

# UNIVERSITE D'ANNABA LICENCE HYDRAULIQUE

## LE DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT DES AGGLOMERATIONS

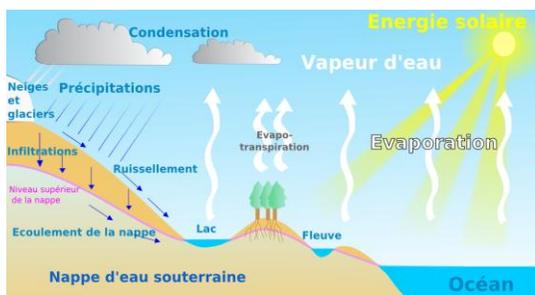
Les réseaux d'eaux pluviales

INTERVENANT : Dr Moncef CHABI

## NOTIONS DE PLUVIOMETRIE

## LE CYCLE DE L'EAU

L'atmosphère est le siège d'un perpétuel changement d'état de l'eau suivant un cycle fermé.



## LE PHENOMENE PLUIE

Les précipitations sont provoquées par la combinaison de plusieurs facteurs :

### - LES FRONTS :

L'atmosphère est constituée de grandes masses d'air relativement homogènes. Les différences de température et de pression de ces masses d'air qui se rencontrent constituent un front entraînant une condensation importante. Ainsi naît la pluie.

### - LA CONVECTION :

D'autres phénomènes sont liés au courant ascendant que crée en fin de journée la chaleur du sol et qui rencontre des masses froides plus élevées. C'est l'orage.

### - LE RELIEF :

Les interactions entre masses d'air et relief ont également une influence sur les précipitations. L'analyse de ces facteurs est du ressort de la METEOROLOGIE.

## DESCRIPTION DE LA PLUIE

Les précipitations sont des phénomènes essentiellement aléatoires et discontinus, variables dans le temps et l'espace. Elles sont caractérisées par :

- ☛ la quantité d'eau tombée ou l'intensité;
- ☛ la durée de l'averse;
- ☛ la zone géographique touchée.

Un type de précipitations qui intéresse plus particulièrement l'assainisseur, parce que générateur de fortes intensités, ce sont les orages convectifs. Ils se produisent, en général en fin de journée chaude, et sont dus à la montée de l'air chaud dans des zones plus froides. Ces orages se caractérisent par :

- ☛ leur ponctualité spatiale
- ☛ leur brièveté temporelle
- ☛ leur très fortes intensités.

La mesure de ces caractéristiques et l'exploitation statistique de ces mesures constituent la **PLUVIOMETRIE**.

## COMMENT ESTIMER LA HAUTEUR

La mesure des précipitations est réalisée :

- soit à l'aide de **pluviomètres** - capteurs permettant de mesurer les hauteurs totales précipitées et relevées à intervalle régulier (en général 24 h) .
- soit à l'aide de **pluviographes** - appareils qui permettent la mesure de la hauteur d'eau précipitée au cours du temps. L'enregistrement de l'information est soit mécano-graphique, soit digital et nous donne des intensités de pluie.

## LES PLUVIOMETRES SIMPLES

Ils mesurent de manière volumétrique l'eau recueillie sur une surface horizontale bien déterminée.

Ils comprennent :

- une bague
- une entretoise
- un seau collecteur
- un pied métallique
- une éprouvette graduée.



## LES PLUVIOGRAPHES

L'eau recueillie par une bague pluviométrique est déversée dans un des compartiments d'un auget double qui bascule lorsque ce compartiment contient une certaine quantité d'eau et met aussitôt l'autre compartiment en position de réception lorsque le premier se vide.

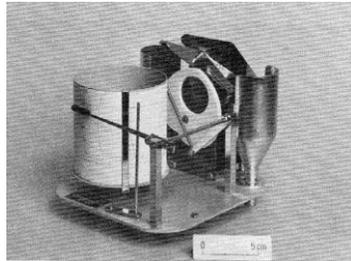


Chaque basculement, par l'intermédiaire d'un système mécanique, provoque le déplacement d'un stylet devant un cylindre à axe vertical effectuant une rotation par jour ou par semaine.

Aujourd'hui, les pluviographes génèrent une information sous forme de contact raccordable à une télégestion ou un enregistreur autonome.

## LES PLUVIOGRAPHES

Une pluie se traduit par un escalier plus ou moins rapide sur le diagramme suivant l'intensité de la précipitation.



## PERIODE DE RETOUR

La **période de retour** caractérise le temps statistique entre deux occurrences d'un événement d'une intensité donnée. Dans l'analyse des observations portant sur N années, on observe n événements ayant atteint une intensité i.

