

Chapitre III : Évaluation des débits à collecter

Introduction

L'assainissement des agglomérations est une technique qui consiste à évacuer par voie hydraulique au plus bas prix, le plus rapidement possible et sans stagnation des eaux usées de différentes origines, provenant d'une agglomération humaine ou généralement d'un centre d'activité, de telle façon que les produits évacués ne puissent souiller l'environnement.

Dans ce contexte, un dimensionnement d'un réseau d'assainissement est indispensable, d'où on est contraint de passer par certaines phases préliminaires, parmi lesquelles on trouve, l'évaluation des débits.

III.1. Calcul des débits des eaux usées et des eaux pluviales

III.1.1. Calcul des débits des eaux usées

Les débits des eaux usées à considérer dans l'étude des réseaux d'assainissement correspondent essentiellement :

- aux pointes d'avenir qui conditionnent la détermination des sections des canalisations et ouvrages en système séparatif et dans une certaine mesure celles des émissaires en système unitaire dans le cas où le débit d'eau usée est appréciable par rapport au débit des eaux pluviales ;
- aux débits minimaux actuels qui permettent d'apprécier les conditions de fonctionnement des réseaux et ouvrages, L'objectif est d'assurer des conditions minimales d'écoulement permettant de prévenir les réseaux contre les dépôts qui peuvent se produire dans le cas où le débit est faible.

L'évaluation des quantités des eaux usées à évacuer dans un réseau d'assainissement doit donc se baser sur étude de l'état actuel de l'agglomération qui sert de référence pour les projections prospectives nécessaires à l'élaboration du projet pour l'horizon défini. C'est ainsi qu'on doit procéder à la collecte d'informations concernant :

- la population antérieure et actuelle ;
- l'importance et le mode d'occupation des sols à différentes périodes ;

- l'état actuel et passé de la consommation des eaux pour les différents usages: domestique, collectif et industriel, touristique, etc. ;
- la modulation saisonnière journalière et horaire de la consommation.

Ces informations doivent permettre de préciser les tendances d'évolution de l'agglomération, de la population, de la consommation, des activités...qui sévront comme base à une projection future.

III.1.1.1. Situation démographique

Les ouvrages de génie civil comme ceux de l'hydraulique qu'on envisage d'utiliser dans le domaine de la collecte des eaux en milieu urbain doivent pouvoir répondre aux besoins de la population pour une certaine période appelée durée d'utilisation ou durée de vie de l'ouvrage en question.

L'ingénieur concepteur doit donc prévoir dès le stade de la conception quelle sera la population à desservir durant la vie de la structure projetée. Selon les besoins des prévisions, il existe trois types d'estimations des populations : l'estimation à court terme, de 05 à 10 ans, et l'estimation à moyen terme, de 10 à 50 ans, et l'estimation à long terme, de 20 à 50 ans.

La formule la plus utilisée pour l'estimation de la population d'avenir est la formule de la croissance géométrique basée sur l'équation de Pinterait compose.

$$P_n = P_0 (1 + T)^n \dots\dots\dots (1)$$

Où,

T : Taux de croissance de la population considérée.

P₀ : population de référence.

P_n : population à l'horizon futur.

n : C'est la différence en années entre l'année de référence (année du dernier recensement) et l'année de l'horizon de calcul.

Exercice 1

Soit une agglomération ayant en l'année 2018 un nombre de population égal à 75000 habitants.

Si le taux de croissance de la population est de 2,7%, estimer le nombre d'habitants à l'horizon de 10 ans (en l'année 2028), et à l'horizon de 25 ans (en l'année 2043) ?

