

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Réf :.....

**Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf de Mila**

Institut des sciences et de la technologie

Département de science et technique

**Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme  
LICENCE ACADEMIQUE  
En Hydraulique**

**Spécialité : Sciences Hydrauliques**

## **Thème**

**ETUDE D'UN ECOULEMENT DANS UN  
CANAL RECTANGULAIRE**

**Préparé par :**

Hassan Redadsa

Seif Eddine El hajali

Amir Khengi

**Dirigé par :**

**Mr : A. Hamidane**

**Année Universitaire : 2014/2015**

# Remerciement

*Au terme de ce travail, nous tenons vivement à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent mémoire.*

*Tous d'abord nous tenons à remercier Mr Abbas Hamidane notre encadreur pour sa disponibilité, son aide précieuse et ses conseils qui nous ont été une utilité indéniable.*

*En nous accordant une grande confiance dans la démarche de notre travail, sans oublier sont regards pertinents et sont critiques constructives..*

*Un grand merci pour Tous nos enseignants Spécialement « Bouchemal Nardjas » pour toutes les connaissances qu'ils nous ont inculquées.*



# *Dédicace*

*A Nos très chers parents*

*A Nos frères*

*A Nos sœurs*

*A tous ceux qui sont chers :*

*Nos grandes familles, Nos amis(es),*

# Sommaire

**Remercîment**

**Dédicace**

**Sommaire**

**Liste des figures**

**Introduction** ..... 1

## **Chapitre I : Les études numériques et expérimentales**

1.1. Etude Numérique : ..... 2

1.2. Etude Expérimentale : ..... 2

## **Chapitre II : Les régimes d'écoulement à surface libre**

2.1. Ecoulement Dans Les Canaux: ..... 8

2.1.1. Type d'écoulement : ..... 8

2.1.2. Variabilité dans le temps : ..... 8

2.1.3. Variabilité dans l'espace : ..... 9

2.2. Les différents types d'écoulement: ..... 10

2.3. Classification des écoulements : ..... 10

2.4. Régime D'écoulement : ..... 11

2.4.1. 1. L'écoulement laminaire : ..... 11

2.4.2. L'écoulement turbulent : ..... 11

## **Chapitre III : Les caractéristiques des écoulements dans un canal rectangulaire**

3.1. Formule de *Chézy* : ..... 13

3.1.1. Détermination du coefficient *C* de *Chézy* par la formule de *Ganguillet – Kutter* :  
..... 15

3.1.2. Détermination du coefficient *C* de *Chézy* par la formule de *Bazin* : ..... 15

3.1.3. Détermination du coefficient *C* de *Chézy* par la formule de *Powell* : ..... 15

3.2. Formule de *Manning-Strickler* : ..... 16

**Conclusion** ..... 20

**Bibliographie** ..... 21

## Liste des figures

Figure 1.1: Vue de l'aval du canal expérimental.....	3
Figure 1.2: Géométrie des rugosités utilisées (dimensions en cm),.....	4
Figure 1.3.a: Configuration du canal d'expérience.....	5
Figure 1.3.b: Forme des écoulements secondaires près et loin de paroi latéral.....	5
Figure 1.4 : Canal à surface libre utilisé pour cette expérience .....	6
Figure 2.1 : Ecoulement Dans Les Canaux.....	8
Figure 2.2 : Schéma représentant les différents régimes d'écoulement.....	9
Figure 3.1 : Schéma de définition du canal ouvert de forme rectangulaire .....	13
Figure 3.2: Schéma de définition ayant servi de base à l'établissement de la formule de <i>Chézy</i> .....	14

# **Introduction**

## Introduction

L'hydraulique est un élément indispensable à la vie. L'hydraulique traite entre autre des écoulements dans les canaux artificiels et naturels ayant une surface libre soumise à la pression atmosphérique.

L'étude des écoulements naturels entre dans le cadre de l'hydraulique a surface libre. Ce qui différencie cette dernière de l'hydraulique en charge est la présence d'une surface libre, c'est-à-dire une surface qui est en contact direct avec l'atmosphère. On parle dans ce cas des écoulements gravitaires.

une caractéristique commune à ces écoulements est le fait que la profondeur d'eau est petite par rapport à la longueur d'écoulement (longueur de la rivière ou de la conduite par exemple).

l'hydraulique fluviale s'intéresse surtout aux écoulements dans les :

- ❖ cours d'eau : rivières, fleuves, etc....
- ❖ systèmes d'évacuation : réseaux d'assainissement pluvial, ainsi qu'aux différents aménagements retenus d'eau, usines de production d'électricité, ports, etc...

Ces écoulements se caractérisent par une hauteur d'écoulement petite par rapport à la longueur d'écoulement. On parle d'écoulement filaire ou unidimensionnel  $(x, t)$ .

# **Chapitre I : Les études numériques et expérimentales**

Dans ce chapitre on présente quelques travaux consacrés à l'étude des écoulements à surface libre.

### 1.1. Etude Numérique :

**R. Azcueta [1]** ; dans ses travaux il base sur deux approches : *interfacetracking* et *interface-capturing method*. Contrairement aux anciens travaux numériques basée sur l'utilisation d'une grille numérique qui s'adapte à la forme et à la position de la surface libre. La surface libre est donc traitée comme condition aux limites du domaine de calcul. Ces méthodes ne peuvent pas être employées si la topologie de l'interface change de manière significative (par exemple rupture des vagues).

La méthode *interface-capturing* considère les deux fluides en tant qu'un seul fluide efficace avec des propriétés variables ; l'interface est capturé comme région d'un changement soudain des propriétés du fluide.

Pour déterminer la fraction volumique des composantes des fluides Une équation additionnelle de transport doit être résolue. Cette méthode peut être appliquée aux écoulements avec une déformation arbitraire au niveau de l'interface ; des effets de flottabilité et de tension de surface peuvent être pris en considération.

Les grilles sont autour de 300000 CVs (volume de contrôle) et le calcul a pour environ 5000 pas de temps a pris environ deux jours sur un PC avec un processeur de 350 mégahertz.

Les résultats obtenus montrent que dans tous les cas les changements de l'écoulement, la déformation de la surface libre, et les forces sur le modèle ont été prévus qualitativement correctement; seulement la visualisation d'écoulement a été conduite.

