

#### a) Généralités

Les répartiteurs ou partiteurs ont pour rôle de partager automatiquement le débit d'un canal entre plusieurs canaux dérivés. Les éléments principaux du partiteur sont :

- ◆ le canal principal d'une longueur minimale de 20 m à l'amont du partiteur ;
- ◆ le seuil de contrôle qui crée les conditions d'un écoulement torrentiel ;
- ◆ le partiteur (lame mince qui divise la section de contrôle dans la proportion fixée par les débits dérivés) ;
- ◆ les canaux dérivés.

L'écoulement torrentiel peut aussi être obtenu en rétrécissant la section du canal. En pratique, on utilise généralement un seuil épais, sans rétrécissement de la section d'écoulement.

#### b) Etude et réalisation

##### Pour un partiteur fixe :

La formule générale du débit sur un déversoir est la suivante :

$$Q = m \cdot l \cdot (2g)^{1/2} \cdot h^{3/2} \text{ en m}^3/\text{s}$$

où  $m$  = coefficient fonction de la forme et de l'épaisseur du seuil avec  $m$  de 0,38 à 0,41

$l$  = largeur déversante ou longueur du seuil en m

$h$  = hauteur d'eau sur le seuil en m.

Le seuil qui est la partie la plus importante du partiteur, doit avoir les caractéristiques minimales suivantes :

- ◆ Hauteur du seuil :  $s \geq 1,5 h_c$  avec  $h_c$  = hauteur critique de l'écoulement
- ◆ Longueur du seuil :  $l \geq 10 h_c$
- ◆ Epaisseur du seuil :  $\geq 3,5 h_c$ .

