

Travaux dirigé : Dimensionnement le réseau d'assainissement des eaux usées

1-Objectif de l'exercice :

Déterminer les dimensions de conduites à l'aide de la méthode rationnelle et avec la méthode du calcul hydraulique.

Questions :

Vous proposez un projet d'assainissement d'un réseau eau usée dans un quartier. On vous demande de répondre aux questions suivantes :

Question 1. Calculer le diamètre des conduites . Pour chaque conduite vérifier que la vitesse minimale pour l'auto-curage est respectée. Si ce n'est pas le cas, proposer une solution permettant de satisfaire cette contrainte.

Question 2. Calculer le diamètre de la conduite et la vitesse de l'écoulement de l'eau dans le tuyau . Contrôler le dimensionnement avec la méthode du débit de l'assainissement.

2 -Calcul hydrologique

2.1 Méthode rationnelle

La méthode rationnelle est une des méthodes les plus simples et les plus utilisées en hydrologie.

Elle permet de calculer le débit de pointe à l'exutoire d'un bassin versant à partir de l'intensité maximale de la pluie de projet retenue.

Elle est basée sur la formule (Marc Satin, 2006):

$$Q_p = \frac{1}{3,6} C.i(t_c).A$$

Q_p : débit de pointe (m³/s)

C : coefficient de ruissellement (sans dimension)

$i(t_c)$: intensité de pluie pour le temps de concentration (mm/h)

t_c : temps de concentration du bassin versant considéré (mn)

A : surface du bassin versant (km²)

En générale la méthode rationnelle est recommandée pour des petites surfaces drainantes fortement imperméabilisées tels que des parkings, et les chaussées s'écoulant dans des bouches d'égout ou des gouttières (Hydrologie générale de V. Ann, 2008).

L'intensité de la précipitation est calculée par la formule adoptée par la Municipalité pour la construction des pluies de projet (voir III.2), pour la fréquence de retour considérée (2ans, 5 ans ou 10 ans).

2.2 Temps de concentration

Le temps de concentration est le temps écoulé entre le début d'une précipitation et l'atteinte du débit maximal du bassin versant. Il correspond au temps nécessaire pour permettre à l'eau de ruisseler du point le plus reculé du bassin versant jusqu'à l'exutoire.

Ce paramètre reflète généralement assez bien les caractéristiques des bassins versants ; il est calculé à partir de sa longueur et de sa pente caractéristique. La formule la plus utilisée pour le calculer est la formule de Kirpich :

- **Méthode Kirpich**

Méthode Kirpich est une méthode simplifiée qui peut être utilisée pour estimer le temps de concentration sur des petits bassins versants agricoles ou urbanisés dont la superficie varie entre 0,40 ha et 81 ha. Le temps de concentration est calculé à partir de la formule suivante [1]:

$$t_c = 0,0195.L^{0,77} .I^{-0,385}$$

Ou $t_c=0,0195.k^{0,77}$ Tel que $k=(L/I)^{0,5}$

t_c : temps de concentration (mn)

L : longueur du bassin versant (m)

I : pente caractéristique du bassin versant (m/m)

Cette méthode permet donc de calculer le débit de pointe à l'exutoire de chaque sous bassin versant, dans le cas le plus défavorable.

2.3-Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement est le rapport du volume d'eau, qui ruisselle de cette surface, au volume d'eau tombé sur elle. Les aires drainées sont décomposées en aires partielles (toitures, chaussées, etc.) auxquelles les coefficients élémentaires suivants sont appliqués :

| Surface ruisselée | Coefficient de ruissellement |
|--|------------------------------|
| -Surface totalement imperméabilité (Toitures, chaussées et trottoirs modernes) | 0.9 |
| -Pavage à larges joints | 0.6 |
| -Voies en macadam non goudronné | 0.35 |
| -Voies en gravier | 0.01 à 0.25 |
| -Surfaces boisées | 0.05 à 0.20 |

