« Hydraulique urbaine et hydraulique rurale »

5 – Règles de base de l'hydraulique

Animation : Yan DABROWSKI
Djibouti
du dimanche 23 au jeudi 27 février 2014

Département formation de egis bdpa

CDP_3E 1302

1 Hydraulique à surface libre

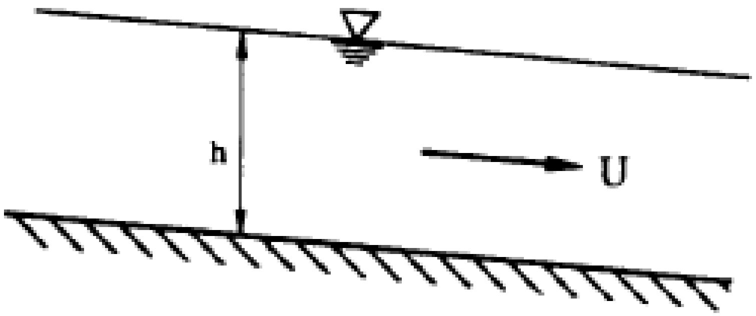
2 Hydraulique en charge

Ces écoulements comportent par définition une surface libre en contact avec l'air, à la pression atmosphérique, à l'inverse des écoulements en charge où la pression est généralement distincte de la pression atmosphérique.

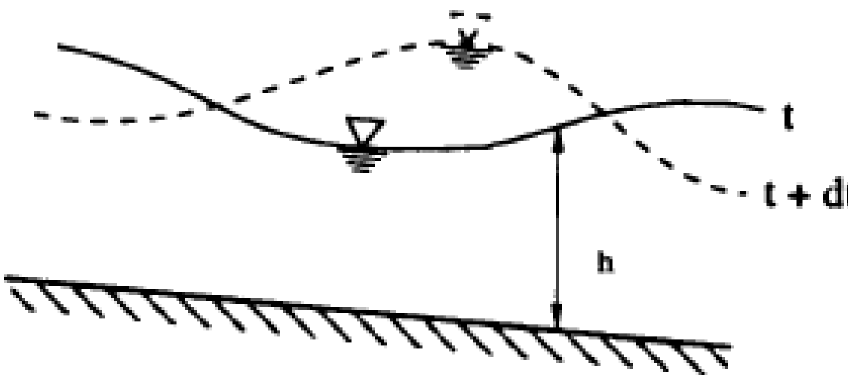
Ici, ne seront abordés que les écoulements en régime permanent (vitesse constante)
Parmi eux, on distingue généralement deux cas :
-le régime uniforme où la vitesse est constante sur une ligne de courant.
-le régime varié (cas contraire)
Nous ne traiterons ici que le cas du **régime permanent uniforme**

Exemple : tronçon rectiligne de canal artificiel de pente, et de section constante, à condition que l'on se trouve suffisamment loin des extrémités amont et aval.