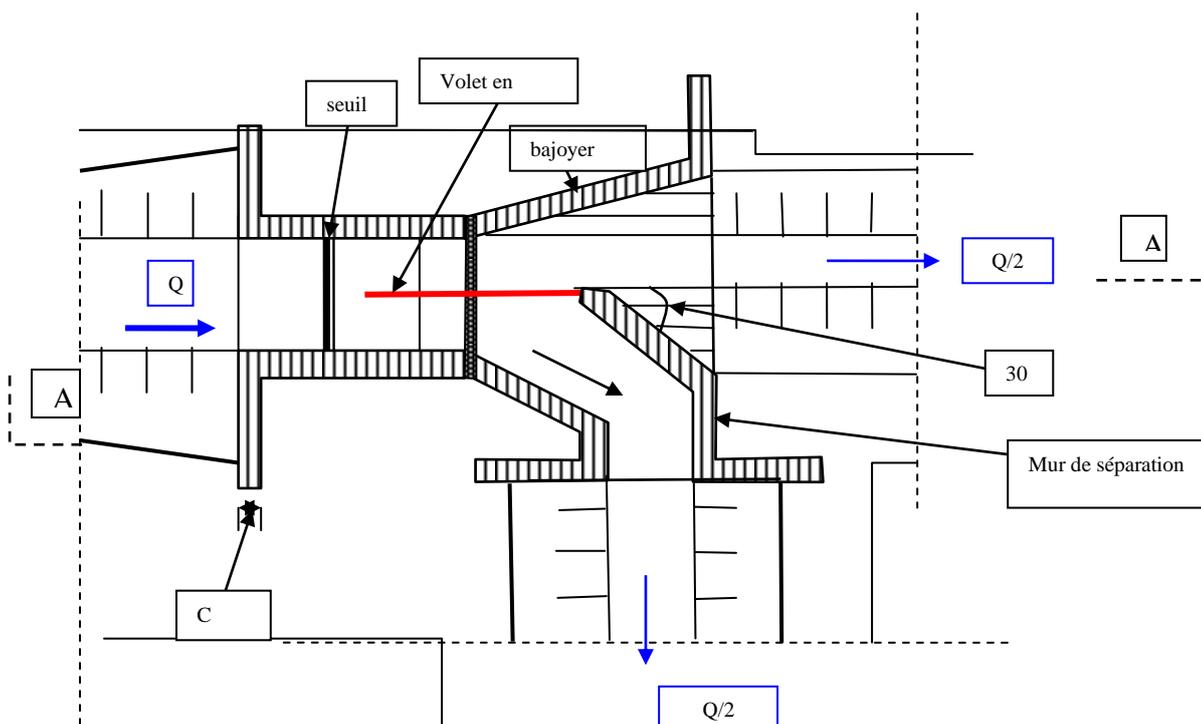


Figure 4.6 Vue en plan d'un partiteur fixe

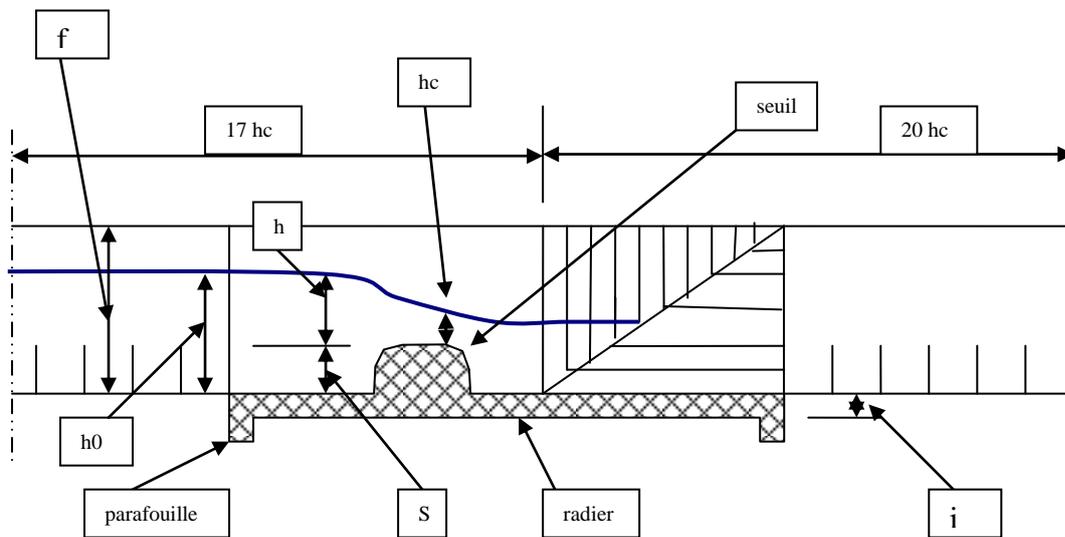


Figure 4.7 Coupe AA du partiteur

Débit en (l/s)	hc hauteur critique	S Hauteur du seuil	Ho Hauteur d'eau amont	f hauteur du canal	c épaisseur du canal	i Epaisseur du radier
10	0,04	0,10	0,16	0,35	0,15	0,10
29	0,06	0,15	0,24	0,45	0,15	0,10
59	0,08	0,15	0,27	0,50	0,15	0,12
103	0,10	0,20	0,35	0,60	0,20	0,12

Tableau 6 : cotes variables d'un partiteur fixe  $Q/2$

### c) Fonctionnement

Dans le partiteur, le partage du débit est assuré au moyen d'un volet vertical à arête frontale, de mince épaisseur, dans les proportions fixées par les débits dérivés.

Pour que le partage ne soit pas influencé par les variations des débits affluents ni par le régime d'écoulement dans les canaux dérivés, il est indispensable que dans la section où le partiteur fait le fractionnement, l'écoulement soit torrentiel.

Pour obtenir cet écoulement torrentiel, on peut soit:

- surélever le plafond du canal par un seuil (cas du partiteur fixe figure 4.7) ;
- réduire la largeur du canal ;
- combiner les deux systèmes.

C'est généralement le système de surélévation du plafond par un seuil qui est utilisé.

## IV.2 Bassins de rétention et de dissipation

### a) Généralités

Le rôle du bassin de dissipation est de protéger le canal aval contre les risques d'érosion d'un écoulement trop rapide.

### b) Etude – réalisation -fonctionnement

Pour dissiper l'énergie de l'écoulement (sortie d'une conduite de prise d'eau ou de refoulement), on provoque des variations brusques de l'écoulement (chutes, ressauts, jets).