3-calcul hydrologique

➤ Données pluviométriques

Intensité de la pluie pour le calcul hydrologique a été adoptée par la Municipalité de Phnom Penh le 23 octobre 2004 :

| Période de retour (années) | Intensité pluvieuse maximale en fonction de la durée de pluie (mm/h) | Niveaux de pluie cumulés (mm) | |
|----------------------------|--|-------------------------------|-----------|
| | | 3 heures | 24 heures |
| 2 | $i=3500.(t+25)^{-0.96}$ | 63 | 77 |
| 5 | $i=4800.(t+30)^{-0.97}$ | 80 | 97 |
| 10 | $i=6000.(t+35)^{-0.98}$ | 93 | 113 |

Lorsqu'une aire d'apport est composée de plusieurs aires élémentaires $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$, ayant des coefficients C différents $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$; on calcule le coefficient C global à l'aide de l'équation ci-dessous :

$$C_g = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + \dots + C_n A_n}{A}$$

$$C_g = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{A}$$

(2)

La méthode peut toutefois être utilisée sans décomposition en aires élémentaires en utilisant les coefficients moyens suivants :

| Surface ruisselée | Coefficient de ruissellement |
|-----------------------|------------------------------|
| Habitation très dense | 0.9 |
| Habitation dense | 0.6 à 0.7 |

| | |
|----------------------------|------------|
| Habitation moins dense | 0.4 à 0.5 |
| Quartiers résidentiels | 0.2 à 0.3 |
| Zones industrielles | 0.2 à 0.3 |
| Squares, jardins, prairies | 0.05 à 0.2 |

3-CALCULS HYDRAULIQUES

3-1-Débit d'écoulement

Les ouvrages seront calculés pour pouvoir transiter les débits pluviaux calculés à partir des données explicitées au-dessus en fonction de la région d'implantation des ouvrages et de la période de retour d'insuffisance retenue.

L'évacuation des eaux pluviales peut être à ciel ouvert ou enterrée. L'écoulement est gravitaire à surface libre.

La formule de base pour calculer les débits de l'écoulement libre est la formule de Manning – Strickler :

$$Q_e = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \times A_1 \quad (3)$$

Où Q_e : Débit d'écoulement en m³/s

S : Pente de la canalisation en m/m

R : Rayon hydraulique en m

n : Coefficient de Manning.

A_1 : Section transversale de l'ouvrage occupée par l'eau en m²

Au calcul des tuyaux d'évacuation, la valeur de n est prise égale à

$$0.013 \text{ si } d \leq 600 \text{ mm}$$

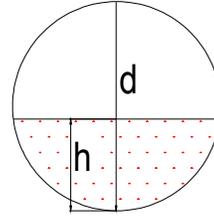
$$0.014 \text{ si } d > 600 \text{ mm}$$

(N. KRÉMÉNÉTSKI et autres, 1984 pages 194)

- **Rayon hydraulique**

Rayon hydraulique est le rapport entre la section transversale de l'ouvrage occupée par l'eau et le périmètre mouillé.

$$R = \frac{A}{P}$$



A cause d'écoulement des eaux pluviales n'est pas complètement circulaire, il est difficile pour calculer les éléments hydrauliques d'écoulement. Donc, pour faciliter on introduit un paramètre appelé taux de remplissage :

$$a = \frac{h}{d} \quad (4)$$

h : hauteur de l'eau dans le conduit

d : diamètre de conduit

D'après ce paramètre on peut calculer Q/Q_{PS} ; V/V_{PS} ; A/A_{PS} en utilisant le graphique au-dessous :

Avec : Q ; V ; A : le débit, la vitesse, et la section transversale à section partielle ; Q_{PS} ; V_{PS} ; A_{PS} : le débit, la vitesse, et la section transversale d'eau à section pleine

Pour tracer cette courbe, la profondeur relative de remplissage a été calculée à plusieurs profondeurs de courant dans un tuyau circulaire en utilisant l'équation de Manning-Strickler :

