

## TABLE DES MATIERES

|  |    |
|--|----|
| REMECIEMENTS.....  | i  |
| TABLE DES MATIERES.....  | ii |
| LISTE DES FIGURES .....  | iv |
| INTRODUCTION.....  | 1  |
| Chapitre 1 RAPPELS SUR L'ECOULEMENT A SURFACE LIBRE.....   | 2  |
| I.    Quelques définitions .....   | 2  |
| 1. Régimes permanents .....  | 2  |
| 2. Régime transitoire .....  | 2  |
| 3. Ecoulement uniforme .....   | 2  |
| II.    Grandeurs caractéristiques et les différents régimes.....   | 3  |
| 1. Nombre de Froude.....   | 3  |
| 2. Ressaut hydraulique .....   | 4  |
| 3. La loi du seuil et les différents types de seuil : .....  | 4  |
| 4. Tirant d'eau critique :.....  | 6  |
| 5. Définitions des différents types de lits .....  | 7  |
| Chapitre 2 TRANSPORT SOLIDE EN HYDRAULIQUE FLUVIALE .....  | 10 |
| I.    Charriage et suspension des matériaux non-cohérents .....  | 10 |
| II.    Erosion du fond et dépôt .....  | 12 |
| III.    Saturation en un débit solide.....   | 14 |
| IV.    Etude sur les grains .....  | 15 |
| 1. Force tractrice par unité de surface ou contrainte de cisaillement engendré par l'écoulement de l'eau dans une rivière..... | 15 |
| 2. Calcul du débit solide.....   | 16 |
| 1. Cours d'eau : .....   | 18 |
| 2. La dégradation des berges.....  | 19 |
| 3. La digue .....  | 27 |
| 4. Barrages .....  | 30 |
| 5. Affouillement .....   | 31 |
| CONCLUSION .....   | 32 |

BIBLIOGRAPHIE ..... I

## LISTE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : Ecoulement uniforme .....  | 3  |
| Figure 2 : Ressaut hydraulique.....   | 4  |
| Figure 3 : Ecoulement sur un seuil.....   | 6  |
| Figure 4 : Mode de transport solide .....   | 11 |
| Figure 5 : Mode de transport des sédiments selon leur taille .....  | 12 |
| Figure 6 : Processus d'érosion au niveau des méandres .....   | 13 |
| Figure 7 : Cours d'eau .....  | 19 |
| Figure 8 : le pouvoir érosif de l'eau ; .....   | 20 |
| Figure 9(a et b) : processus d'érosion de berge rencontré (a) en sol cohésif et (b) lorsque la vitesse d'eau est importante ; ..... | 20 |
| Figure 10 : Protection de la berge par un empierrement ; .....  | 21 |
| Figure 11 : Protection de berge par une végétalisation .....  | 22 |
| Figure 12 :l'effet gravitaire ; .....   | 23 |
| Figure 13 : Phénomène de rupture de berge en cercle ; .....   | 23 |
| Figure 14 : Protection par drainage ; .....   | 24 |
| Figure 15 : Boulance .....  | 25 |
| Figure 16 : Phénomène de boulance ; .....   | 26 |
| Figure 17 : Correction de la boulance par un drain intercepteur ; .....   | 26 |
| Figure 18 : Erosion régressive due à une surverse sur une digue de Loire .....  | 28 |
| Figure 19 : Erosion externe par affouillement .....   | 28 |
| Figure 20 : Rupture de la digue par effet de renard .....   | 29 |
| Figure 21 : Rupture d'ensemble d'une digue due à de fortes de pressions et a une fragilité de l'ouvrage .                           | 30 |
| Figure 22 : dépôt solide au pied du barrage .....   | 30 |
| Figure 23 : Affouillement .....   | 31 |

## INTRODUCTION

L'hydraulique fluviale concerne les rivières ou les rivières torrentielles et l'hydraulique torrentielle qui n'est pas le but de cette étude.

En hydraulique fluviale, on peut considérer indépendamment la phase solide et la phase liquide, en tenant compte de l'évolution de la topographie due au transport solide. Ce n'est qu'une approximation mais elle ne conduit pas à une grande erreur.

L'hydraulique fluviale est aussi l'une des plus anciennes sciences explorées par l'homme. Quatre millénaires d'une observation attentive des écoulements ont produit une somme considérable d'appréciations qualitatives et quantitatives que les progrès de l'informatique ont pu.

Le but de ce travail c'est d'étudier les transports solides, les modifications du fond à partir de l'importance du débit liquide.

La dégradation des bassins versants entraîne la destruction de l'environnement. Parfois, le ruissellement érode aussi le sol et cela provoque l'ensablement dans la rizière, rivière, etc.

C'est pour cela qu'on a fait cette étude qui s'intitule « hydraulique fluvial et ses applications ».

Cet ouvrage comporte trois grands chapitres, à savoir : rappel sur l'écoulement à surface libre, transport solide, application de l'hydraulique fluviale ; qui nous pourra mener bien à cette étude.

# Chapitre 1 RAPPELS SUR L'ÉCOULEMENT A SURFACE LIBRE

## I. Quelques définitions

Il est essentiel de définir certains termes sur quelques types de régime pour faciliter la compréhension de l'écoulement à surface libre.

### 1. Régimes permanents

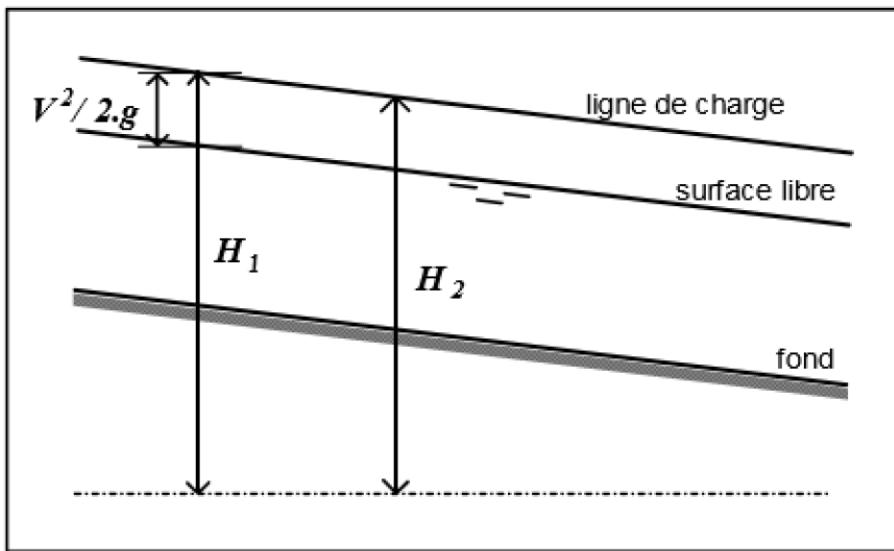
Le régime permanent désigne un écoulement dont les caractéristiques ne varient pas dans le temps. C'est à dire que le débit  $Q$  est constant dans le temps.

### 2. Régime transitoire

Naturellement, le régime est dit non-permanent ou transitoire lorsque les paramètres (le débit  $Q$  et le tirant d'eau) de l'écoulement varient dans le temps c'est-à-dire qu'il s'agisse d'une perturbation instantanée dans le temps. (Exemples : une ouverture de vanne, une régulation de barrage, une rupture d'ouvrage hydraulique, un pompage, etc.)

### 3. Ecoulement uniforme

Par définition du régime uniforme,  $Q$ ,  $V$  et  $h$  sont constants tout au long de l'écoulement considéré. Puis la perte de charge linéaire est aussi égale à la pente de l'écoulement.



*Figure 1 : Ecoulement uniforme*

## II. Grandeurs caractéristiques et les différents régimes.

Il existe plusieurs types de grandeurs

### 1. Nombre de Froude

Le nombre de Froude est exprimé par la formule :

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \frac{S}{L}}}$$

Avec S : section mouillée

L : largeur du fleuve

V : vitesse moyenne

Interprétations : Si  $F < 1$  Régime fluvial (faible vitesse, hauteur élevé)

Si  $F > 1$  Régime torrentiel (forte vitesse, faible hauteur)

Si  $F = 1$  Régime critique

On appelle section critique la section qui sépare le régime fluvial et le régime torrentiel.

