

## Conception des égouts pluvial et sanitaire

- Introduction
- Calcul du débit de projet pour le pluvial
  - Méthode rationnelle
  - Modèle du réservoir non linéaire
- Calcul du débit de projet pour le sanitaire
- Normes de conception des réseaux
- Applications

# C'est quoi la conception?

## Réseaux mineur Vs majeur

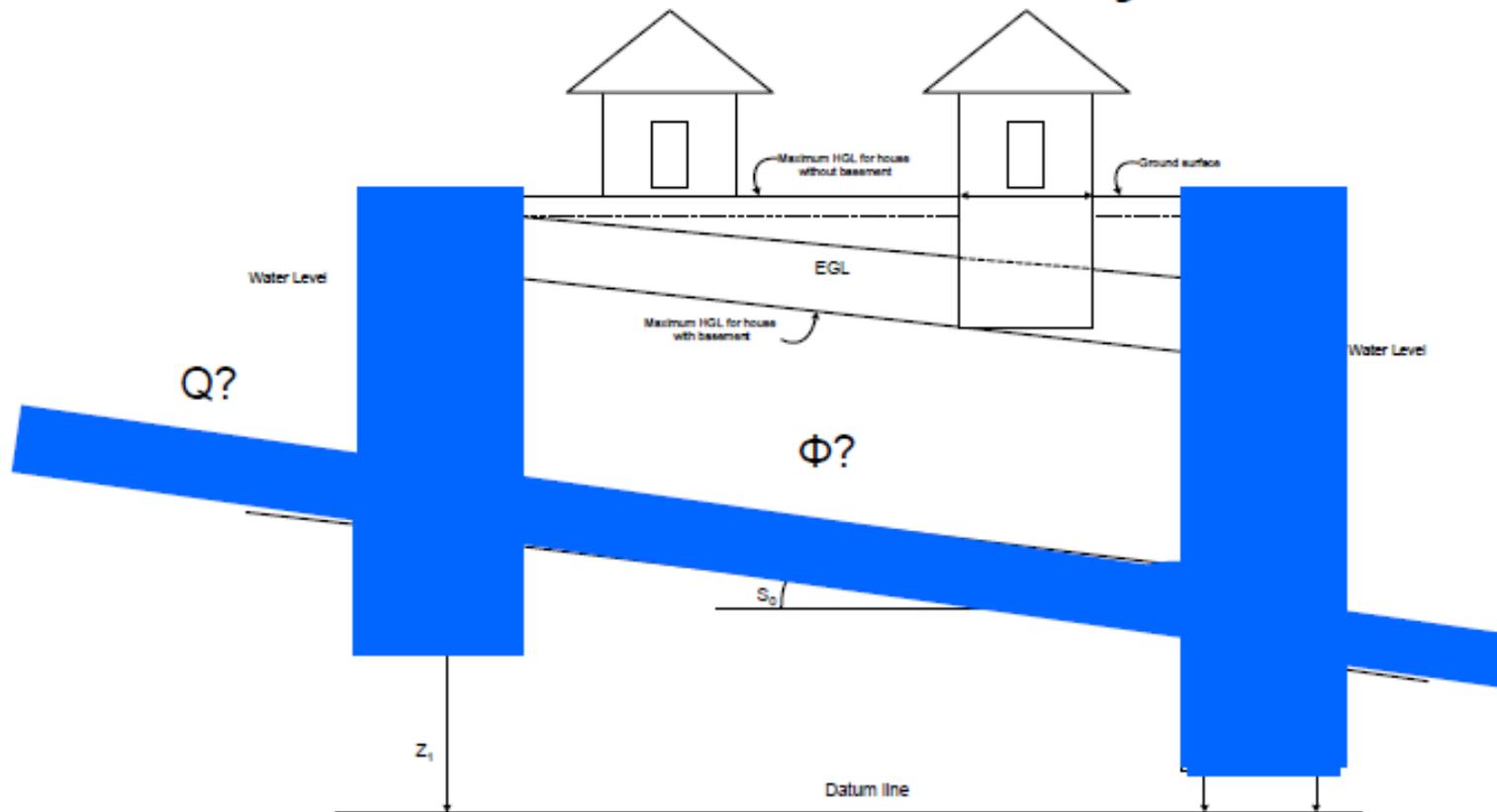


Figure .2 Schématic Representation of the Hydraulic Parameters

# Comment éviter les erreurs du passé?

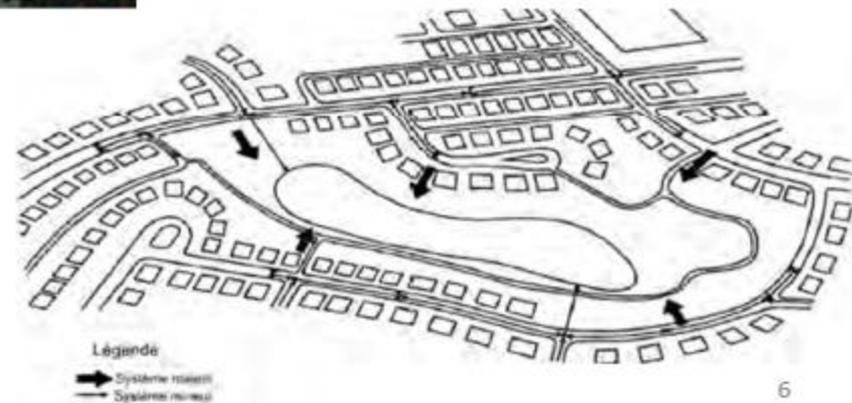
- Intégrer les pratiques de gestion optimales dès la planification du projet d'aménagement
  - Minimiser le ruissellement
  - Maximiser la rétention et l'infiltration à la source

# Comment éviter les erreurs du passé?

- Intégrer le système majeur dans la conception
  - Concevoir le réseau mineur pour drainer une pluie de 2 à 10 ans sans mise en charge;
  - Concevoir le réseau majeur pour drainer une pluie rare d'une période de retour aussi grande que 100 ans sans que le filet d'eau n'atteigne une certaine hauteur et une certaine vitesse.

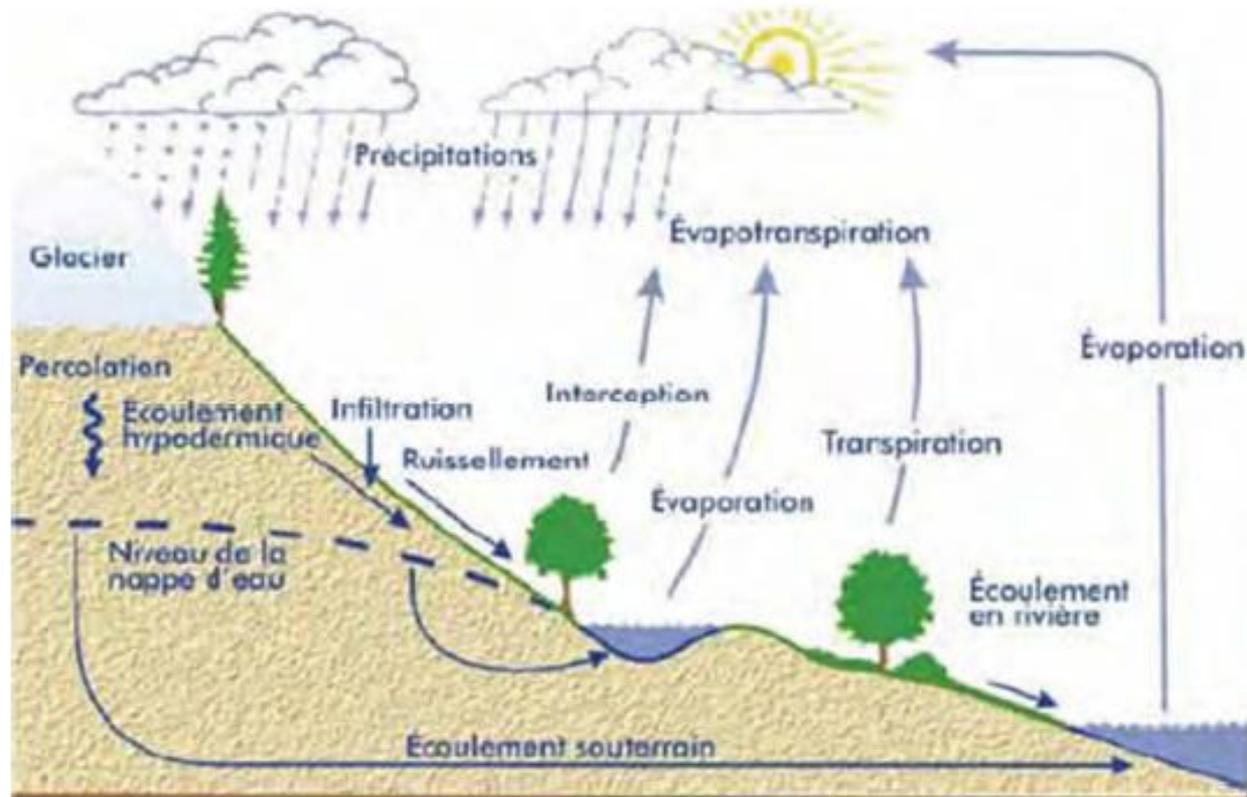
# Aménagement du réseau majeur

MDDEFP(2011)



# Cycle hydrologique

MDDEFP(2011)



# Modélisation des composantes du cycle hydrologique

- Modélisation de la pluie
  - Intensité constante, triangulaire, exponentielle(Chicago)
- Modélisation des infiltrations
  - Coefficient de ruissellement, indice  $\Phi$ , Horton
- Modélisation du ruissellement de surface
  - Méthode rationnelle, Réservoir non linéaire
- Modélisation des écoulements en conduites
  - Ondes cinématique et dynamique
- Modélisation de la rétention en bassin

# Transformations pluie-débit : la méthode rationnelle

$$Q = k \cdot \underline{C} \cdot \underline{I} \cdot \underline{A}$$

Q est le débit de pointe en m<sup>3</sup>/s (ou en pi<sup>3</sup>/s en système anglais),

K est un facteur de conversion = 0,0028 ( =1 en système anglais),

C est le coefficient de ruissellement (compris entre 0 et 1),

A est la superficie du bassin versant en hectares (en acres en système anglais),

I est l'intensité des précipitations en mm/h, supposée constante et uniforme sur tout le bassin durant toute la durée de la pluie ( en po/h en système anglais).

