

Chapitre I : Notions d'hydraulique générale (écoulement à surface libre)

I-Introduction :

L'écoulement à surface libre est caractérisé par l'existence d'une surface libre en contact direct avec l'air ambiant, donc la surface de l'écoulement à une pression égale à la pression atmosphérique.

L'écoulement dans les conduites fermées à la pression atmosphérique, ou lorsque le niveau d'eau est égal au diamètre de la conduite est aussi un écoulement à surface libre.

Dans ce cas la force prédominante est celle de la gravité, le mouvement est dû principalement à la pente du canal.

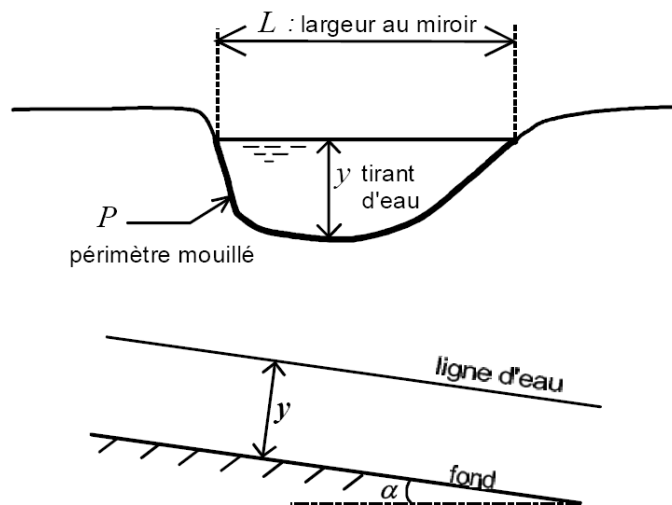


Figure-1- : Ecoulement à surface libre

Comprendre le fonctionnement d'un système d'assainissement ne peut se faire sans comprendre son comportement hydraulique.

2| Chapitre I: Notions d'hydraulique générale (écoulement à surface libre)

II -Propriétés géométriques et hydrauliques des canaux :

a) La profondeur d'eau $h(m)$: c'est la profondeur du point le plus bas de la section transversale.

b) La section mouillée $S(m^2)$: c'est une section plane, normale à la direction de l'écoulement.

$$S = b \cdot h$$

c) Le périmètre mouillé $P(m)$: c'est la partie du canal en contact avec l'eau.

$$P = b + 2h$$

d) la largeur au miroir $T(m)$: c'est La largeur superficielle de la surface libre.

e) Le rayon hydraulique $R_h(m)$: c'est le rapport entre la section mouillée et le périmètre mouillé.

$$R_h = \frac{S}{P}$$

f) La profondeur hydraulique $D(m)$: Elle est définie comme étant le rapport entre la section mouillée et la largeur au miroir.

$$D = \frac{S}{T}$$

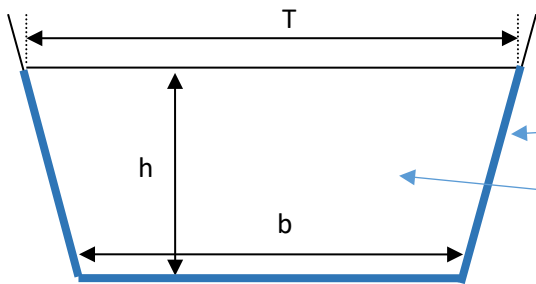


Figure -2- canal trapézoïdale

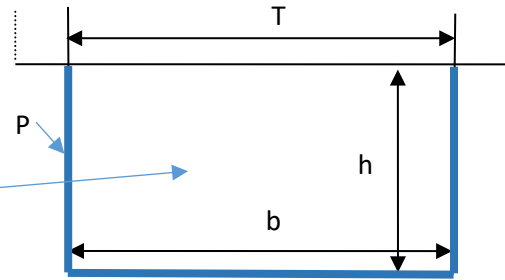


Figure -3- canal rectangulaire

III-Classification des écoulements à surface libre :

a) - Écoulement uniforme et non uniforme :

L'écoulement est uniforme si pour une longueur donnée du canal, la vitesse, la profondeur, la pente et la section du canal restent constantes :

$$\frac{\partial V}{\partial X} = 0 \quad , \quad \frac{\partial Y}{\partial X} = 0$$

Dans ce cas la ligne de charge, la surface d'eau ainsi que le radier sont parallèles.

3| *Chapitre I: Notions d'hydraulique générale (écoulement à surface libre)*

b) - Écoulement permanent et non permanent :

Si les caractéristiques de l'écoulement (Vitesse, profondeur, débit) restent constantes dans une section du canal, et ne change pas par rapport au temps, l'écoulement est dit permanent.

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad , \quad \frac{\partial Y}{\partial t} = 0$$

c) - Régimes d'écoulement

L'écoulement d'un fluide réel dans un canal à surface libre est soumis aux forces suivantes :

- Forces d'inertie,
- Forces de gravité,
- Forces de frottement (viscosité et rugosité).

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

- Le nombre de Reynolds Re :

Écoulement Laminaire $Re < 580$

Écoulement Turbulent $Re > 2000$

Écoulement Transition $580 < Re < 2000$

$$Re = \frac{\rho \times V \times R_h}{\mu}$$

R_h : le rayon hydraulique.