INSTITUT FORHOM

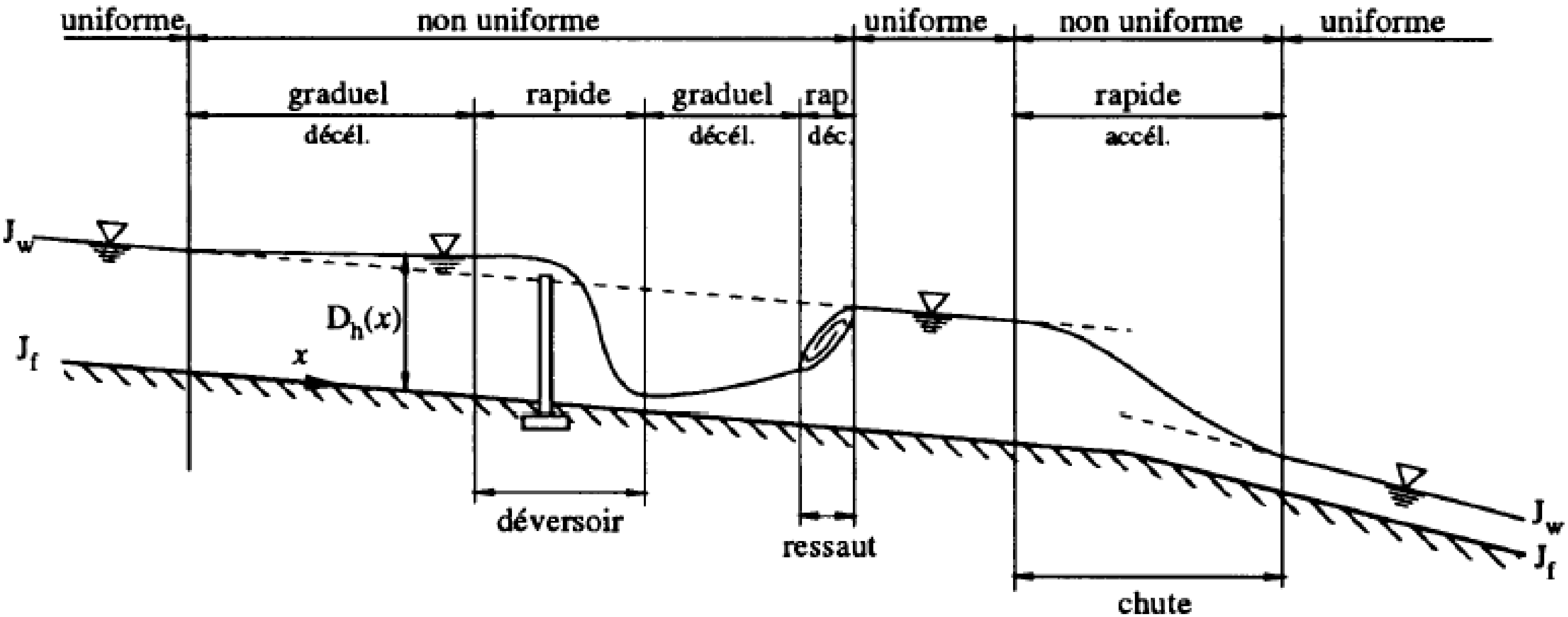


Ecoulement permanent



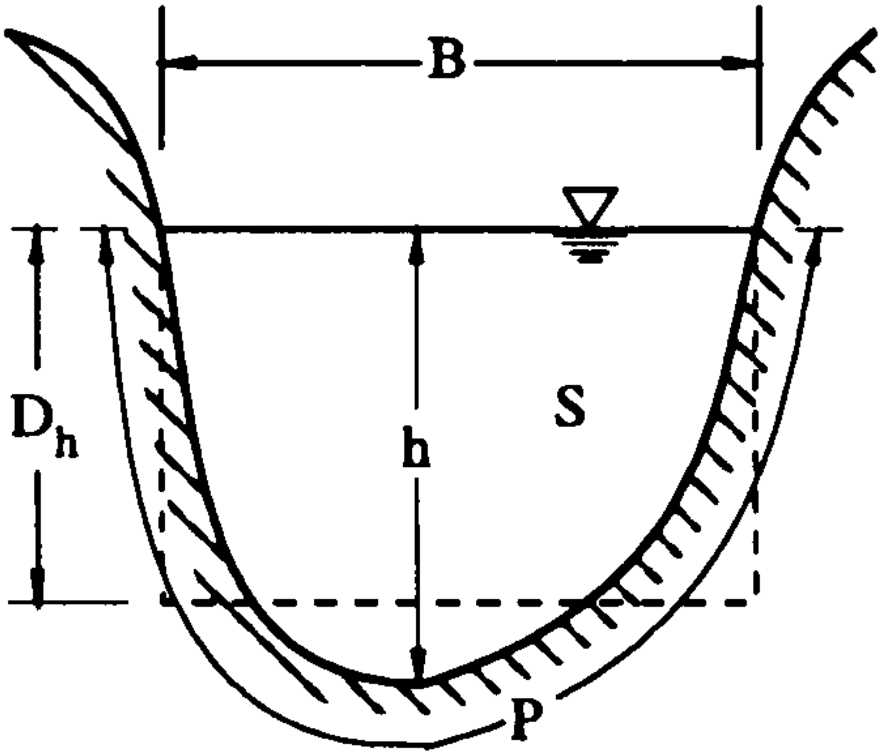
Ecoulement non-permanent

Expliquer pourquoi ? P / NP



Expliquer pourquoi ? U / NU

- Quelques définitions



B : Largeur au miroir (m)

P : Périmètre mouillé (m)

