

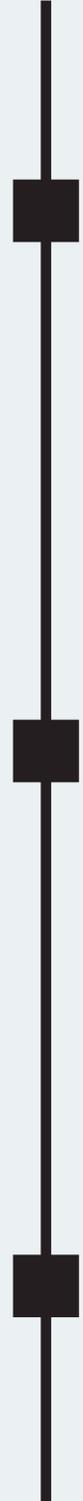


**COURS COMPLET**  
**RÉSEAU**  
**D'ASSAINISSEMENT**  
**PARTIE II**

*Réaliser par : Meryem BOUSABOUNE*

# CE QUE NOUS ALLONS APPRENDRE

INGÉNIERIE DE L'EAU



NATURE DES EAUX À  
ÉVACUER

CALCUL DES DÉBITS  
DES EAUX PLUVIALES

CALCUL DES DÉBITS  
DES EAUX USÉES

# NATURE DES EAUX À ÉVACUER

## GÉNÉRALITÉS

Les deux types d'eau qui peuvent être transportées par les égouts (réseaux d'assainissement) sont:



# NATURE DES EAUX À ÉVACUER

## GÉNÉRALITÉS

- les eaux de ruissellement ou eaux pluviales
- les eaux usées



# NATURE DES EAUX À ÉVACUER

## LES EAUX PLUVIALES

Les eaux pluviales sont polluées à différents niveaux : dans l'atmosphère ainsi que lors de leur ruissellement sur le sol.



# NATURE DES EAUX À ÉVACUER

## LES EAUX PLUVIALES

Dans leur trajet vers le sol, les eaux de pluie "nettoient" l'atmosphère



# NATURE DES EAUX À ÉVACUER

## LES EAUX PLUVIALES

Dans leur trajet vers le sol, les eaux de pluie "nettoient" l'atmosphère



# NATURE DES EAUX À ÉVACUER

## LES EAUX PLUVIALES

Lors de leur ruissellement sur les toitures, les voiries, les jardins, les prairies, elles vont se charger d'une masse considérable de particules solides



# NATURE DES EAUX À ÉVACUER

## LES EAUX USÉES

Dans les eaux usées domestiques,  
on distingue **les eaux ménagères**  
et **les eaux-vannes**



# NATURE DES EAUX À ÉVACUER

## LES EAUX USÉES

Dans les eaux usées domestiques,  
on distingue **les eaux ménagères**  
et **les eaux-vannes**



# NATURE DES EAUX À ÉVACUER

## LES EAUX USÉES

Dans les eaux usées domestiques, on distingue **les eaux ménagères** et **les eaux-vannes**



# NATURE DES EAUX À ÉVACUER

## LES EAUX USÉES INDUSTRIELLE

Il peut s'agir des eaux qui ont été utilisées

- dans les processus de fabrication industrielle
- des eaux de refroidissement,
- des eaux de lavage,...



# NATURE DES EAUX À ÉVACUER

## LES EAUX USÉES INDUSTRIELLE

Il peut s'agir des eaux qui ont été utilisées

- dans les processus de fabrication industrielle
- des eaux de refroidissement,
- des eaux de lavage,...



# NATURE DES EAUX À ÉVACUER

## LES EAUX USÉES AGRICOLE

Ces eaux sont particulièrement chargées en **nitrates et phosphates** qui provoquent **l'eutrophisation** des cours d'eau.



# NATURE DES EAUX À ÉVACUER

## LES EAUX USÉES AGRICOLE

Ces eaux sont particulièrement chargées en **nitrates et phosphates** qui provoquent **l'eutrophisation** des cours d'eau.



# NATURE DES EAUX À ÉVACUER

## LES EAUX PARASITES

Eaux captées involontairement sur le réseau

- Eaux claires parasites permanentes ou pseudo-permanentes
- Eaux claires aléatoires
- Eaux non conformes



# NATURE DES EAUX À ÉVACUER

## LES EAUX PARASITES

Ce qui peut engendré plusieurs Impact comme la:

- Saturation des capacités de transport
- Dilution de la pollution
- Surcharge hydraulique sur les STEP



# QUALITÉ DES EAUX DE RUISSELLEMENT

ÉVOLUTION DE LA POLLUTION EN  
FONCTION DE LA NATURE DE LA  
PLUIE :

Les pluies se caractérisent à l'aide de trois facteurs : intensité, durée, fréquence (**IDF**).