Solution

Nombre d'habitants à l'horizon de 10 ans

Nous avons :

$$P_n = P_0 (1 + T)^n$$

Donc

$$P_{2028} = P_{2018} (1 + T)^{10}$$

$$P_{2028} = 75000 (1 + 2,7/100)^{10}$$

$$P_{2028} = 97897 \text{ Hab}$$

Nombre d'habitants à l'horizon de 25 ans

$$P_{2043} = P_{2018} (1 + T)^{25}$$

$$P_{2043} = 75000 (1 + 2,7/100)^{25}$$

$$P_{2043} = 145990 \text{ Hab}$$

Exercice 2

Le taux de croissance annuel d'une population de 25 000 habitants est de 5 %. Dans combien d'années la population atteindra-t-elle 50 000 habitants ?

Solution

$$P_n = P_0 (1+T)^n \Leftrightarrow 50000 = 25000.(1 + 0,05)^n \Leftrightarrow n=14,2 \text{ ans}$$

III.1.1.2. Evaluation du débit moyen journalier

La base de calcul de ce débit est la consommation en eau potable, à la quelle on ajoute un coefficient de rejet K_r ; ($K_r < 1$).

$$Q_{moyj} = K_r \frac{N.D}{1000} \text{ m}^3/\text{j} \dots\dots\dots (2)$$

Avec, Q_{moyj} : Débit d'eau usée rejetée quotidiennement (m^3/j).

K_r : Coefficient de rejet, on estime que **80%** de l'eau potable consommée est rejetée.

D : Dotation journalière en eau potable.

N : Nombre d'habitants.

III.1.1.3. Evaluation du débit de pointe

Le régime du rejet est conditionné par le train de vie des citadins, ce qui nous donne des heures où on a un pic et des heures creuses où le débit est presque nul (la nuit). Il est donné par la formule qui suit :

$$Q_{pte} = K_p \cdot Q_{moyj} \text{ (l/s)} \dots\dots\dots (3)$$

Avec, K_p : coefficient de pointe.

Pour estimer le coefficient de pointe on a plusieurs méthodes, parmi les quelles on a :

- Méthode liée à la position de la conduite dans le réseau.
- Le coefficient de pointe est estimé selon l'importance de la ville.
- Le coefficient de pointe est estimé à partir débit moyen.

Où,

$$K_p = a + \frac{b}{\sqrt{Q_{moyj}}} \quad \text{si } Q_{moyj} > 2,8 \text{ l/s} \quad a = 1,5, b = 2,5$$

$$K_p = 3 \quad \text{si } Q_{moyj} < 2,8 \text{ l/s}$$

Exemple

Soit une agglomération A d'une population de 5000 hab.

Calculer le débit moyen de rejet si le coefficient de rejet k_r est 80%?

On donne : la dotation d'alimentation est D: 180 l/j/hab.

Calculer le coefficient de pointe k_p ?

Calculer le débit de point des rejets?

Solution

Le débit moyen de rejet est :

$$Q_{moyj} = K_r \frac{N \cdot D}{1000} \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{moyj} = 0,8 \frac{5000 \cdot 180}{1000}$$

$$Q_{moyj} = 720 \text{ m}^3/j = 8,33 \text{ l/s}$$

Le coefficient de pointe k_p :

$$K_p = a + \frac{b}{\sqrt{Q_{moyj}}}$$

$$K_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{8,33}}$$

$$K_p = 2,37$$

Le débit de point des rejets :

$$Q_{pte} = K_p \cdot Q_{moyj}$$

$$Q_{pte} = 2,37 * 720$$

$$Q_{pte} = 1706,4 \text{ m}^3/j$$

III.1.2. Evaluation des débits d'eaux pluviales

Toute étude d'un réseau d'assainissement nécessite une détermination des débits pluviaux. Car ces eaux doivent être collectées dans les canalisations d'évacuation pour éviter les inondations.