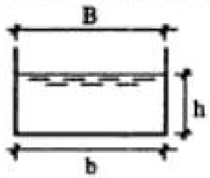
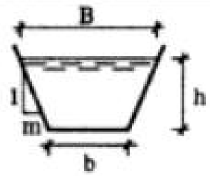
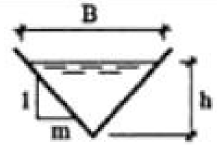
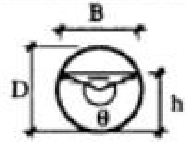
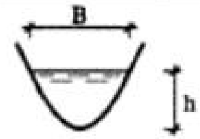
S : Surface mouillée (m2)

h : Tirant d'eau (m)

Dh : Profondeur hydraulique
Dh = S / B (m)

Rh : Rayon hydraulique
Rh = S / P (m)

▶ Sections usuelles

	 Rectangle	 Trapèze	 Triangle	 Cercle	 Parabole
Surface S	$b\,h$	$(b+mh)h$	mh^2	$\frac{1}{8}(\theta-\sin\theta)\,D^2$	$\frac{2}{3}B\,h$
Périmètre mouillé P	$b+2h$	$b+2h\sqrt{1+m^2}$	$2h\sqrt{1+m^2}$	$\frac{1}{2}\,\theta\,D$	$B+\frac{8}{3}\frac{h^2}{B}$ *
Rayon hydraulique R_h	$\frac{b\,h}{b+2h}$	$\frac{(b+mh)\,h}{b+2h\sqrt{1+m^2}}$	$\frac{mh}{2\sqrt{1+m^2}}$	$\frac{1}{4}\left[1-\frac{\sin\theta}{\theta}\right]D$	$\frac{2B^2h}{3B^2+8h^2}$ *
Largeur B	b	$b+2mh$	$2mh$	$(\sin\theta/2)\,D$ ou $2\sqrt{h\,(D-h)}$	$\frac{3}{2}\frac{S}{h}$
Profondeur hydraulique D_h	h	$\frac{(b+mh)\,h}{b+2mh}$	$\frac{1}{2}h$	$\left[\frac{\theta-\sin\theta}{\sin\theta/2}\right]\frac{D}{8}$	$\frac{2}{3}h$

- Formule de Manning - Strickler

$$V = k.Rh(m)^{2/3} \,.\, I(m/m)^{1/2}$$

$$\text{Et, } Q\ (m3/s) = S(m2)\ .\ V(m/s)$$

Donc $$\boxed{Q(m3/s) = k\ .Rh(m)^{2/3}\ .I(m/m)^{1/2}.S(m2)}$$

Permet de calculer le débit d'un écoulement à surface libre permanent uniforme en fonction des caractéristiques géométriques du canal (conduite) :

- Pente
- Rugosité
- Géométrie

▶ Formule de Manning - Strickler

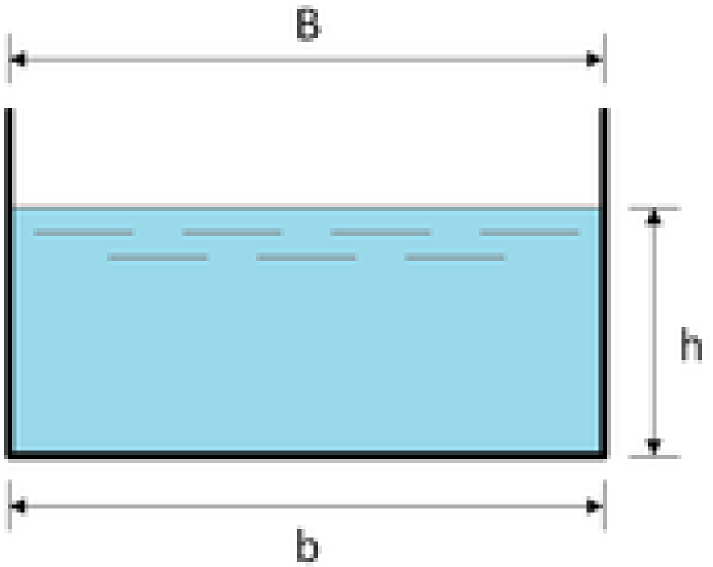
Valeurs de k : coefficient de Manning Strickler (adimensionnel)
Représente la rugosité des parois, « freinant » les écoulement