## 2. Ressaut hydraulique

On appelle ressaut hydraulique le phénomène qui se produit quand l'écoulement torrentiel arrive dans une zone d'écoulement fluvial. C'est une variation brutale de la hauteur d'eau.

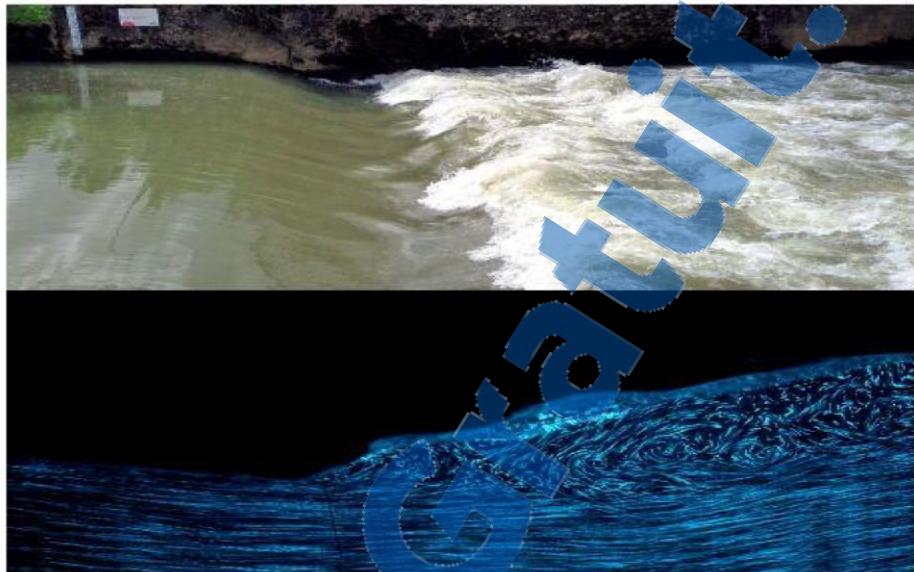


Figure 2 : Ressaut hydraulique

## 3. La loi du seuil et les différents types de seuil :

On désigne sous le nom de seuil une surélévation franche et artificielle du fond d'un cours d'eau. Un seuil est dit dénoyé si l'écoulement aval n'influe pas sur l'écoulement au droit du seuil. Lorsque le débit est suffisant pour que l'écoulement aval conditionne l'écoulement au droit du seuil, le seuil devient noyé

L'écoulement est dénoyé si :

$$H' < \frac{2}{3} H_s$$

$$H = y_{\text{amont}} + \frac{V_{\text{amont}}^2}{2g} - P$$

Si l'écoulement est noyé :

$$H' > \frac{2}{3} H_s$$

Les lois du seuil ont pour rôle de mesurer un débit en écoulement dénoyé et noyé, alors lorsque l'écoulement est dénoyé, le débit se présente par la formule :

$$Q = \mu L \sqrt{2g H^{3/2}}$$

Tel que, L présente la longueur du seuil et  $\mu$  le coefficient de débit du seuil (en fonction du seuil) : variant de 0.385 à 0.49 selon le seuil.

Et puis si l'écoulement est noyé, le débit est exprimé par

$$Q = L H' \sqrt{2g (H - H')}$$

Ou aussi par la formule :

$$Q = L (y' - P) \sqrt{2g (y - y')}$$

avec  $\frac{V'^2}{2g}$  est négligeable alors  $H'$  devient:  $H' = y' - P$

$y'$  : en aval du seuil,

$y$  : au droit du seuil

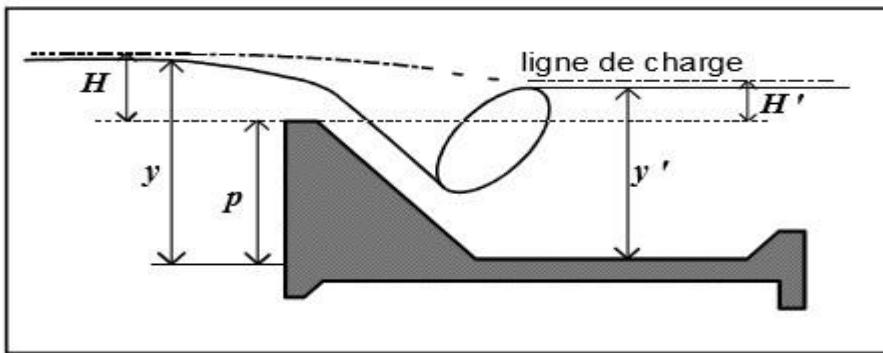


Figure 3 : Ecoulement sur un seuil

#### 4. Tirant d'eau critique :

C'est le tirant d'eau critique c'est le tirant d'eau qui correspond en nombre de Froude  $F=1$ .

$$\text{Pour un canal rectangulaire : } y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gL^2}}$$

La détermination du tirant d'eau peut être aussi calculée par l'utilisation de la formule de Manning Strickler. Cette formule est exprimée par :

$$Q = KSR^{2/3}I^{1/2}$$

Avec Q : en m<sup>3</sup>/s

K : coefficient de Manning Strickler, sans dimension. K est à fixer, à choisir ou à calculer en fonction des critères par le calculateur.

S : section mouillée en m<sup>2</sup>

R : rayon hydraulique en m

I : pente

Les valeurs de cas sont tabulées en fonctions de types de cours d'eau :

- Canal en béton lisse :  $K=55 - 80 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- Canal en terre :  $K=40 - 60 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- Rivière à galet rectiligne uniforme :  $K=20-30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$

- Rivière avec m'méandre, sinuosité, etc. :  $K = 20 - 30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- Rivière végétalisé ou torrent :  $K = 10 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$

## 5. Définitions des différents types de lits

En hydrologie, le lit est l'espace occupé par un cours d'eau.

Le lit mineur est le chenal où l'eau s'écoule avant débordement. Il peut être occupé en permanence ou de manière saisonnière. Le lit majeur, appelé aussi « plaine d'inondation » ou « lit d'inondation », est la partie adjacente au chenal d'écoulement d'un cours d'eau, qui n'est inondée qu'en cas de crue. La limite du lit majeur correspond au niveau de la plus grande crue historique enregistrée.

### 1) Définition

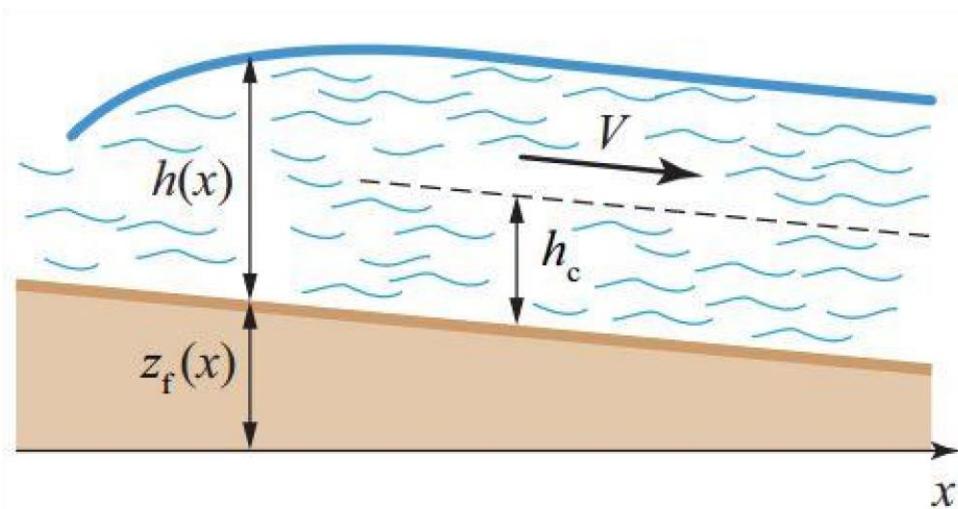
La courbe de remous est la courbe décrivant la variation de la hauteur d'eau dans un bief (Tronçon homogène en termes de pente moyenne et de section d'écoulement) pour un écoulement graduellement varié. L'équation de cette courbe est appelée équation de la courbe de remous.