La période de retour T d'une pluie est alors définie par le rapport :

$$T = N/n$$

**Pour T=10, la pluie sera dite décennale.**

**Pour T=20, la pluie sera dite vicennale.**

**Pour T=100, la pluie sera dite centennale.**

La période de retour T apparaît comme une durée moyenne. Il peut donc se produire plusieurs « pluies décennales » successivement comme il peut ne pas s'en produire pendant plusieurs décennies.

## PERIODE DE RETOUR

Pour  $T < 1$  an ou  $T > 10$  ans, le calcul du débit peut être effectué par application d'un coefficient multiplicateur au débit décennal (circulaire 77).

INFERIEUR A 1 AN

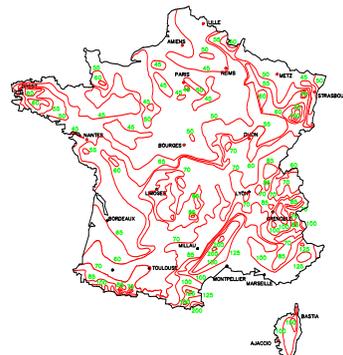
Période de retour	Coefficient multiplicateur
1 mois	0,12
2 mois	0,20
3 mois	0,24
4 mois	0,28
6 mois	0,34
9 mois	0,40

SUPERIEUR A 10 ANS

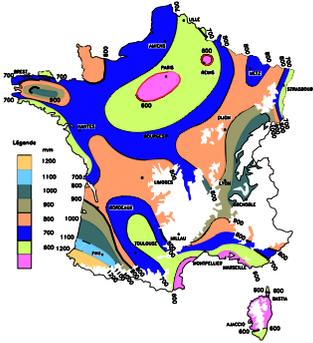
Période de retour	Coefficient multiplicateur
20 ans	1,25
50 ans	1,60
100 ans	2,00

Aujourd'hui, il est conseillé d'utiliser les paramètres pluviométriques donnés par météo France.

## PLUIES JOURNALIERES DECENNALES P10 (mm)



## CARTE DES HAUTEURS DE PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES (en mm)



## RELATION INTENSITE DUREE FREQUENCE

Utilisation de la Formule de MONTANA

$$i = a \times t^b$$

$i$  = intensité de pluie en mm/min,

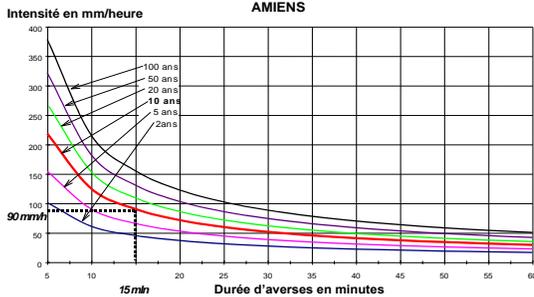
$t$  = intervalle de temps en minute,

$a$  et  $b$  sont les paramètres pluviométriques de la région considérée (coefficient de Montana).

Le découpage de la France par l'Instruction Technique de 1977 en 3 zones de pluviométries homogènes afin de simplifier les calculs, cette pratique n'est plus d'actualité et est à proscrire.

## RELATION INTENSITE DUREE FREQUENCE

Courbes INTENSITE - DUREE - FREQUENCE  
AMIENS



## RELATION INTENSITE DUREE FREQUENCE

Pour être plus précis, le temps limite  $t$  issu de l'intersection des courbes  $a_1 t^{-b_1}$  et  $a_2 t^{-b_2}$  a pour expression :

$$t = \exp\left(\frac{\ln a_2 - \ln a_1}{b_2 - b_1}\right) = \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^{\frac{1}{b_2 - b_1}} = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^{\frac{1}{b_1 - b_2}}$$

Il faut donc prendre les paramètres  $a_1$  et  $b_1$  si le temps de concentration du bassin versant considéré est inférieur au temps limite  $t$ , sinon il faut prendre les paramètres  $a_2$  et  $b_2$ .