### 1.2. Etude Expérimentale :

**Chouaib Labiod [2]** ; Présente les résultats des travaux expérimentaux relatifs à des écoulements à surface libre en canal rectangulaire, dont le fond présente un contraste de rugosité suivant la transversale.

A l'origine des écoulements secondaires dans le plan perpendiculaire à la direction principale de l'écoulement. L'évolution transversale des champs de vitesse moyenne et

des composantes du tenseur de Reynolds sont déterminés en utilisant 'un *Anémomètre Laser Doppler*.

L'auteur présente le canal d'expérience (**Figure 1.1**) ainsi que les configurations de rugosité qui sont:

Un canal ouvert de section rectangulaire, d'une longueur de  $13.5m$ , de hauteur  $0.2m$  et de largeur  $0.52m$ , la pente du canal varie entre  $0$  et  $1\%$ .

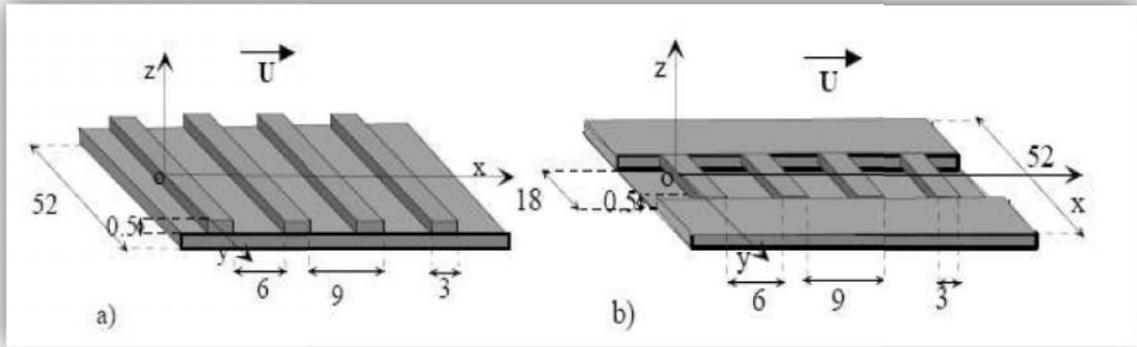
La partie amont du canal est précédée d'une cuve d'une capacité de  $600L$  pour assurer la tranquillisation de l'écoulement dans la section de mesure située à  $9.5m$  de l'entrée,

Dans le but de travailler en circuit fermé, une cuve de capacité de  $3500 l$  est placée à l'aval du canal et reliée avec la cuve par une conduite de  $125mm$  de diamètre. Le débit de l'eau est assuré par une pompe de puissance  $3.5 KW$  et fournissant un débit maximal de  $50 l/s$ .



**Figure 1.1:** Vue de l'aval du canal expérimental

Dans la première configuration, les barrettes ont une longueur égale la largeur du canal, Dans la seconde, les barrettes ont une longueur de  $18 cm$  (soit environ un tiers de la largeur du canal) et sont collées dans la zone centrale du fond (**Figure 1.2**).



**Figure 1.2:** Géométrie des rugosités utilisées (dimensions en cm),

(a) Rugosité homogène, (b) Rugosité inhomogène

Les résultats montrent que les courants secondaires affectent, selon leur intensité, la distribution de la vitesse moyenne et des contraintes turbulentes. En raison du transport advectif dû aux écoulements secondaires, la position du maximum de vitesse moyenne longitudinale se situe au-dessous de la surface libre « Dip-Velocity ».

**Cz Wang, N Cheng[3]** : Ce travail porte sur des écoulements secondaires qui ont été artificiellement produits avec l'implantation des couches rugueuses et lisses qui sont placées alternativement, et alignées longitudinalement le long du canal.

Les vitesses instantanées d'écoulement ont été mesurées avec un *Laser Doppler Anemometry*, qui détermine l'évolution transversale des champs de vitesse moyenne.

Les expériences ont été effectuées dans un canal ouvert d'une section rectangulaire d'une longueur de  $18\text{m}$  et de largeur  $0.6\text{m}$ . Le fond du canal a comporté neuf bandes longitudinales, cinq rugueuses et quatre lisses, qui ont été posées avec un mode alternatifs.

La largeur de chaque bande est de  $75\text{mm}$  sauf pour deux qui sont attachées aux parois latérales  $37.5\text{mm}$  (**Figure 1.3a**). Le dispositif assure une configuration symétrique avec une bande rugueuse placée le long de la ligne centrale de canal.

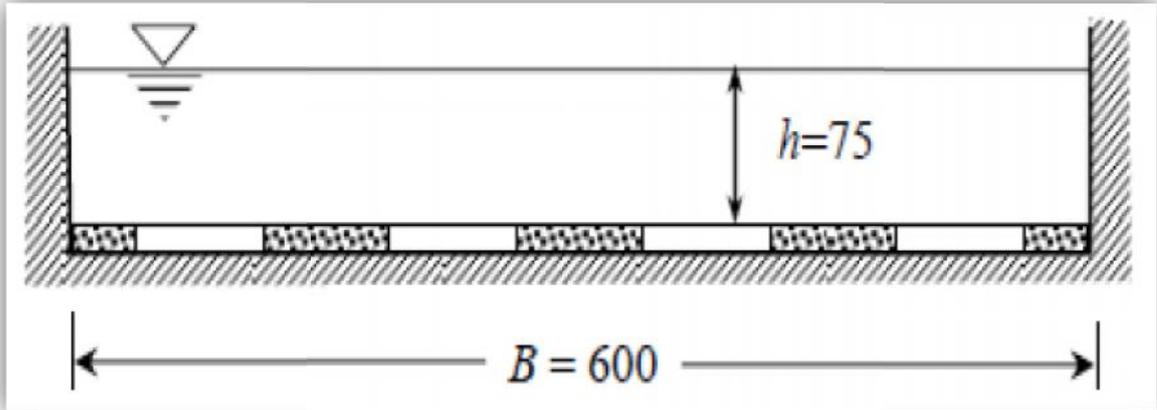


Figure 1.3.a: Configuration du canal d'expérience

Les hypothèses associées à cette expérience sont :

- l'élévation de surface du fond du canal pour les deux couches rugueux et lisse est négligée.