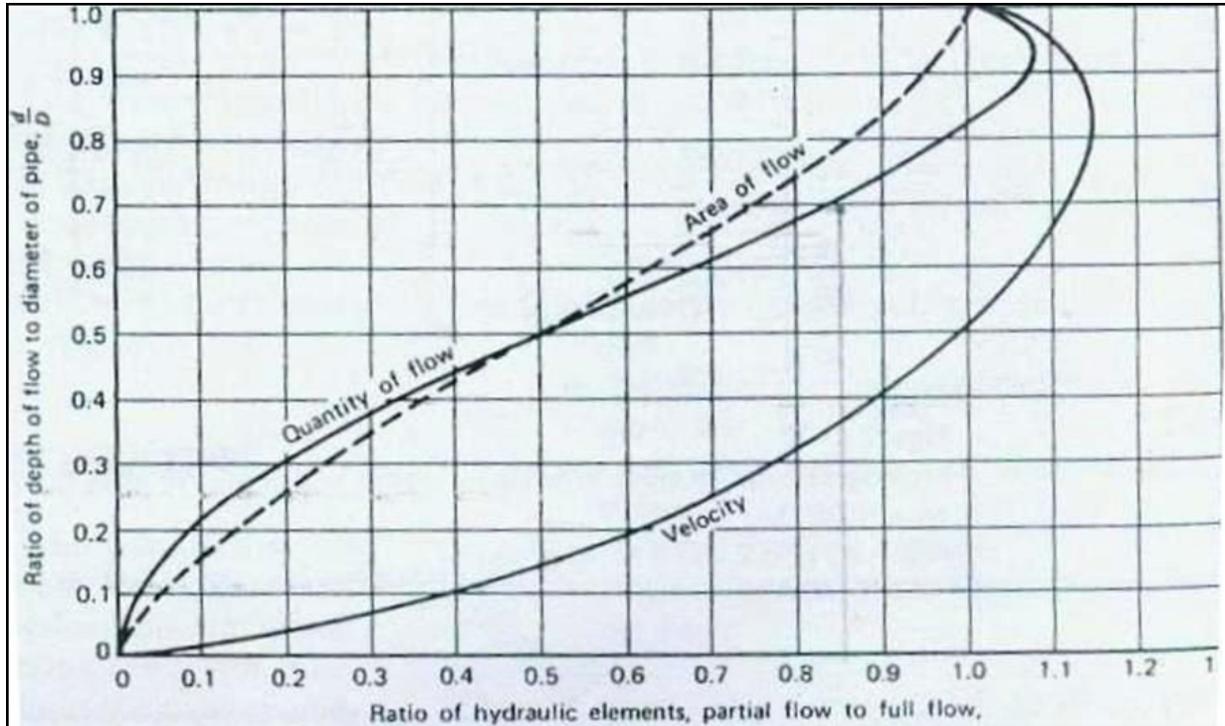


Figure 12 : La courbure de taux de remplissage

Pour dimensionner les canalisations dans les réseaux de drainage tout d'abord on doit choisir le taux de remplissages. Ce valeur ne doit pas passer 0.75 cette condition pour éviter instabilité d'écoulement de l'eau dans les tuyaux. A partir ce valeur on peut déterminer les proportions $Q/Q_{p,s}$ et $V/V_{p,s}$ en utilisant la courbure au-dessus :

On suppose que l'eau s'écoule dans les tuyaux à hauteur 70% de leur diamètre,

Donc : $a = 0.7$, d'après le graphique au-dessus on voit que $Q/Q_{p,s} = 0.8724$; $V/V_{p,s} = 1.1$.

$$Q_{p,s} = Q/0.8724 ; V = 1.1 V_{p,s}$$

Dimensionner les canalisations

D'après la formule de Maning-Srikler :