## RELATION INTENSITE DUREE FREQUENCE

Exemple de tracé d'une courbe intensité fréquence sur Lille:

$a_1 = 323$  et  $b_1 = 0,499$

$a_2 = 925$  et  $b_2 = 0,826$

point d'intersection 25 min

pour  $t = 15$  min :

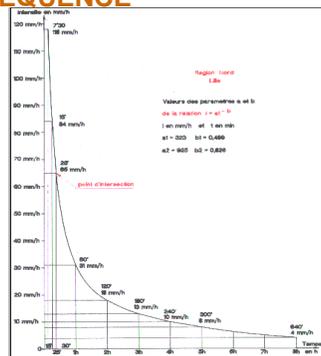
$i = 323 \times 15^{-0,499}$

soit  $i = 84$  mm/h

pour  $t = 40$  min :

$i = 925 \times 40^{-0,826}$

soit  $i = 44$  mm/h



## LES DEBITS D'EAUX PLUVIALES

## LA METHODE RATIONNELLE

## CARACTERISTIQUES D'UN BASSIN VERSANT URBAIN

- Surface drainée : A
  - Coefficient de ruissellement : C
- Pertes à l'écoulement des eaux dans le bassin INT 77 :  $C = A'/A = IMP$ 
  - Temps de concentration :  $T_c$   
Durée maximale d'écoulement dans le bassin.
  - L'hydrogramme à l'exutoire,  
Le débit maximal sera observé à un instant voisin de  $T_c$  si la durée de la pluie  $> T_c$

## LA METHODE RATIONNELLE

La méthode rationnelle est fondée sur le concept du temps de concentration

$$Q_p = C \cdot i \cdot A$$

Avec :

- $Q_p$  : Débit de pointe
- $i$  : intensité ( $i = a T_c^{-b}$ )
- $T_c$  : Temps de concentration
- $C$  : Coefficient de ruissellement
- $A$  : Surface drainée

## LA METHODE RATIONNELLE

Temps de concentration :  $T_c$

La méthode la plus utilisée pour calculer  $T_c$  est la formulation de Kirpich

$$T_c = 0,0195 \cdot L^{0,77} \cdot I^{-0,385}$$

Avec :

- $T_c$  : temps de concentration en minute
- $L$  : longueur du parcours de l'eau en mètre
- $I$  : pente selon le parcours de l'eau en mètre par mètre

## LES DEBITS D'EAUX PLUVIALES

## LA METHODE SUPERFICIELLE DE CAQUOT

## LA METHODE SUPERFICIELLE DE CAQUOT

L'inconvénient majeur de la méthode rationnelle réside dans l'estimation laborieuse des temps de concentration.

De plus cette méthode ne tient pas compte de la distribution spatiale des précipitations (variations de l'intensité) et surtout de l'effet de stockage de l'eau dans le bassin versant.

La méthode de Caquot tient compte de ces facteurs et permet de s'affranchir de l'estimation de  $T_c$ .

Cette méthode dite superficielle est fondée sur la conservation des volumes mis en jeu dans le ruissellement.

## LA METHODE SUPERFICIELLE DE CAQUOT

La méthode manuelle type CAQUOT est utilisable si la surface de la zone concernée est  $\leq 1$ ha ou si le débit décennal calculé à l'exutoire (avant écrêtement éventuel) est  $\leq 100$ l/s, porté à 200l/s si les risques de dégâts en cas d'inondation sont faibles (Cf. Guide).

Le projeteur a toujours la possibilité de s'affranchir de ces limitations, notamment dans les phases d'études pour réaliser des pré-dimensionnements à la condition que les ouvrages ainsi calculés fassent ultérieurement l'objet d'une vérification au moyen de la méthode préconisée par le guide.

## LA METHODE SUPERFICIELLE DE CAQUOT

### PRINCIPE

Cette méthode permet d'obtenir le débit maximum d'un bassin versant urbain à partir des caractéristiques de ce bassin.

Elle s'applique pour une période de retour quelconque.

La période de retour est généralement pris égale à 10 ans.

## CHOIX D'UNE PERIODE DE RETOUR (protection aux risques)

L'évacuation des eaux pluviales est prépondérante dans les coûts et les modes d'assainissement d'une agglomération. La nature aléatoire des phénomènes conduit au calcul des ouvrages en terme de période de retour de défaillance. Historiquement, l'Instruction Technique 77 recommandait une période de retour décennale pour la conception des réseaux d'assainissement des agglomérations. Il peut apparaître en fait plus judicieux de proposer une variation de la période de retour de l'amont vers l'aval ( 2 à 5 ans dans la partie amont, 10 ans dans les zones d'urbanisation plus dense et 25 ans voire plus sur les secteurs à paramètres économiques élevés situés en aval).