## Coefficients de ruissellement C

d 'après la nature de la surface

Nature de la surface	Coefficient de ruissellement
Pavage	0,85
Toit	0,85
Gazon :	
plat ( $< 2\%$ )	0,10
moyen (2 à 7%)	0,15
pente raide ( $> 7\%$ )	0,20

## Coefficients de ruissellement C selon le type de district

Type de district	Coefficient de ruissellement
Commercial	0,85
Résidentiel	
unifamilial	0,40
multifamilial	0,70
banlieue	0,35
Édifices à logements	0,70
Industriel	0,75
Parcs et cimetières	0,20
Terrains de jeux	0,20
Terrains vagues	0,20

Coefficient de ruissellement pondéré pour n zones

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

# Courbes Intensité - durée - fréquence (courbes IDF)

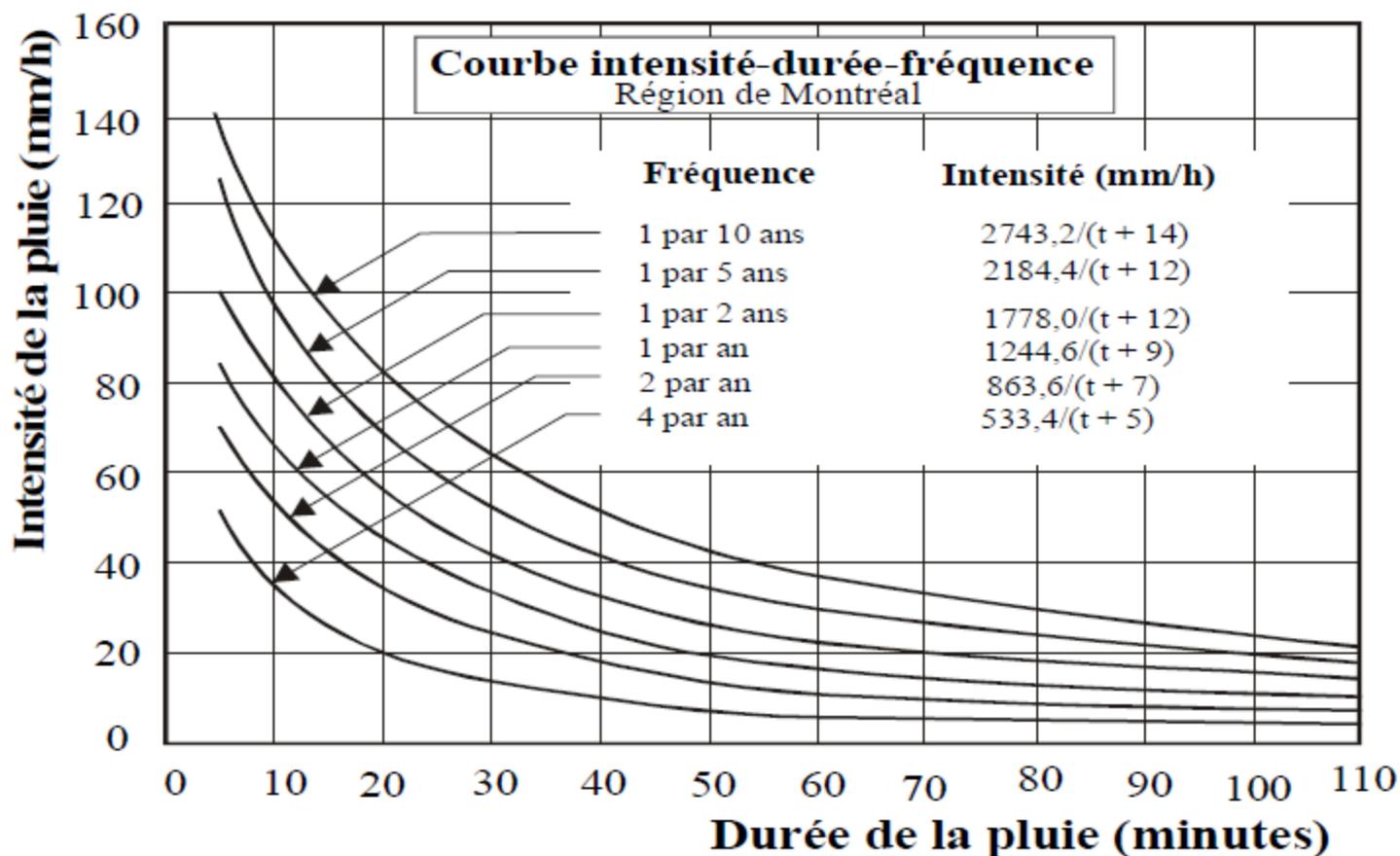
Formule de Grisollet  $i(t,T) = \frac{A(T)}{t+B(T)}$

Formule de Montana  $i(t,T) = A(T)t^{B(T)}$

Formule de Keiffer et Chu  $i(t,T) = \frac{A(T)}{t^{B(T)} + C(T)}$

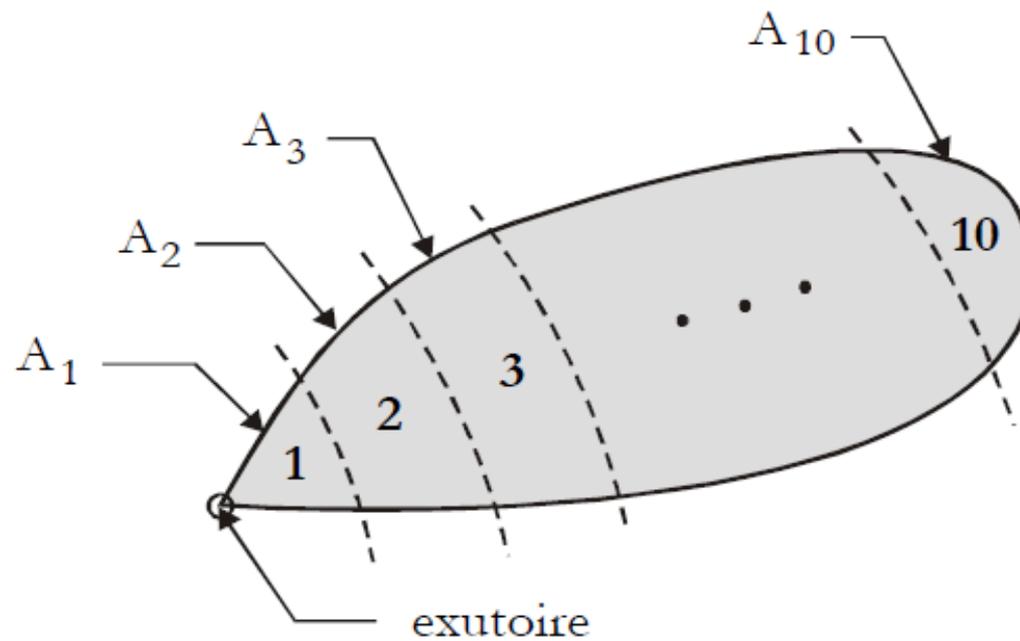
# Courbes IDF

## région de Montréal



Tiré de: Mitci, C., "Nouvelles courbes de pluie et orage type pour la région de Montréal", *Eau du Québec*, vol.7, no 1, 1974, p.37-44 15

## Illustration de la méthode rationnelle par les zones isochrones



**Exemple de formule (FAA) de calcul du temps de concentration  $t_c$**

en minutes en fonction de la longueur de drainage L(m) et la pente s (%)

$K_2=3.26$

$$t_c = K_2 \cdot (1,1 - C) \cdot \frac{\sqrt{L}}{S^{0,333}}$$

# Étapes de calcul du débit de projet

- Fixer la période de retour de la pluie de projet selon le type de district
- Délimiter le bassin de drainage dont l'exutoire se trouve à l'entrée de l'égout
- Obtenir toutes les informations utiles pour le calcul de  $T_c$  et  $C$
- Obtenir les courbes IDF pour calculer  $i_T$
- Calculer le débit de projet par la méthode rationnelle ou un modèle de simulation

# Estimation des débits de conception de l'égout sanitaire

## Définitions

- L'égout sanitaire sert à transporter les eaux usées d'une municipalité vers un point de déversement ou vers un point de traitement.
- La capacité d'un égout sanitaire se détermine par une analyse des quantités actuelles et futures des eaux usées.

## *Période de design*

Intervalle de temps pendant lequel la capacité de l'égout doit être adéquate.

La période de design des collecteurs principaux, des intercepteurs et des émissaires se situe entre 25 et 50 ans;

Nous utilisons le débit de pointe à la fin de la période de design considérée comme débit de design.

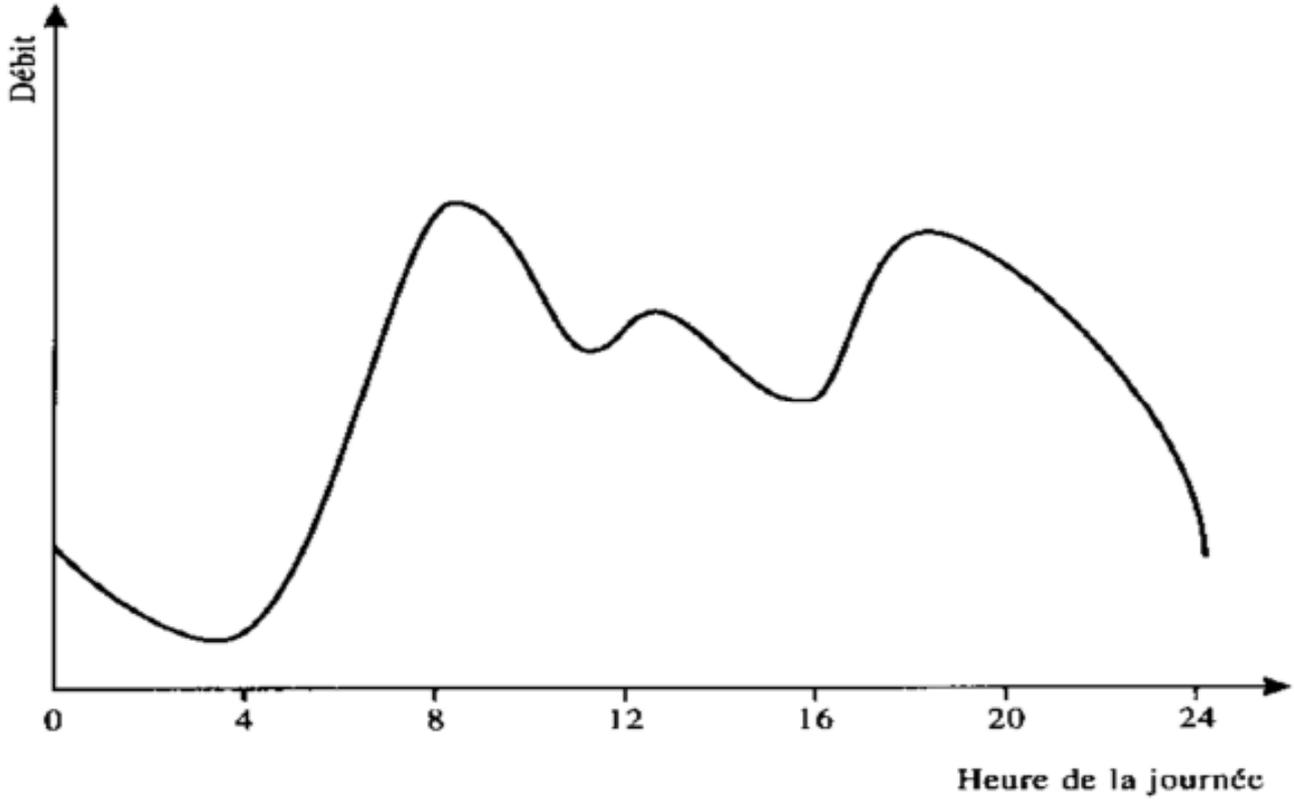
## *Différentes sources de débit dans l'égout sanitaire*

- Débit d'origine domestique
- Débit d'origine industrielle
- Débit d'origine commerciale
- Débit d'origine institutionnelle
- Débit d'origine collective
- Débit d'eaux parasites: Infiltration+captage

***Différents débits utilisés dans le design d'un système  
d'égout sanitaire***

- a) le débit journalier moyen,*
- b) le débit journalier minimal,*
- c) le débit journalier maximal,*
- d) le débit horaire maximal ou débit de pointe.*

# VARIATION DANS LE TEMPS DU DÉBIT DOMESTIQUE



**DÉBIT MOYEN D'EAUX USÉES D'ORIGINE DOMESTIQUE AU  
QUÉBEC (MDDEP)**

Volume d'eau usée total évacué au cours d'une année

365 jours × nombre de personnes desservies

Varie de 200 à 225 l/personne/jour

Majorée à 320 l/personne/jour  
pour inclure certains bâtiments  
(église, petit commerce, poste de  
police,...)