### 2) Les différents types de courbe de remous pour un régime fluvial

La présentation de l'écoulement est limite au cas simple d'un canal rectangulaire, rectiligne de largeur uniforme dont le fond possède une pente  $i = \frac{dZ_f}{dx}$  par rapport au plan horizontal sur lequel est définie l'abscisse  $x$ . Cette pente est supposée faible pour que l'angle entre la ligne de fond d'équation  $Z_f(x)$  et l'horizontale puisse être confondu avec son sinus et sa tangente. Les situations où les grandeurs comme  $Z_f(x)$  et  $h(x)$  pourraient varier donc rapidement sont exclus. Par ailleurs, la distribution de la vitesse dans la section droite est considérée comme uniforme.

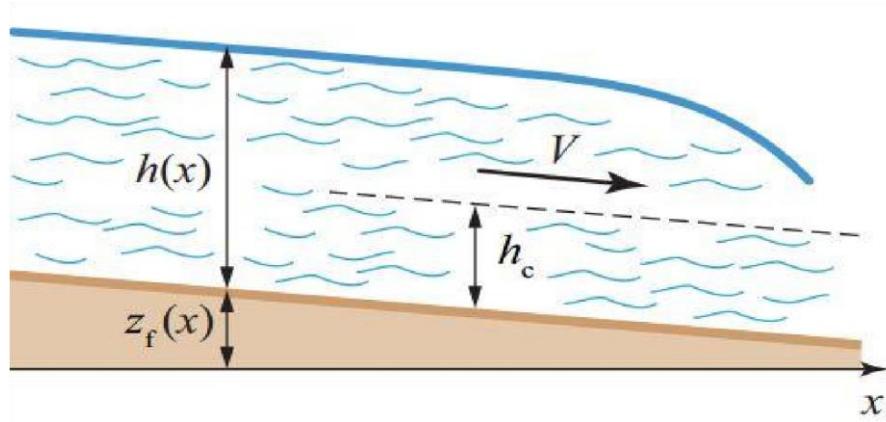
a) Premier cas

Si  $i > f$ ;  $\frac{dh}{dx} > 0$ ;  $h > h_c$  alors on obtient comme courbe (voir fig. ci-dessous)



b) Deuxième cas

Si  $i < f$ ;  $\frac{dh}{dx} < 0$ ;  $h < h_c$  alors on obtient comme courbe (voir fig. ci-dessous)



## **Chapitre 2 TRANSPORT SOLIDE EN HYDRAULIQUE FLUVIALE**

Le transport solide désigne le transport de sédiments par un cours d'eau. Il est fonction de la granulométrie des matériaux. Les matériaux granulaires transportent par la rivière proviennent soit du bassin versant soit du fond ou des berges.

### **I. Charriage et suspension des matériaux non-cohérents**

Par définition, le charriage est le mouvement des grains près du fond par roulement ou glissement des grains les uns sur les autres ou par petits sauts. Les sables, graviers, galets et blocs sont les matériaux le plus concernés par le charriage, autrement dit le charriage est une translation en masse des matériaux du fond dans ce cas les grains se déplacent à une vitesse inférieure à celle de l'eau moins d'un mètre par heure.

La suspension est un phénomène dont les matériaux prélevés sur le fond sont emportés par le courant à une vitesse plus élevée dans toute la section d'écoulement. La suspension concerne plus particulièrement les argiles, les limons et les sables.

Ceci dit, la limite précise entre charriage et suspension reste un peu arbitraire : la figure ci-dessous montre la continuité entre ces deux processus car il y a la continuité entre ces deux mécanismes.

Encore avec des vitesses plus élevées, les matériaux prélevés sur le fond sont emportés par le courant : ce phénomène est appelé transport en suspension.

Voici quelques formules empiriques de Mayer-Peter et Muller en 1948 qui permet de déterminer la capacité de transport solide par charriage dans le cas où les sédiments ont une taille uniforme.

$$q_s = 45(\beta \cdot Y - 0,047)^{3/2} d^{3/2} = 22(\beta \cdot y \cdot i - 0,08d)^{3/2}$$

Avec  $\beta$  : Coefficient de Boussinesq tels que  $\beta = \int_s \frac{v^s}{U^2 S} ds$  (Carlier 1972)

$Y$  : Variable de Degoute

Si  $Y < 0,027$  : grains au repos

Si  $0,027 < Y < 0,047$  : apparition du premier mouvement

Si  $0,047 < Y < 0,25$  : charriage

Si  $Y > 0,25$  : transport par suspension

Toutes les formules de transport solide total ou par charriage doivent être utilisées avec la plus grande prudence car elles sont établies à partir de mesure dans des fleuves ou en laboratoire dans les conditions particulières de la topographie, de la granulométrie et de la vitesse.

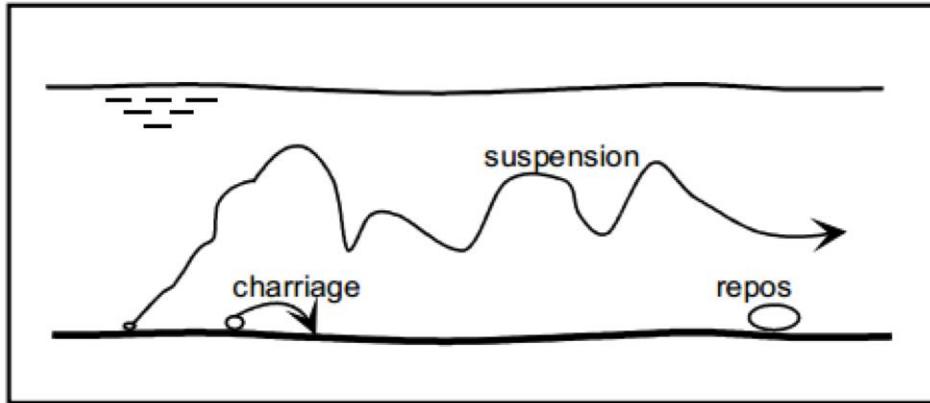
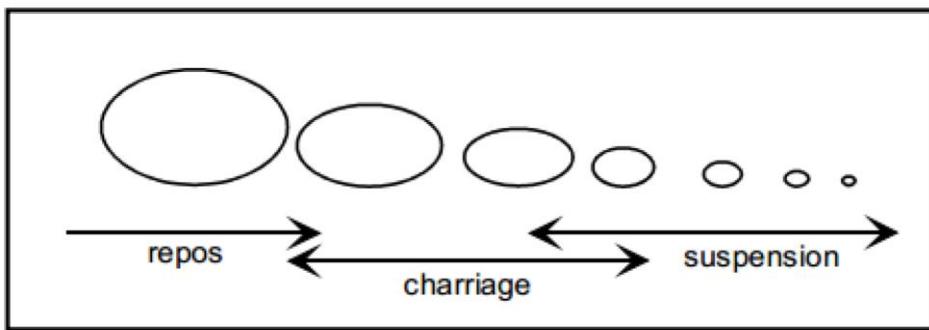


Figure 4 : Mode de transport solide

Les matériaux fins provenant de l'érosion aréolaires se propagent en auto suspensions dans le lit mineur tandis que les matériaux prélevés sur les parois (fonds et berges) sont déposés et repris par le courant.



*Figure 5 : Mode de transport des sédiments selon leur taille*

Les solides sont transportés en fonction de son diamètre c'est-à-dire que si ce diamètre est un peu plus grand alors ils se déposent au niveau de la zone convexe de la rivière. Mais si ce diamètre est un peu plus petit, ils sont transportés et se déposés jusqu'à la rencontre d'un ouvrage.