## CHOIX D'UNE PERIODE DE RETOUR (protection aux risques)

La ville et son assainissement : Norme NF EN 752-2

Lieu	Fréquence d'inondation
Zones rurales	1 tous les 10 ans
Zones résidentielles	1 tous les 20 ans
Centres-villes	
Zones industrielles ou commerciales	
- risque d'inondation vérifié	
- risque d'inondation non vérifié	1 tous les 30 ans
Passages souterrains routiers ou ferrés	1 tous les 50 ans

## FORMULE GENERALE DE CALCUL

$$Q_p = \left( \frac{a \cdot \mu^b}{6(\beta + \delta)} \right)^{\frac{1}{1-b-f}} \cdot I^{\frac{b-c}{1-b-f}} \cdot C^{\frac{1}{1-b-f}} \cdot A^{\frac{b-d+1-\varepsilon}{1-b-f}}$$

Avec :

$Q_p$  : Débit en m<sup>3</sup>/s

$I$  : Pente moyenne du cheminement hydraulique en m/m

$C$  : Coefficient de ruissellement > 0,20

$A$  : Superficie du bassin versant en ha

$\mu = 0,5$

$\beta + \delta = 1,1$

$\varepsilon = 0,05$

$c = -0,41$

$d = 0,507$

$f = -0,287$

$a$  et  $b$  : Coefficients de Montana de la formule de Montana :

$i = a \cdot t^b$  ( $b < 0$ )

$i$  : intensité de la pluie en mm/minute

$t$  : temps en minutes (compris entre 5 et 120 minutes)

## TEMPS DE CONCENTRATION

### Le temps de concentration : $T_c$

$$T_c = \mu \cdot I^c \cdot A^d \cdot Q_p^f$$

Avec :

$T_c$  : Temps de concentration en minute

$I$  : pente selon le parcours de l'eau en mètre par mètre

$A$  : Surface du bassin en hectare

$Q_p$  : Débit de pointe en m<sup>3</sup>/s

$c = -0,41$

$d = 0,507$

$f = -0,287$

$\mu = 0,28 \cdot M^{0,84}$

## BASSINS VERSANTS ELEMENTAIRES

### EVALUATION DE LA PENTE ( $I$ )

Il s'agit de définir une pente pondérée.

Si les différents tronçons ont respectivement une pente  $i_k$  et une longueur  $L_k$ , la pente pondérée sera :

$$I = \left( \frac{\sum L_k}{\sum \frac{L_k}{\sqrt{i_k}}} \right)^2$$

## BASSINS VERSANTS ELEMENTAIRES

### COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT ( C )

Il correspond au rapport de la surface imperméabilisée du bassin par la surface totale du bassin élémentaire.

$$C = \frac{A'}{A} \quad (C \geq 0,20)$$

avec :

A : surface totale du bassin versant élémentaire

A' : surface imperméabilisée

## BASSINS VERSANTS ELEMENTAIRES

### COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT ( C )

Guide « La ville et son assainissement »

Habitations très denses, centre ville, parkings :  $0,8 < C < 1$

Habitations denses, zones industrielles et commerciales :  $0,6 < C < 0,8$

Quartiers résidentiels (habitat collectif) :  $0,4 < C < 0,6$

Quartiers résidentiels (habitat individuel) :  $0,2 < C < 0,4$

### VALEURS GENERALEMENT RETENUES POUR LE COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT SUIVANT LE TYPE D'OCCUPATION DES SOLS

- Commercial	$0,70 \leq C \leq 0,95$
- Résidentiel	
lotissements	$0,30 \leq C \leq 0,50$
collectifs	$0,50 \leq C \leq 0,75$
habitat dispersé	$0,25 \leq C \leq 0,40$
- Industriel	$0,50 \leq C \leq 0,80$
- Parcs et jardins publics	$0,05 \leq C \leq 0,25$
- Terrains de sport	$0,10 \leq C \leq 0,30$
- Terrains vagues	$0,05 \leq C \leq 0,15$
- Terrains agricoles	
drainées	$0,05 \leq C \leq 0,13$
non drainées	$0,03 \leq C \leq 0,07$

### VALEURS GENERALEMENT RETENUES POUR LE COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT SUIVANT LA NATURE DES SURFACES

- 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	
pente <2%	$0,13 \leq C \leq 0,18$
pente de 2% à 7%	$0,18 \leq C \leq 0,25$
pente >7%	$0,25 \leq C \leq 0,35$
- Sols perméables avec	
végétation	
pente <2%	$0,05 \leq C \leq 0,10$
pente de 2% à 7%	$0,10 \leq C \leq 0,15$
pente >7%	$0,15 \leq C \leq 0,20$