Le type de bassin le plus utilisé est le bassin à ressaut. Le bassin où on localise le ressaut hydraulique (passage d'un écoulement torrentiel à un écoulement fluvial) compatible avec le canal ;

Pour obtenir cet écoulement torrentiel, on peut soit:

- surélever le plafond du canal par un seuil (cas du partiteur fixe figure 4.8) ;
- réduire la largeur du canal ;
- combiner les deux systèmes.

C'est généralement le système de surélévation du plafond par un seuil qui est utilisé.

Les principaux éléments de l'ouvrage :

$Z$  = hauteur de chute en m (différence entre les niveaux amont et aval) ;

$X$  = longueur du bassin ( $= 1,5 \cdot Z$ ) ;

$V$  = volume du bassin ( $Q \cdot Z/150$  en  $m^3$ ) ;

$Q$  = débit en l/s ;

$L$  = largeur du bassin ;

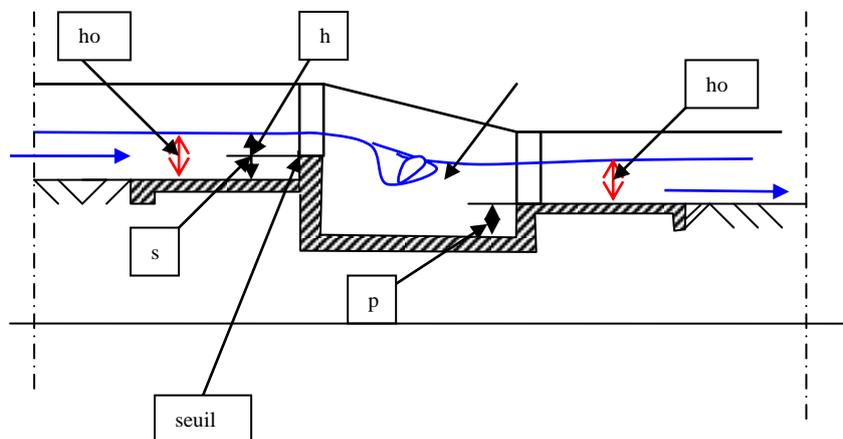
$l$  = longueur du déversement ;

$h$  = hauteur de la lame de déversement ;

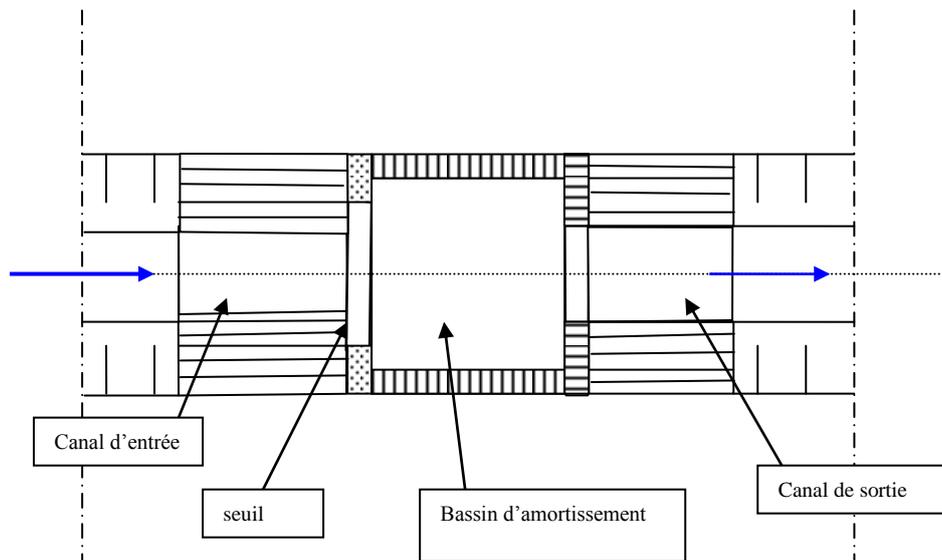
$h_0$  = hauteur d'eau dans le canal ;

$s$  = hauteur du seuil ;

$p$  = profondeur du bassin d'amortissement (entre 0,10 à 0,30 m).