ρ : masse volumique du liquide.

V : vitesse moyenne de l'écoulement.

μ : viscosité dynamique du liquide.

- Le nombre de Froude Fr :

Écoulement fluvial $Fr < 1$

Écoulement torrentiel $Fr > 1$

Écoulement critique $Fr = Fr_c = 1$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \times D}}$$

D : Profondeur hydraulique.

V : vitesse moyenne de l'écoulement.

g : accélération de la pesanteur.

4| **Chapitre I: Notions d'hydraulique générale (écoulement à surface libre)**

d)- Distribution des pressions en écoulement à surface libre :

Dans un écoulement rectiligne à surface libre la distribution des pressions est hydrostatique, ça veut dire que la pression est reliée à la profondeur suivant une loi linéaire :

$P = \varpi Y$, où P est la pression au fond d'un canal (Fig. 4), Y est la profondeur et ϖ est le poids volumique du liquide qui s'écoule.

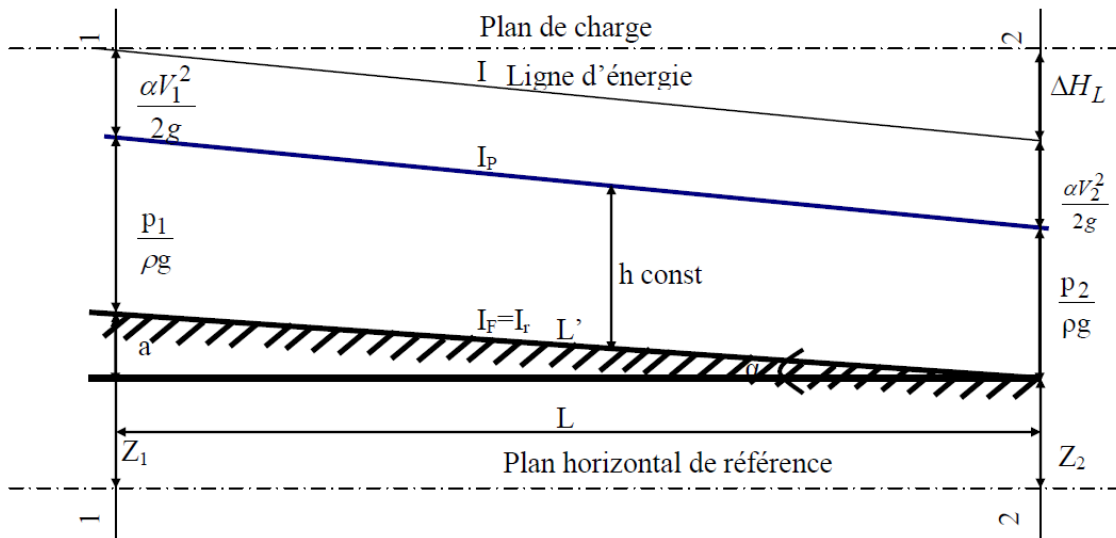


Fig-4- Ecoulement Uniforme

Tang (α)= i : pente du radier

Il existe plusieurs formules de calcul de débits pour les régimes uniformes, les plus répandus sont :

IV-Détermination des débits dans les canaux à ciel ouvert en écoulement uniforme:

a) - Formule de Chézy :

La formule de Chézy est de la forme :

$$V = C \times \sqrt{R_h \times I}$$

Donc :

$$Q = C \times S \times \sqrt{R_h \times I}$$

Où :

V : vitesse moyenne de l'écoulement.

S : section de l'écoulement.

C : coefficient de Chézy (dépend de la rugosité du canal).

R_h : rayon hydraulique.

I : pente du radier.

5| *Chapitre I: Notions d'hydraulique générale (écoulement à surface libre)*

b) - Formule de Manning- Strickler :

L'expression du coefficient de Chézy dans cette formule est :

$$C = \frac{1}{N} \times R_h^{\frac{1}{6}}$$

N : coefficient de Manning qui caractérise la nature du canal.

$$Q = \frac{1}{N} \times S \times R_h^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

Donc :

Pour Strickler $K=1/N$ qui est fonction de la nature du canal.

L'expression devient :

$$Q = K_s \times S \times R^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}}$$

Les valeurs de K_s sont données par les tableaux suivants pour les canaux artificiels et naturels.

K_s est liée directement à la rugosité des parois du canal, elle fut exprimée suivant plusieurs formules, la plus utilisée est celle de Strickler :

$$K_s = \frac{1}{n} = 26 \left(\frac{1}{d_{65}} \right)^{\frac{1}{6}} \text{ L'unité est } m^{1/3}/s$$

d_{65} : est le diamètre qui correspond au pourcentage 65% sur la courbe granulométrique des sédiments qui représente le matériau du canal.

Nature des parois	Valeur de K en $m^{1/3} / s$
Béton lisse	75-90
Canal en terre, non enherbé	60
Canal en terre, enherbé	50
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	35-40
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	10-15
Lit majeur en prairie	20-30
Lit majeur en vigne ou taillis	10-15
Lit majeur urbanisé	10-15
Lit majeur en forêt	<10

Tableau -1- : Coefficient de Strickler pour divers types de canaux.