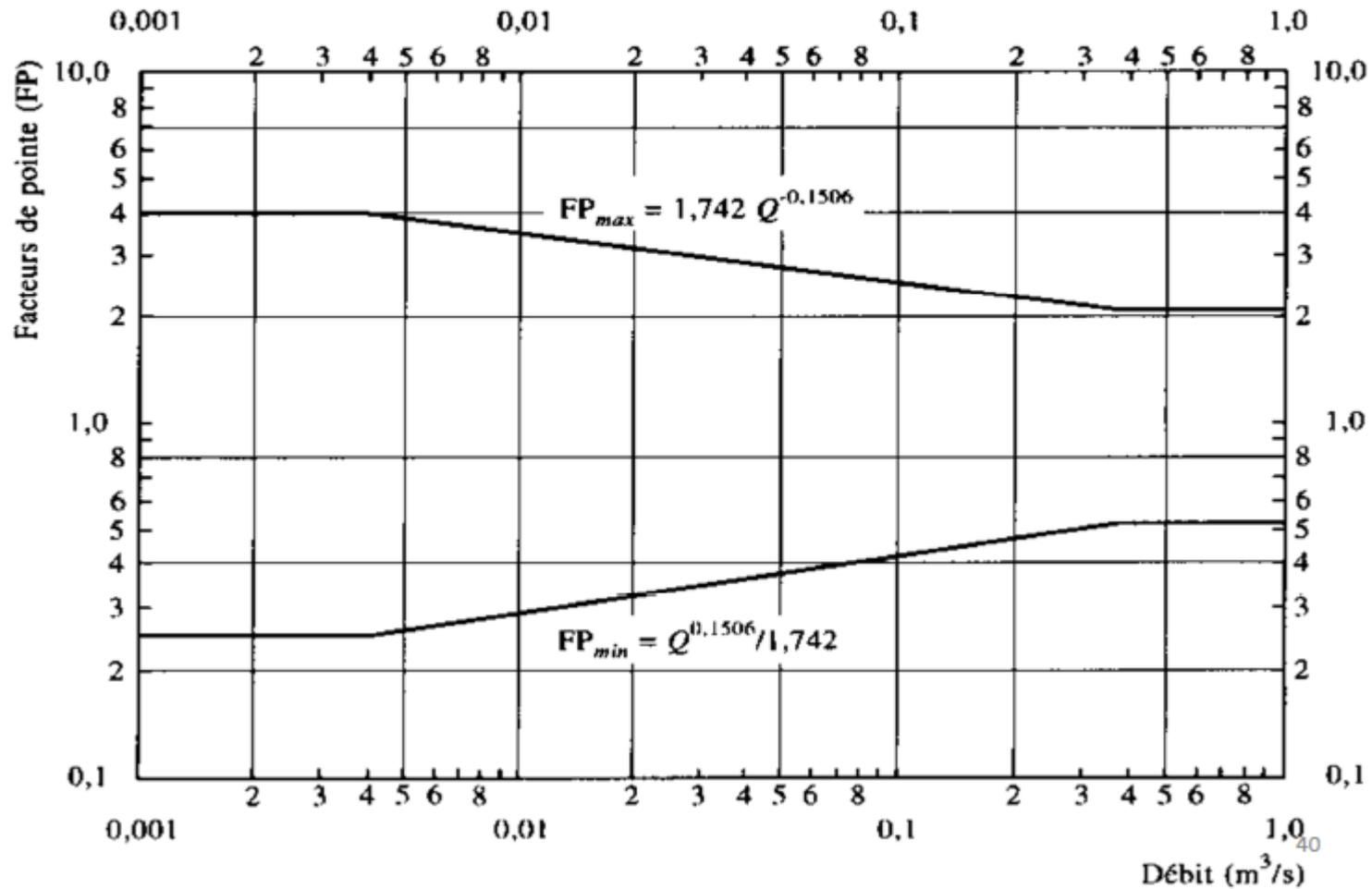
# FACTEURS DE POINTE

- Facteurs par lesquels il faut multiplier le débit domestique moyen pour obtenir les débits maximal et minimal:

	$FP_{\max}$	$FP_{\min}$
$Q < 0,004$	4,0	0,25
$0,004 < Q < 0,4$	$1,742Q^{-0,1506}$	$1/1,742Q^{-0,1506}$
$Q > 0,4$	2,0	0,50

# FACTEURS DE POINTE DOMESTIQUE

(Brière,1997)



## Quantités unitaires rejetées par type d'activité industrielle

<b>TYPE D'ACTIVITÉS</b>	<b>QUANTITÉS D'EAU USÉES REJETÉES</b>	
	<b>Sans recyclage</b>	<b>Avec recyclage</b>
Industrie grosse consommatrice (papeterie, agglomérés)	100 à 500 m <sup>3</sup> /j/ha	20 à 100 m <sup>3</sup> /j/h
Sidérurgie, fonderie, verrerie, mécanique	1 m <sup>3</sup> /t de produits	
Industries moyenne	40 m <sup>3</sup> /j/ha	10 m <sup>3</sup> /j/ha
Ateliers, artisanat	20 m <sup>3</sup> /j/ha	
Entrepôts	10 m <sup>3</sup> /j/ha	
Blanchisserie	2 m <sup>3</sup> /kg de linge	
Sucrierie	6m <sup>3</sup> /t betteraves 50 l/kg de sucre	1.5 m <sup>3</sup> /t betteraves 10 l/kg de sucre
Distillerie	5 à 10 m <sup>3</sup> /t produits	1 à 5 m <sup>3</sup> /t produits
Brasserie, cidrerie, vinification	1 à 2 l/l de boisson	
Laiterie	4 à 20 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> de lait	2 à 10 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> de lait
Fromagerie	5 l/l de lait	
Conserverie, légumes	10 à 50 l/kg traité	
Élevage chevaux, bovidés, porcs	5 à 10 l/tête/j	
Élevage moutons	1 l/tête/j	
Tannerie	40 m <sup>3</sup> /t de peau brute	10 m <sup>3</sup> /t de peau brute
Abattoir	0.5 à 2 l/kg de viande 40 m <sup>3</sup> /tête bétail 5 à 20 m <sup>3</sup> /carcasse	

## Débits institutionnels

Origine	Unité	Débit, l/unité/jour
Hôpital médical	Lit	650
	Employé	40
Hôpital mental	Lit	400
	Employé	40
Prison	Stagiaire	450
	Employé	40
Maison de repos	Pensionnaire	350
	Employé	40
École (externat)	Étudiant	
(1) Cafétéria, gymnase et douches		80
(2) Cafétéria seulement		60
(3) Sans cafétéria		40
École (pensionnat)	Étudiant	280

## Débit des eaux usées commerciales

Origine	Unité	Débit, l/unité/jour
Aéroport	Passager	10
Garage	Vehicule	40
	Employe	50
Bar	Client	8
	Employe	50
Hôtel	Client	190
	Employe	40
Edifice commercial	Employe	55
Magasin	Toilette	2000
	Employe	40
Maison de chambres	Resident	150
Restaurant	Repas	10
Edifice a bureaux	Employe	55
Motel	Personne	120
Motel avec cuisine	Personne	200
Buanderette	Machine a laver	2200

## Eaux usées récréationnelles

Origine	Unité	Débit, l/unité/jour
Logement (villégiature)	Personne	220
Cabine (villégiature)	Personne	160
Restaurant	Client	20
	Employé	40
Salle à dîner	Repas	30
Hôtel (villégiature)	Personne	200
Club de golf	Membre présent	400
	Employé	50
Buanderette	Machine à laver	2200
Magasin	Client	10
	Employé	40
Piscine	Client	40
	Employé	40
Cinéma	Siège	10

## eaux parasites =Captage+infiltration

- Infiltration: pénètre en tout temps dans le réseau à travers joints et défauts (nappe)
- Captage :composante qui entre en temps de pluie (drain de fondation, égout pluvial, fossé,...)

# Débit d'infiltration

- Pour un réseau neuf, la norme prescrit 18.5 L/mm.km.j
- Pour les anciens réseaux ,elle est bien supérieure
- les réseaux construits avant 1978 sont plus problématiques
- Dans la phase de projet l'infiltration ultime est estimée à 60l/pers.j

# EAUX USÉES SANITAIRES

- Débits maximal et minimal sanitaires

- débits maximaux sanitaires

$$(Q_{\text{san}})_{\text{max}} = (Q_{\text{dom}})_{\text{moy}} \times \text{FP}(\text{max}) + Q_{\text{inf}} + Q_{\text{capt}}$$

- débits minimaux sanitaires

$$(Q_{\text{san}})_{\text{min}} = (Q_{\text{dom}})_{\text{moy}} \times \text{FP}(\text{min}) + Q_{\text{inf}}$$

- où

- $Q_{\text{inf}}$  = débit d'infiltration
- $Q_{\text{capt}}$  = débit de captage

Le calcul du diamètre d'un égout dépend de:

- Débit de conception
- Pente au sol
- Matériau
- Diamètres standards disponibles
- Diamètre minimal exigé
  - (200mm → Sanitaire et 300mm → Pluvial)
- Diamètres amonts

Le calcul du diamètre d'un égout dépend de:

- Débit de conception
- Pente au sol
- Matériau
- Diamètres standards disponibles
- Diamètre minimal exigé
  - (200mm → Sanitaire et 300mm → Pluvial)
- Diamètres amonts

## ***Profondeur de pose d'une conduite***

Autant que faire se peut, une conduite d'égout pluvial et sanitaire doit se trouver à une profondeur suffisante pour que tous les écoulements qui y parviennent se fassent par gravité.

Il faut aussi que la conduite ait une profondeur suffisante pour prévenir le gel et réduire l'impact des charges vives.

## ***Profondeur de pose d'une conduite (suite)***

- Pour drainer les sous-sols des maisons la couronne des conduites doit être à au moins 2 mètres sous la surface du sol;
- La profondeur de gel varie entre 0 et 4 mètres selon la région (1.8m à Montréal)
- La transmission de la charge vive se calcule en fonction de la profondeur (1m par défaut)

# Pente de la conduite

- À priori la pente de la conduite sera la même que la pente au sol pour minimiser les couts d'excavation et respecter partout la profondeur d'enfouissement;
- Si toutefois la pente au sol est trop forte ou trop faible un ajustement de la pente s'impose pour respecter les vitesses maximale ou minimale.

## ***Vitesses minimales***

- Vitesse minimale: 0.6 m/s (sanitaire) et 0.9 m/s (pluvial) de telle sorte que la conduite d'égout coulant pleine ou à moitié pleine soit autonettoyante. Ceci établit la pente.

## ***Vitesses maximales***

- Vitesse maximale : 3m/s (4.5 m/s) pour éviter l'érosion (10 à 15 pi/s).
- La contrainte de respecter la vitesse maximale est moins impérative que celle de la vitesse minimale.

## *Profondeur de l'écoulement pour le débit de design*

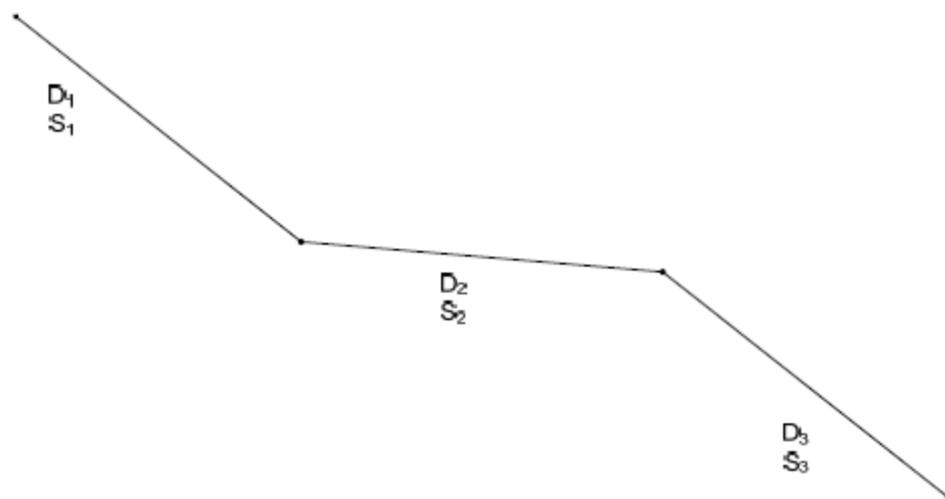
- Une conduite d'égout pluvial est conçue pour couler pleine et non en charge pour le débit de design.