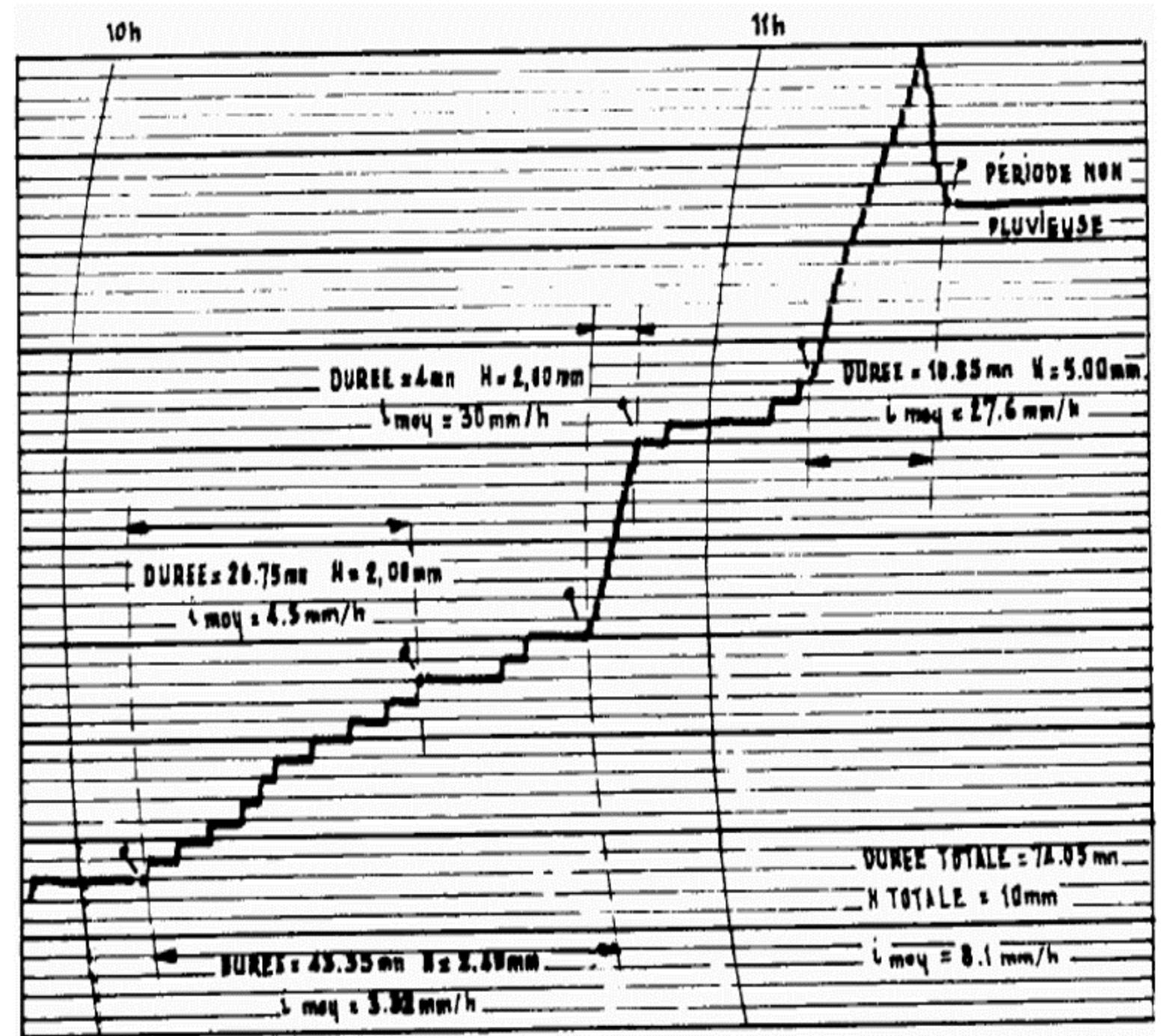


- Pluie faible = fraction organique plus importante
- Pluie forte = forte charge en MES avec fraction minérale importante.

# QUALITÉ DES EAUX DE RUISSELLEMENT

## PLUVIOMÉTRIE

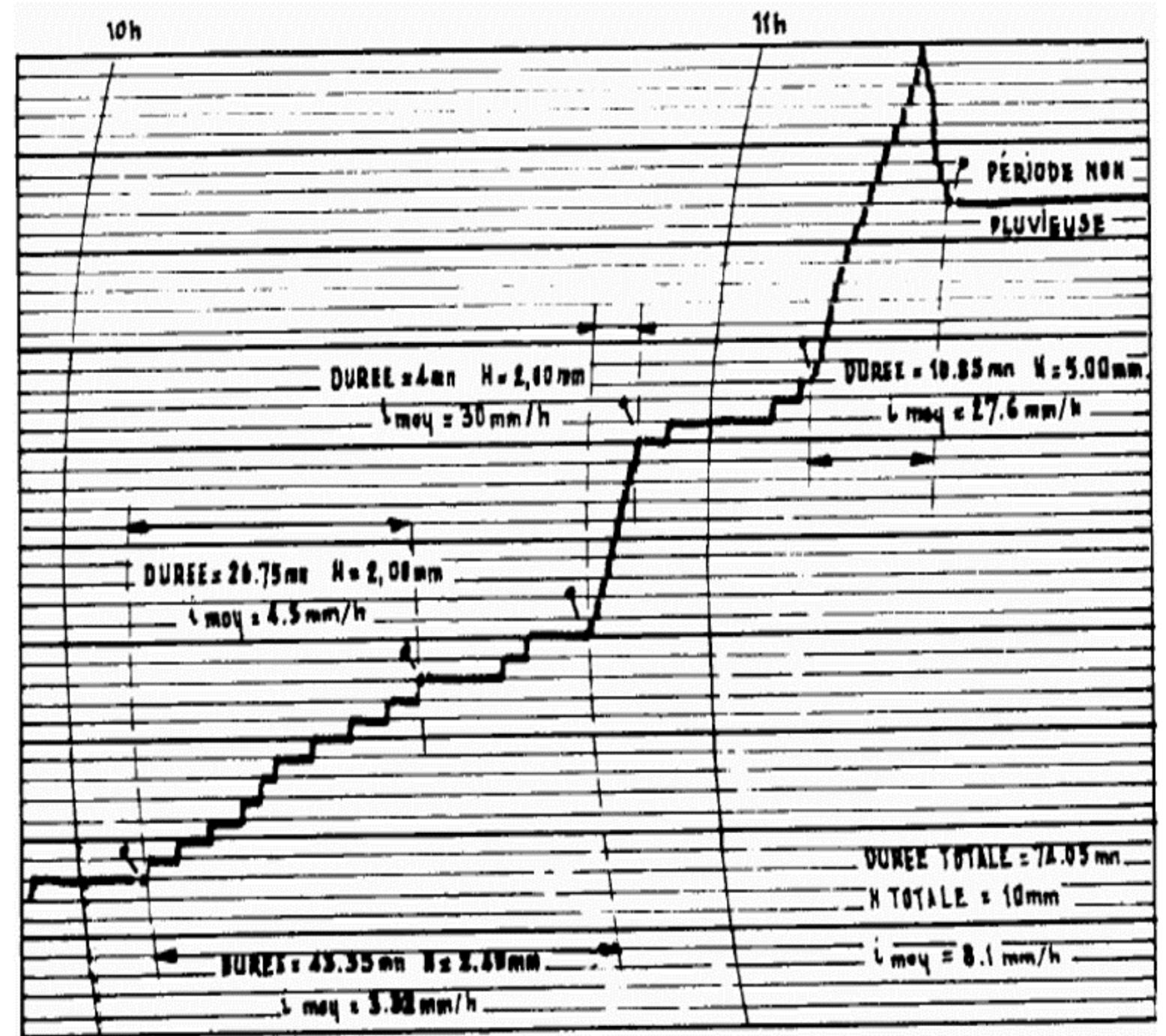
Dépouillement des mesures:  
exploitation des hyétogramme  
= couples (intensité, durée )