-l'écoulement est considéré uniforme dans la direction longitudinale

Les résultats démontrent clairement que la zone centrale était approximativement  $4h$  au loin, peut être considéré libre par les effets de paroi latérale, seulement les propriétés d'écoulement dans la zone centrale ( $z / h = 0 \sim -1$ ) sont considérées, où une cellule secondaire complète d'écoulement produit (Figure1.3.b).

Ces mesures montrent aussi que ces écoulements secondaires prennent la forme des vortex près de la paroi latérale et du mouvement cellulaire dans la région centrale du canal.

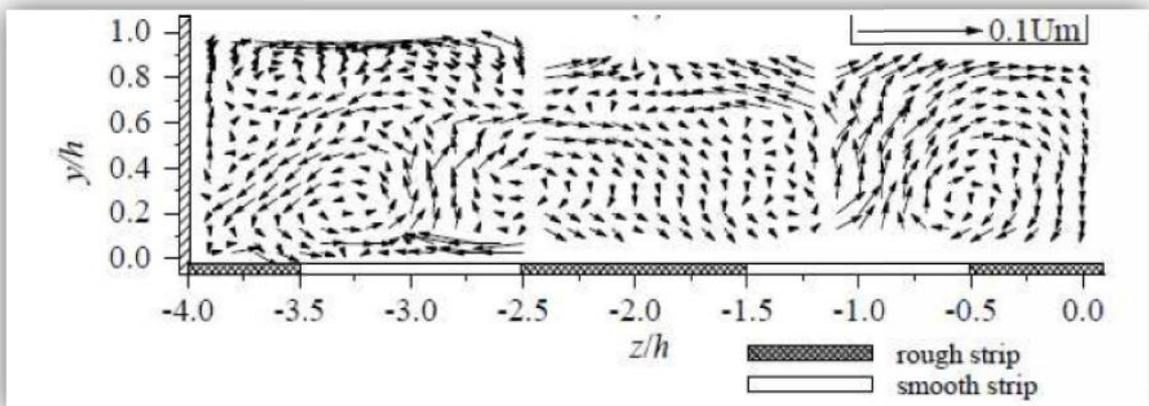


Figure 1.3.b: Forme des écoulements secondaires près et loin de paroi latéral

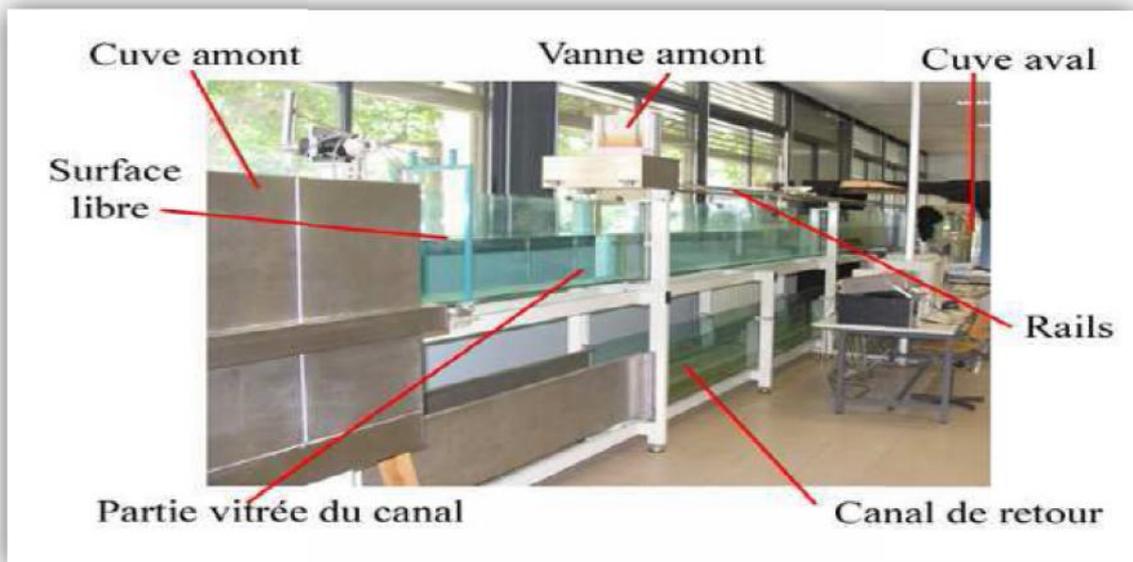
**Franc Vigie [4]** : Ce travail porte sur l'effet de la présence d'un obstacle fixé sur le fond d'un canal rectangulaire. Les expériences ont été conduites dans un canal à surface libre représenté sur la (**Figure 1.4**).

Il s'agit d'un canal de 14m de long, de section rectangulaire, ayant une largeur de 0.25 m et une hauteur de 0.5m. Toutes les parois sont en verre. Ce canal a une pente géométrique fixe  $0 I = 0.170$ . En amont et en aval du canal se trouvent deux cuves en inox. En aval du canal, l'eau se déverse dans la deuxième cuve puis est réacheminée par un canal de retour vers la cuve amont, l'écoulement s'effectuant en circuit fermé.

Le canal est équipé d'un rail de guidage permettant de déplacer un porte-sonde suivant l'axe longitudinal et ainsi d'effectuer des mesures de position de la surface libre selon l'axe X.

Les mesures par sondes *Capacitives* et par *Ombroscopies* sont utilisées pour déterminer la position de la surface libre, utilisée pour la classification en régimes d'ondes de surface ainsi que pour la mesure des grandeurs caractéristiques des ondes.

Les champs de vitesses bidimensionnels sont mesurés par *Vélocimétrie* par images de particules, permettent de déterminer la topologie du champ de vitesse moyen ainsi que d'analyser la structure turbulente de l'écoulement.