## ***Profondeur de l'écoulement pour le débit de design***

- Pour faciliter la ventilation et prévenir la formation de sulfure d'hydrogène, une conduite d'égout sanitaire ne doit pas couler pleine.
- Le design d'une conduite d'égout sanitaire se base sur un débit de pointe qui coule dans une conduite d'à moitié pleine à pleine ( $y/d=0.67$  pour  $Q_d$ ).

# Progression des diamètres

- Au fur et à mesure que l'on se déplace vers l'aval les diamètres doivent augmenter au gré du débit ou à la limite rester constants mais ne jamais diminuer.
  - Même si  $Q = \text{Constante}$      $S_1 = S_3 > S_2$      $D_3 \geq D_2 \geq D_1$



## Progression des couronnes

- La couronne de la conduite qui part d'un regard doit être plus basse ou égale à toutes les couronnes qui arrivent au regard.
- Il est parfois pratique de relier les conduites par leur centre ou par la continuité de la profondeur à 85%

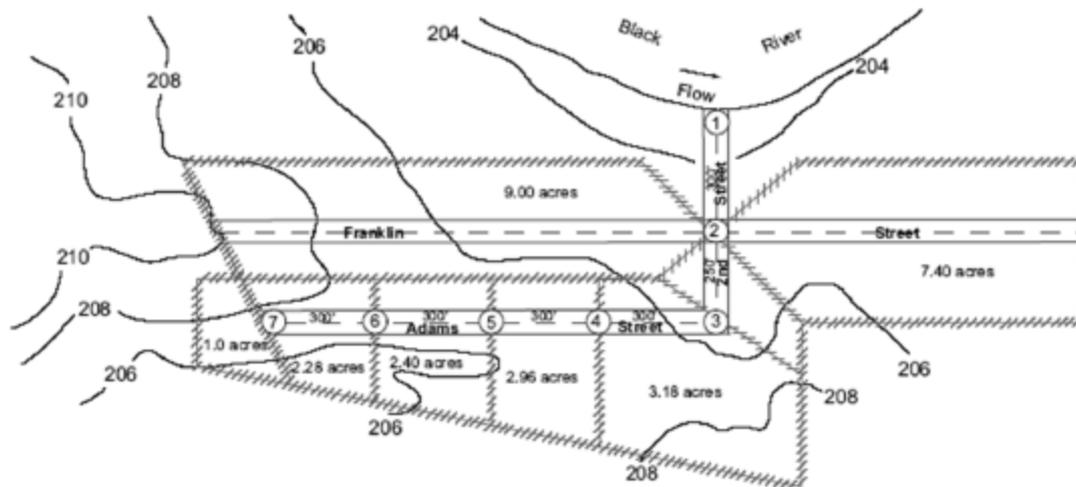
Pour faire la conception ,il faut tenir compte des normes suivantes de design:

- a) Vitesse minimale pour l'auto nettoyage;
- b) vitesse maximale: la vitesse pour  $Q_d \leq V_{max}$ ;
- c) diamètre minimal:  $D_j \geq D_{min}$ ;
- d) diamètre maximal:  $D_j \leq D_{max}$ ;

## Normes (suite)

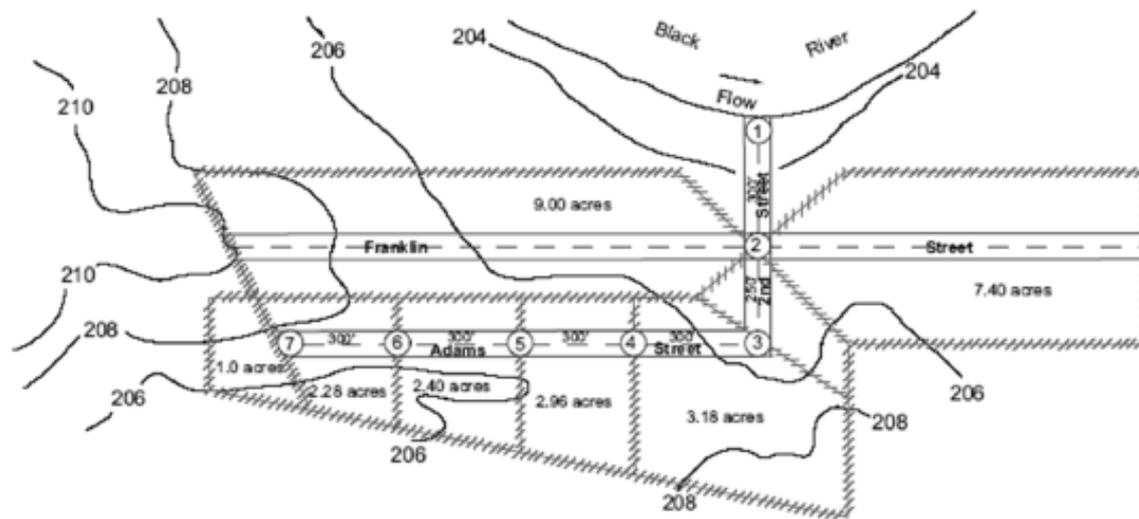
- e) progression des diamètres:  $D_i \geq$  au plus grand des diamètres parvenant au noeud  $i$ ;
- f) progression des couronnes: la cote de la couronne de la conduite  $i$  doit être  $\leq$  à la cote minimale des couronnes à l'aval des conduites parvenant en  $i$ ;
- g) couvert minimal: la conduite doit être posée à une profondeur minimale sous la surface du sol.

## ***Procédure de design de l'égout pluvial et sanitaire***



- 1) Tracer un schéma du système d'égout sanitaire ou pluvial . Ce schéma représente une structure arborescente dans laquelle chaque conduite est représentée par un segment de droite dont les extrémités sont numérotées et appelées nœuds.

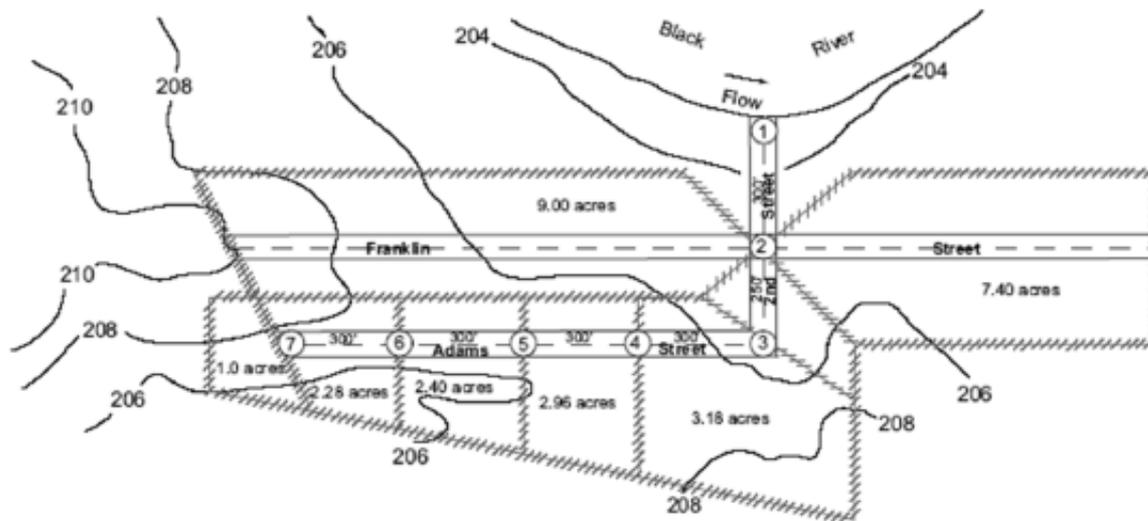
## 2) Localiser et identifier les regards.



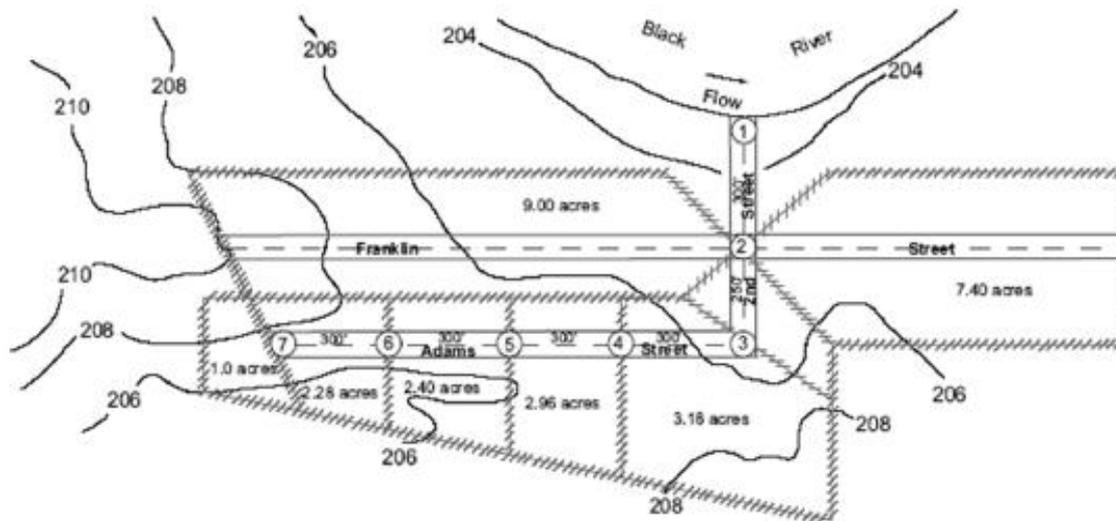
## ***Emplacement des regards***

- les regards sont placés
  - Aux extrémités du réseau
  - Aux intersections de rues;
  - Au changement de diamètre;
  - Changement de pente;
  - Changement de direction.
- La distance maximale entre les regards est:
  - 120m pour les diamètres inférieurs à 900 mm
  - 250m pour les diamètres égaux ou supérieurs à 900 mm

- 3) Délimiter les aires desservies directement par chaque conduite, le temps d'entrée et le coefficient de ruissellement de chaque sous-bassin.



- 4) Mesurer ces aires par planimétrie et les exprimer en hectares (acres).