## 4.8 Coupe d'un bassin de tranquillisation



## 4.9 Vue d'un bassin de tranquillisation

Dans un réseau d'écoulement à surface libre, les bassins de tranquillisation se rencontrent aux endroits suivants :

- aux sorties des prises d'eau (prise d'eau de barrages) ;
- aux sorties de conduites d'alimentation par pompage ;
- à l'aval de chutes sur le canal.

L'énergie de l'écoulement est dissipée par le ressaut hydraulique; l'ouvrage est en béton pour éviter les affouillements.

## Conclusion

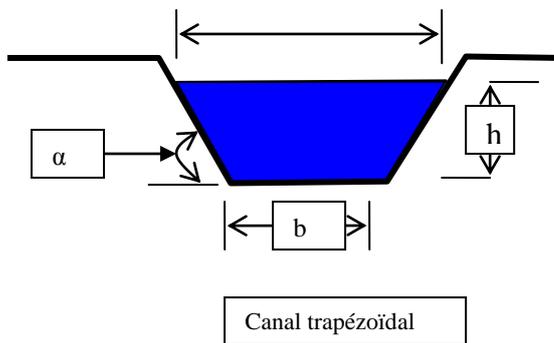
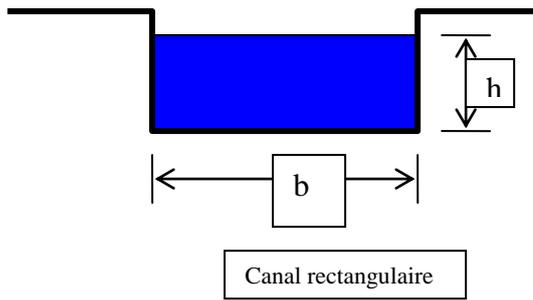
Les ouvrages de régulation et de protection sont des ouvrages essentiels sur un réseau d'irrigation ; le bon fonctionnement d'un périmètre dépend de la bonne réalisation et du bon entretien de ces ouvrages.

## Activités d'apprentissage chapitre 4

### Exercice4. 1

Soient le canal trapézoïdal et le canal rectangulaire ci-dessous.

1) Exprimez le périmètre mouillé et la section mouillée en fonction de  $b$  et  $h$ .



## 2) Applications

Soit un canal trapézoïdal dont les caractéristiques sont ci-dessous :

- ◆ largeur du plafond : 4 m
- ◆ pentes des côtés : 1/1
- ◆ rugosité des parois : 75,2
- ◆ pente du fond : 0,30 m/km
- ◆ tirant d'eau : 1,60 m

- a) calculez le rayon hydraulique ;
- b) calculez la vitesse de l'écoulement ;
- c) calculez le débit de l'écoulement ;

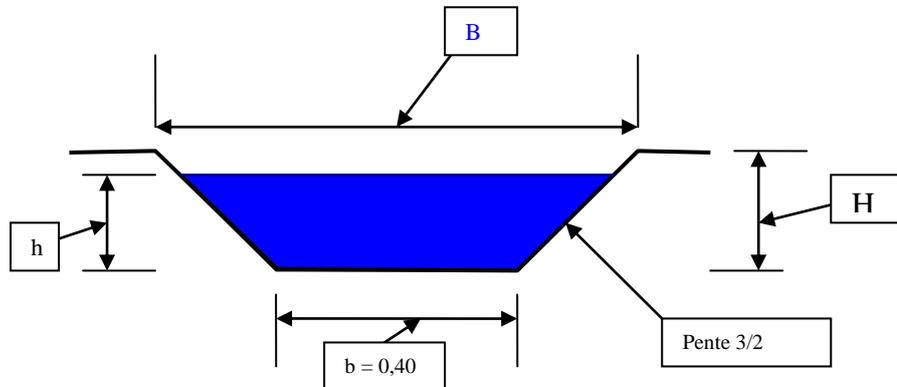
### Exercice 4.2

Dans un canal trapézoïdal (voir figure ci-dessous) en béton lissé a les caractéristiques suivantes :

- un talus à 2V/3H et une largeur au plafond de 0,40 m
- pente longitudinale 1/1000 ;

Déterminez le tirant d'eau ( $h$ ), la hauteur totale ( $H$ ) et la largeur en gueule ( $B$ ) pour les débits suivants :

- 66 l/s ; 103 l/s ; 120 l/s ; 149 l/s.