# QUALITÉ DES EAUX DE RUISSELLEMENT

## PLUVIOMÉTRIE

lecture des enregistrements  
pluviographiques.



# QUANTITÉ DES EAUX DE RUISSELLEMENT

## GÉNÉRALITÉS

les pluies se caractérisent par une intensité variable



# **QUANTITÉ DES EAUX DE RUISSELLEMENT**

## **GÉNÉRALITÉS**

les pluies se caractérisent par une intensité variable



# QUANTITÉ DES EAUX DE RUISSELLEMENT

## GÉNÉRALITÉS

Les très grandes intensités sont généralement de courte durée.





# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

*Ingénierie de l'eau*

# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

## INTRODUCTION

- Par la méthode rationnelle
- Par la méthode superficielle



# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

## PARAMÈTRES UTILISÉS

- L'intensité et la durée de l'averse
- La durée de stockage sur le sol et dans les canalisations au moment de l'averse
- Le temps de concentration du bassin versant



# INTENSITÉ

- L'intensité moyenne  $I$  se définit par le rapport de la hauteur d'eau tombée  $\Delta h$  pendant une durée donnée  $\Delta t$ ,
- L'intensité s'exprime en fonction des paramètres  $a$  et  $b$  par la formule de Montana :  $I \text{ (mm/mn)} = a.tb$

$$I = \Delta h / \Delta t$$

- $I \text{ (mm/mn)} = a.tb$   
;  $t$  en mn obtenus à partir des courbes IDF

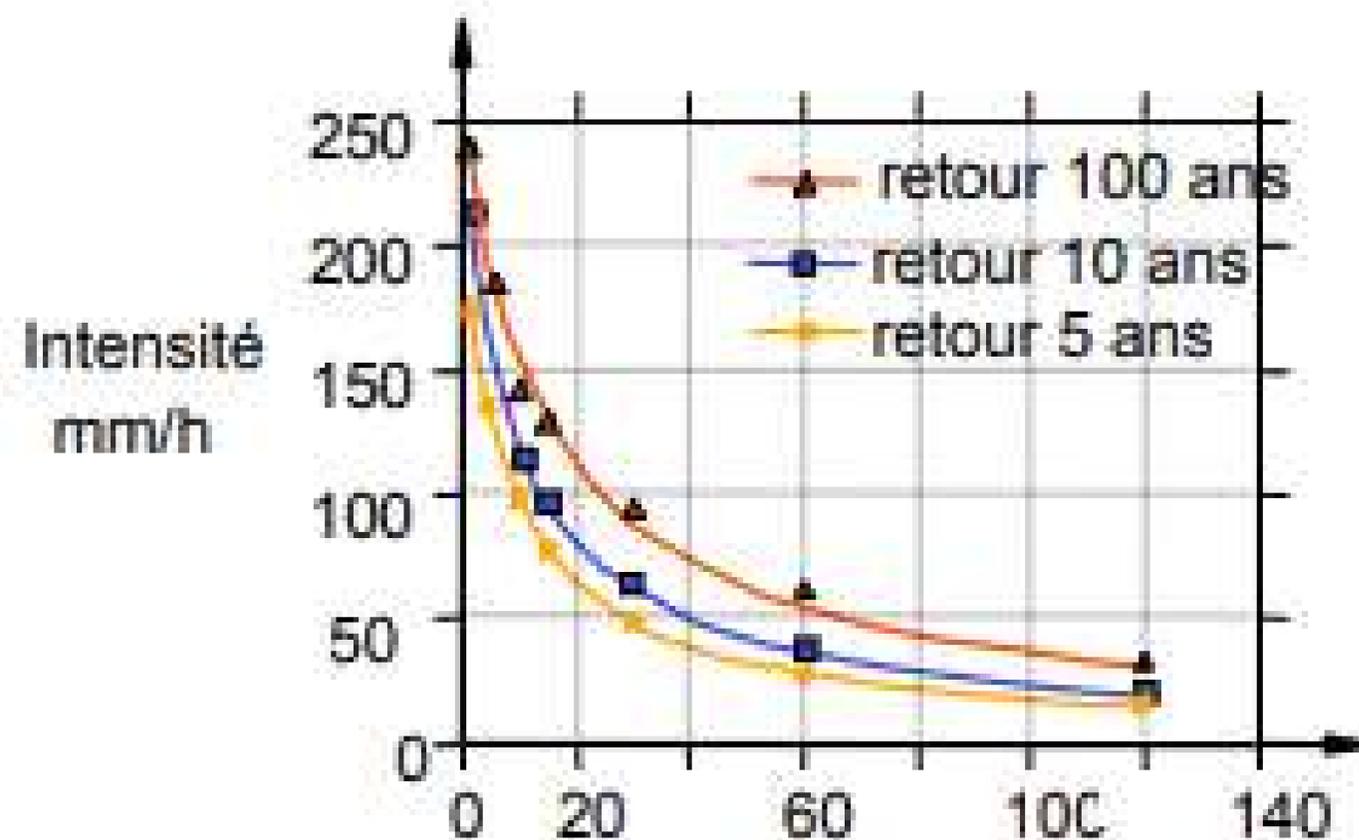
## ❖ Modèles mathématiques des courbes IDF