## II. Erosion du fond et dépôt

*Quelques définitions sur les différents types d'érosions :*

Ce type d'érosion continue d'exister même si la pluie sèche. Mais cela ne signifie pas qu'il y a érosion à chaque point de la rivière, à certains endroits, il se peut qu'il y ait des dépôts.

On appelle **érosion aréolaire** l'érosion qui se passe au niveau du bassin versant. Et qui se produit souvent soit on nappe soit en rigole. Ce type d'érosion se divise en deux types de parcours, l'une est retenue sur le bassin versant et l'autre parvient au réseau hydraulique.

Dans une rivière naturelle, l'écoulement n'est jamais uniforme à cause du changement des paramètres géométriques comme la pente, largeur ou aussi à cause de l'existence de la singularité comme les seuils. Pour cela, la vitesse dans certaine zone est plus forte et d'autre est plus faible.

Dans les zones à plus forte vitesse appelées zones d'érosions du fond, il y a davantage de matériaux prélevés et dans les zones à plus faible vitesse appelées zones de dépôt, les matériaux prélevés sur les berges (en amont) ou le fond peuvent se redéposer. Dans ce dernier cas, les dépôts prennent les formes de banc ou plage ou grèves. On appelle érosion linéaire les types d'érosions qui se passent au niveau du fond ou sur les berges.

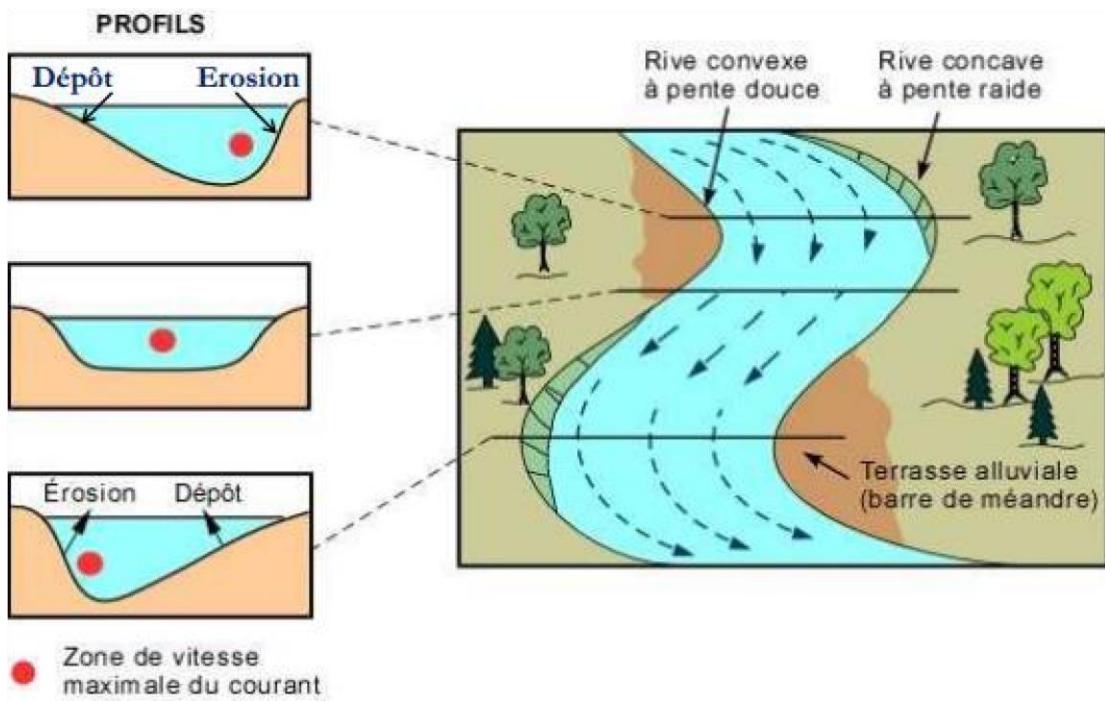


Figure 6 : Processus d'érosion au niveau des méandres

Au niveau de la concavité de la rivière, il y a trop d'érosion tandis que au de la zone convexe, les solides se déposent.

Une rivière naturelle présente alors une et des zones doubles variabilité de son support :

- Dans l'espace, il y a des zones privilégiées de dépôt et des zones privilégiés d'érosion.
- Dans le temps, des matériaux fins déposés en régime moyen pourront être emportés lors des crues.

### III. Saturation en un débit solide

On définit le débit solide comme volume de matériaux granulaire transportés par le courant par unité de temps. Il s'exprime par m<sup>3</sup>/s.

Pour une vitesse donnée, le cours d'eau a une capacité de transport solide, liée à l'énergie de l'eau. Le cours d'eau transporte toujours autant de matériaux qu'il est capable d'en transporter, à condition bien sûr que ces matériaux soient disponibles sur place, c'est-à-dire sur le fond ou sur les berges. À tous moments, l'écoulement est donc saturé en débit solide (charriage et suspension). Dans ce cas-là, le tronçon de rivière considéré est en équilibre et le débit solide entrant est égal au débit solide sortant. Autrement dit, le taux d'érosion est égal au taux de dépôt. Il existe une érosion de fond ou de berge dans le tronçon considéré si le débit solide est supérieur, et un dépôt si le débit solide sortant est inférieur.

Voici quelques formules empiriques d'Eugelund et Hassen connue en 1967 qui permet de calculer le transport de solide total en volume de grain à saturation pour le cas des sédiments non cohésifs.

$$\frac{q_s}{\sqrt{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right) g \cdot d^3}} = 0,05 \left( \frac{K^2 \cdot R^{\frac{1}{3}}}{g} \right) \tau^{* 5/2}$$

Tel que K est le coefficient de Strickler global du lit mineur incluant la rugosité des berges. Cette formule a été établit pour 0,15 mm < d < 5 mm (sable).

$\gamma_s$ : poids volumique spécifique des grains solides qui constitue la matière.

$2.6 \text{kN/m}^3 < \gamma_s < 2.7 \text{kN/m}^3$   $\gamma_w$ : poids volumique de l'eau =  $10 \text{kN/m}^3$  d :

diamètre du grain ou du diamètre caractéristique de l'ensemble à étudier

$\tau^*$  : Paramètre de Shields (adimensionnel) avec  $\tau^* = \frac{y \cdot R}{1,6 \cdot d}$

En remplaçant g par sa valeur c'est-à-dire  $9,8 \text{ m/s}^2$  et en supposant que  $\gamma_s / \gamma_w = 2,6$  on obtient la formule suivante, dimensionnelle mais plus pratique :

$$q_s = 0.020 \cdot K^2 R^{1/3} \tau_*^{5/2} d^{3/2} \quad [m^3/s]$$

Si le débit solide est inférieur au débit à saturation, il y a une érosion des berges ou le fond du lit mineur jusqu'à l'obtention d'une saturation en débit solide. Mais il est difficile d'obtenir cette saturation en cas de pavage.

Inversement, si le débit solide est supérieur au débit à saturation, il y a dépôts sur le fond de lit mineur. Dans ce cas, le fond du lit augmente.

#### **IV. Etude sur les grains**

Si les particules sont sphériques, son poids est :  $P = \frac{\pi \gamma_s d^3}{6}$ , le diamètre caractéristique d est le par convention de diamètre de la sphère de même volume que le grain réel. Pour une particule forme quelconque, le poids s'écrit sous la forme :  $P = a \gamma_s d^3$ , avec d qui est le diamètre caractéristique (le diamètre caractéristique d est le par convention de diamètre de la sphère de même volume que le grain réel.)

##### 1. Force tractrice par unité de surface ou contrainte de cisaillement engendré par l'écoulement de l'eau dans une rivière

Sous l'action des forces de l'hydrodynamique appliquée par l'écoulement et par son propre poids, les sédiments d'un cours d'eau sont faciles de déplacer. Dans le cas des berges, la force de pesanteur et la force tractrice s'ajoute pour faciliter le début de mouvement.