Pour l'estimation des eaux pluviales, on fait un découpage de l'aire de l'agglomération en sous bassin, suivant des critères bien précis, en suite on attribue à chaque sous bassin un coefficient de ruissellement pondéré en fonction de la nature du sol drainé. La quantification des eaux de ruissellement est obtenue par l'application de différentes méthodes, parmi ces méthodes :

III.1.2.1. Méthode rationnelle

C'est une méthode qui consiste à estimer le débit à partir d'un découpage du bassin versant en secteurs limités par les lignes isochrones, cette méthode fut découverte en 1889, mais ce n'est qu'en 1906 qu'elle a été généralisée. Elle est connue aussi par la méthode de LLOYD DAVIS, c'est une méthode qui a fait et fait ses preuves surtout pour les bassins urbains à faible surface (<10 ha).

La méthode est définie sous la forme :

$$Q = C.i.A \dots\dots\dots(4)$$

Elle donne le débit de pointe Q à l'exutoire d'un bassin versant de surface A , de coefficient de ruissellement C sous une averse de durée égale au "temps de concentration du bassin" t_c et d'intensité moyenne i (t_c , T) de période de retour T .

III.1.2.1.1. Estimation des variables de la formule

a) La notion de bassin versant

Le bassin versant représente, en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets.

Plus précisément, le bassin versant qui peut être considéré comme un " système " est une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire.

L'aire drainée A (en ha) est la seule variable de définition très simple : C'est la surface à l'amont d'un point de calcul du réseau, elle est déterminée en identifiant le traçage des lignes de partage des eaux.

La longueur maximale du parcours de l'eau dans le bassin versant (L). Dans la figure III.1, cela correspond à la distance entre les points 1 et 4.

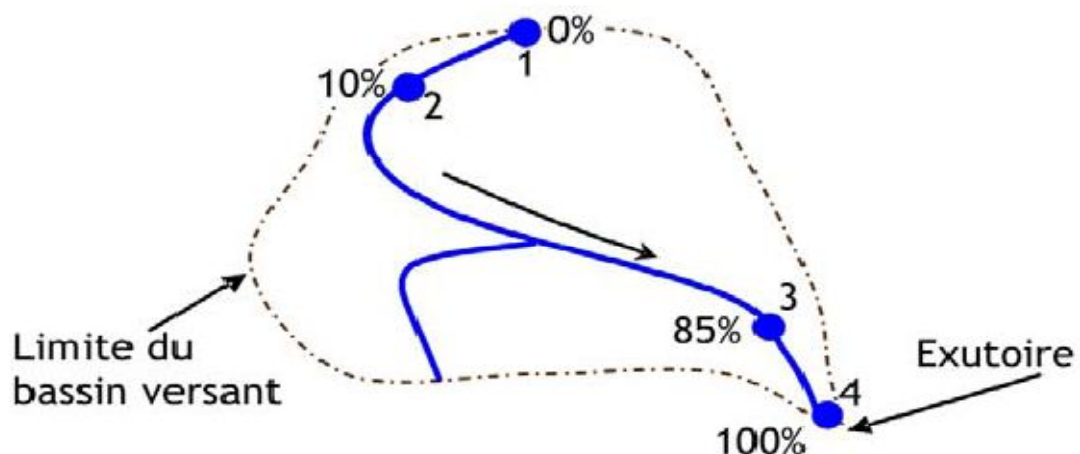


Figure III.1 : Longueur maximale du parcours de l'eau d'un bassin versant (Chabane, 2016)

b) Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement est délicat à définir, toute erreur sur ce coefficient conduit à une erreur de même ordre sur le débit. Dans la grande majorité des cas il est défini de façon statistique à partir d'une analyse plus ou moins subjective de l'occupation des sols.

Le coefficient de ruissellement est relié au pourcentage de surfaces imperméables, à l'intensité de la pluie et à la pente moyenne ; ce qui permet de prendre en compte l'amortissement de la pluie dans le processus de ruissellement superficiel.