### Exercice 4.3

Soit un canal trapézoïdal ayant les caractéristiques suivantes :

- Largeur du plafond : 0,50 m ;
  - Largeur en gueule : 2,50 m ;
  - Hauteur totale : 0,50 m ;
  - Epaisseur du revêtement : 0,15 m.
- 1) représentez le canal à l'échelle 1/50 ;
  - 2) déterminez la pente des talus.

## Conclusion générale

Les ouvrages hydrauliques sont des ouvrages importants pour la satisfaction des besoins en eau des populations, pour la sécurité alimentaire et pour le développement rural en général.

Ils doivent toujours faire l'objet d'études sérieuses en relation avec leurs dimensions et être réalisés selon les règles de l'art, par des techniciens compétents, ce qui garantira leur efficacité et leur longévité.

On n'insistera jamais assez sur la nécessité de l'entretien des ouvrages qui doit être systématique et régulier.

Les ouvrages présentés dans ce cours sont les principaux utilisés dans les domaines de la mobilisation de la ressource, de son transport en écoulement à surface libre ainsi que la régulation et la protection. Les ouvrages hydrauliques (siphons, déversoirs sécurité, prise d'eau....) ne sont pas présentés dans ce cours. Les étudiants intéressés par ces ouvrages pourront se reporter aux documents cités en bibliographie.

## **Bibliographie**

1. **Hydraulique générale et appliquée** M. Carlier Editions Eyrolles

2. **Les ouvrages d'un petit réseau d'irrigation** Techniques rurales en Afrique SOGETHA
3. **Petits barrages en terre** PSTP OIT/PNUD fascicule N°5
4. **Techniques des barrages en aménagement rural**, Ministère de l'Agriculture République Française
5. **Mémotech** génie civil
6. **Captage de l'eau : guide pour les planificateurs et chefs de projets** ; Service documents techniques IRC Danida.
7. **Conception et optimisation d'un réseau d'irrigation** Labaye, Y., Olson M.A., Galand A., Tsiourtis N. FAO Bulletin 44.
8. **Les réseaux d'irrigation : théorie, technique et économie des arrosages** Ollier, CH., Poirée M.
9. **Hydraulique routière** Nguyen van Tuu, BCEOM, Ministère de la coopération, République Française

## Webographie

*Les références en ligne des documents : liens des sites ou pages web de référence*