**Figure 1.4** : Canal à surface libre utilisé pour cette expérience

Cette étude permettra à l'auteur d'aboutir à :

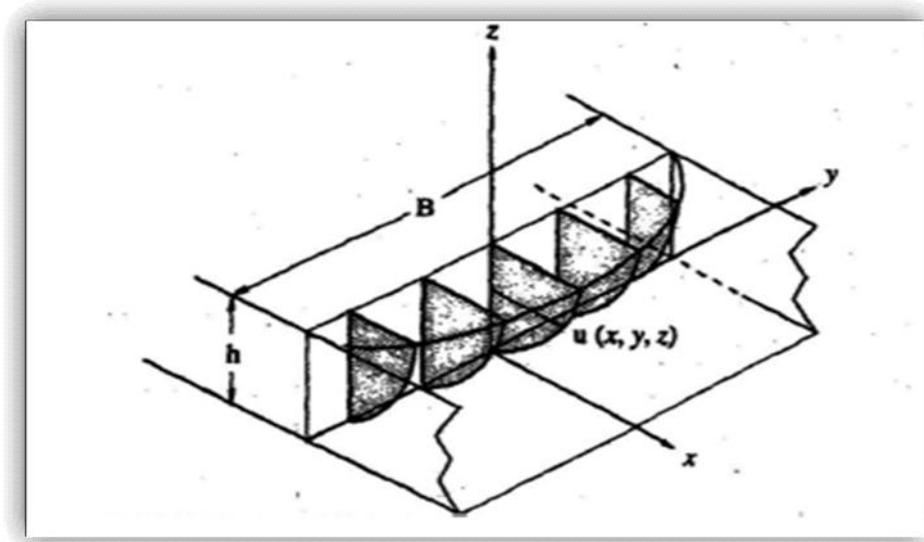
- Identifier les régimes d'écoulement à partir de la mesure des déformations de la surface libre.
- Caractériser la dynamique de l'écoulement interne dans le plan médian du canal grâce à l'analyse du champ de vitesses.
- À partir de la connaissance de la structure interne de l'écoulement et les caractéristiques de la surface libre, déterminer certains mécanismes à l'origine des phénomènes mis en évidence dans les régimes d'ondes de surface.

**Chapitre II : Les  
régimes d'écoulement  
à surface libre**

### 2.1. Ecoulement dans les canaux :

Les écoulements dans les canaux naturels et artificiels sont des écoulements à surface libre. L'écoulement à surface libre est dû à la pente de fond du canal et non, comme pour les conduites à la différence de charge entre deux sections.

Les écoulements à surface libre sont tridimensionnels :



**Figure 2.1 :** Ecoulement dans les Canaux

#### 2.1.1. Type d'écoulement :

Une classification des écoulements peut se faire selon la variation de la profondeur,  $h$  ou  $D_h$ , en fonction du temps et de l'espace :

$$D_h = f(t, x)$$

#### 2.1.2. Variabilité dans le temps :

Le mouvement est permanent si les vitesses moyennes,  $V$ , et ponctuelles,  $u$ , ainsi que la profondeur,  $h$  ou  $D_h$ , restent invariables dans le temps en grandeur et en direction. Par conséquent, le débit est constant :

$$Q = V S$$

Entre les diverses sections du canal sans apport latéral. Le mouvement est non permanent si la profondeur,  $D_h(t)$ , ainsi que les autres paramètres varient avec le temps. Par conséquent, le débit n'est pas constant.

## Chapitre II : Les régimes d'écoulement à surface libre

En pratique, l'écoulement dans les canaux est rarement permanent. Néanmoins, les variations temporelles sont souvent suffisamment lentes pour que l'écoulement puisse être considéré comme permanent, du moins dans un intervalle de temps relativement court.

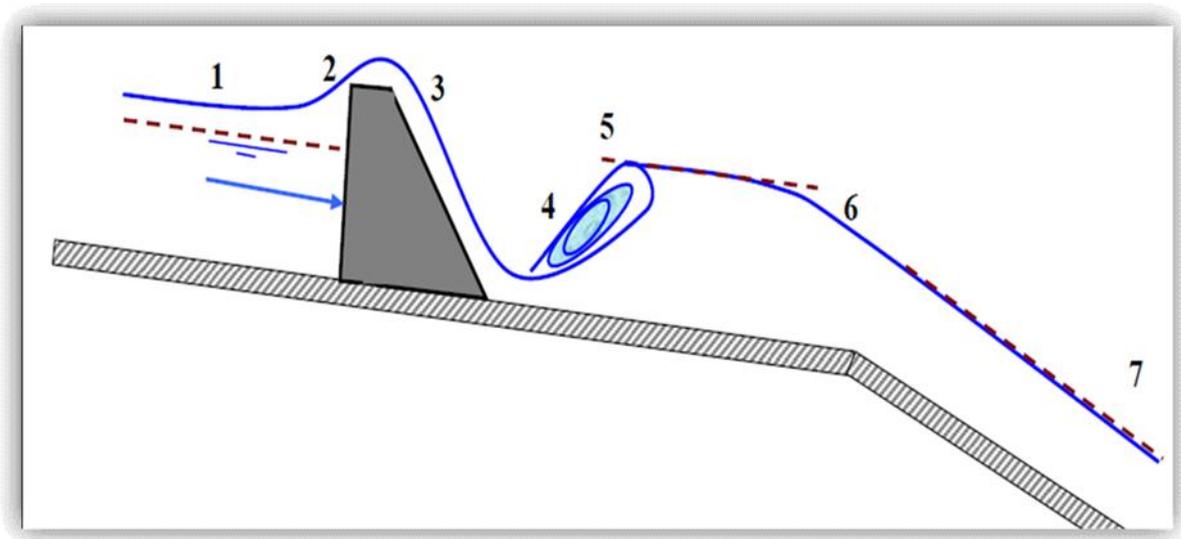
### 2.1.3. Variabilité dans l'espace :

Trois cas sont à envisager :

- a) Le mouvement est uniforme si la profondeur,  $D_h$ , ainsi que les autres paramètres, restent invariables dans les diverses sections du canal. La ligne de la pente de fond est donc parallèle à la ligne de la surface libre et l'on a  $\frac{dD_h}{dx} = 0$
- b) Le mouvement est non uniforme ou varié si la profondeur,  $D_h(x)$ , ainsi que les autres paramètres, changent d'une section à l'autre. La pente de fond diffère alors de celle de la surface libre,  $\frac{dD_h}{dx} \neq -J$

L'écoulement non uniforme peut être permanent ou non permanent.