Si le bassin versant est composé de plusieurs surfaces, il faut calculer le coefficient équivalent :

$$C_{eq} = \frac{\sum C_i \cdot A_i}{\sum A_i} \dots\dots\dots (5)$$

c) Intensité de la pluie

Lors de l'étude d'une averse, il convient de déterminer les intensités moyennes pour plusieurs valeurs échelonnées de l'intervalle de référence Δt . L'intensité moyenne se définit par le rapport de la hauteur d'eau tombée pendant une durée Δt , soit

$$i_m = \frac{\Delta h}{\Delta t} \dots\dots\dots (6)$$

Avec, i_m : intensité moyenne en mm/h.

Δh : hauteur de pluie tombée pendant la durée Δt .

Pour le calcul de l'intensité, nous devons :

- Analyser les données pluviométriques et faire le choix du type de la loi à laquelle il faut ajuster nos résultats.
- Calculer les paramètres de la loi choisie et vérifier son adéquation.
- Calculer la valeur de l'intensité moyenne de précipitation.

L'intensité de la pluie $i(t_c, T)$ est l'intensité moyenne maximale enregistrée sur une durée égale au temps de concentration du bassin.

Elle peut être obtenue à partir des classiques courbes "intensité-durée-fréquence" déduites de l'analyse statistique des averses. Plusieurs expressions analytiques de ces courbes

ont été proposées. Une des plus utilisées est l'expression connue sous le nom de loi de Montana:

$$i(t,T) = a(T) \cdot t^{b(T)} \dots\dots\dots(7)$$

Sachant que a et b sont des paramètres d'ajustement, constants pour une période de retour donnée.

d) Période de retour

Une période de retour c'est le temps que met une averse d'une intensité donnée pour se manifester. Une pluie de période de retour de 10 ans est une pluie qui peut se manifester une fois tous les 10 ans au moins.

Pour les projets d'assainissement, on opte généralement pour une pluie décennale. Le choix d'une période de retour de 10 ans est issu d'un compromis entre les données techniques et économiques, d'un côté, et que la durée de vie de la plupart des ouvrages projetés en assainissement n'a pas une durée de vie très importante, à cela s'ajoute le phénomène de l'extension et de réaménagement des agglomérations qui ne suit pas les schémas de développement préconisés au préalable.

e) Fréquence au dépassement

La fréquence au dépassement d'un évènement est la probabilité que cet évènement soit atteint ou dépassé chaque année. Par exemple, une crue de fréquence 0,1, la période de retour sera 10 ans et cette crue dite décennale. $F= 1/T$

f) Temps de concentration

La formule rationnelle repose sur le concept fondamental du temps de concentration. Ce dernier est difficile à estimer. Plusieurs formules empiriques intégrant généralement les caractéristiques physiques des bassins sont proposées pour les bassins ruraux. Pour les bassins urbains, la plus part des réglementations de l'assainissement, utilisant la formule rationnelle, adoptent une méthode plus exacte en décomposant le temps de concentration en deux parties :

$$t_c = t_s + t_e \dots\dots\dots(8)$$

Sachant que t_s est le temps de ruissellement superficiel jusqu'à une entrée dans le réseau et t_e est le temps d'écoulement dans le réseau.

Le temps t_s est généralement évalué forfaitairement ($t_s=5$ min) mais peut varier dans des proportions importantes en fonction des pratiques locales de drainage, des modes d'urbanisation etc (Touaibia, 2003).

Le temps d'écoulement dans le réseau est calculé à partir des lois de l'hydraulique des écoulements en conduites. Considérons un collecteur de section et de pente homogène, la durée de parcours d'un tronçon i de longueur L_i est :