Prenant un écoulement permanent uniforme de tirant d'eau y. L'eau étant en mouvement et il y a aussi une force de frottement qui s'exerce sur la paroi de chenal qu'on note par

$dF = \tau_0 dS$  Avec  $\tau_0$  la force de frottement par unité de surface ou on l'appelle aussi contrainte tangentielle à la surface. Mais le terme spécial est la force tractrice car il s'agit d'une force par unité de surface. On parle donc ici la contrainte tractrice.

Les unités utilisées sont :

N/m<sup>2</sup>

Bar = kgf /cm<sup>2</sup>

Pascal = N/m<sup>2</sup>

La masse fluide comprise entre deux sections rapprochées est en équilibre sous l'effet de son poids et les frottements sur les parois, la contrainte tangentielle peut s'exprimer par  $\tau_0 = \gamma_s R i$

Avec R : Rayon hydraulique

$i$  : Pente de l'écoulement Tapez une équation ici.

## 2. Calcul du débit solide

Il y a des nombreux hydrauliciens qui ont cherché d'établir la relation permettant d'estimer le débit solide d'un fleuve. Ces relations empiriques établis par des modèles réduits ou sur terrain sur des fleuves donne des résultats comparables et ne permet pas d'obtenir des formules universelles pour le calcul des débits solides, car il n'y a pas de formule universelle dans le transport des solides.

Les formules empiriques les plus utilisées sont l'une pour le chargement seul et l'autre pour le transport de solide total.

- Formule Meyer-Peter-Müller : (chargement seul) en 1948 :

$$q_s = 45(\beta \cdot Y - 0,047)^{3/2} \cdot d^{3/2} = 22(\beta \cdot y \cdot i - 0,08 \cdot d)^{3/2}$$

- Meyer-Peter et Müller ont établi cette formule dans les conditions suivantes, trop souvent oubliées :

$0,01 \text{ m} < y < 1.20 \text{ m}$  avec  $y$  est la hauteur de l'écoulement,

$4 \cdot 10^{-4} < i < 2 \cdot 10^{-2}$   $i$  désigne la pente de l'écoulement

$0,4 \text{ mm} < d < 30 \text{ mm}$   $d$  désigne le diamètre du solide transporté

- Formule **d'Englund - Hassen** : (charge + suspension) en 1967 :

$$Q_s = 0,032 \cdot K_s^2 \cdot y^{1/3} \cdot Y^{5/2} \cdot d^{3/2}$$

(Pour  $0.5\text{mm} < d < 5\text{mm}$ )

Remarque : Il faut utiliser les formules de transport solide total ou par charriage avec prudence puisqu'elles sont établies à partir des mesures dans des fleuves ou en laboratoire dans des conditions particulières de la topographie, granulométrie, vitesse, etc.

## **Chapitre 3 APPLICATION DE L'HYDRAULIQUE FLUVIALE DANS LE DOMAINE DES TRAVAUX PUBLIQUES**

L'hydraulique fluviale a de nombreuses applications dans le domaine du travail public.

### **1. Cours d'eau :**

On appelle débit dominant, le débit continu équivalent qui façonne le même lit mineur que la succession des débits réellement observés. Le débit dominant est donc bien évidemment supérieur au débit de période sèche et inférieur au débit des plus fortes crues. Mais il n'y a aucune raison pour que ce soit le débit moyen interannuel. L'étude d'un grand nombre de rivières a montré que le débit dominant est proche du débit de plein bord.

Dans plusieurs pays, on a constaté que pour les rivières à sables ou à limon, le débit de plein bord a une période de retour (ajustées sur les maxima annuels) de l'ordre de 1,5 année. (Plus près d'un an pour des terrains imperméables, plus près des deux ans pour les terrains perméables).

Il en résulte alors que contrairement à une idée trop répandue, ce ne sont pas les crues très rares qui façonnent le lit que l'on voit. Une rivière naturelle n'a généralement pas un lit capable d'évacuer une crue par exemple décennale. Ceci dit, lorsqu'une très grosse crue survient de type centennale ou milléniale, il est de cas où la section du lit peut être brutalement agrandie, en particulier si les matériaux de berge sont peu cohésifs et si le lit majeur est peu végétalisé. Mais dans ce cas, le lit mineur retrouve assez rapidement sa morphologie initiale par suite des dépôts dus aux crues faibles et moyennes



*Figure 7 : Cours d'eau*

## 2. La dégradation des berges

La dégradation de berge se produit selon une procédure qui combine à la fois le pouvoir érosif de l'eau et **l'effet gravitaire**. Dans certains cas s'ajoute un phénomène plus particulier appelé **la boulance**.

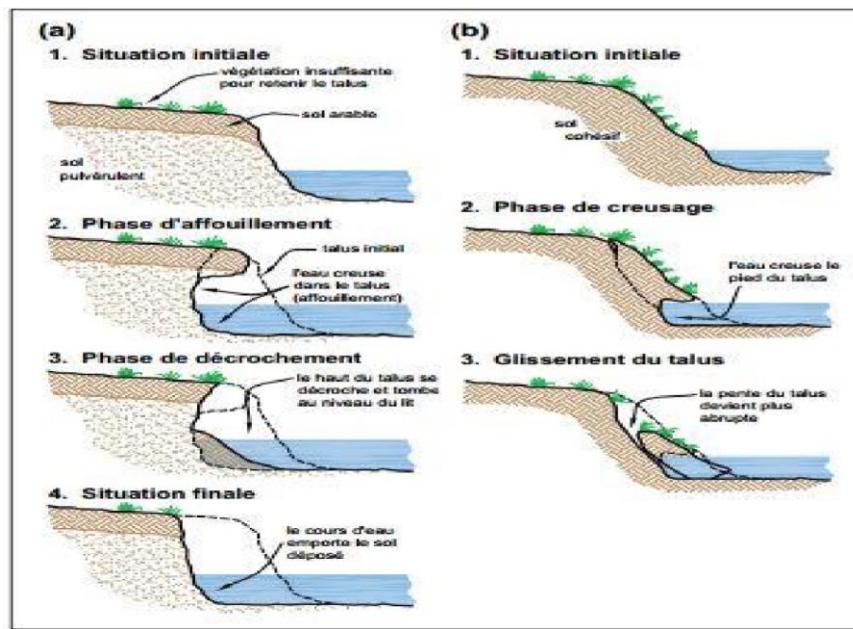
- **Le pouvoir érosif de l'eau** lorsque la vitesse du courant et la turbulence arrive à vaincre le poids des particules et leur force de cohésion, dans ce cas il y a érosion. De ce fait, les sols cohésifs (comme les sols argileux) résistent mieux à l'érosion que les sols pulvérulents (comme les sols sableux).

NB : la force d'arrachement est plus forte quand la direction du courant forme un angle avec la surface du sol.



*Figure 8 : le pouvoir érosif de l'eau ;*

SOURCE : Luc Lemieux, MAPAQ



*Figure 9(a et b) : processus d'érosion de berge rencontré (a) en sol cohésif et (b) lorsque la vitesse d'eau est importante ;*

SOURCE: Luc Lemieux, MAPAQ, adapté de Bentrup G et Hoag J.C (1998)

### Solutions offertes face à ce phénomène

- Adoucir la pente du talus selon le type de sol.
- Protéger la berge à l'aide de technique du génie végétale ou d'empierrement.
- La technique du génie végétal présente l'avantage d'intégrer des arbustes et des plantes buissonnantes qui stabilise la rive grâce à leur système racinaire et qui se régénèrent s'ils sont endommagés. Ces techniques sont souvent plus couteuses que l'empierrement. Dans un grand nombre de cas, une protection aux pieds du talus par un empierrement complété par la végétalisation du haut de la rive permet de combiner les avantages de deux techniques.
- Dans tous les cas, végétaliser tout le haut de la berge (arbustes et /ou plantes pérennes).
- Ralentir la vitesse de l'eau par l'installation des seuils dissipateurs d'énergie.
- Dans les courbes, arrondir les courbes avant d'établir la protection, aménager des épis avec des perrés ou avec des pieux de saules



*Figure 10 : Protection de la berge par un empierrement ;*

*SOURCE : Mikael Guillou MAPAQ*



*Figure 11 : Protection de berge par une végétalisation*

SOURCE : Mikael Guillou MAPAQ

- **L'effet gravitaire**

Le glissement des talus survient lorsque les matériaux composant les berges ne peuvent plus résister à la force gravitationnelle.