- 1) Wikipedia
- 2) Encyclopédie Encarta

## Glossaire

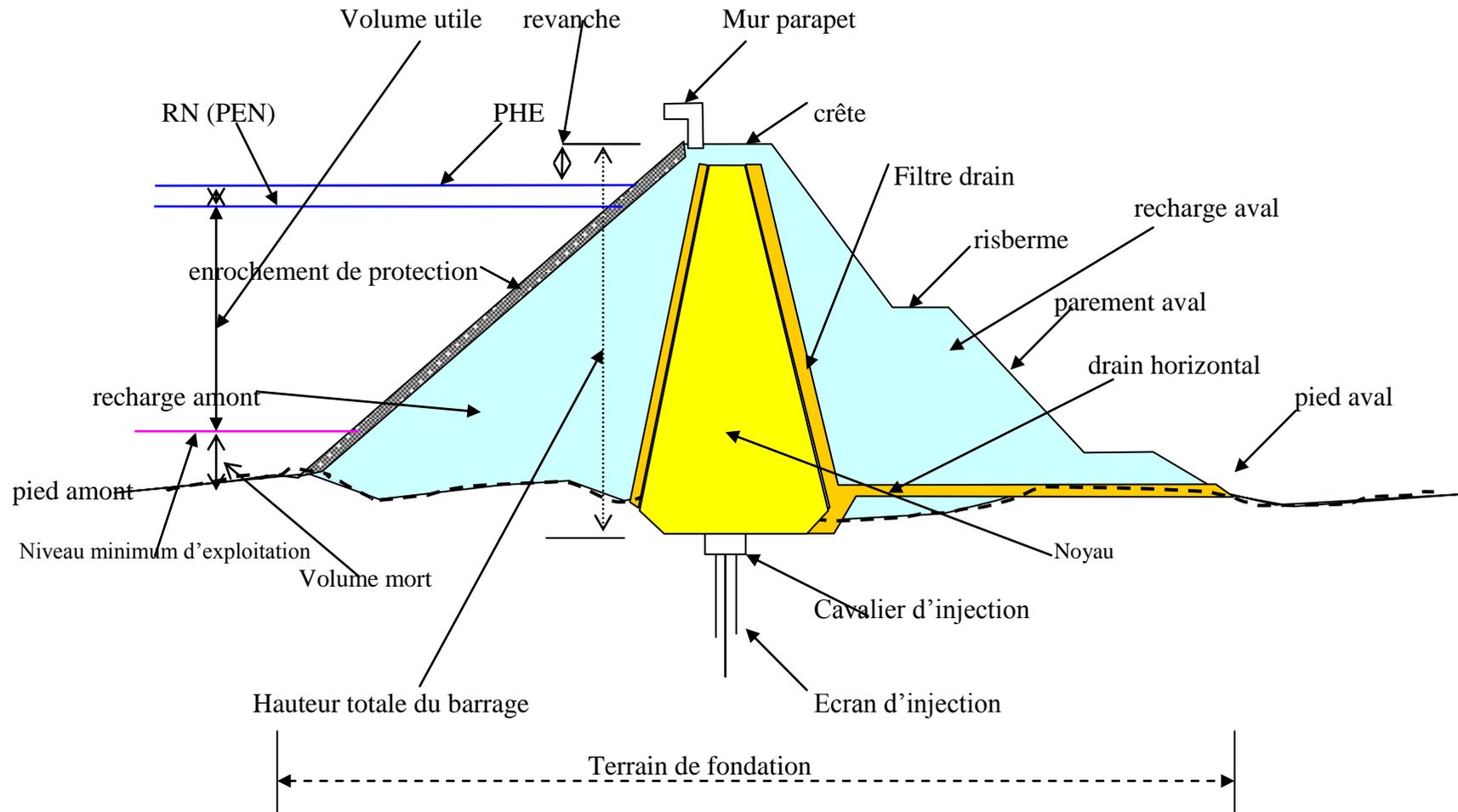
*Les définitions des mots rencontrés dans le document*