$$t_{ei} = L_i / V_i \dots \dots \dots (9)$$

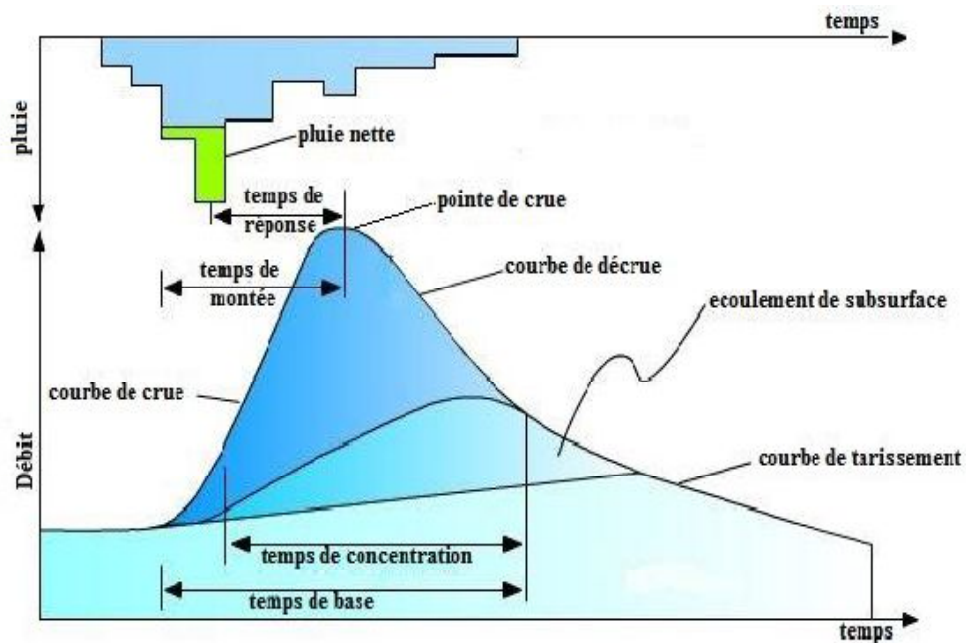


Figure III.2 : Eléments descriptif d'une crue (Chabane, 2016)

V_i est la vitesse d'écoulement dans le collecteur qui, en régime permanent uniforme, peut être calculée à partir de la formule de Chezy : $V = C \cdot \sqrt{R \cdot I}$ où R est le rayon hydraulique, I est la pente de la conduite et C le coefficient de Chezy, Pour un réseau des eaux usées $C = 70 \cdot R^{1/6}$, Pour réseau des eaux pluviales $C = 60 \cdot R^{1/4}$.

g) Pente moyenne

La pente moyenne d'un sous bassin est prise généralement égale à la pente moyenne du collecteur qui le dessert.

Quand le parcours de l'eau ruisselante ne présente pas de déclivité, la pente sera calculée comme étant le rapport entre la différence des cotes amont et aval du parcours sur la longueur de ce dernier.

$$I = \frac{C_{am} - C_{av}}{L} \dots \dots \dots (10)$$

C_{am} : Côte amont du parcours (m).

C_{av} : Côte aval du parcours (m).

L : Longueur du tronçon (m).

III.1.2.2. Méthode superficielle

Le modèle de Caquot apparaît comme étant l'une des premières approches scientifiques de réglementation de l'estimation des apports pluviaux des bassins versants urbanisés. Cette méthode a été mise au point par Caquot en 1949 sur la base de la méthode rationnelle, dont l'expression suivante :

$$Q(F) = K \cdot C^x \cdot i^y \cdot A^z \dots \dots \dots (10)$$

Où k, x, y et z dépendent des paramètres de la loi de MONTANA a(F) et b(F)

C : Coefficient de ruissellement ;

A : Surface en hectares ;

i : est la pente moyenne du réseau.

A partir de considérations théoriques des temps d'écoulement dans le réseau on montre que le temps de concentration peut être approximativement représenté par:

$$t_c = \mu \cdot I^c \cdot Q^f \cdot A^d \dots \dots \dots (11)$$

μ (E) est coefficient d'ajustement qui caractérise l'allongement du bassin : $E = \frac{L}{\sqrt{A}}$.