- formule de Talbot:  $i_{\max}(T; dt) = \frac{a(T)}{b(T) + dt}$

- formule de Montana:  $i_{\max}(T; dt) = a(T) \times dt^{b(T)}$

a, b, c: paramètres à ajuster

- formule de Keiffer Chu:  $i_{\max}(T; dt) = \frac{a(T)}{dt^{b(T)} + c(T)}$



*Courbes Intensité-durée-fréquence de la station de Paris-Montsouris entre 1927 et 1978 pour les périodes de retour de 5, 10 et 100 ans. Ajustements par la formule de Talbot.*

# TEMPS DE CONCENTRATION :

Du temps **t1** mis par l'eau pour s'écouler dans les canalisations.

$$t_1 = \frac{L \text{ (Longueur)}}{V \text{ (Vitesse de l'eau)}}$$

# TEMPS DE CONCENTRATION :

Du temps **t<sub>2</sub>** mis par l'eau pour atteindre le premier ouvrage d'engouffrement ou bouche d'égout. D'après Caquot :

$$t_2 = t_1 - \frac{L}{V}$$

# TEMPS DE CONCENTRATION :

Du temps **t<sub>3</sub>** du ruissellement dans un bassin qui ne comporte pas de canalisation :

$$t_3 = \frac{L}{11.8 \sqrt{I_p}}$$

# TEMPS DE CONCENTRATION :

Le temps de concentration peut donc avoir trois aspects:

- Le bassin ne comporte pas de canalisation ;  $t_c = t_3$
- Le bassin comporte un parcours superficiel puis une canalisation ;  $t_c = t_3 + t_1$
- Le bassin est urbanisé et comporte une canalisation principale et des branchements tertiaires ;  $t_2 + t_1$

# TEMPS DE CONCENTRATION :

On admet un temps de circulation superficielle égale à 3 mn et une vitesse en égout égale à 1 m/s.

$$t_c = t_1 + t_2 = 3\text{mn} + L/V$$

# COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT :

Le coefficient de ruissellement se définit comme le rapport du volume d'eau qui ruisselle au volume d'eau tombée sur le bassin considéré

$$C = \frac{\text{Volume d'eau qui ruisselle}}{\text{Volume d'eau tombée}}$$

# COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT :

- L'évaporation qui varie selon le climat et la saison
- L'infiltration, qui varie avec la nature du sol
- Du stockage dépressionnaire

$$C = \frac{0,98t}{4,53+t} \cdot P + \frac{0,78t}{31,17+t} (1-P)$$

<i>Zone</i>	<i>C</i>
<i>Habitat continu à RDC</i>	<i>0.50</i>
<i>Immeuble</i>	<i>0.60</i>
<i>Villas</i>	<i>0.30</i>
<i>Industrielle</i>	<i>0.40</i>
<i>Voirie</i>	<i>0.80</i>
<i>Ecoles</i>	<i>0.50</i>
<i>Administrative</i>	<i>0.50</i>
<i>Commerce</i>	<i>0.60</i>
<i>Souk</i>	<i>0.25</i>
<i>Sport</i>	<i>0.15</i>
<i>Jardin</i>	<i>0.05</i>

# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

## MÉTHODE RATIONNELLE

- L'intensité de la pluie sera obtenue à partir de l'équation de Montana

$$Q_p(T) = C.i(t_c, T).A$$

$$i = a.t_c^{-b}$$

Les coefficients a et b (dits de Montana)

## Inconvénients de la méthode

❖ Calcul malaisé de  $t_c$ :

$$t_c = t_s + t_r$$

ruissellement  
en surface

écoulement  
dans le réseau

### *Estimation de $t_s$*

• formules empiriques

$$\text{ex: } t_s = 1.92 L^{0.32} i^{-0.64} I^{-0.45}$$

• estimations forfaitaires pour BV à faible pente:

habitat très dense: 5 mn

habitat dense: 10 à 15 mn

habitat lache: 20 à 30 mn

### *Estimation de $t_r$*

• par itérations à partir du calcul de  $Q_p$

❖ Ne tient pas compte de l'effet de stockage

❖ Ne tient pas compte de la variabilité spatiale des pluies

# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

## MÉTHODE RATIONNELLE

- Limite de validité de la formule rationnelle:

$$Q_p(T) = C.i(t_c, T).A$$

- **Bassins versants urbanisés**
- **Assainissement Routier**

# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

## MÉTHODE SUPERFICIELLE

- on adopte la méthode superficielle « **Modèle de Caquot** »\*



# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

## MÉTHODE SUPERFICIELLE

- Cette méthode permet de calculer les coefficients a et b de la formule de MONTANA

$$i(t,F) = a.t^b(F)$$

Les coefficients a et b (dits de Montana)

# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

## MÉTHODE SUPERFICIELLE

- La formule générale pour le calcul du débit est donnée par

$$Q_p(T) = K(T) \cdot I^{u(T)} \cdot C^{v(T)} \cdot A^{w(T)} m(T)$$

- Q : débit fréquence de dépassement en (m<sup>3</sup>/s)
- T période de retour (= 1/F
- fréquence de dépassement)
- I : pente moyenne du bassin versant (BV) (en m/m)
- C: coefficient de ruissellement
- A : superficie du BV (en ha)
- m: coefficient correcteur d'allongement du BV
- L: longueur du BV en m.