## Application de la méthode rationnelle à la conception des égouts pluviaux (suite)

- le coefficient de ruissellement se calcule sous la forme de moyenne pondérée :

$$C_{c_j} = \sum_{k \in N_j} \frac{C_k A_k}{A_{c_j}}$$

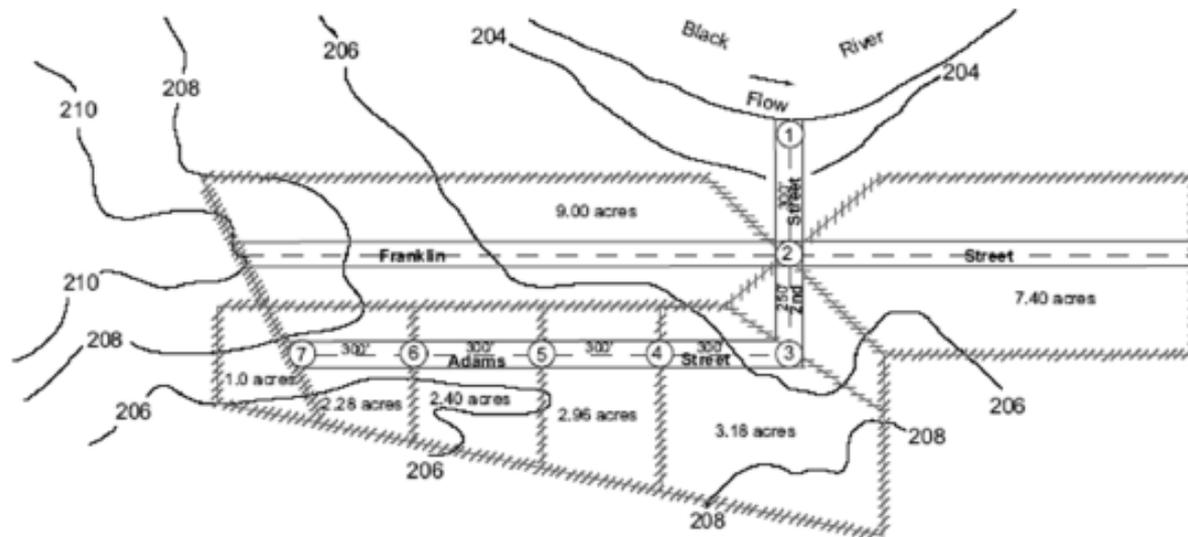
- 
- Considérons la conduite j : son débit de design se calcule à l'aide de :
- 

$$Q_j = C_{c_j} \cdot i(t_{c_j}) \cdot A_{c_j}$$

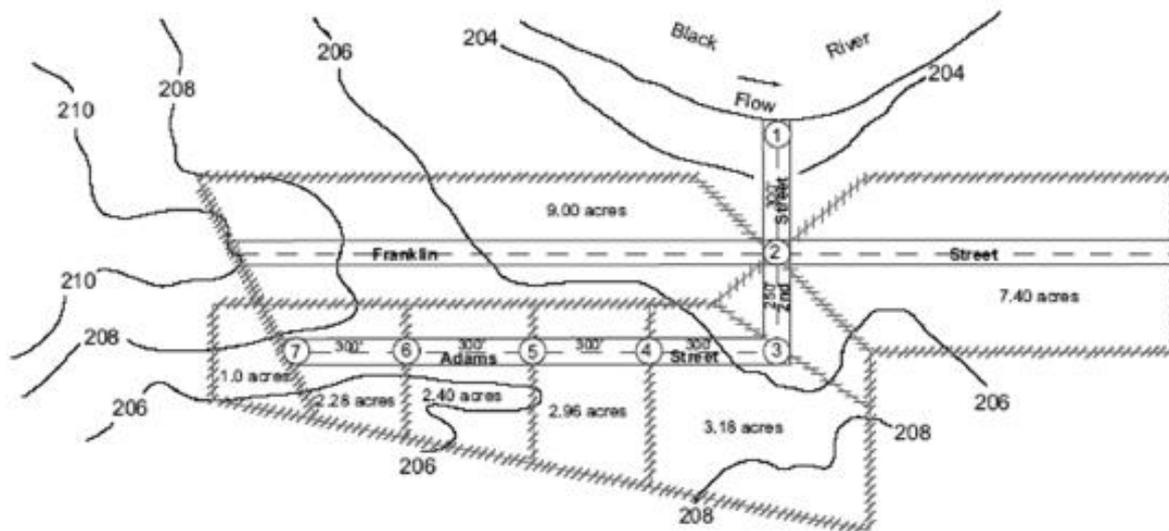
où  $t_{c_j}$  = temps de concentration de  $A_{c_j}$ .

- Ce temps de concentration est la valeur maximale des différents temps d'arrivée en j et du temps d'entrée à j. Tracer un plan et profil du système d'égout pluvial.

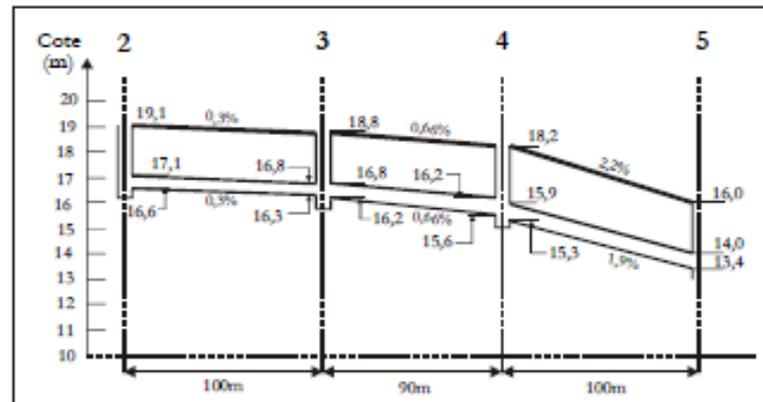
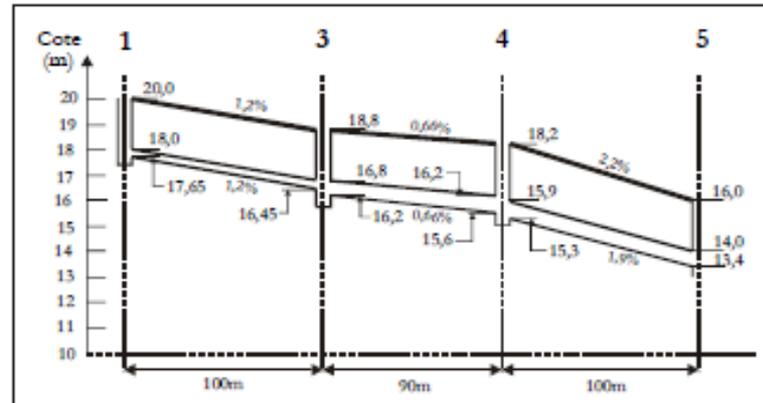
5) En partant de l'amont du système et en se dirigeant vers l'aval, déterminer le débit cumulé à l'amont de chaque conduite.



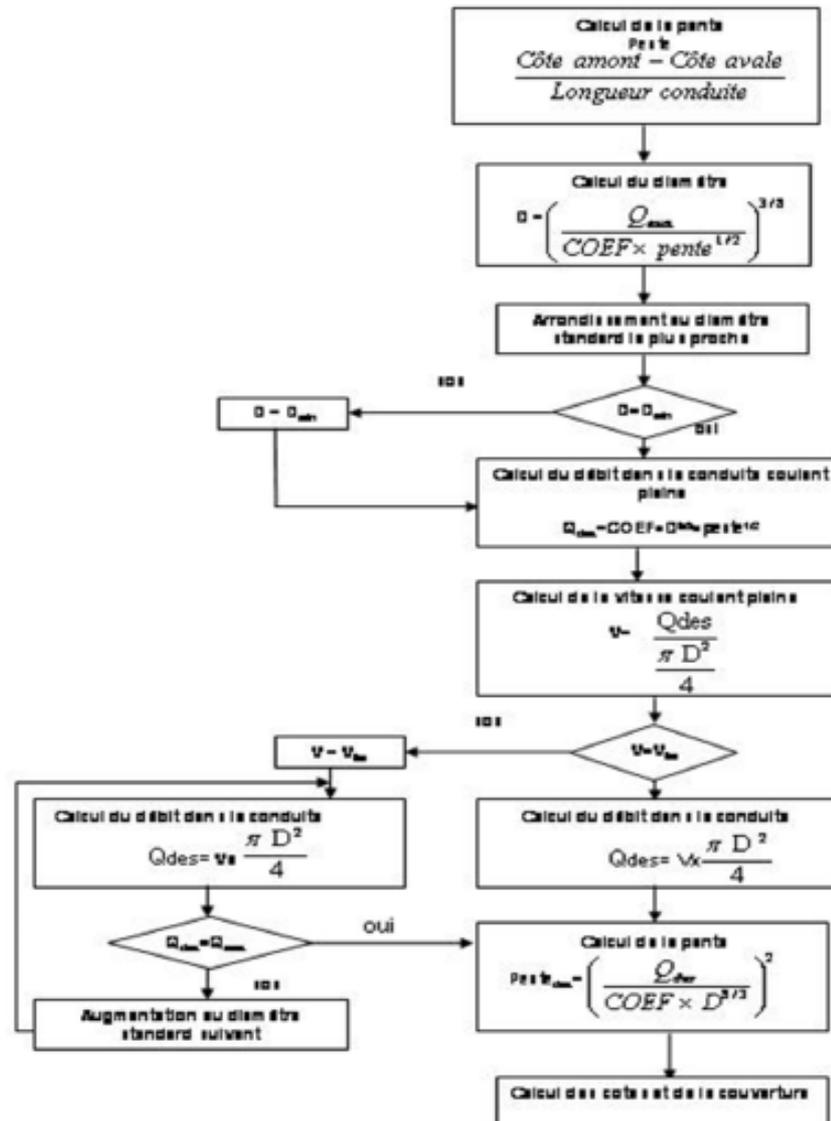
- 6) En partant de l'amont du système et en se dirigeant vers l'aval, faire le design de chaque conduite.



7) Tracer le plan et profil de chaque conduite.

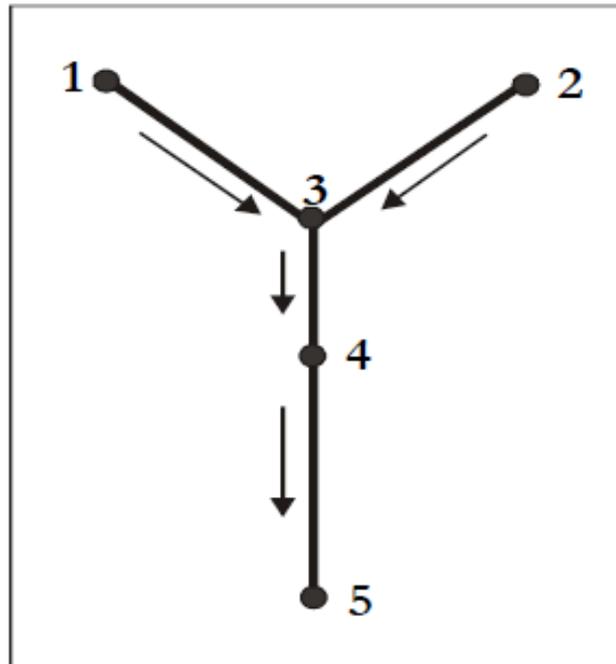


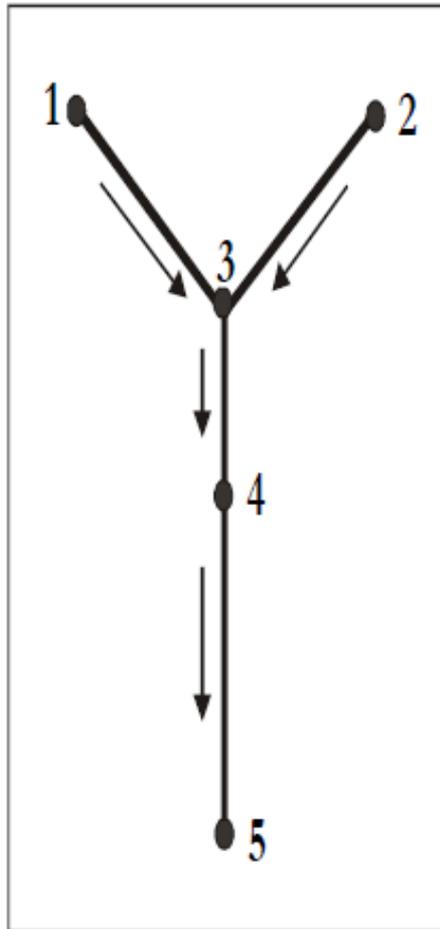
# Procédure de conception d'un égout pluvial



# Courbes I-D-F pluie de projet

$$i = \frac{2184,4}{t+12}$$





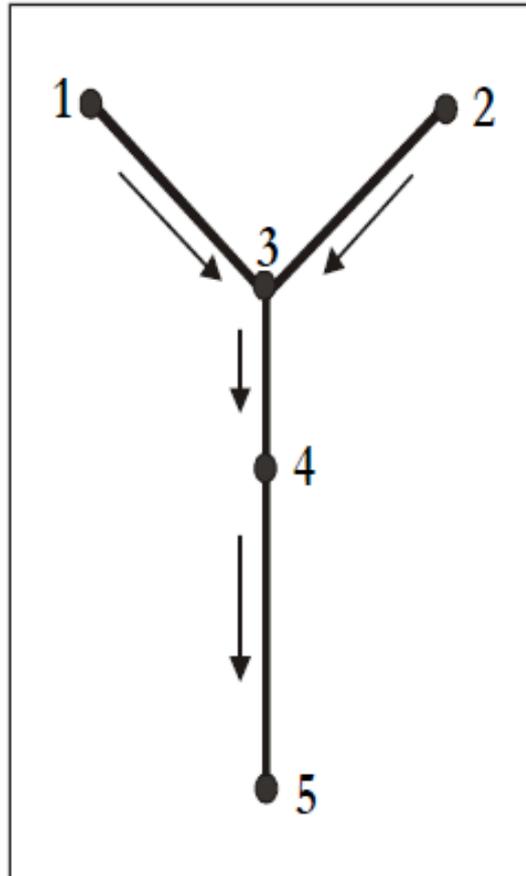
La figure 7 montre schématiquement un réseau d'égout comprenant quatre bassins de drainage situés dans la région de Montréal et quatre conduites pluviales.