Canal bétonné, très lisse	75 - 100
Canal bétonné, état moyen	50 - 75
Canal en terre	30 - 50
Cours d'eau régulier, bien entretenu	40 - 50
Cours d'eau ordinaire	30 - 40
Cours d'eau avec embâcles	20 - 30

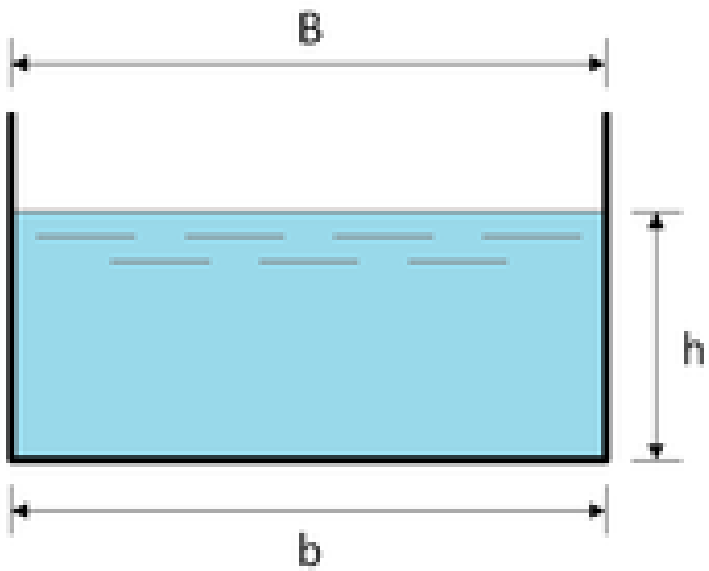
En assainissement, k = 70

- Formule de Manning - Strickler

Exercice : pour un canal rectangulaire: expression de Q (m3/s)



▶ Formule de Manning - Strickler



$$Q(m3/s) = k\,.Rh(m)^{2/3}\,.I(m/m)^{1/2}.S(m2)$$

Avec : $Rh = b\ .\ h\ /\ (2h + b)$

$S = b\ .\ h$

Donc, $Q = k\,.I^{1/2}.(b.h).(b.h/2h+b)^{2/3}$

D'où, $Q = k\,.I^{1/2}.(b.h)^{5/3}.(2h+b)^{2/3}$

D'où, Q = 14,55 l/s

<u>AN :</u>

$I = 1mm/m = 1.10^{-3}m$

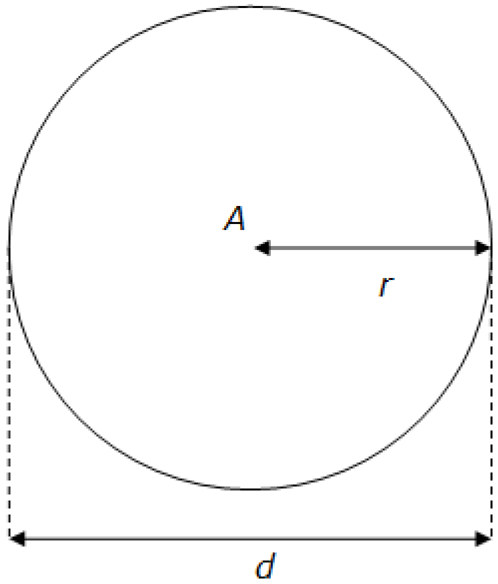
K = 70

b = 200 mm = 0,2 m

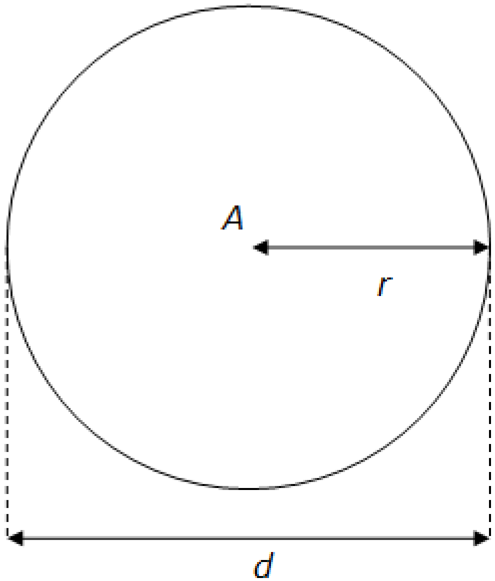
h = 200 mm = 0,2 m

- Formule de Manning - Strickler

Exercice : pour une canalisation circulaire : expression de Qps (m3/s) : débit à pleine section