### EVALUATION DE L'ALLONGEMENT D'UN BASSIN (M) ET EVALUATION DU COEFFICIENT CORRECTEUR (m)

#### - Allongement du bassin (M)

l'allongement du bassin (M) est défini par la formule suivante :

$$M = \frac{L}{\sqrt{A}} \geq 0,8$$

avec : L : Longueur du plus long cheminement hydraulique (L en hectomètres)

A : aire équivalente (A en hectares)

M : facteur de forme du bassin

#### - Coefficient d'allongement (m)

puis le coefficient correcteur (m) est tiré de l'application des formules suivantes :

$$m = \left(\frac{M}{2}\right)^{\frac{0,84 \cdot b(F)}{1+0,287 \cdot b(F)}} \quad \text{ou} \quad m = \left(\frac{M}{2}\right)^{0,7 \cdot b(F)}$$

### ASSEMBLAGE DES BASSINS ELEMENTAIRES

Paramètres équivalents	Aeq	Ceq	Ieq	Meq
Bassins en série	$\Sigma A_j$	$\frac{\Sigma C_j A_j}{\Sigma A_j}$	$\left(\frac{\Sigma L_j}{\Sigma \frac{L_j}{\sqrt{I_j}}}\right)^2$	$\frac{\Sigma L_j}{\sqrt{\Sigma A_j}}$
Bassins en parallèle	$\Sigma A_j$	$\frac{\Sigma C_j A_j}{\Sigma A_j}$	$\frac{\Sigma I_j \cdot Q_{pj}}{\Sigma Q_{pj}}$	$\frac{L(Tc_{Max})}{\sqrt{\Sigma A_j}}$

L(TcMax) est le parcours du bassin élémentaire ayant le temps de concentration le plus important.

## REMARQUES SUR L'ASSEMBLAGE DES BASSINS ELEMENTAIRES EN SERIE

Ce modèle peut conduire à des anomalies.  
Pour **les bassins en série** il peut arriver que :  
 $Q_p < \text{Max}(Q_{pj})$   
avec  $Q_p$  bassin équivalent  
 $Q_{pj}$  bassin composant le bassin équivalent

Dans ce cas on prendra :  $Q_p = \text{Max}(Q_{pj})$

## REMARQUES SUR L'ASSEMBLAGE DES BASSINS ELEMENTAIRES EN PARALLELE

Pour **les bassins en parallèle** il peut arriver que :

$$Q_p > \sum(Q_{pj})$$

ce qui est impossible, car au maximum les hydrogrammes pris individuellement sont en phase et ne peut donc pas être  $> \sum(Q_{pj})$

Dans ce cas on prendra :  $Q_p = \sum(Q_{pj})$

## DECOUPAGE DES BASSINS ELEMENTAIRES

Le découpage est effectué en fonction de :

- la topologie du réseau et des voies d'implantation
- des caractéristiques des zones drainées (Les habitations)
- le point caractéristique qui est l'exutoire du bassin élémentaire
  - 5/9 à partir du nœud amont pour les tronçons de tête
  - à la moitié pour les tronçons de parcours

## LIMITES D'APPLICATION DE LA METHODE

Les limites d'application du modèle de Caquot défini dans l'Instruction technique de 1977 sont :

- Limitation de la surface d'assemblage des bassins élémentaires à 200 hectares :  $\sum A_j \leq 200 \text{ ha}$
- Le coefficient de ruissellement doit évoluer entre 0,20 et 1  
 $0,20 \leq C \leq 1,00$
- Les pentes doivent être comprises entre 0,2 % et 5 %  
 $0,002 \text{ m.p.m.} \leq I \leq 0,05 \text{ m.p.m.}$
- Pour l'assemblage de bassins élémentaires, le rapport de la pente maximale à la pente minimale ne doit pas dépasser 20

Le Guide « La ville et son assainissement » limite l'utilisation de la méthode CAQUOT à une surface inférieure à 1ha ou si le débit décennal calculé à l'exutoire (avant écrêtement éventuel) est inférieur à 100l/s, porté à 200l/s si les risques de dégâts en cas d'inondation sont très faibles (Cf. Guide).

## BIBLIOGRAPHIE TECHNIQUE

- Guide technique de l'assainissement, édition Le Moniteur
- Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement, édition Lavoisier
- Guide de la conception et de gestion des réseaux d'assainissement unitaires, édition Lavoisier
- La ville et son assainissement CERTU
- Instruction technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations (circulaire 77.284/INT)
- Guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales, STU, édition Tec & Doc
- Hydraulique générale et appliquée, M CARLIER