- **Affouillements** : creusement du fait de l'action érosive de l'eau ; *pages 21, 33, 34, 39, 41, 52* ;
- **Batardeau** : ouvrage provisoire isolant de la rivière tout ou une partie du chantier afin que les travaux se fassent à sec ; *pages 4, 20* ;
- **Bassin de sédimentation** : bassin permettant la décantation de l'eau ; *pages 23, 24* ;
- **Bouli** : réservoir creusé dans le sol, pour recueillir les eaux de ruissellement en saison de pluies ; *pages 6, 23, 24* ;
- **Cavalier d'un canal** : partie en remblai du profil d'un canal trapézoïdal ; *page 45* ;
- **Chute** : déplacement vers le bas de l'eau d'un cours d'eau ou d'un canal due à une dénivellation abrupte du lit ; *pages 17 ; 45 ; 51 ; 52* ;
- **Contre - canal** : petit canal au pied du cavalier pour recueillir les eaux d'infiltration du remblai et les eaux ruisselées sur eux ; *page 47*
- **Crête** : partie supérieure de tous les types de barrages ; *page 7* ;
- **Crue** : écoulement d'un cours d'eau avec un débit très supérieur au module ; *pages 7, 8, 14, 17, 18, 19, 21, 30, 32, 33, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42* ;
- **Dalot** : petit pont destiné au franchissement de petites dépressions et thalwegs. ; *pages 30, 31, 35, 36, 37, 38, 39, 42* ;
- **Déversoir** : orifice ouvert à sa partie supérieure ; *pages 47, 48, 49, 55* ;
- **Drain** : élément en sable ou géotextile qui sert à recueillir les eaux qui s'infiltreront dans et sous la digue ; *pages 8, 9, 16, 21* ;
- **Ecran d'étanchéité** : tranchée creusée sous la digue et remplie de matériaux imperméables pour assurer l'étanchéité de la fondation ; *pages 7, 16* ;
- **Efficienc**e : rendement d'un canal ; c'est le rapport entre le débit à la fin et le débit au début du canal ; *page 47* ;
- **Exutoire** : zone où s'évacue l'eau (lac, canal) ; *page 36* ;
- **Fossé d'évacuation** : fossé situé à l'extrémité du filtre qui sert à évacuer les eaux infiltrées et les eaux de ruissellement sur le talus aval ;
- **Fruit** : inclinaison sur la verticale ; sa mesure exprime la tangente de l'angle sur la verticale ; *page 45* ;
- **Gabion** : Cage parallélépipédique rectangle en grillage galvanisé et rempli de matériau pierreux de granulométrie appropriée ; *page 34, 35* ;
- **Gabion semelle** : gabion dont l'épaisseur est égale à la moitié de la largeur ; *page 34* ;
- **Gabion cage** : gabion dont la hauteur est égale au double de la largeur ; *page 34* ;
- **Géotextile** : tissu synthétique utilisé comme filtre dans les ouvrages en terre ; *page 9* ;
- **Glissements** : déplacement vers le bas de la pente d'une masse de terrain ; *page 14* ;
- **Gouttière** : petit canal fixé à la base d'un toit, destiné à recueillir les eaux de pluies ; *pages 26, 28* ;
- **Hauteur du barrage** : distance verticale entre la crête du barrage et le point le plus bas de la fondation (hauteur sur fondation) ou du terrain naturel (hauteur sur TN) ; *pages 12, 13, 15, 20* ;
- **Hauteur de chute** : différence entre le niveau d'eau à l'amont et à l'aval d'une dénivellation ; *pages 17 ; 51* ;
- **Hauteur critique** : pour canal donné, c'est la hauteur d'eau qui correspond au débit maximal pour une énergie spécifique donnée. Elle est régie par la formule  $Q^2.L/gS^3 = 1$  (Q = débit, S = section mouillée, L = largeur du miroir) ; *page 49* ;

