

CONTRIBUTION A L'ETUDE DU DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT PLUVIAL : LES METHODES DES HYDROGRAMMES

Boutaghane H¹., Ouerdachi L²., Mansouri R³

¹ Département d'hydraulique Centre Universitaire de Bechar, Bechar, Algérie

² Département d'hydraulique à l'université de Badji Mokhtar Annaba, Annaba, Algérie

³ Département de génie civil Université 08 Mai 1945 Guelma, Guelma, Algérie

RESUME

Les méthodes globales d'estimation du débit de ruissellement (la méthode rationnelle ou la méthode de Caquot) ne peuvent conduire qu'à des valeurs ponctuelles des débits. Leur emploi n'est recommandé que pour des bassins de petite taille. Pour le calcul de réseaux plus complexes, elles doivent être remplacées par des modèles plus développés tenant compte de l'aspect dynamique de la transformation de la pluie en débit de ruissellement. Il existe déjà un certain nombre de ces modèles à travers le monde. La principale différence avec les précédents provient du fait qu'ils fournissent un hydrogramme à l'exutoire du bassin et non plus une valeur de débit maximum. Le travail proposé consiste à étudier le dimensionnement des réseaux d'assainissement pluvial et les ouvrages qui s'y attachent par les méthodes des hydrogrammes. D'abord, la pluie de projet synthétique est étudiée selon les modèles qui existent nous permettant ainsi de construire l'hyétoqramme de la pluie de projet et d'évaluer après transformation via le modèle à réservoir linéaire l'hydrogramme de ruissellement qui entre dans le réseau d'assainissement pluvial. Cette démarche sera appliquée dans la région de Annaba

Mots Clés : pluie de projet, assainissement pluvial, courbes I.D.F, hydrogramme de ruissellement, Annaba.

INTRODUCTION

La conception des ouvrages d'assainissement et la gestion (diagnostic, réhabilitation, entretien, exploitation) des réseaux d'assainissement sont des tâches où il est nécessaire de prévoir le fonctionnement des ouvrages existants, ou projetés, face à des phénomènes hydrologiques de diverses natures et de comparer les solutions et les techniques envisageables. Par ailleurs, les phénomènes hydrologiques (pluie, ruissellement) sont caractérisés par une grande variabilité dans l'espace et dans le temps et ne seraient donc décrits par des valeurs moyennes applicables à des espaces de structures homogènes. Dès lors, la simulation détaillée des phénomènes ou modélisation est la seule voie possible.

En général, les méthodes globales d'estimation du débit de ruissellement (telle que la méthode rationnelle ou la méthode de Caquot ne peuvent conduire qu'à des valeurs ponctuelles des débits, parce qu'elles sont trop globales, en plus elles négligent l'effet de stockage dans le réseau lui-même. Leur emploi n'est recommandé que pour des bassins de petite taille, ne dépassant pas quelques centaines d'hectares. Pour le calcul des réseaux plus complexes (bassin versant de grande taille), elles doivent être remplacées par des modèles plus développés tenant compte de l'aspect dynamique de la transformation de la pluie en débit de ruissellement. Il existe déjà un certain nombre de ces modèles à travers le monde. La principale différence avec les précédents provient du fait qu'ils fournissent un hydrogramme (courbe débit en fonction du temps) à l'exutoire du bassin et non pas seulement une valeur de débit maximum.

PRINCIPE DE BASE DES METHODES D'HYDROGRAMMES

Une simulation réelle du parcours de l'onde de crue dans un réseau de d'assainissement pluvial ne peut se faire qu'en considérant le facteur temps. Pour cela, il suffit de découper un événement « pluie » en intervalles de temps, de considérer pour chaque pas de temps la quantité d'eau qui ruisselle pour arriver à chaque point d'entrée du réseau et d'accumuler, en fonction des quantités d'eau déjà présentes dans le réseau, le débit dans chaque conduite. Les dimensions physiques du réseau, longueurs, diamètres et pentes, permettront de déterminer les temps de parcours dans chaque branche.

Nous aurons donc à chaque point de jonction du réseau la sommation des hydrogrammes d'apport et une telle simulation nous permettra de connaître l'hydrogramme réel en tout point du réseau.