▶ Formule de Manning - Strickler



$$Q(m3/s) = k\ .Rh(m)^{2/3}\ .I(m/m)^{1/2}.S(m2)$$

Avec : $Rh = \pi.r^2 / 2.\pi.r = r / 2$
$S = \pi.r^2$

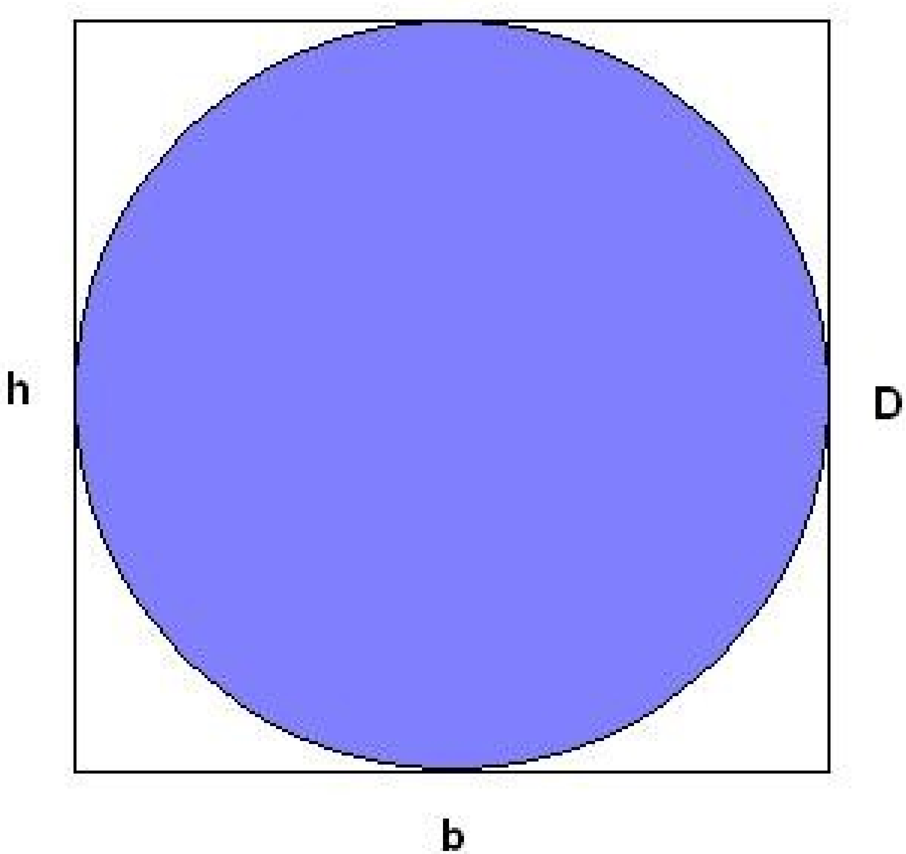
Donc, $Q = k\ .I^{1/2}.\ (\pi.r^2).(r/2)^{2/3}$

D'où, $Q = k\ .I^{1/2}.r^{8/3}.\pi.2^{-2/3}$

<u>AN :</u> $I = 1mm/m = 1.10^{-3}m$
$K = 70$
$d = 200\ mm = 0,2\ m$

D'où, Q = 9,43 l/s

Formule de Manning - Strickler



Pour

$I = 1mm/m = 1.10^{-3}m$

$K = 70$

$h = b = D = 200$ mm $= 0,2$ m

$Q_{circulaire} = 9,43$ l/s

$Q_{rectangulaire} = 14,55$ l/s

Equation de base : théorème de BERNOULLI

Avec les notations suivantes :

ρ = masse volumique du liquide en kg/m^3
g = accélération de la pesanteur en m/s^2

z = cote de la particule liquide par rapport à un plan horizontal de référence exprimé en m
p = pression à laquelle la particule est soumise en Pa
V = vitesse de la particule liquide en m/s

On a : énergie de position = z.g
énergie de pression = P/ρ
énergie cinétique = $V^2/2$

Le théorème de Bernoulli

$$Z + P/\rho g + V^2/2g = \text{constante}$$

Cette constante s'appelle la CHARGE et s'exprime en mètre de hauteur du liquide considéré (ici l'eau)