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} A$$

A section plein

$$R = \frac{D_t}{4} ; A = \Pi \frac{D_t^2}{4} ; n = 0.013$$

$$Q_{p.s} = \frac{1}{0.013} \frac{Q_t^{2/3}}{4} S^{1/2} \frac{D_t^2}{4}$$

$$Q_{p.s} = 23.976 D_t^{8/3} S^{1/2}$$

$$D_t = \left(\frac{Q_{p.s}}{23.976 S^{1/2}} \right)^{3/8} \quad (5)$$

- Avec : $Q_{p.s}$: Débit de l'eau à section plein
 D_t : Diamètre de tuyaux théorique à section plein
 S : pente hydraulique

4-Méthode calcul par le débit

4-1-Débit domestique: Q_d

Pour calculer le débit domestique, il est indispensable de connaître la consommation journalière par personne ainsi que la part des gros consommateurs.

Nous estimons la consommation journalière Q_j à 150 litres par habitant et par jour.

Le débit domestique est donné par la relation:

$$Q_d (l/s) = 10 \times \text{Nbre de ménages} \times 0,8 \times Q_j \times 1.34 (24 * 3600)$$

Une fois le débit domestique calculé, on passe au débit domestique maximal Q_{dmax} en multipliant par le facteur de pointe F_p qui ne doit pas dépasser 4.

$$F_p = 1,742 \cdot X(Q_d)^{-0,1506}$$

$$Q_{d \max} = F_p \cdot X Q_d$$

4.2. Débit parasite : Q_p

En plus des eaux usées domestiques et industrielles, nous avons les eaux d'infiltration et les eaux de captage.

Les eaux d'infiltration sont les eaux parasites d'origine souterraine s'insinuant de façon continue dans le réseau d'égouts par suite d'un dysfonctionnement de ce réseau. Comme défauts on peut noter :

- Joints de mauvaise qualité ;
- Fissures dans les conduites ;
- Mauvaise mise en œuvre des regards,

Les eaux de captage sont des eaux parasites pénétrant dans un réseau d'égouts de façon intermittente, mais surtout en période de pluie, Les eaux de captage peuvent également pénétrer dans le réseau par les trous de levage des tampons (couvercles) des regards situés dans les légers affaissements du terrain et par l'action des populations en période de pluies ou parfois même sur injonction des autorités,

Le débit parasite Q_p se calcule par la formule suivante :

$$Q_p = 0.05 \times Q_{d \max} = Q_{\text{inf}} + Q_{\text{cap}}$$

Avec

Q_{inf} : débit d'infiltration

Q_{cap} : débit de captage

4.3 . Débit sanitaire maximal Q_{max}

On calcule le débit sanitaire maximal par la relation suivante:

$$Q_{\text{max}} = Q_{d \max} + Q_p$$

4.4. Débit pleine section Q_{ps} et vitesse pleine section V_{PS}

Pour calculer Q_{ps} , on a besoin de connaître pour chaque tronçon :

- La pente J
- Le coefficient de rugosité K_s
- Le diamètre de la conduite : D

$$Q_p = \frac{\pi \cdot K_s \cdot D^{8/3} J^{1/2}}{4^{5/3}}$$

La vitesse pleine section se calcule par la formule :

$$V_{PS} = \frac{4 Q_{PS}}{\pi D^2}$$

4.4. Capacité d'autocurage du réseau

Un réseau d'eau usée en système séparatif doit être répondre aux conditions d' autocurage suivantes :

- A demi section c'est- à-dire $h/D = 0.5$, les canalisations doivent assurer une vitesse d'écoulement minimale de 0.5 à 0.7m/s ;

- Pour un remplissage de la conduite de 20% correspondant à $h/D= 0.2$, la vitesse d'écoulement minimale admise est de 0.3m /s.Pour vérifier ces conditions, connaissant Q_{PS} et V_{PS} à l'aide du figure 12 ci-dessus, on calcule V et Q pour $h/D = 0.5$ et $h/D= 0.2$.

Données :