# MÉTHODE SUPERFICIELLE

$$Q(T) = K(T) \cdot I^{U(T)} \cdot C^{V(T)} \cdot A^{W(T)} \cdot m(T)$$

$$K(T) = \left[ \frac{a(T) \cdot \mu^{b(T)}}{6(\beta + \delta)} \right]^{1/(1-b(T) \cdot f)}$$

$$W(T) = \frac{[b(T) \cdot d] + [1 - \varepsilon]}{1 - b(T) \cdot f}$$

$$U(T) = \frac{b(T) \cdot c}{1 - b(T) \cdot f}$$

$$m(T) = \left[ \frac{L}{2 \sqrt{A}} \right]^{[0,84b(T)] / [1 - b(T) \cdot f]}$$

$$V(T) = \frac{1}{1 - b(T) \cdot f}$$

# MÉTHODE SUPERFICIELLE

$$Q(T) = K(T) \cdot I^{U(T)} \cdot C^{V(T)} \cdot A^{W(T)} \cdot m(T)$$

$$K(T) = \left[ \frac{a(T) \cdot \mu^{b(T)}}{6(\beta + \delta)} \right]^{1/(1-b(T) \cdot f)}$$

$$W(T) = \frac{[b(T) \cdot d] + [1 - \varepsilon]}{1 - b(T) \cdot f}$$

$$U(T) = \frac{b(T) \cdot c}{1 - b(T) \cdot f}$$

$$m(T) = \left[ \frac{L}{2 \sqrt{A}} \right]^{[0,84b(T)] / [1 - b(T) \cdot f]}$$

$$V(T) = \frac{1}{1 - b(T) \cdot f}$$

$$\mu = 0,5 ; c = -0,41 ; d = 0,507 ; f = -0,287 ; \varepsilon = 0,05 ; \beta + \delta = 1,1$$

# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

## EXEMPLE:

Période de retour T=1 /F	Paramètres		Formules superficielles	
	a (F)	b (F)	$Q_{\text{corrigé}} = \text{en m}^3 / \text{s}$	
2 ans	2.762	-0.571	$0.566 \cdot I^{0.280} \cdot C^{1.196} \cdot A^{0.790}$	$\times (4 A/L^2)^{0.287}$
5 ans	4.385	-0.567	$0.981 \cdot I^{0.278} \cdot C^{1.194} \cdot A^{0.791}$	$\times (4 A/L^2)^{0.284}$
10 ans	5.463	-0.566	$1.275 \cdot I^{0.277} \cdot C^{1.194} \cdot A^{0.792}$	$\times (4 A/L^2)^{0.284}$

# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

## EVALUATION DE LA PENTE

Pour un **bassin urbanisé** dont le plus long cheminement hydraulique «**L**» est constitué de tronçons successifs «**L<sub>K</sub>**» de pente sensiblement constante «**I<sub>K</sub>**»

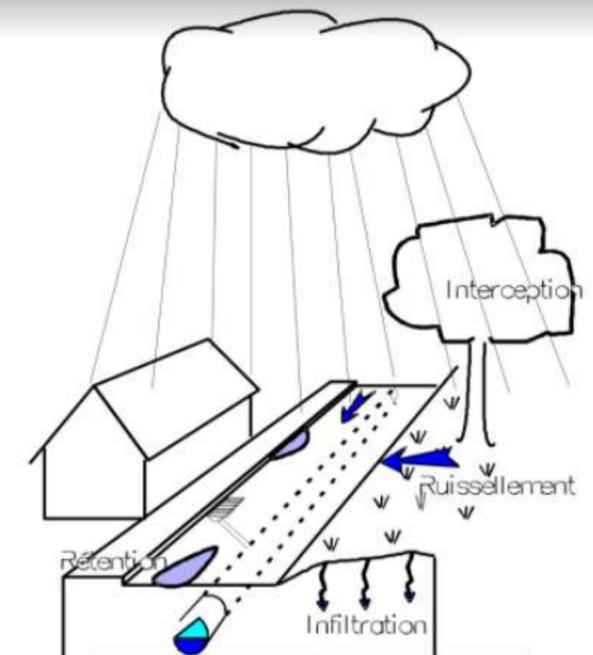
$$I = \left( \frac{L}{\frac{L_K}{\sqrt{I_K}}} \right)^2$$

# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

## EVALUATION DU COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT

Le coefficient de ruissellement « C » sera pris égal au taux d'imperméabilisation.

- Si « A » est la surface totale du bassin versant
- et « A' » la superficie de surface revêtue,
- Le coefficient de ruissellement  **$C = A/A'$** .



# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

## EVALUATION DU COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT

Nature de la surface	Coefficient de ruissellement
Pavage, chaussées revêtues, piste ciment	$0,70 \leq C \leq 0,95$
Toitures et terrasses	$0,75 \leq C \leq 0,95$
Sols imperméables avec végétation: <ul style="list-style-type: none"><li>• <math>I_1 &lt; 2\%</math></li><li>• <math>2\% &lt; I_1 \leq 7\%</math></li><li>• <math>I_1 &gt; 7\%</math></li></ul>	$0,13 \leq C \leq 0,18$ $0,18 \leq C \leq 0,22$ à $0,25$ $0,25 \leq C \leq 0,35$
Sols perméables avec végétation: <ul style="list-style-type: none"><li>• <math>I_1 &lt; 2\%</math></li><li>• <math>2\% &lt; I_1 \leq 7\%</math></li><li>• <math>I_1 &gt; 7\%</math></li></ul>	$0,05 \leq C \leq 0,10$ $0,10 \leq C \leq 0,15$ $0,15 \leq C \leq 0,20$

Type d'occupation du sol	Coefficient de ruissellement
Commercial	$0,70 \leq C \leq 0,95$
Résidentiel <ul style="list-style-type: none"><li>• Lotissements</li><li>• Collectifs</li><li>• Habitat dispersé</li></ul>	$0,30 \leq C \leq 0,50$ $0,50 \leq C \leq 0,75$ $0,25 \leq C \leq 0,40$
Industriel	$0,50 \leq C \leq 0,80$ à $0,90$
Parcs et jardins publics	$0,10 \leq C \leq 0,25$
Terrains de sports	$0,20 \leq C \leq 0,30$ à $0,35$
Terrains vagues	$0,05 \leq C \leq 0,15$ à $0,20$
Terrains agricoles <ul style="list-style-type: none"><li>• Drainées</li><li>• Non drainées</li></ul>	$0,10 \leq C \leq 0,13$ $0,03 \leq C \leq 0,07$

# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

## EVALUATION DE L'ALLONGEMENT D'UN BASSIN ET ÉVALUATION DU COEFFICIENT CORRECTEUR

L'allongement «**M**» est défini comme étant le rapport du plus long cheminement hydraulique «**L**» sur la racine carrée de la **surface équivalente** à la superficie du bassin considéré:

$$M = \frac{L}{\sqrt{A}} *$$

M=0,8 valeur minimale dans le cas d'un demi cercle

# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

## EVALUATION DE L'ALLONGEMENT D'UN BASSIN ET ÉVALUATION DU COEFFICIENT CORRECTEUR

**Si  $M \neq 2$  il faut corriger par un coefficient d'allongement  $m$  :**

$Q_{p'} = Q_p \times m$  avec

$$m = \left(\frac{M}{2}\right)^{\frac{0.84b(T)}{1-0.29b(T)}}$$

ou

$$m = \left(\frac{M}{2}\right)^{0.7b(T)}$$

# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

## GROUPEMENT DE BASSINS



## GROUPEMENT DE BASSINS

<i>Paramètres équivalents</i>	<i>Aeq</i>	<i>Ceq</i>	<i>Ieq</i>	<i>Meq</i>
<i>Bassin en série</i>	$\sum A_j$	$\frac{\sum C_j \cdot A_j}{\sum A_j}$	$\left[ \frac{\sum L_j}{\sum \frac{L_j}{\sqrt{I_j}}} \right]^2$	$\frac{\sum L_j}{\sqrt{\sum A_j}}$
<i>Bassin en parallèle</i>	$\sum A_j$	$\frac{\sum C_j \cdot A_j}{\sum A_j}$	$\frac{\sum I_j \cdot Q_{pj}}{\sum Q_{pj}}$	$\frac{L \cdot (Q_{pj}^{\max})}{\sqrt{\sum A_j}}$

# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX PLUVIALES

## VALIDITÉ DE LA MÉTHODE SUPERFICIELLE

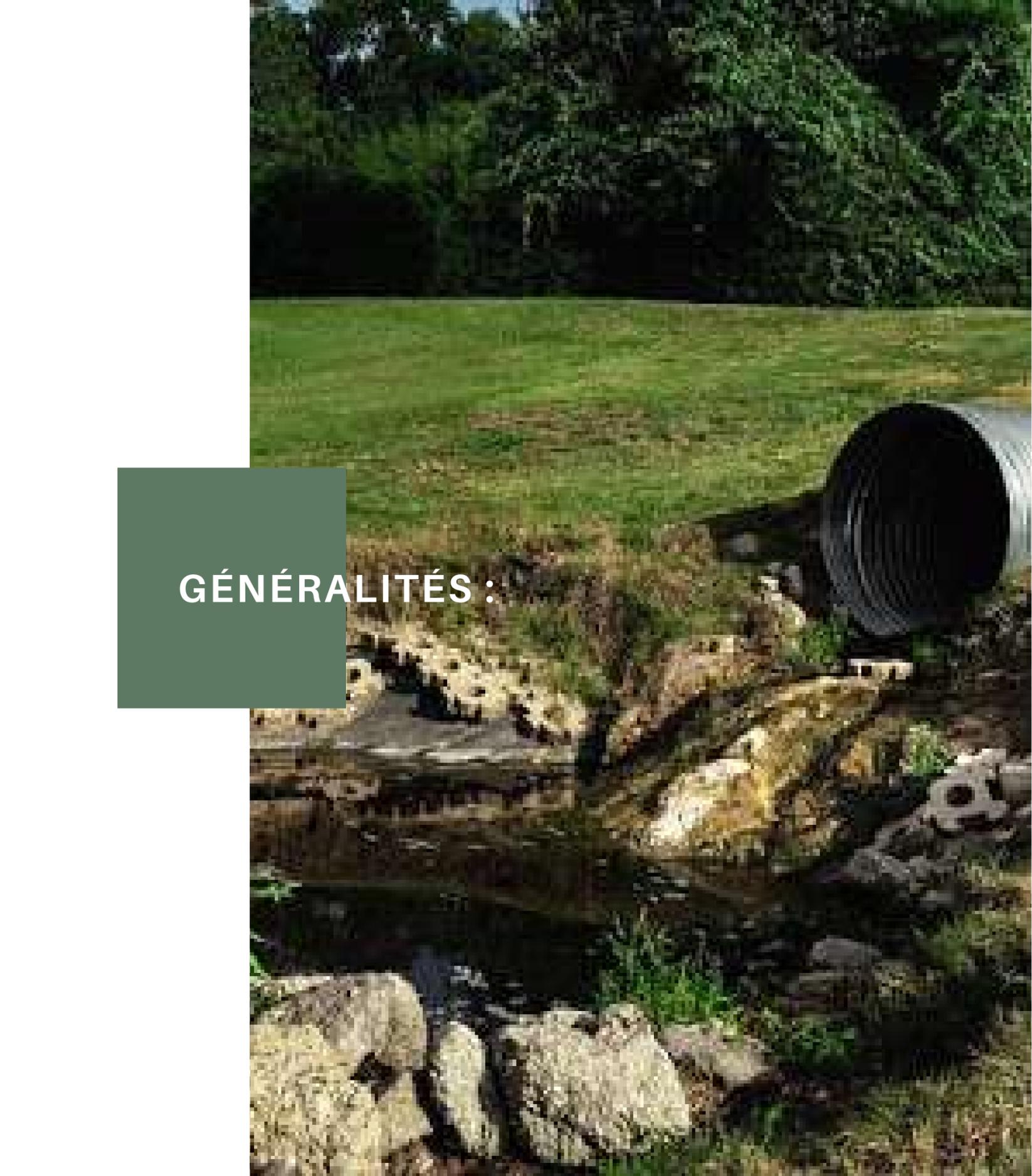
- surface du bassin ou du groupement de bassins  $\leq$  à **200 hectares\***;
- la valeur de la pente «I» doit rester comprise entre **0,2 % et 5 %**.
- le coefficient de ruissellement doit être compris  **$0,2 \leq C \leq 1$**