L'expression de l'intensité de la pluie donnée par la formule de Montana présente l'avantage de permettre l'écriture du modèle sous une forme totalement explicite ; en effet la combinaison des équations conduit à une formulation explicite du débit de pointe:

$$Q_p (m^3 / s) = \left[\frac{a \cdot \mu^b}{6 \cdot (\beta + \delta)} \right]^{\frac{1}{1-b \cdot f}} \cdot C^{\frac{1}{1-b \cdot f}} \cdot I^{\frac{c \cdot b}{1-b \cdot f}} \cdot A^{\frac{1+d \cdot b - \varepsilon}{1-b \cdot f}} \dots\dots\dots(12)$$

Le débit corrigé est donné par :

$$Q_{cor} = m \cdot Q_p \text{ Avec } \left[\frac{4}{E^2} \right]^{\frac{c \cdot b}{1-b \cdot f}} \dots\dots\dots(13)$$

Validité de la méthode superficielle

Les limites d'application de la méthode superficielle sont :

- La limite supérieure de la surface du sous bassin est de 200 ha.
- Le coefficient de ruissellement doit être compris entre 0.2 et 1.
- Le coefficient d'allongement "M" doit être compris entre 0.8 < M < 2.
- La pente doit être comprise entre 0.2 et 5%.

Paramètres équivalents d'un assemblage de bassins

La formule superficielle découlant du modèle de Caquot ne peut approcher la réalité que si les bassins versant présentent des caractéristiques physiques homogènes. Elle nécessite doc l'emploi de formules d'équivalence pour les paramètres (A, C, I et E) du groupement. Ces formules, qui diffèrent selon que les bassins constituant le groupement sont en parallèle ou en série, sont données ci-après:

Tableau III. 1 : Paramètres équivalents d'un assemblage de bassins

	A _{eq}	C _{eq}	I _{eq}	E _{eq}
Bassins en série	$\sum A_i$	$\sum C_i \cdot A_i / \sum A_i$	$I = \left[\frac{\sum L_i}{\sum \frac{L_i}{\sqrt{I_i}}} \right]^2$	$\sum L_i / \sqrt{\sum A_i}$

Bassins en parallèle	$\sum A_i$	$\sum C_i \cdot A_i / \sum A_i$	$\sum Q_{icor} \cdot I_i / \sum Q_{icor}$	$L(Q_{i_{max}}) / \sqrt{\sum A_i}$
----------------------	------------	---------------------------------	---	------------------------------------

III.1.2.3. Méthode de transfert

Cette méthode a été mise au point pour calculer en temps réel des prévisions de débits de crue d'après les pluies mesurées, pour des bassins versants de l'ordre du millier de kilomètres carrés ($100 < BV < 3000 \text{ km}^2$).

III.1.2.4. Méthode d'Horton

Cette méthode essentiellement utilisée aux USA, adaptée aux études de planification urbaine, constitue un modèle de ruissellement sur un sol. Le problème se réduit à la résolution d'une équation aux dérivées partielles dans un espace comprenant trois variables :

- Deux coordonnées (x, y)
- Le temps t

Ce problème peut être résolu numériquement par discrétisation.

III.1.2.5. Méthode de SOCOSE

La méthode de Socose est le résultat, obtenu en 1980, d'une synthèse nationale de l'observation de près de 5000 crues sur 137 petits bassins versants en milieu rural.

La méthode prend en compte des paramètres morpho métriques (superficie, longueur du bassin) et des paramètres climatiques (pluie décennale journalière locale, pluviométrie moyenne annuelle, température moyenne interannuelle réduite au niveau de la mer, paramètre b de la formule exponentielle).

On remarquera qu'elle ne prend pas en compte la pente du terrain et ne contient pas de coefficient dépendant de la capacité de la pluie à s'infiltrer ou à ruisseler jusqu'à l'exutoire.

Il y a lieu de préciser que la méthode Socose permet d'obtenir une valeur de débit de fréquence décennale d'un bassin versant rural de grande dimension. Seule une étude rigoureuse comportant une observation minutieuse du site, une enquête auprès des riverains et