Lorsque le mouvement est graduellement varié, la profondeur,  $D_h(x) = D_h$ , ainsi que les autres paramètres, ne changent que très lentement d'une section à l'autre.



**Figure 2.2** : Schéma représentant les différents régimes d'écoulement.

- 1) uniforme fluvial.
- 2) fluvial graduellement décéléré.
- 3) rapidement accéléré (fluvial puis torrentiel).

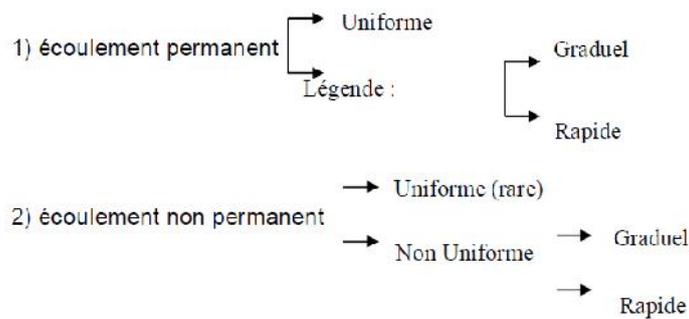
- 4) ressaut.
- 5) uniforme fluvial.
- 6) rapidement accéléré (fluvial puis torrentiel).
- 7) uniforme torrentiel.

c) Lorsque le mouvement est rapidement varié, la profondeur  $Dh(x)$ , ainsi que les autres paramètres changent brusquement, parfois avec des discontinuités. Cela se manifeste en général au voisinage d'une singularité, telle qu'un déversoir, un rétrécissement, un ressaut hydraulique ou une chute brusque.

## 2.2. Les différents types d'écoulement :

Les types d'écoulement qu'on rencontre en hydraulique peuvent être résumés

ainsi :



## 2.3. Classification des écoulements :

Un écoulement qui ne varie pas dans le temps est un écoulement permanent autrement, il est non permanent. A l'échelle de quelques heures, un écoulement en rivière peut être considéré comme permanent, par contre l'écoulement dans un estuaire est continuellement en changement sous l'effet des marées.

On dit qu'un écoulement est uniforme si l'aire de sa section d'écoulement est constante tout le long de son parcours, autrement il est non uniforme. Si la non uniformité est faible, on qualifiera l'écoulement de graduellement varié.

Si le changement de section s'effectue sur une courte distance, alors l'écoulement sera brusquement varié. Un écoulement permanent, le long d'une rivière, est une succession d'écoulements uniformes, graduellement et brusquement variés.

## ***Chapitre II : Les régimes d'écoulement à surface libre***

---

De plus, en fonction du rapport de la vitesse du fluide sur la célérité d'une onde de surface (nombre de Froude,  $Fr$ ).

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot Dh}}$$

Par définition, un écoulement dont le nombre de Froude est inférieur à 1 est dit fluvial, sinon il est dit torrentiel. Lors d'un écoulement en régime fluvial, c'est l'aval qui pilote l'écoulement, lors d'un écoulement en régime torrentiel, c'est l'amont seul qui influence l'écoulement. Au nombre de Froude critique égal 1 correspond un tirant d'eau particulier  $h_c$  appelé hauteur d'eau critique.

### **2.4. Régime D'écoulement :**

Il y a deux types d'écoulement, permanent pour des fluides réels et on doit envisager chacun d'eux. On les appelle écoulement laminaire et écoulement turbulent.

#### **2.4.1. L'écoulement laminaire :**

Dans l'écoulement laminaire, les particules du fluide se déplacent en lignes droites parallèles disposées en couches, ou lamelles sont :

Dans l'écoulement turbulent, les particules de fluide se déplacent dans toutes les directions au hasard. Il est impossible de décrire le mouvement d'une particule.

Les grandeurs des vitesses de lamelles adjacentes ne sont pas les mêmes. L'écoulement laminaire obéit la loi reliant la contrainte tangentielle visqueuse au taux de déformation angulaire.

#### **2.4.2. L'écoulement turbulent :**

L'écoulement d'un fluide réel dans un canal à surface libre est le siège des forces suivantes :

Forces de gravité.

Forces de frottement (viscosité et rugosité).

Les équations réduites du mouvement font intervenir les coefficients ou nombres adimensionnels suivants :

- 1) le nombre de Froude, qui est le rapport entre les forces de gravité et celles d'inertie ou:

## Chapitre II : Les régimes d'écoulement à surface libre

---

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \dots\dots\dots (1.1)$$

2) le nombre de Reynolds, qui est le rapport entre les forces de frottement et celles d'inertie ou:

$$Re = \frac{vd}{\nu} \dots\dots\dots (1.2)$$

- Le rôle du nombre de Reynolds est de permettre le classement des écoulements comme suit :
  - a) écoulement laminaire  $Re' < 500$
  - b) écoulement turbulent  $Re' > 2000$
  - c) écoulement transition  $500 < Re' < 2000$
- Les expériences avec différents canaux artificiels montrent que l'écoulement est turbulent dès que le nombre de Reynolds, **Re'**, atteint des valeurs voisines **2000**.

Dans la pratique, on ne rencontre en général que des écoulements turbulents, souvent rugueux.

- Le rôle du nombre de Froude est de permettre le classement des écoulements comme suit:
  - a) écoulement fluvial  $Fr < 1$
  - b) écoulement torrentiel  $Fr > 1$
  - c) écoulement critique  $Fr = Fr_c = 1$

Dans la pratique, on rencontre ces trois types d'écoulement.