\* Au delà de cette limite, le recours à des modèles mathématiques plus complets est nécessaire

# MODÉLISATIONS

- La résolution d'un problème d'assainissement plus complexe nécessite l'étude de **l'hydrogramme** complet de ruissellement en **plusieurs points du réseau**.





GÉNÉRALITÉS :

# ÉVALUATION DES DÉBITS D'EAUX USÉES

COURS ASSAINISSEMENT PARTIE II

REJET:



- **CALCUL D'EAUX  
CONSOMMÉES**

REJET:



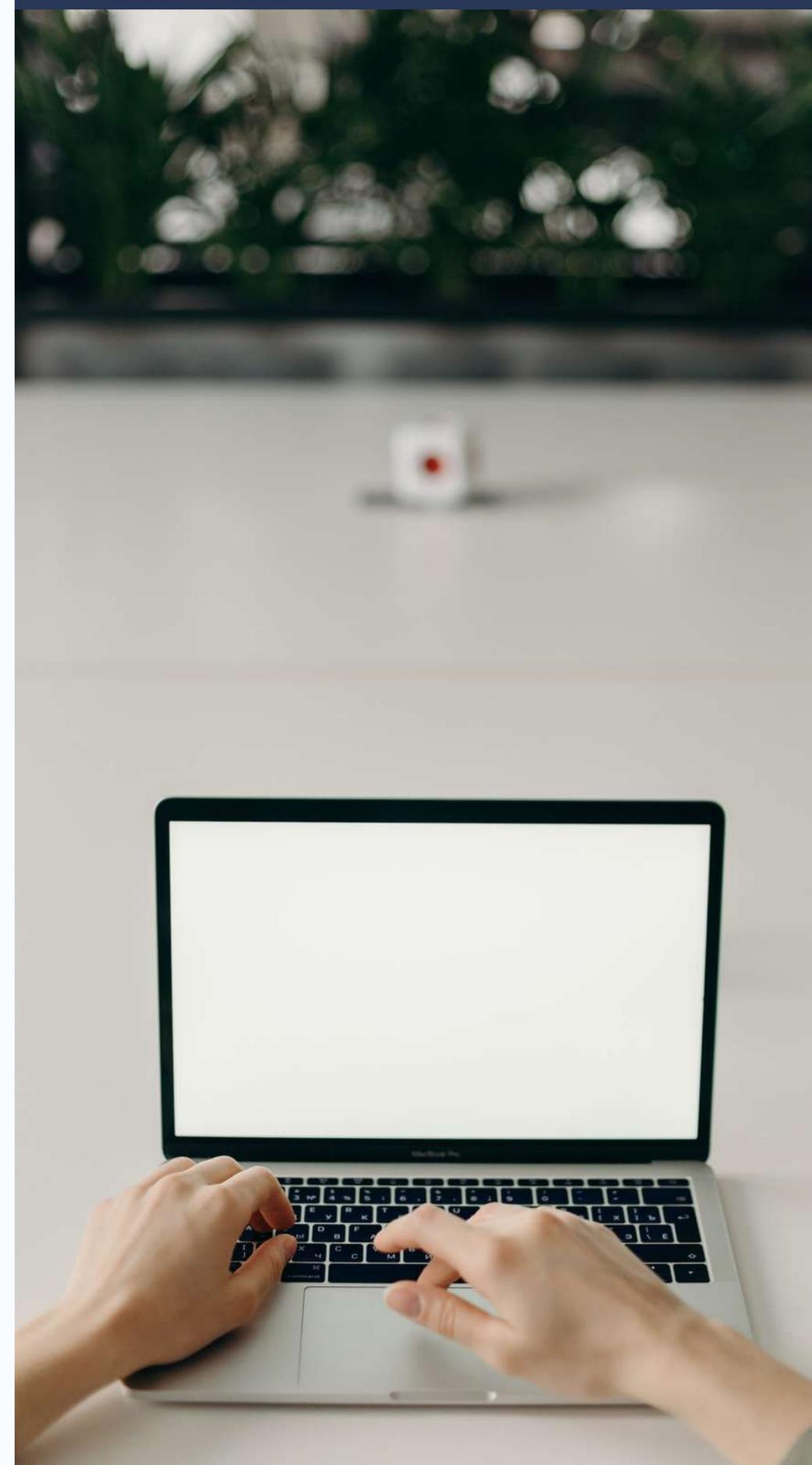
# LES REJETS UNITAIRES

# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX USÉES

---

- la consommation d'eau potable,
- taux de retour à l'égout
- taux de raccordement au réseau d'égout

$$Q_{M,EU} = T_{RES} \times T_{RAC} \times Q_{M,AEP}$$

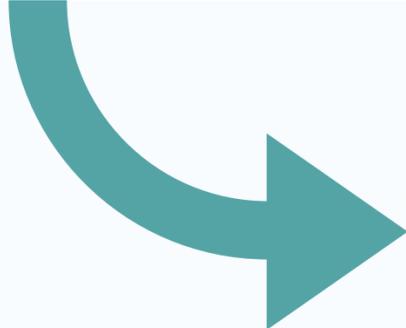


# CALCUL DES DÉBITS DES EAUX USÉES

---

- Calcul des besoins de consommation d'eau potable

$$Q_{m,AEP} = q_{pb} \times P_{pb} + q_{Adm} \times P_{tot} + q_{Ind} \times P_{tot} + \dots$$


$$P_{pb} = TB \times P_{tot}$$

# DÉBIT DE POINTE JOURNALIÈRE :

---

- Le débit maximal journalier se calcule de la manière suivante :

$$Q_{\max,j} = C_{pj} \times Q_{m,EU}$$



# DÉBIT DE POINTE JOURNALIÈRE :

---

- Le débit maximal journalier se calcule de la manière suivante :

$$Q_{\max,j} = C_{pj} \times Q_{m,EU}$$



# DÉBIT DE POINTE JOURNALIÈRE :

- Le rapport du volume moyen d'eau potable des trois journées successives les plus chargées de l'année sur le volume moyen annuel.

$$Q_{\max,j} = C_{pj} \times Q_{m,EU}$$



# DÉBIT DE POINTE HORAIRE :

---

- Le débit maximal horaire de temps sec se calcule de la manière suivante :

$$Q_{\max,h} = (C_{pj} \times C_{ph} \times Q_{m,EU}) / 24$$



# DÉBIT DE POINTE HORAIRE :

---

$$C_{ph} = a + \frac{b}{\sqrt{Q_M} (l/s)} \quad p \leq 3 \quad ; \quad a = 1,5 \quad ; \quad b = 2$$

$$Q_{MAX,EU} = \frac{C_{pj} \times C_{ph} \times Q_{m,EU} (m^3/j) \times 1000}{24 \times 3600}$$



# DÉBIT DE POINTE HORAIRE :

$$Q_{MAX,EU} = C_{pj} \times C_{ph} \times \sum(S_i \times d_i \times d_{NG}) \times Tres \times Trac \times \frac{l}{24 \times 3600} \text{ (l/s)}$$