La période de retour choisie pour la conception étant de 1/5, on peut utiliser la relation suivante qui décrit la courbe IDF pour cette récurrence :

$$i = \frac{2184,4}{t+12}$$

où  $i$  est l'intensité des précipitations (mm/h) et  $t$  la durée de la pluie en minutes.

## Caractéristiques des bassins de drainage



Noeud	$A_i$ (ha)	$C_i$	$L_i$ (m)	$S_i$ (%)	Cote au sol $Z_i$ (m)
1	1,4	0,48	81	1,0	20,0
2	1,5	0,58	79	1,0	19,1
3	1,3	0,59	78	1,0	18,8
4	1,2	0,60	75	1,0	18,2
5					16,0

Noeud		Longueur de conduite (m)	Coefficient de Manning
i	j		
1	3	100	0,013
2	3	100	0,013
3	4	90	0,013
4	5	100	0,013

## Diamètres disponibles<sup>®</sup>

Le diamètre doit être choisi parmi ceux de la liste suivante (en millimètres) : 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 750, 900, 1050, 1200, 1350, 1500, 1650, 1800, 2100, 2400 et 2700.

# Contraintes

*Quand une conduite coule pleine, les vitesses maximale et minimale d'écoulement sont respectivement :*

$$V_{max} = 3,0m/s \text{ et } V_{min} = 0,9m/s.$$

*La couverture de sol minimale au-dessus de la couronne doit être de 2,0m pour toutes les conduites. Cette profondeur protège les conduites du gel et assure un écoulement gravitaire à partir des sous-sols des maisons.*

### Design de la conduite 1-3

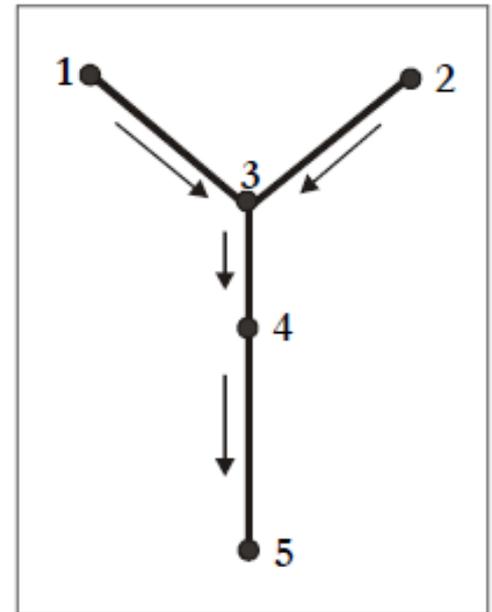
#### - Calcul du temps de concentration

On suppose que le débit de ruissellement pénètre la conduite par son nœud amont.  
Le temps de concentration est le temps d'entrée calculé par la formule :

$$t_e = 3,26 \cdot (1,1 - C_1) \cdot \frac{L_1^{0,5}}{S_1^{0,333}} \quad (4)$$

soit :

$$t_e = 3,26 \cdot (1,1 - 0,48) \cdot \frac{81^{0,5}}{1^{0,333}} = 18,19 \text{ min}$$



#### - Calcul de l'intensité de la pluie de conception

$$i_1 = \frac{2184,4}{t+12} = \frac{2184,4}{18,19+12} = 72,35 \text{ mm/h}$$

#### - Calcul du débit de conception

$$Q_{d_1} = 0,0028 \cdot C_1 \cdot i_1 \cdot A_1 = 0,0028 \cdot 0,48 \cdot 72,35 \cdot 1,4 = 0,136 \text{ m}^3/\text{s}$$

Calcul du diamètre (Données et diam-standard)

$$S_0 = \left( \frac{20 - 18,8}{100} \right) = 0,012 \qquad Q_p = \frac{0,3117}{n} D^{8/3} S_0^{0,5}$$

En écrivant  $Q_p = Q_{dl} = 0,136 \text{ m}^3/\text{s}$  on obtient :

$$D = \left( \frac{0,013 \cdot 0,136}{0,3117 \cdot 0,012^{0,5}} \right)^{3/8} = 0,33 \text{ m}$$

Le diamètre standard supérieur le plus proche est  $D_1 = 0,35 \text{ m}$ .

## Calcul de la vitesse

Le débit de la conduite coulant pleine avec le diamètre standard est :

$$Q_p = \frac{0,3117}{0,013} \cdot 0,35^{8/3} \cdot 0,012^{0,5} = 0,16 \text{ m}^3 / \text{s}$$

La vitesse d'écoulement dans la conduite coulant pleine est :

$$V_p = \frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot D_1^2} = \frac{4 \cdot 0,16}{\pi \cdot 0,35^2} = 1,66 \text{ m/s}$$

Cette vitesse est convenable car elle est inférieure à la vitesse maximale (3m/s) et supérieure à la vitesse minimale (0,9m/s).

# Calcul des radiers

La cote du radier amont de la conduite 1-3 est :

$$M_1 = 20m(Z_1) - 2m(\text{couverture}) - 0,35m(D_1) = 17,65m$$

## Calcul du temps de transport

Le temps de transit à l'intérieur de cette conduite est :

$$\Delta t_1 = \frac{L_1}{V_{p_1}} = \frac{100m}{1,66m/s} = 60s = 1 \text{ min}$$

Ce temps sera utilisé pour calculer le temps de concentration des conduites situées en aval.

## Design de la conduite 2-3

- Calcul du temps de concentration

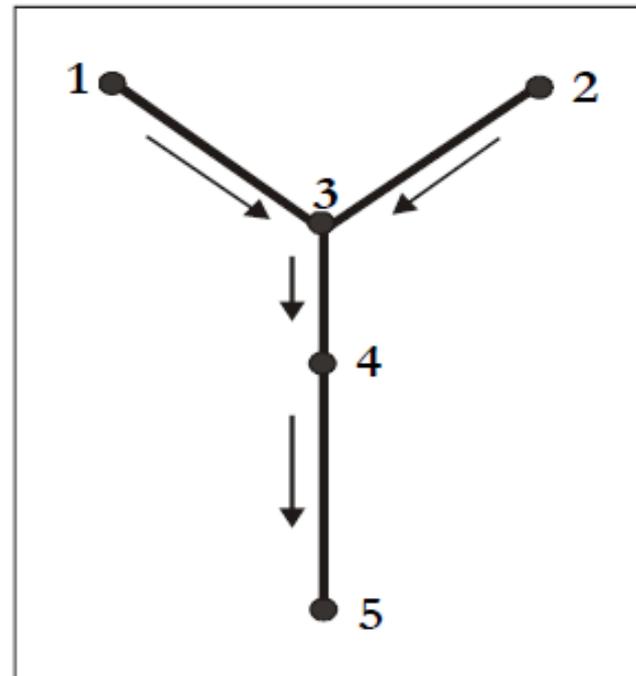
$$t_{c_2} = 3,26 \cdot (1,1 - 0,58) \cdot \frac{79^{0,5}}{1^{0,333}} = 15,06 \text{ min}$$

Calcul de l'intensité de la pluie de design

$$i_2 = \frac{2184,4}{t+12} = \frac{2184,4}{15,06+12} = 80,72 \text{ mm/h}$$

Calcul du débit de conception

$$Q_{d_2} = 0,0028 \cdot C_2 \cdot i_2 \cdot A_2 = 0,0028 \cdot 0,58 \cdot 80,72 \cdot 1,5 = 0,196 \text{ m}^3 / \text{s}$$



### Calcul du diamètre

La pente de la rue est :

$$S_0 = \frac{1,91 - 18,8}{100} = 0,003$$

Le débit de la conduite coulant pleine avec le diamètre standard est :

$$Q_{P_2} = \frac{0,3117}{0,013} \cdot 0,50^{8/3} \cdot 0,003^{0,5} = 0,207 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Le diamètre est :

$$D_2 = \left( \frac{0,013 \cdot 0,196}{0,3117 \cdot 0,003^{0,5}} \right)^{3/8} = 0,49 \text{ m}$$

Le diamètre standard directement supérieur est  $D_2 = 0,50 \text{ m}$ .

# Calcul de la vitesse

La vitesse d'écoulement avec ce débit est :

$$V_{p_2} = \frac{4 \cdot Q_{p_2}}{\pi \cdot D_2^2} = \frac{4 \cdot 0,204}{\pi \cdot 0,5^2} = 1,05 \text{ m/s}$$

Cette vitesse est acceptable car  $0,9 \text{ m/s} \leq V_{p_2} \leq 3 \text{ m/s}$ .

# Calcul des radiers

Les cotes des radiers amont et aval sont respectivement :

$$M_2 = 19,1 - 2,0 - 0,5 = 16,6m$$

$$M_3 = M_2 - L_2 \cdot S_0 = 16,6m - 100 \cdot 0,003 = 16,3m$$

Le temps de transit dans cette conduite est :

$$\Delta t_2 = \frac{L_2}{V_{p_2}} = \frac{100m}{1,05m/s} = 95,2s = 1,58 \text{ min}$$

### Design de la conduite 3-4

Le coefficient C pondéré de la surface contributive totale au nœud 3 est :

$$C_{\text{pondéré}} = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + C_3 A_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{0,48 \cdot 1,4 + 0,58 \cdot 1,5 + 0,59 \cdot 1,3}{4,2} = 0,55$$

Le temps d'entrée pour la surface élémentaire du bassin 3 est :

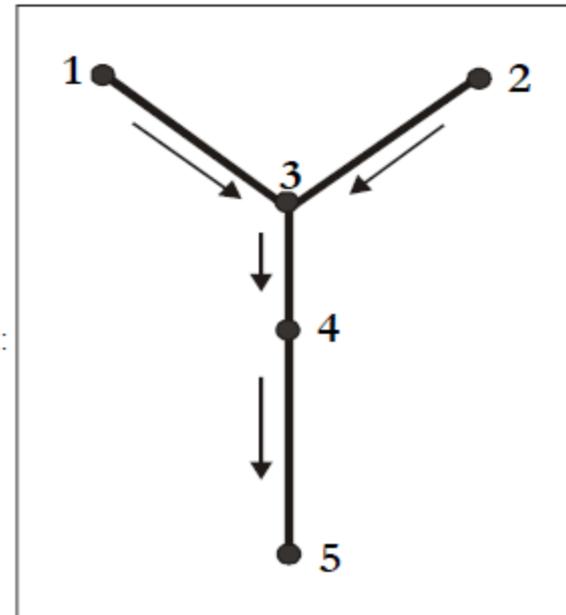
$$t_{e_3} = 3,26 \cdot \frac{(1,1 - 0,59) \cdot 78^{0,5}}{1^{0,333}} = 14,68 \text{ min}$$

Le temps de concentration est le maximum entre les temps suivants :

$$t_c = \text{Max}(t_q + \Delta t_1, t_q + \Delta t_2, t_q) = \text{Max}(18,19 + 1,15, 0,6 + 1,58, 14,68) = 19,19 \text{ min}$$

L'intensité de la pluie de conception est :

$$i_3 = \frac{2184,4}{t+12} = \frac{2184,4}{19,19+12} = 70 \text{ mm/h}$$



## Calcul du diamètre

Le débit de conception est :

$$Q_{d_3} = 0,0028 \cdot 0,55 \cdot 70 \cdot 4,2 = 0,45 \text{ m}^3 / \text{s}$$

La pente de la rue est :

$$S_0 = \frac{18,8 - 18,2}{90} = 0,0066$$

Le diamètre  $D_3$  se calcule alors par :

$$D_3 = \left( \frac{0,013 \cdot 0,45}{0,3117 \cdot 0,0066^{0,5}} \right)^{3/8} = 0,577 \text{ m}$$

Le diamètre standard directement supérieur est  $D_3 = 0,60 \text{ m}$ .