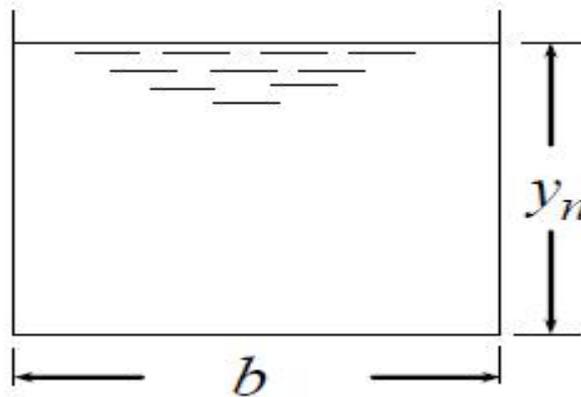
Dans les canaux de géométrie simple, on ne rencontre généralement que des écoulements turbulents où la vitesse ponctuelle,  $V(x, z)$ , diffère très peu de la vitesse moyenne,  $V(x)$ . En régime permanent, cette hypothèse permet de considérer ces écoulements comme unidimensionnels.

**Chapitre III : Les  
caractéristiques des  
écoulements dans un  
canal rectangulaire**

## *Chapitre III : Les caractéristiques des écoulements dans un canal rectangulaire*

---

L'objectif principal de ce chapitre est l'étude des caractéristiques des écoulements dans un canal rectangulaire.



**Figure 3.1** : Schéma de définition du canal ouvert de forme rectangulaire

### **3.1. Formule de Chézy :**

La formule de *Chézy* est probablement la première formule destinée au calcul de l'écoulement uniforme. La vitesse moyenne  $V$  s'exprime par :

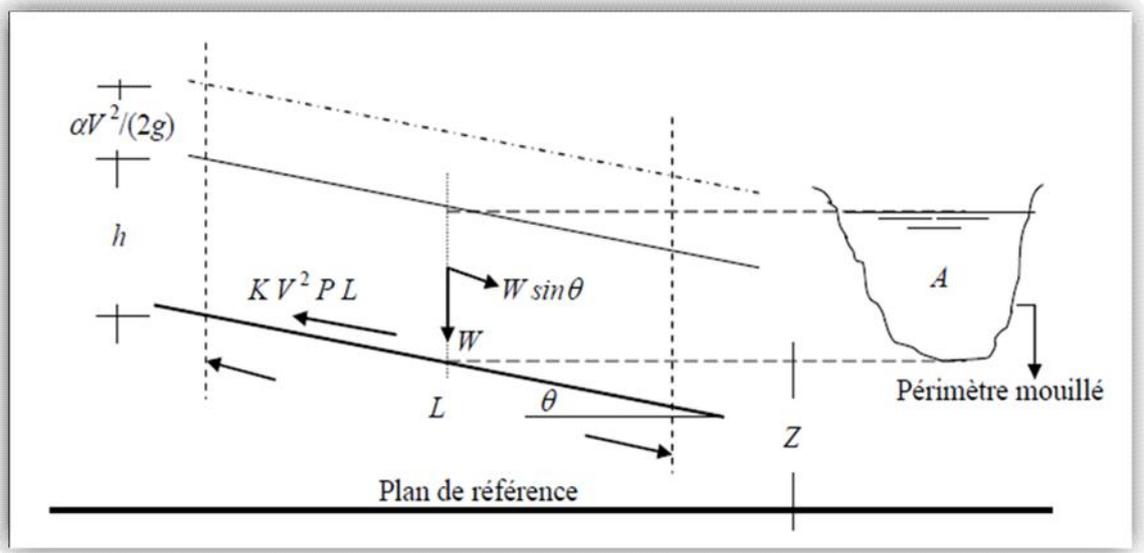
$$V = c \sqrt{Rh J} \dots \dots \dots (3.1)$$

Rappelons que  $Rh$  est le rayon hydraulique,  $J$  est la pente de la ligne de charge totale ou gradient de perte de charge ( $J$  étant également la pente  $i$  du canal) et  $C$  est le facteur caractérisant la résistance de l'écoulement. Le facteur  $C$  est habituellement appelé coefficient de *Chézy*.

*Chézy* stipule que la force de résistance s'opposant à l'écoulement et par unité de surface de canal est proportionnelle au carré de la vitesse moyenne  $V$ . Cette force peut donc s'écrire :  $Fr(1m^2) = K V^2$  où  $K$  est le facteur de proportionnalité. Comme le montre la (**Figure 3.1**) la surface du canal en contact avec le liquide est égale au produit du périmètre mouillé  $P$  par la longueur  $L$  du canal. La force totale  $Fr$  mise en jeu s'écrit ainsi:

$$F = k V^2 P L \dots \dots \dots (3.2)$$

**Chapitre III : Les caractéristiques des écoulements dans un canal  
rectangulaire**



**Figure 3.2:** Schéma de définition ayant servi de base à l'établissement de la formule de Chézy.

Nous avons déjà indiqué que l'écoulement uniforme s'établit lorsque les forces de gravité sont équilibrées par les forces de résistance  $Fr$ .

La quantité  $(W \sin \theta)$ , représentée sur la figure (1.2), correspond à la composante tangentielle du poids propre  $W$  du liquide.

C'est cette composante qui intervient dans l'écoulement et qui doit être équilibrée par la force  $Fr$ . Le poids propre  $W$  peut s'écrire  $W = \rho g A L$  où  $\rho$  est la masse volumique du liquide,  $g$  est l'accélération de la pesanteur. Le produit  $(AL)$  désigne le volume de liquide sur toute la longueur  $L$  considérée. Ainsi, nous pouvons écrire  $\rho g A L \sin \theta = \rho g A L \sin \theta = K V^2 P L$ , soit :  $V^2 = (\rho g / K)(A/P) \sin \theta$ . La quantité  $A/P$  représente par définition le rayon hydraulique  $R_h$ . En désignant par  $C^2 = (\rho g / K)$  et par  $J = \sin \theta$ , il vient que :

$$V = C R_h^{1/2} J^{1/2} \dots \dots \dots (3.3)$$

Comme l'exige la relation (3.3), le coefficient  $C$  de Chézy doit avoir pour unité  $[L^{1/2} T^{-1}]$ . Plusieurs relations ont été proposées au calcul du coefficient  $C$  et nous verrons dans ce qui suit les plus importantes d'entre elles.