*C<sub>pj</sub> : coefficient de pointe journalière*

*C<sub>ph</sub> : coefficient de pointe horaire*

*S<sub>i</sub> : superficie (ha) du sous-bassin correspondant à la zone homogène i*

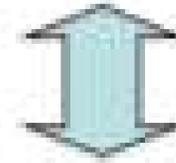
*d<sub>i</sub> : densité brute en hab/ha de la zone homogène i*

*Trac : taux de branchement à l'égout*

*Tres : coefficient de retour à l'égout*

*d<sub>NG</sub> : dotation en eau (l/j/hab.)*

Valeurs traduisant l'importance des variations par rapport à une valeur de référence



Rapport de la consommation de pointe ou maximale sur la consommation moyenne d'une période

Si période = plusieurs années



Coefficient de pointe annuel

Si période = plusieurs mois



Coefficient de pointe mensuel

Si période = plusieurs jours



Coefficient de pointe journalier

Si période = plusieurs heures



Coefficient de pointe horaire

## II – 2.a - Coefficient de pointe mensuel $C_{pm}$

$$C_{pm} = \frac{\text{Consommation du mois de pointe}}{\text{Consommation moyenne mensuelle de l'année}}$$

## II – 2.b - Coefficient de pointe journalier $C_{pj}$

$$C_{pj} = \frac{\text{Consommation du jour de pointe}}{\text{Consommation moyenne journalière du mois de pointe}}$$

## II – 2.c - Coefficient de pointe mensuel $C_{ph}$

$$C_{ph} = \frac{\text{Consommation de l'heure de pointe}}{\text{Consommation moyenne horaire du jour de pointe}}$$

$C_{pm}$	Intervient dans le dimensionnement du système: les ouvrages devant satisfaire les besoins du mois de pointe	
$C_{pl}$	Intervient dans le dimensionnement du système, évalue les besoins de régulation des ressources	Entre 1.10 à 1,20
$C_{ph}$	Exprime le comportement des usagers par l'eau au cours de la journée, Intervient dans le dimensionnement des réservoir et de la distribution	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Ville 1,5 à 2</li> <li>•Milieu rural 2 à 3</li> </ul>

Meryem BOUSABOUNE

**MERCI A  
VOUS**