## Calcul de la vitesse

Le débit dans la conduite coulant pleine avec le diamètre standard est :

$$Q_{p3} = \frac{0,3117}{0,013} \cdot 0,6^{8/3} \cdot 0,0066^{0,5} = 0,50 \text{ m}^3 / \text{s}$$

La vitesse dans la conduite coulant pleine est :

$$V_{p3} = \frac{4 \cdot 0,5}{\pi \cdot 0,6^2} = 1,77 \text{ m} / \text{s}$$

Cette vitesse est convenable car  $0,9 \text{ m/s} \leq V_{p3} \leq 3 \text{ m/s}$

Nous vérifions que le diamètre de la conduite 3-4 (0,6m) est bien supérieur aux diamètres des conduites 1-3 (0,35m) et 2-3 (0,5m).

# Calcul des radiers

$$M_3 = 18,8m - 2m - 0,6m = 16,2m$$

$$M_4 = M_3 - 90m \cdot 0,0066 = 15,6m$$

Vérifions que la cote de la couronne amont de la conduite 3-4 n'est pas plus haute que les cotes des couronnes aval des conduites 1-3 et 2-3 :

$$C_{3-4}^{amont} = 16,2m + 0,6m = 16,8m$$

$$C_{1-3}^{aval} = 16,45m + 0,35m = 16,8m$$

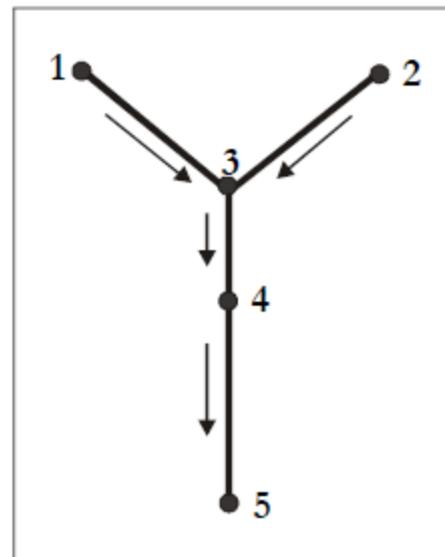
$$C_{2-3}^{aval} = 16,3m + 0,5m = 16,8m$$

Donc O.K. car  $C_{3-4}^{amont} \leq C_{1-3}^{aval}$  et  $C_{2-3}^{aval}$

## Calcul du temps de transport

Le temps de transit dans la conduite 3-4 est :

$$\Delta t_3 = \frac{L_3}{V_{p_3}} = \frac{90m}{1,77m/s} = 50,8s = 0,85min$$



## Design de la conduite 4-5

Le coefficient C pondéré est :

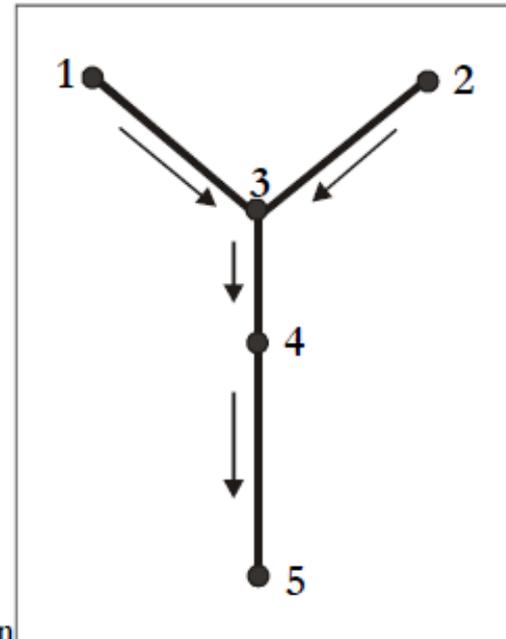
$$C_{\text{pondéré}} = \frac{0,48 \cdot 1,4 + 0,58 \cdot 1,5 + 0,59 \cdot 1,3 + 0,6 \cdot 1,2}{5,4} = 0,56$$

Le temps d'entrée est :

$$t_{e_4} = 3,26 \cdot \frac{(1,1 - 0,56) \cdot 75^{0,5}}{1^{0,333}} = 14,17 \text{ min}$$

Le temps de concentration est le temps maximal suivant :

$$t_c = \text{Max}(t_{e_1} + \Delta t_1 + \Delta t_3, t_{e_2} + \Delta t_2 + \Delta t_3, t_{e_4}) = \text{Max}(20,04; 17,49; 14,17) = 20,04 \text{ min}$$



L'intensité de la pluie de design est :

$$i = \frac{2184,4}{t+12} = \frac{2184,4}{20,04+12} = 68,18 \text{ mm/h}$$

## Design de la conduite 4-5

Le coefficient C pondéré est :

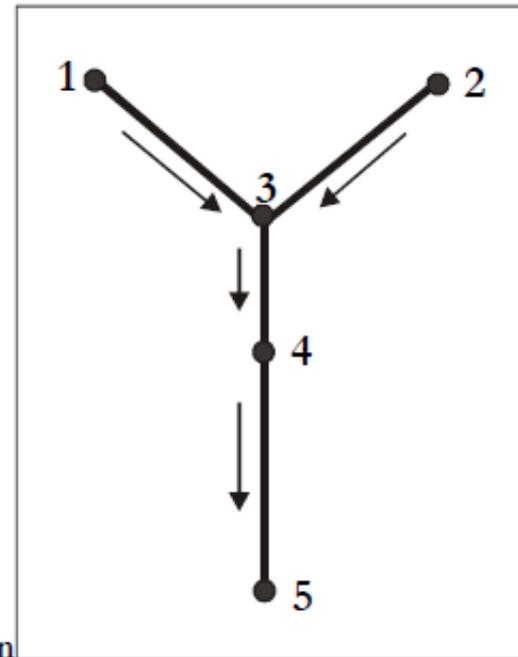
$$C_{\text{pondéré}} = \frac{0,48 \cdot 1,4 + 0,58 \cdot 1,5 + 0,59 \cdot 1,3 + 0,6 \cdot 1,2}{5,4} = 0,56$$

Le temps d'entrée est :

$$t_{e_4} = 3,26 \cdot \frac{(1,1 - 0,56) \cdot 75^{0,5}}{1^{0,333}} = 14,17 \text{ min}$$

Le temps de concentration est le temps maximal suivant :

$$t_{c_4} = \text{Max}(t_{e_1} + \Delta t_1 + \Delta t_3, t_{e_2} + \Delta t_2 + \Delta t_3, t_{e_4}) = \text{Max}(20,04; 17,49; 14,17) = 20,04 \text{ min}$$



L'intensité de la pluie de design est :

$$i = \frac{2184,4}{t+12} = \frac{2184,4}{20,04+12} = 68,18 \text{ mm/h}$$

## Calcul du diamètre

Le débit de conception est :

$$Q_{d_4} = KCL A = 0,0028 \cdot 0,56 \cdot 68,18 \cdot 5,4 = 0,577 \text{ m}^3 / \text{s}$$

La pente de la rue est :

$$S_0 = \frac{Z_4 - Z_5}{L_5} = \frac{18,2 \text{ m} - 16,0 \text{ m}}{100 \text{ m}} = 0,022$$

Le diamètre de la conduite 4-5 est :

$$D_4 = \left( \frac{0,013 \cdot 0,577}{0,3117 \cdot 0,022^{0,5}} \right)^{3/8} = 0,5 \text{ m}$$

Ce diamètre correspond à un diamètre standard.

Comme le diamètre de la conduite 3-4 située en amont est  $D_3 = 0,6 \text{ m}$ , le diamètre  $D_4$  doit être au moins  $D_4 = 0,6 \text{ m}$ .

## Calcul de la vitesse

Calcul du débit de la conduite coulant pleine avec le nouveau diamètre standard :

$$Q_{p4} = \frac{0,3117}{0,013} \cdot 0,6^{8/3} \cdot 0,022^{0,5} = 0,91 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Calcul de la vitesse dans la conduite coulant pleine :

$$V_{p4} = \frac{4 \cdot Q_{p4}}{\pi \cdot D_4^2} = \frac{4 \cdot 0,91}{\pi \cdot 0,6^2} = 3,22 \text{ m/s}$$

Cette vitesse dépasse légèrement la vitesse permise  $V_{\max} = 3 \text{ m/s}$ .

En fixant la vitesse à  $V_{p4} = 3\text{m/s}$ , le débit devient :

$$Q_{p4} = \frac{\pi \cdot D_4^3}{4} \cdot V_{p4} = \frac{\pi \cdot 0,6^3}{4} \cdot 3 = 0,848\text{m}^3/\text{s}$$

La pente de la conduite doit être égale à (équation de Manning) :

$$S_0 = \frac{n^2 Q_{p4}^2}{0,3117^2 \cdot D_4^{16/3}} = \left( \frac{0,013 \cdot 0,848}{0,3117 \cdot 0,6^{8/3}} \right)^2 = 0,019$$

On vérifie que  $Q_{p4} = 0,848\text{m}^3/\text{s}$  est supérieur ou égal au débit de conception  $Q_{d4} = 0,577\text{m}^3/\text{s}$ .

## Calcul des radiers

*Calcul des cotes des radiers :*

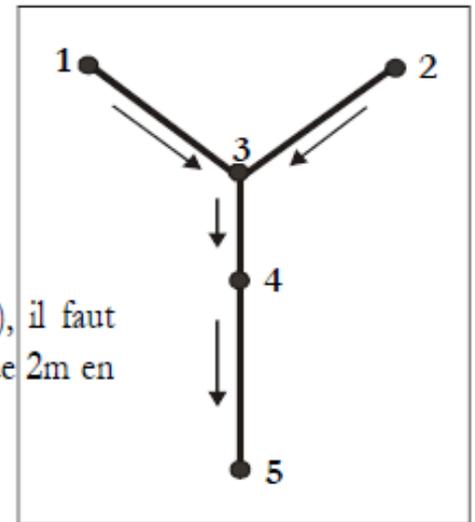
Comme la pente de la conduite 1,9% est plus faible que la pente du sol (2.2%), il faut commencer par calculer la cote du radier aval afin d'assurer que la couverture est de 2m en tout point de la conduite.