Dans ce qui suit, nous allons déduire l'hydrogramme de ruissellement urbain qui pénètre dans le réseau d'assainissement. Pour cela, nous allons construire l'hyétogramme de la pluie de projet et après, voir la transformation de l'hyétogramme en hydrogramme, le bassin versant avec ses caractéristiques joue le rôle du transformateur (Fig.1 et 2).



Figure 1 : Principe de transformation de l'hyétogramme de pluie en hydrogramme de ruissellement

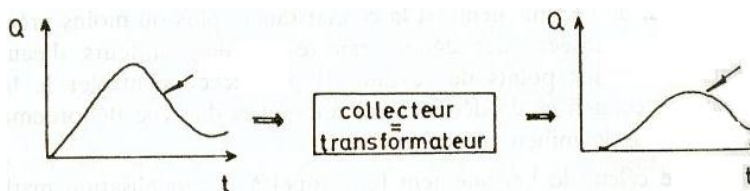


Figure 2 : Principe de transformation de l'hydrogramme de crue à l'intérieur du collecteur (effet de stockage)

CHOIX DES PLUIES DE DIMENSIONNEMENT

L'entrée fondamentale des modèles de ruissellement urbain est évidemment la pluie de projet ou encore l'hyétogramme synthétique.

La Pluie de projet

La pluie de projet est un évènement pluvieux fictif et est une représentation synthétique (type avancée, intermédiaire, retardée,...) de formes imposées (triangulaires, trapézoïdale,...). Elle est censée représenter l'ensemble des informations pluviométriques disponibles (la pluie de projet est un évènement type) et de produire à l'exutoire du bassin (réseau d'assainissement) le même effet que la pluie réelle (débit, volume, etc....) à laquelle il est possible d'associer une période de retour (Bourrier, 1997 ; Chocat, 1997 et Valiron 1989).

Selon les données disponibles, la taille du problème traité, les moyens de calcul et les paramètres pris en compte, on peut distinguer deux grandes classes de pluie de projet ; l'une issue de la définition déterministe et l'autre de la définition statistique (Bemmo, 1985)].

L'approche déterministe

Elle consiste à représenter la pluviométrie locale par une pluie de projet unique à laquelle on rattache une période de retour. Elle regroupe les trois méthodes suivantes de représentation de la pluie de projet :

- ❑ A partir des courbes « Intensité-Durée-Fréquence », l'intensité moyenne maximale pendant le temps de concentration du bassin versant est considérée. Elle permet de calculer le débit de pointe à l'exutoire, auquel on fait correspondre la même période de retour.
- ❑ A partir d'un hyétogramme (variation de l'intensité en fonction du temps).
- ❑ A partir d'un hyétogramme tenant compte de l'emprise de l'averse et de sa trajectoire sur le bassin versant étudié.

L'approche statistique

Elle consiste à représenter la pluviométrie locale par un ensemble de pluie de projet permettant d'étudier la relation « pluie – débit » à l'exutoire, cette approche consiste à :

- ❑ mesurer la fréquence d'apparition d'un débit à partir de plusieurs pluies. La période de retour d'une valeur de débit n'étant pas forcément égale à celle de la pluie ;
- ❑ tenir compte de la variation spatio-temporelle des intensités à partir d'une trajectoire suivie par l'orage;
- ❑ mesurer la réponse d'un réseau pour les événements pluviométriques les plus violents observés localement.

Plusieurs pluies synthétiques ont donc été mises au point en fonction des caractéristiques météorologiques de la région considérée. Généralement, ces pluies considèrent les paramètres physiques et statistiques de durée, d'intensité, de précipitation et de fréquence. Parmi les hyétogrammes synthétiques disponibles, nous avons choisi la pluie de forme triangulaire (double triangle symétrique de Bernard Chocat). Elle est particulièrement intéressante sur ce plan car elle est construite à partir des courbes intensité-durée-fréquence et peut donc être adoptée à différentes régions.

Méthode de la pluie de projet double triangle symétrique

Le principe de « la pluie de projet double triangle » a été développé en France par Desbordes (1974) à partir de l'analyse statistique d'une série chronologique de pluies réelles. Elle est beaucoup utilisée en France pour le dimensionnement des réseaux d'assainissement pluviaux.