Ce mécanisme survient plutôt dans les sols cohésifs qui sont capables de retenir de **grande quantité d'eau**, ce qui ajoute du poids à la berge et réduit les forces de cohésions entre les particules (phénomène de lubrification).

Dans ce cas, le talus devient plus sensible au décrochement.



Figure 12 : l'effet gravitaire ;

SOURCE : Robert Beaulieu, MAPAQ

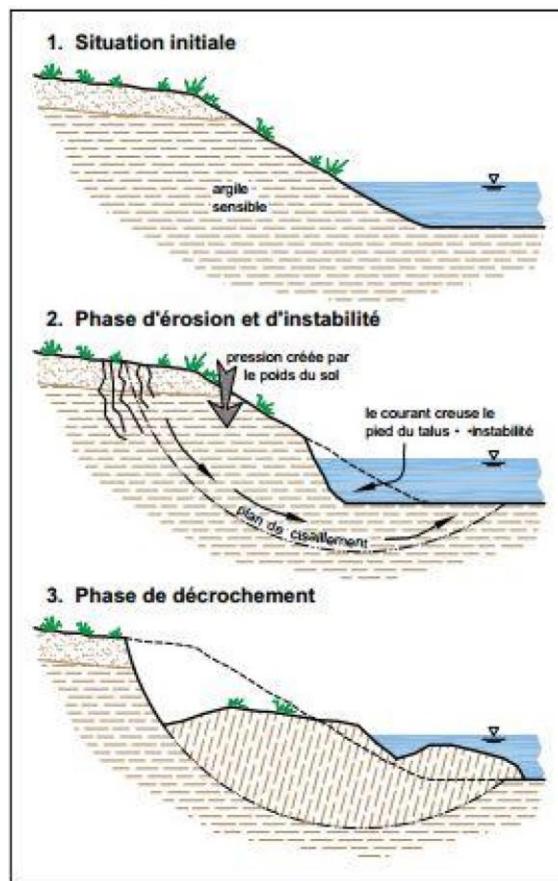


Figure 13 : Phénomène de rupture de berge en cercle ;

Source : Luc Lemieux, MAPAQ, adapté de USDA-NRCS Stream restoration design handbook , technical note 14A 2005

### Solutions offertes face à ce phénomène

- Adoucir la pente, selon le type de sol.
- Installer le drain parallèlement à la berge afin d'abaisser la nappe phréatique et de capter l'eau des raies des curages, de façon à diminuer la pression et à éviter l'entrainement de la particule des sols.
- Lorsque les conditions ne permettent pas de modifier la pente, il est possible d'empierre la partie basse du talus.
- Végétaliser la berge (semis d'herbacés, plantation des arbustes)



*Figure 14 : Protection par drainage ;*

*SOURCE : Mikael Guillou MAPAQ*

- **La boulance**

Le glissement s'observe aussi fréquemment lorsqu'il y a résurgence de la nappe phréatique dans le talus. Les sols stratifiés ou un horizon de sol pulvérulent se trouve sur un horizon de sol cohésif sont les plus sensibles à ce type d'érosion. Le phénomène se résulte la pression de la nappe phréatique sur la berge lorsque le niveau de celle-ci est supérieur au niveau de l'eau dans la cour d'eau. Ce phénomène se nomme « boulance ».



*Figure 15 : Boulance*

*Source : Victor Savoie , Robert Beaulieu MAPAQ*

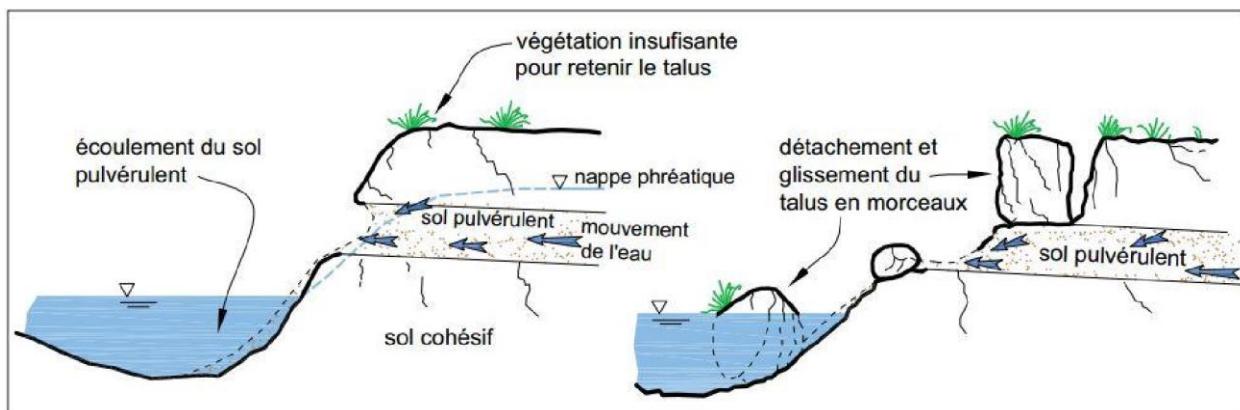


Figure 16 : Phénomène de boulance ;

SOURCE : Luc Lemieux, MAPAQ, adapté de Bentrup G et Hoag J.C (1998)

#### Solutions offertes face à ce phénomène

- Poser un drain intercepteur parallèlement à la berge
- Adoucir la pente
- Végétaliser la rive
- Empierre le pied du talus : Le perré géotextile renforce le pied de la berge et permet à la nappe phréatique de la berge de se drainer dans le cours d'eau sans entraîner des particules de sol.

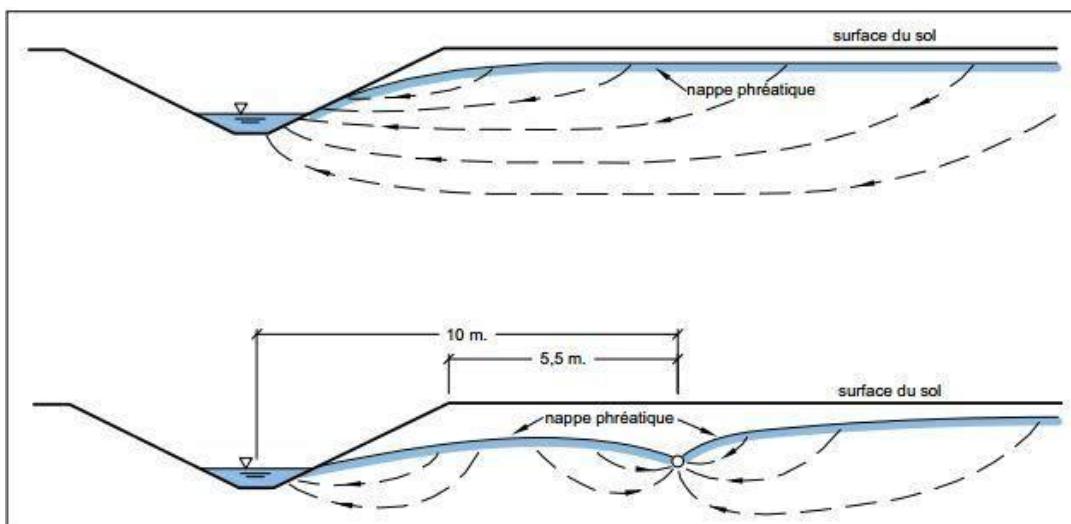


Figure 17 : Correction de la boulance par un drain intercepteur ;

SOURCE : Luc Lemieux adapté de McNeely (1982)