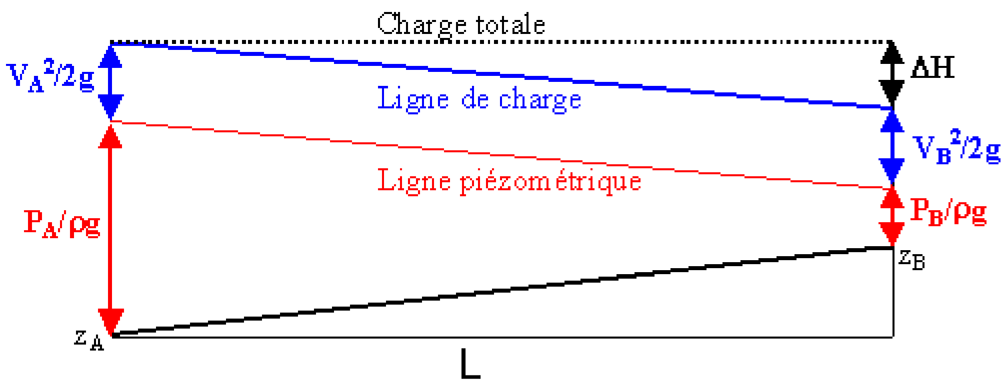
Unité couramment employée par les techniciens : ***mce*** c'est-à-dire ***mètres de colonne d'eau***

10 mètres de colonne d'eau = 1 bar = 10^5 Pascal = 1 Atmosphère

INSTITUT FORHOM

▶ Equation de base : théorème de BERNOULLI

Application du théorème de BERNOULLI entre deux sections droites



$$H_a - H_b = J_{ab}\,(m) = \Delta H = j_{ab}\,(m/m) * L\ (m)$$

« Différence de charge entre A et B = perte de charge »

▶ Evaluation des pertes de charge linéaires

Différentes formules (pour mémoire)

- Colebrook
- Darcy-Weisbach

Ces formules sont d'un emploi difficile

▶ Lechapt et Calmon : Formule approchée de celle de Colebrook à 3% pour des vitesses comprises entre 0,4 m/s et 2 m/s (champs de l'assainissement)

▶ Evaluation des pertes de charge linéaires : Lechapt et Calmon

$$\boxed{J = L\,Q^M/D^N}$$

où L,M et N sont des coefficients invariants pour une rugosité k donnée.

Unités: - J est exprimé en **mm/m**
- Q en **m3/s**
- D en **m**

Le tableau suivant indique les correspondances entre le coefficient k et les paramètres de la formule de LECHAPT et CALMON

Domaine d'application (à titre indicatif)	Coefficient de rugosité selon COLEBROOK	Coefficients de LECHAPT et CALMON		
Coefficients	K	L	M	N
Fonte et acier non revêtus, béton grossier, eau moyennement corrosive	2	1.863	2	5.33
Fonte et acier non revêtus eau peu corrosive	1	1.601	1.975	5.25
Fonte et acier avec revêtement ciment centrifugé	0.25	1.16	1.93	5.11
	0.1	1.1	1.89	5.01
Polyéthylène, PVC	0.05	1.049	1.86	4.93
	0	1.01	1.84	4.88

▶ Evaluation des pertes de charge singulières

Ponctuellement, des singularités sur le réseau créent des pertes de charge dites singulières.

$$\boxed{j_s = k\,U^2/2g = \Delta h}$$

K est le coefficient de perte de charge singulière associé à la singularité.

Exemples :

Coude 90°	k = 0,21
Coude 22,5°	k = 0,05
Vanne ouverte	k = 0,07
Cône convergeant	k = 0 (presque)

- Hydraulique à surface libre

Manning Strickler : Permet de connaître une des trois dimensions suivantes, connaissant les deux autres : Pente, débit, géométrie

- Hydraulique en charge

Lechapt et Calmon : Permet de connaître une des trois dimensions suivantes, connaissant les deux autres : Longueur, débit, géométrie (D pour conduite circulaire)

« Hydraulique urbaine et hydraulique rurale »

5 – Règles de base de l'hydraulique

Animation : Yan DABROWSKI
Djibouti
du dimanche 23 au jeudi 27 février 2014

Département formation de egis bdpa

CDP_3E 1302