### *Chapitre III : Les caractéristiques des écoulements dans un canal rectangulaire*

---

#### **3.1.1. Détermination du coefficient $C$ de Chézy par la formule de Ganguillet – Kutter :**

La formule de *Ganguillet – Kutter*(1869) exprime le coefficient  $C$  de Chézy en fonction de la pente  $J$  ou  $i$  du canal, du rayon hydraulique  $R_h$  et du coefficient de rugosité  $n$ . Elle a été élaborée à partir de mesures expérimentales effectuées sur divers types de canaux et rivières naturelles :

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{J} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{J}\right) \frac{n}{\sqrt{R_h}}} \dots \dots \dots (3.4)$$

Le coefficient  $n$  de la relation (3.4) est connu sous le nom de " coefficient  $n$  de Kutter". Bien que la relation (3.4) apparaisse quelque peu encombrante, elle donne néanmoins des résultats assez satisfaisants.

#### **3.1.2. Détermination du coefficient $C$ de Chézy par la formule de Bazin :**

*Bazin* (1897) considère que la valeur du coefficient  $C$  de Chézy dépend du rayon hydraulique  $R_h$  mais ne dépend pas de la pente  $J$  du canal. Le coefficient  $C$  peut alors être déterminé par la relation :

$$C = \frac{87}{1 + \frac{M}{\sqrt{R_h}}} \dots \dots \dots (3.5)$$

$M$  est le coefficient de rugosité dépendant de la nature du matériau constituant le canal considéré et dont la valeur est tabulée. Les valeurs de  $m$  sont sans commune mesure avec celles qui correspondent au coefficient de rugosité  $n$  figurant dans la relation (3.4) de *Ganguillet – Kutter* ceci pour le même matériau. A titre indicatif, pour le cas d'un canal fabriqué en ciment lisse, les tables de valeurs indiquent que  $n = 0,01$  et  $m = 0,11$ .

#### **3.1.3. Détermination du coefficient $C$ de Chézy par la formule de Powell :**

*Powell* (1950) propose une relation de type logarithmique au calcul du coefficient  $C$  de Chézy, mais elle se présente sous une forme implicite :

$$C = 23.2 \log \left( \frac{1.811C}{R} + \frac{\epsilon}{R_h} \right) \dots \dots \dots (3.6)$$

### **Chapitre III : Les caractéristiques des écoulements dans un canal rectangulaire**

---

" Log " désigne le logarithme décimal,  $R$  est le nombre de *Reynolds*,  $\epsilon$  est la rugosité absolue des parois du canal. A l'origine, la formule de *Powell* a été présentée en unité anglaise et les constantes figurant dans la relation (3.6) sont alors différentes et beaucoup plus simples :

$$C = 42 \log \left( \frac{C}{4R} + \frac{\epsilon}{Rh} \right) \dots \dots \dots (3.7)$$

Pour le cas des canaux rugueux, l'écoulement est en général turbulent correspondant aux valeurs élevées du nombre de Reynolds. Le terme  $C/(4R) \gg 0$  et la relation (3.7) devient :

$$C = 42 \log \left( \frac{\epsilon}{Rh} \right) \dots \dots \dots (3.8)$$

Par contre, pour les canaux lisses, l'effet de la rugosité est tellement faible que la relation (1.7) peut s'écrire :

$$C = -42 \log \left( \frac{C}{4R} \right) \dots \dots \dots (3.9)$$

#### **3.2. Formule de Manning-Strickler :**

La vitesse moyenne  $V$  de l'écoulement uniforme peut être également évaluée par la formule dite de *Manning* (1891). La vitesse  $V$  est liée au coefficient  $C$  de résistance de l'écoulement, au rayon hydraulique  $Rh$  et à la pente  $J$  du canal. A l'origine, la formule de *Manning – Strickler* se présentait sous une forme compliquée, puis elle a été simplifiée pour s'écrire, avec  $C = k$  :

$$V = k Rh^{2/3} J^{1/3} \dots \dots \dots (3.10)$$

La relation (3.10) a été ensuite modifiée par plusieurs auteurs pour s'écrire, en unité métrique :

$$V = \frac{1}{n} Rh^{2/3} J^{1/3} \dots \dots \dots (3.11)$$

(Selon Manning  $1/n = k$  selon Strickler). La conversion en unité anglaise de la relation (3.10) donne :

### *Chapitre III : Les caractéristiques des écoulements dans un canal rectangulaire*

---

$$V = \frac{1.486}{n} Rh^{2/3} \sqrt{J} \dots \dots \dots (3.12)$$

Dans cette conversion, la valeur numérique du coefficient de rugosité  $n$  reste inchangée et la même valeur est utilisée dans les deux systèmes d'unité. Comme l'exige la forme de la relation (3.10), le coefficient  $n$  doit avoir pour dimension  $[TL^{-1/3}]$ . Cependant, il paraît physiquement injustifié que la dimension de temps  $T$  puisse intervenir dans l'unité d'une rugosité puisqu'elle celle-ci ne devrait dépendre que de la nature du matériau constituant les parois du canal considéré. Pour cette raison, certains auteurs énoncent que le numérateur de la relation (3.10) devrait contenir le terme  $\sqrt{g}$ , où  $g$  est l'accélération de la pesanteur, ce qui conduirait à donner à  $n$  la dimension  $[L^{1/6}]$ . En outre, il a été démontré que le coefficient de rugosité  $n$  pouvait s'écrire :

$$n = [\phi(Rh/\epsilon)] \epsilon^{1/6} \dots \dots \dots (3.13)$$

Où  $\epsilon$  est la rugosité absolue. Si la fonction  $\phi(Rh/\epsilon)$  doit être considérée comme étant adimensionnelle, le coefficient de rugosité  $n$  doit alors avoir la même dimension que  $\epsilon^{1/6}$ , c'est à dire  $[L^{1/6}]$ . Hager (1989) a pu montrer que la rugosité absolue  $\epsilon$  et le coefficient  $k$  de Strickler sont liés par la relation :

$$\frac{k \epsilon^{1/6}}{8.2 \sqrt{g}} = 1 \dots \dots \dots (3.14)$$

D'autre part, il est également possible d'admettre que le terme  $1,486/n$  figurant dans la relation (1.12) puisse contenir de manière implicite la dimension  $[L^{1/3} T^{-1}]$ , ou que  $\phi(Rh/\epsilon)$  contienne un facteur ayant une dimension. Ceci rendrait alors le coefficient  $n$  adimensionnel. Sous cette dernière condition, la conversion en unité anglaise conduit à la constante  $(3,2808)^{1/3} = 1,486$ , puisque  $1m = 3,2808 ft$ .