### 3. La digue

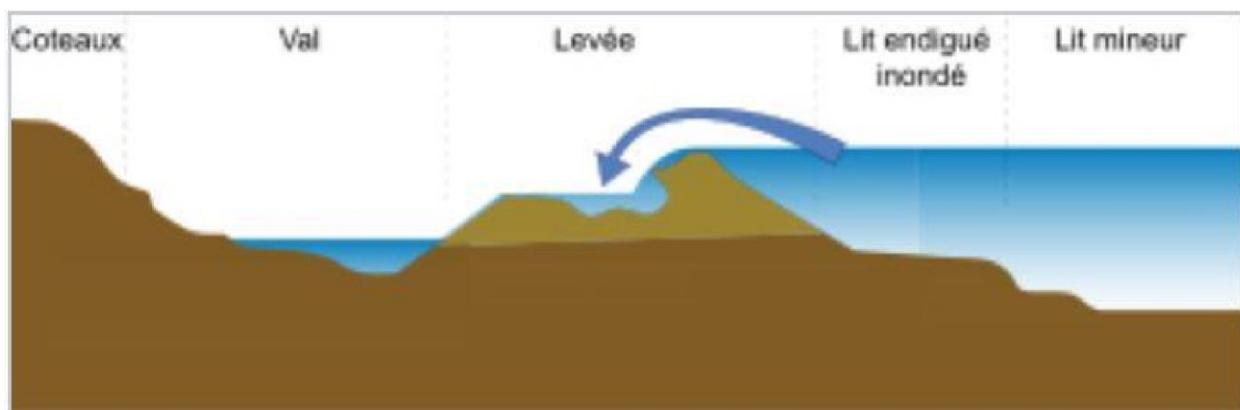
Par définition, on appelle digue ou endiguement un remblai longitudinal, naturel ou artificiel, le plus souvent composé en terre. La fonction principale de cet ouvrage est d'empêcher la submersion des basses-terres se trouvant le long de la digue par les eaux d'un lac, d'une rivière ou de la mer.

L'objectif alloué aux digues est de contenir les flots pour éviter une inondation du ou des valls. Mais sans une bonne conception, un suivi et un entretien régulier de la digue, des brèches peuvent apparaître et provoquer des inondations.

Quatre types de ruptures de digues peuvent être rencontrés :

- Erosion de surface par surverse

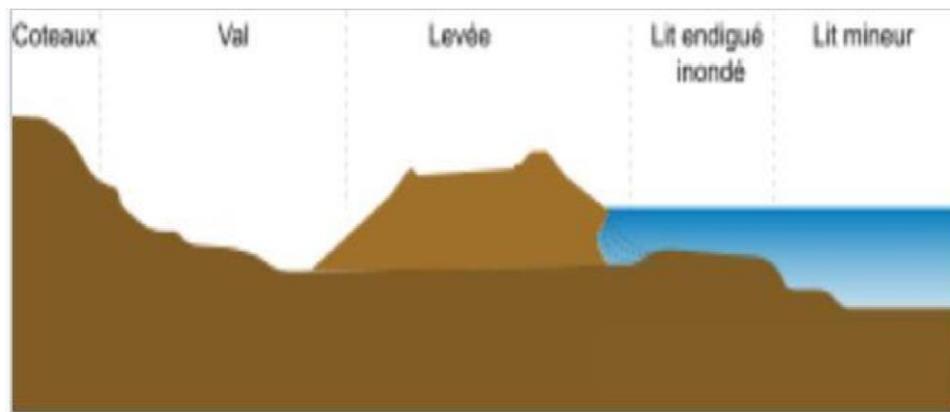
La « *surverse* », consistant en un débordement de la crête de la digue, conduit en général rapidement à une brèche. Quelques minutes après le débordement, le parement commence à s'éroder. Les matériaux sont arrachés par la force du courant en pied de digue. La fouille qui apparaît alors en pied de digue contribue à imprégner le corps de celle-ci. Saturé d'eau, le parement glisse alors par pans entiers. Les matériaux sont emportés par le courant, ce qui conduit rapidement à la ruine complète de la digue.



*Figure 18 : Erosion régressive due à une surverse sur une digue de Loire*

- Erosion externe par affouillement

Côté fleuve, les talus des levées peuvent subir les effets des courants hydrauliques qui peuvent provoquer des érosions à leur base. Il en résulte un affaiblissement des caractéristiques mécaniques du corps de remblai et un raidissement de la pente du talus. Ceci peut entraîner des affaissements de matériaux qui à leur tour engendrent des perturbations hydrauliques sous forme de tourbillons et des érosions. Par rupture successive du talus, une brèche peut se former et conduire à la rupture complète de la levée.



*Figure 19 : Erosion externe par affouillement*

- Erosion interne par érosion de renard hydraulique

Les hétérogénéités de perméabilité dans le corps de la digue peuvent être à l'origine de circulation d'eau. Cette érosion peut se propager jusqu'à former une vraie galerie qui provoque une brèche dans la levée par effondrement des matériaux.

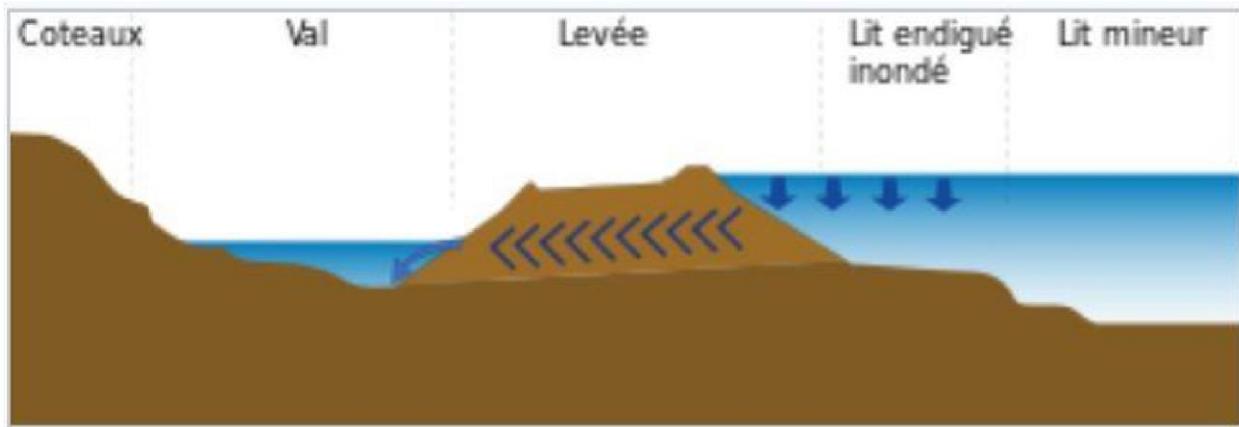


Figure 20 : Rupture de la digue par effet de renard

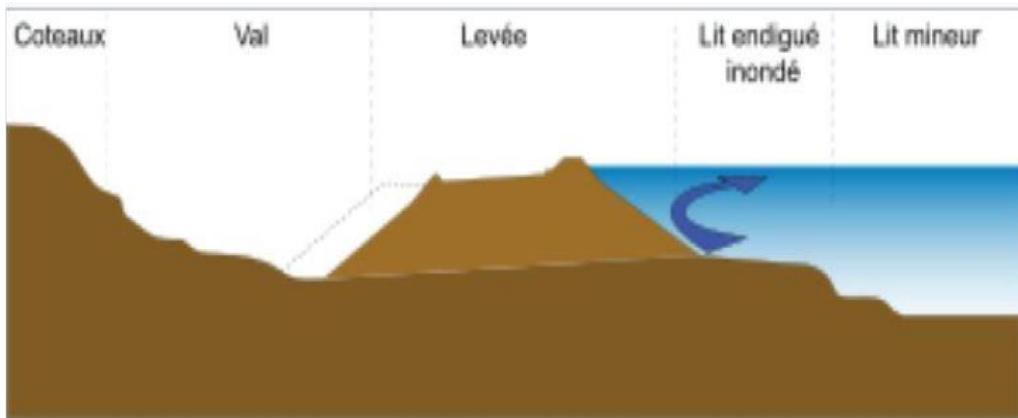
- Rupture d'ensemble

Une rupture de masse de la digue peut intervenir en cas d'instabilité générale du corps de remblai.