- **Infiltration** : pénétration de l'eau dans le corps de l'ouvrage ; *pages 12 ; 14 ; 15 ; 16 ; 21 ;*
- **Joue d'un déversoir** : paroi latérale du déversoir ; *pages 47 ;*
- **Largeur déversante** : partie du déversoir sur laquelle l'eau déverse, équivaut à la longueur du seuil ; *page 48 ;49 ;*
- **Longueur en crête** : longueur développée de la crête du barrage ; *page 60 ;*
- **Mare** : étendue d'eau stagnante ; *page 23.*
- **Masque amont** : zone mince et imperméable placée sur le parement amont d'un barrage en remblai ; *pages 9.*
- **Mur bajoyer ou mur guideau ou mur en ailes** : mur latéral d'un déversoir ou d'un dalot destiné à supporter la poussée du remblai et à diriger l'écoulement sous l'ouvrage; *pages 35, 36, 37, 39, 42,49.*
- **Mur de tête**: mur qui surplombe le piédroit d'un dalot, qui supporte le remblai et qui permet de signaler la présence de celui-ci ; *pages 36, 39.*
- **Niveau minimum d'exploitation** : niveau en dessous duquel l'utilisation de l'eau n'est possible ; *page 12.*
- **Niveau des plus hautes eaux** : niveau atteint lors des crues exceptionnelles ; *page 14 ;*
- **Niveau de retenue normale (R.N)**: niveau maximal du plan d'eau en exploitation normale ; *page 14 ;*
- **Noyau** : zone d'un barrage en remblai constitué d'un matériau relativement imperméable, généralement l'argile ; *pages 9, 14, 16 ;*
- **Parafouille** : écran d'étanchéité ; *pages 9, 16, 50 ;*
- **Parapet** : mur construit sur la crête du parement pour la protection de l'ouvrage contre le batillage ; *page 60 ;*
- **Parement**: pente ou face extérieure amont ou aval du barrage\* ; pente des berges d'un canal ; *voir talus*
- **Percolation** : infiltration ;
- **Périmètre mouillé** : longueur de la ligne de contact entre le fond et la section mouillée ; *pages 4 ; 38 ; 44 ;*
- **Perré** : pierres disposées régulièrement sur le talus d'un ouvrage pour le protéger contre l'érosion ; *pages 17 ; 39 ;*
- **Piédroits** : murs verticaux d'un ouvrage (dalot ou pont) ; *pages 35, 36 ; 39 ;*
- **Pont** : ouvrage permettant de franchir à sec les cours d'eau importants ; *pages 5 ; 31 ; 39 ; 40 ; 41; 42 ;*
- **Prise d'eau** : ouvrage permettant de prélever l'eau dans une retenue ou dans une rivière ; *page 19 ;*
- **Renard hydraulique** : infiltration d'eau dans le remblai ou la fondation suivie de transport de matériaux pouvant créer un orifice entre l'amont et l'aval ; *page 21 ;*
- **Revanche** : distance verticale entre le niveau des plus hautes eaux ou le niveau de retenue normale et la crête du barrage ; distance entre le niveau maximum d'eau dans un canal et le sommet de la paroi ; *pages 4 ; 15 ; 37 ; 38 ; 45 ; 46 ; 59 ;*
- **Retenue** : lac artificiel créé par un barrage ; *pages 4 ; 10 ; 11 ; 12 ; 14 ; 19 ; 22 ; 29 ;*
- **Ressaut hydraulique** : surélévation de la surface libre d'un courant lorsqu'un régime torrentiel devient fluvial sur une courte distance ; il s'accompagne d'une perte de charge ; *pages 51 ; 52 ;*
- **Risberme** : banquettes horizontales sur le parement amont ou aval du barrage ; *page 60 ;*

- **Section mouillée** : portion de la section transversale occupée par le liquide ; *pages 4 ; 37; 38 ; 53 ;*
- **Sédimentation ou alluvionnement** : dépôt des particules terreuses contenant dans l'eau lorsque la vitesse d'écoulement de celle-ci diminue ;
- **Seuil** : paroi horizontale d'un déversoir ; *pages 4 ; 5 ; 18 ; 21 ; 23 ; 24 ; 32 ; 33 ; 43 ; 47; 48 ; 49 ; 50 ; 51 ; 56 ;*
- **Surlargeur** : largeur supplémentaire des remblais au moment du compactage ; elle est enlevée en fin de compactage ;
- **Talus** : parement ; *pages 9 ; 14 ; 15 ; 16 ; 17 ; 20 ; 21 ; 23 ; 24 ; 39 ; 45 ; 46 ; 58 ;*
- **Tassements** : affaissements ; *pages 14 ; 20; 21 ;*
- **Thalweg** : zone basse d'une vallée ; *pages 4 ; 5 ; 30 ; 42 ;*
- **Théorème de Bernoulli** : en tout point d'un filet liquide, pris dans une masse liquide de fluidité parfaite en mouvement permanent et soumis à la seule action de la pesanteur, cote, la hauteur représentative de la pression et la hauteur représentative de la vitesse forment une somme constante ( $z + P/\varpi + V^2/2g = \text{Constante}$ ) ; *page 37*
- **Tirant d'eau** : hauteur d'eau au-dessus du fond ; *pages 4 ; 40 ; 4 ; 44 ; 45 ; 46 ;*
- **Vidange de fond** : ouvrage permettant de vider le barrage pour entretien ou pour chasser les sédiments accumulés dans la retenue ; *page 19 ;*
- **Volume mort** : volume destiné à couvrir les apports solides ; *page 13 ;*
- **Volume de la retenue** : quantité d'eau retenue du fait de la réalisation du barrage ; *page 14 ;*
- **Volume du barrage** : quantité de matériaux utilisés pour la construction du barrage ; *page 14 ;*

# Annexe 1 coupe type d'un barrage en terre



**TERMINOLOGIE COMMUNE AUX BARRAGES REMBLAI**