Si l'on considère que la dimension de  $n$  est  $[L^{1/6}]$ , sa valeur numérique en unité anglaise doit être différente de sa valeur en unité métrique, à moins de tenir compte d'un facteur de correction ou de compensation. Si  $n$  est la valeur du coefficient de rugosité en unité métrique et  $n'$  en unité anglaise, on peut écrire alors  $n' = (3,2808)^{1/6} n = 1,219 n$ . Lorsque la formule de Manning subit la conversion de l'unité métrique vers l'unité

### *Chapitre III : Les caractéristiques des écoulements dans un canal rectangulaire*

---

anglaise, la constante figurant dans l'expression qui en résulte est égale à  $(3,2808)^{1/3+1/6} = \sqrt[3]{3,2808} = 1,811$  et la dimension de  $n$  est alors  $[L^{1/6}]$

En raison de sa forme simplifiée et aux résultats satisfaisants auxquels elle aboutit, la formule de *Manning – Strickler* est celle qui est largement utilisée pour les écoulements uniformes dans les canaux ouverts.

De nombreuses applications ont montré que les valeurs de  $n$  de *Manning* et  $n$  de *Kutter* sont pratiquement identiques lorsque la pente du canal est supérieure ou égale à 0,0001 pour un rayon hydraulique variant approximativement entre 0,30 m et 9 m.

En comparant la formule de *Manning – Strickler*, exprimée en unité métrique, à celle de *Chézy*,

On peut écrire  $C = (1/n)Rh^{1/6}$ . Ainsi, la formule de *Manning – Strickler* est souvent considérée comme une variante de la formule de *Chézy*.

De nombreuses études dont celle de *Bazin*, et qui concernent les canaux artificiels, ont montré que l'exposant de  $Rh$  ne serait pas égal à 2/3 comme le suggère *Manning*, mais sa valeur moyenne varie entre 0,6499 et 0,8395 suivant la forme du canal et la rugosité de celui-ci. Des études telle que suggère de prendre la valeur 3/4 pour l'exposant de  $Rh$ , tandis que *Blench* (1939) considère le coefficient  $C$  comme une variable qui dépend non seulement de  $n$  mais aussi de  $Rh$  et dont l'exposant dépend à son tour de  $n$  et de  $Rh$  ; c'est la formule dite de *Pavlovski* (1940) qui s'exprime, en unité métrique, par :

$$C = (1/Rh^y) \dots \dots \dots (3.15)$$

Où

$$Y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - \frac{3}{4}\sqrt{Rh}(\sqrt{n} - 0,10).$$

La relation (1.15) est applicable pour un rayon hydraulique variant entre 0,10 m et 3 m et pour  $n$  compris entre 0,011 et 0,04. Des relations approchées au calcul de l'exposant  $y$  ont été également proposées :

$$Y = 1,5\sqrt{n} \text{ pour } Rh < 1 \text{ m et } y = 1,3n\sqrt{n} \text{ pour } Rh > 1 \text{ m.}$$

### *Chapitre III : Les caractéristiques des écoulements dans un canal rectangulaire*

---

L'application de la formule de *Manning – Strickler*, comme celle d'ailleurs de *Ganguillet – Kutter* est tributaire de la valeur du coefficient  $n$ . Il n'existe aucune méthode exacte qui permet d'évaluer  $n$ .

Évaluer  $n$  revient à estimer la résistance de l'écoulement dans un canal donné, ce qui nécessite beaucoup d'expérience et de pratique. En se référant à la bibliographie, plusieurs auteurs concluent que pour estimer  $n$  les étapes suivantes sont nécessaires :

1. Recenser puis apprécier l'influence des paramètres pouvant affecter le coefficient  $n$ , tels que la présence de végétation dans le canal, la dimension moyenne des grains du matériaux constituant les parois du canal, l'irrégularité du canal due à la présence de courbures ou de variation même réduite de la section transversale de l'écoulement, etc...

2. Consulter les tables de valeurs de  $n$  déjà évalué pour des canaux de différents types.

3. Examiner et s'informer de l'état physique caractérisant des canaux existants et dont la valeur de  $n$  a déjà été déterminée.

4. Déterminer la valeur de  $n$  par une approche analytique basée sur la répartition théorique de la vitesse dans les sections transversales de l'écoulement

**Conclusion**

### **Conclusion :**

Dans ce mémoire, on a fait une étude d'un écoulement à surface libre dans un canal rectangulaire.

Ce travail nous permet de connaître les régimes d'écoulement à surface libre et spécialement dans un canal rectangulaire.

On a étudié les caractéristiques d'écoulement dans un canal rectangulaire. Une caractéristique commune à ces écoulements est le fait que la profondeur d'eau est petite par rapport à la longueur d'écoulement (longueur de la rivière ou de la conduite par exemple).

L'aboutissement de ce travail est connaître la différence entre les écoulements à surface libre dans un canal rectangulaire et les autres canaux.

# **Bibliographie**

### **Bibliographie :**

- ✓ [1] **R. Azcueta**; Computation of Flows with Free Surfaces, Fluid Dynamics and Ship Theory Section, Technical University of Hamburg-Harburg, Lämmersieth 90, 22305 Hamburg Germany.
- ✓ [2] **Chouaib Labiod**; Écoulement a Surface Libre Sur Fond De Rugosité Inhomogène; Thèse présenté pour obtenir le titre de docteur de l'institut national polytechnique de Toulouse; Spécialité Sciences de la Terre et de l'Environnement 2005. N° d'ordre: 2242.
- ✓ [3] **Z Wang, N Cheng**; Time-mean structure of secondary flows in open channel with longitudinal bedforms; *Advances in Water Resources* 29 (2006) 1634–1649.
- ✓ [4] **Franc Vigie**; Etude expérimentale d'un écoulement à surface libre au-dessus d'un obstacle; Thèse présenté pour obtenir le titre de docteur de l'institut national polytechnique de Toulouse; École doctorale: Energétique et Dynamique des Fluides. N° d'ordre: 2258.