La cote du radier aval de la conduite 4-5 est :

$$M_5 = 16m - 2m - 0,6m = 13,4m$$

La cote du radier amont est :

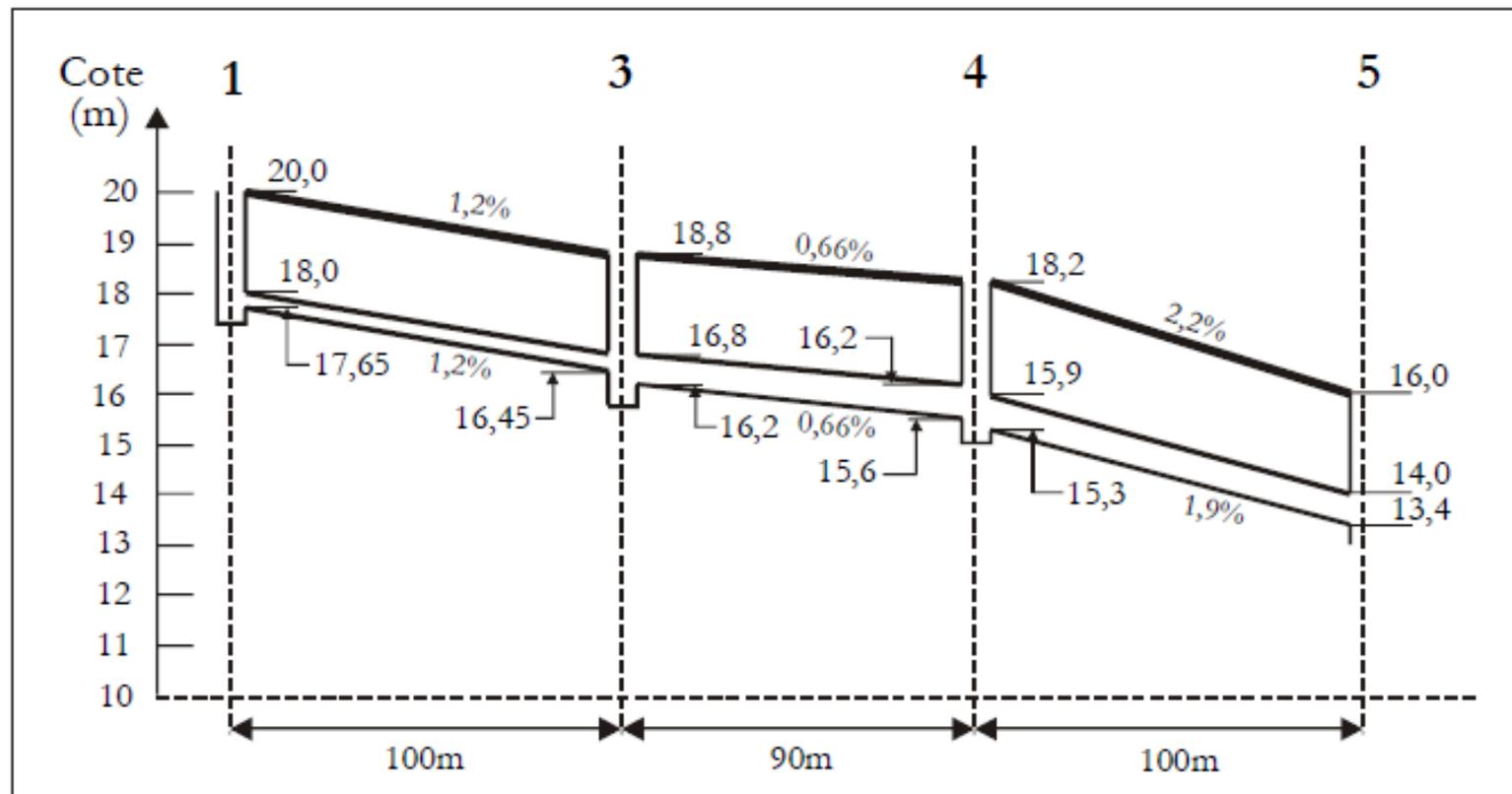
$$M_4 = M_5 + S_0 L_5 = 13,4m + 0,019 \cdot 200m = 15,3m$$



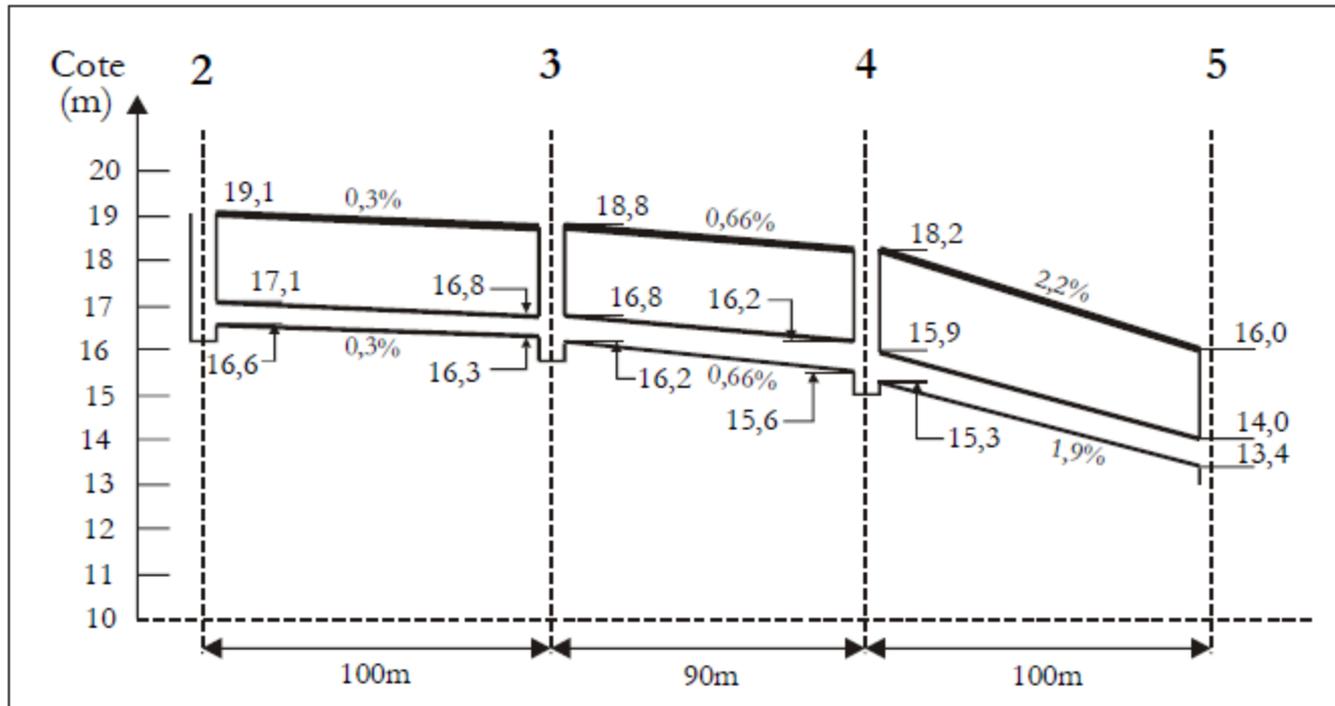
## Différentes cotes de pose des conduites

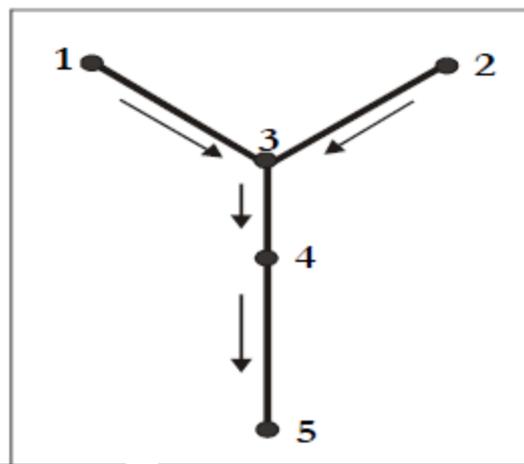
Conduite	Noeuds		Cote du sol (m) amont	Cote du sol (m) aval	Pente du sol (%)	Cote du radier amont (m)	Cote du radier aval (m)
	amont	aval					
1-3	1	3	20	18,8	1,2	17,65	16,45
2-3	2	3	19,1	18,8	0,3	16,6	16,3
3-4	3	4	18,8	18,2	0,66	16,2	15,6
4-5	4	5	18,2	16	2,2	15,3	13,4

# Profil en long des conduites



## Profil en long des conduites





Conduite		Longueur
i	j	$L_{ij}$
1	3	100
2	3	100
3	4	90
4	5	140

Tableau 11.5 Longueur des tronçons

Nœud	Cote z	Surfaces	Densité
i	Z(m)	$A_i$ (ha)	$d_i$ (pers/ha)
1	29.38	30	100
2	29.08	32	100
3	27.86	14	100
4	27.25	8	130
5	26.94	---	---

Tableau 11.6 Cotes, surfaces et densités

## Design de la conduite 1 :

Déterminons d'abord le débit de design  $Q_{\phi}$ , i.e le débit sanitaire direct provenant de la surface tributaire  $A_1 = 30$  ha de densité  $d_1 = 100$  pers/ha, majoré par les débits d'infiltration et de captage.

$$(Q_{\text{san}})_{\text{max}} = (Q_{\text{san}})_{\text{moy}} \times \text{F.P.} + Q_{\text{inf}} + Q_{\text{cap}}$$

$$(Q_{\text{san}})_{\text{moy}} = 320 \text{ l/p/j} \times 110 \text{ p/ha} \times 30 \text{ ha} = 1056000 \text{ l/j}$$

$$(Q_{\text{san}})_{\text{moy}} = 1056000 \text{ l/j} \times 10^{-3} / \text{m}^3 / 1 / 24 / 3600 = 0.01222 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$F.P._{\text{max}} = 1.742 / Q^{0.1506} = 3.38 \text{ et } F.P._{\text{min}} = 0.3$$

$$Q_{\text{inf1}} = 60 \text{ l/pers/j} \times 110 \text{ p/ha} \times 30 \text{ ha} \times 10^{-3} / 24 / 3600 \\ = 0.00208 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{cap1}} = 0.001736 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$(Q_{\text{san}})_{\text{max1}} = 0.04515 = Q_{\text{d1}}$$

$$Q_{\text{san}})_{\text{min1}} = 0.0057 \text{ m}^3/\text{s}$$

## Calcul du diamètre

On considère que la conduite est pleine pour le débit de design soit :

$$Q_p = 0.045 = 2.3977D^{8/3} \sqrt{S_0}$$

Où  $S_0$  est pris initialement comme la pente au sol en % soit :

$$S_0 = \frac{29.38 - 27.86}{100} \times 100 = 1.52\%$$

D'où  $D_1 = 0.208\text{m}$

Le diamètre standard directement supérieure est  $D_1 = 255 \text{ mm}$ .

# Calcul de la vitesse

Le débit de la conduite coulant pleine avec le diamètre standard est :

$$Q_p = 2.3977 D_1^{8/3} S_0^{1/2} = 0.077 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_p = \frac{4Q_p}{\Pi D_1^2} = \frac{4 \times 0.077}{\Pi \times (0.255)^2} = 1.51 \text{ m/s}$$

$$0.6 \text{ m/s} < V_p = 1.51 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

## Calcul de la vitesse minimale

Calcul de la vitesse d'écoulement quand le débit est minimal:

$$\frac{(Q_{scm})_{\min}}{Q_P} = 0.074 \quad \text{donne} \quad \frac{V_{\min}}{V_P} = 0.55 \quad \text{donc} \quad V_{\min} = 0.83 \text{ m/s} \quad \text{OK.}$$

## Calcul des radiers

$$R_{\text{amont}}^1 = 29.39 - 2 - 0.255 = 27.125\text{m}$$

$$R_{\text{aval}}^1 = 27.125 - L S_0 = 25.625$$