En partant du principe de « la pluie de projet double triangle » de Desbordes ; Chocat (1997), propose qu'on peut considérer cette pluie parfaitement symétrique lorsqu'on utilise le modèle à réservoir linéaire, en supposant que la pointe du débit à l'exutoire apparaît pendant la pluie intense (Fig. 3).

La période de retour sur la durée totale est prise égale à celle sur la durée de pluie intense.

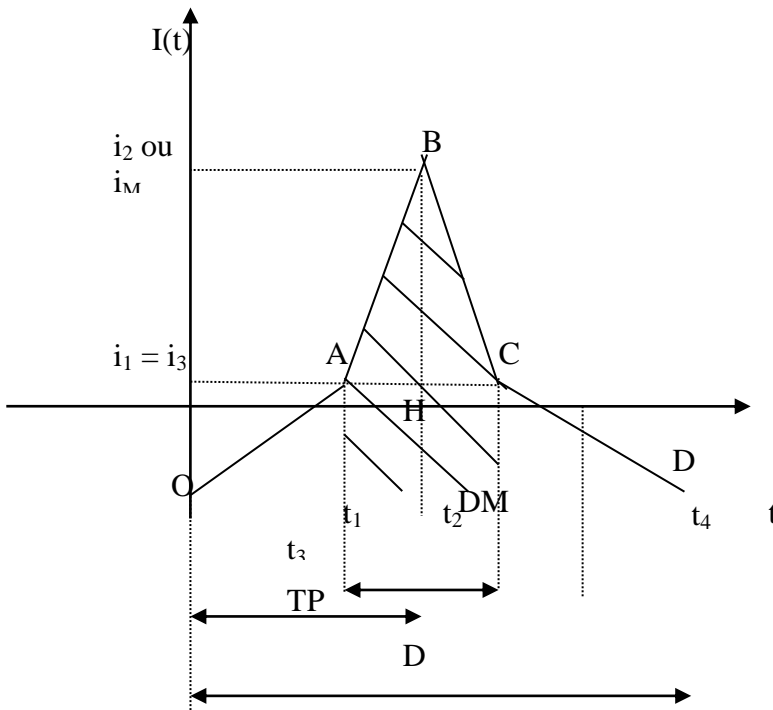


Figure 3 : Forme de « la pluie de projet double triangle symétrique » de Chocat

Par ailleurs, en l'absence de mesures pluviométriques locales permettant une définition statistique des paramètres hydrologiques de « la pluie de projet double triangle » ou la détermination d'un autre modèle tenant compte des caractéristiques de la pluviométrie locale, Chocat recommande l'utilisation des courbes « *I.D.F* » locales et d'un temps D appelé temps de base tel que : $D = 5.93 A^{0.441}$ où A : surface du bassin versant considéré, à l'aide duquel les paramètres de la pluie de projet sont estimés.

Modèle de calcul des hydrogrammes de ruissellement

Pour étudier la transformation des pluies de projets construites ; sur les débits et les hydrogrammes à l'exutoire des bassins versant, on passe par un modèle de simulation, ce qui impose le choix d'un modèle de transformation pluie-débit à l'exutoire. Or ne disposant pas de mesures concomitantes de pluie et de débit, de modèle de calcul des hydrogrammes relatif à un bassin réel, le choix à priori d'un modèle s'impose.

Choix du modèle de ruissellement :

Le modèle de transfert de la pluie de projet double triangle de Chocat est le modèle à réservoir linéaire. L'idée de départ est que les différentes parties du sols se comportent comme des réservoirs d'eau, se remplissant chacun suivant une lois conditionnée par la partie du système située à l'amont et se vidant selon une loi qui dépend de sa constitution, de son degré de remplissage et parfois de l'état des réserves situées à l'aval. Généralement, on choisit les lois de vidange des réservoirs de façon à obtenir une réponse identique à la réponse des bassins versants réels.