On pense qu'une rupture de masse peut intervenir quand les trois facteurs suivants sont réunis :

- Profil de digue étroit avec pente de talus forte
- Piézomètre élevée dans la digue en absence de drainage

Faibles caractéristiques mécaniques des matériaux

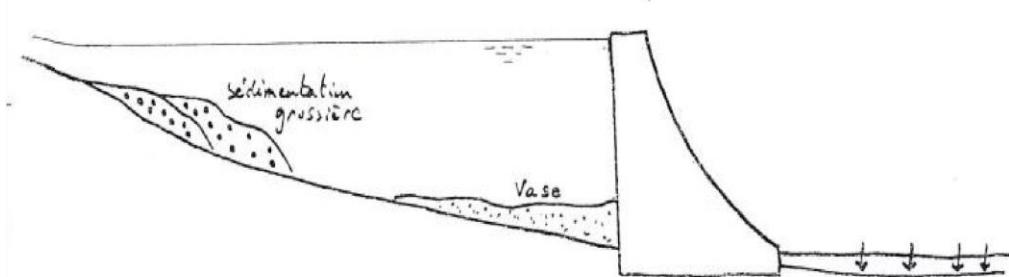


*Figure 21 : Rupture d'ensemble d'une digue due à de fortes de pressions et a une fragilité de l'ouvrage*

#### 4. Barrages

Le barrage joue le rôle d'un décanteur. Les matériaux solides transportés par le cours d'eau sont déposés du fait du ralentissement de la vitesse. Un tri granulométrique s'opère avec dépôt des éléments les plus grossiers à l'entrée de la retenue. Les éléments plus fins se déposent plus à l'aval. Les éléments en auto-suspension (wash load) se déposent à leur tour.

Les végétaux et animaux (zooplancton, poissons...) créent de la matière organique qui sédimente également, le tout formant une vase plus ou moins riche en matière organique qui se consolide rapidement. Les opérations de vidange n'arrivent qu'à extraire vers l'aval le bouchon de vase proche de l'orifice et le comblement progressif de la retenue est irréversible.



*Figure 22 : dépôt solide au pied du barrage*

## 5. Affouillement

Par définition, l'affouillement est une action de creusement qui résulte au remous et au tourbillon engendré dans un courant fluvial et marine, butant sur un obstacle naturel comme les rives concaves des méandres ou aussi artificiel comme le pile de pont, barrage.

L'affouillement est aussi un phénomène lié au transport des sédiments qui constitue le lit d'une rivière et la vitesse de l'écoulement. Ce phénomène produit dans les sols pulvérisant c'est-à-dire les sols qui sont à l'état des poudres, dans les sols cohérents et aussi dans les roches tendres, altérées ou compactes. Il entraîne la réduction ou la disparition des propriétés mécanique des sols cause par le transport des sédiments au lit. Il atteint son maximum pendant une crue. Elle évolue sous l'action dès la vitesse de l'écoulement et le débit de crue.

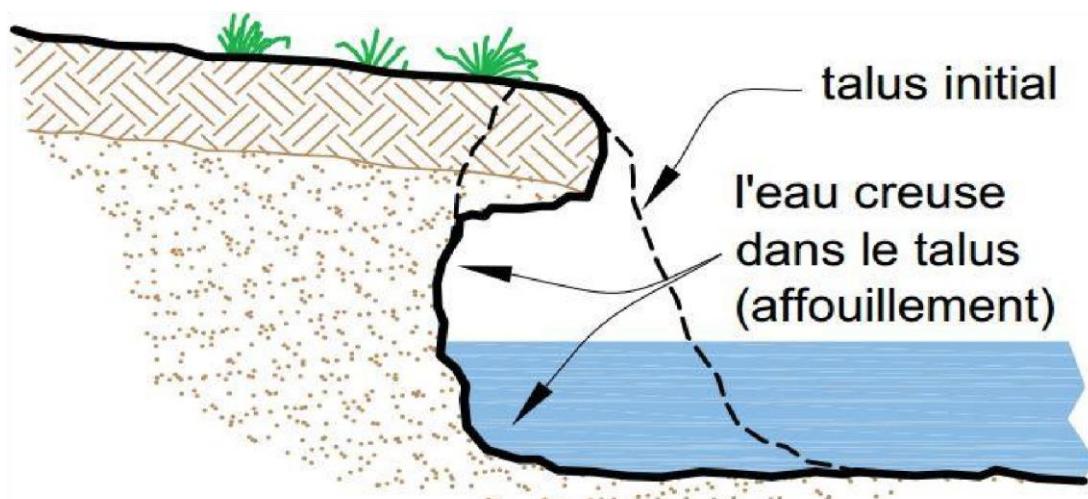


Figure 23 : Affouillement

## **CONCLUSION**

En somme, on peut dire que l'hydraulique tient une grande place dans l'aménagement du territoire et fluvial.

Concernant l'hydraulique fluviale, il y a plusieurs applications sur le domaine de travaux publics comme : cours d'eau, endiguement, dégradation des berges, barrage, affouillement. Il prend comme rôle l'amélioration sur le plan rural et urbanisme et surtout dans le domaine de l'agriculture.

A Madagascar, l'infrastructure sur l'hydraulique fluviale est encore insuffisante et qui a une conséquence sur le plan de l'électricité (puissance électrique insuffisante), menace de l'inondation pendant les saisons de pluies.

On a bien constaté que le transport solide crée des nombreux dégâts, L'étude de cet ouvrage nous a permis de voir que le transport solide entraîne les dégradations des berges, affouilements, ensablement dans les rizières, endiguement, etc. Pour éviter ses conséquences, il faut bien maîtriser ce transport solide ; en mettant des protections sur les berges (mure en gabion). Dans le lit de la rivière, on peut mettre des épis, mettre des ouvrages pour piéger les grains solides afin d'éviter l'ensablement dans les rizières, protéger par des enrochements pour que les ouvrages du génie civil ne sont pas été affouiller.

## BIBLIOGRAPHIE

- G. Degoutte, **Transport solides en hydraulique fluviale**
- Pr. Nadia Kossou, **Cours de géodynamique extrême** licence S2, Facultés des sciences Rabat,
- **La protection et la stabilisation des berges**, 2008
- **Hydraulique des cours d'eau**, Département Voies Navigables et Eau Groupe d'Hydraulique Fluviale, Aout 2001
- Lancastre A, **Hydraulique générale**, 1996
- SOGREAH, **Guide méthodologique de gestion du transport solide et des atterrissements**
- INPG Formation continue hydrométrie /4 Transport solide et morphologie fluviale/1
- Helene Roux, Estimation de paramètre en hydraulique fluviale, à partir des données caractéristiques de l'imagerie aérienne, N° d'ordre : 2180, 2004
- Fiche technique de la diagnostic et solution des problèmes d'érosion des berges de cours d'eau, dernier mise à jour 2008
- Christophe Ancey, **Mécanique des fluides**, Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne

Nom : ANDRIAMAROMANEBO



Prénoms : Nomena Nantenaina

Tel : 032 58 415 03

Email : [andriamaromanebo@gmail.com](mailto:andriamaromanebo@gmail.com)

Titre

## « HYDRAULIQUE FLUVIALE ET SES APPLICATIONS »

Nombre des pages : 32

Nombre des figures : 23

Résumé : Le présent mémoire nous a permis de connaitre le transport solide et les applications de l'hydraulique fluviale, des points de vue théoriques.

A travers les transports solides, nous avons vu le charriage et la suspension des matériaux, érosion du fond et le dépôt et aussi les études des grains.

Aux points de vue de son application, nous avons vu la dégradation des berges, la digue, le barrage et aussi l'affouillement.

Mots clés : Transport solide, Charriage, Erosion, Seuil, Affouillement, Digue, Berge, Boulance.