Comme on utilise une image réservoir, on introduit une nouvelle variable dite variable d'état, qui va mesurer la quantité d'eau stockée dans le réservoir au temps t . De ce fait, la modélisation de cette transformation pluie-débit à l'exutoire suivra deux lois :

- une loi principe traduisant la conservation des volumes transités exprimée par la relation (conservation du flux)

$$\frac{dV_s(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t) \quad (1)$$

avec :

$Q_e(t)$: débit de pluie nette à l'instant t

$Q_s(t)$: débit de vidange au temps t , ou débit à l'exutoire au temps t

$V_s(t)$: volume stocké au temps t par le réservoir.

- Une loi empirique ou une loi rationnelle définissant la loi de vidange du ou des réservoirs, dont la forme générale est :

$$V_s(t) = f(Q_e(t), Q_s(t), t) \quad (2)$$

Cette équation relie la variable d'état, le volume stocké $V_s(t)$, aux variables d'entrée, débit de pluie nette $Q_e(t)$ et de sortie $Q_s(t)$ du système. On a donc le système d'équations suivantes :

$$\begin{cases} \frac{dV_s(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t) \\ V_s(t) = f(Q_e(t), Q_s(t), t) \end{cases} \quad (3)$$

C'est le choix de la fonction de stockage f qui différencie entre les différents modèles, on distingue généralement :

- les modèles à réservoirs non linéaires
- les modèles à réservoirs linéaires.

Le choix a été orienté vers le modèle du réservoir linéaire pour les raisons suivantes:

- modèle très simple par rapport aux modèles à réservoir non linéaires ;
- présente un seul paramètre d'ajustement (le lag-time K)

Le lag time représente le décalage entre les centres de gravité du hétérogramme et de l'hydrogramme, ou l'hydrogramme d'entrée et l'hydrogramme de sortie. Il est exprimé en minutes (Fig. 4).

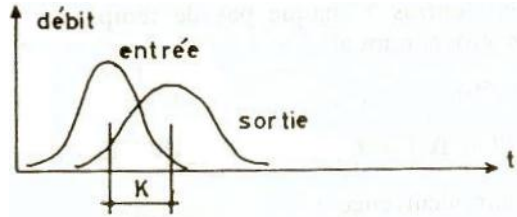


Figure 4 : Représentation du lag-time

Parmi les modèles linéaires existant, celui de Desbordes est adopté.

$$V_s(t) = KQ_s(t) \tag{4}$$

$$dV_s(t)/dt = Q_e(t) - Q_s(t) \text{ au temps } t=0,$$

Si, l'on a $Q_e(0) = Q_s(0) = 0$, on en déduit :

$$Q_s(t) = \frac{1}{K} \int_0^t e^{-\frac{t-\mu}{K}} Q_e(\mu) d\mu \tag{5}$$

On a $Q(\mu) = Q(t)$ pour μ compris entre $t - \Delta t$. On en déduit la relation suivante en supposant que le débit de pluie nette est connu sous la forme d'une fonction en escalier :

$$Q_s(t + \Delta t) = e^{-\frac{\Delta t}{K}} \cdot Q_s(t) + (1 - e^{-\frac{\Delta t}{K}}) \cdot Q_e(t + \Delta t) \tag{6}$$

avec :

K : paramètre d'ajustement des modèles à réservoirs. Pour les modèles linéaires, il est fonction de : $K = f(A, IMP, I, L, D_p, H_p)$.

où :

- A : surface du bassin versant (hectares) ;
- D_p : durée de la période de « pluie critique » du bassin (de l'ordre de grandeur du temps de réponse du bassin versant) (mn) ;
- H_t : Hauteur de pluie pendant cette durée (mn)
- I : pente du plus long parcours (%) ;
- IMP : coefficient d'imperméabilisation (%) ;
- L : longueur du plus long parcours de l'eau (collecteur principal) (m).

Le paramètre d'ajustement K du modèle à réservoir linéaire utilisé est donné par la relation de Desbordes:

$$K = 0.395A^{-0.0076} \cdot IMP^{-0.512} I^{-0.401} L^{0.608} \quad (7)$$

La transformation de la pluie brute en débit de pluie nette $Q_e(t)$ sur le bassin versant résulte des pertes diverses et de l'abattement spatial. Cette transformation se définit comme suit :

$$Q_e(t) = IMP \cdot f(d) \cdot i(t) S \quad (8)$$

Avec S : surface du bassin versant considéré ; i(t) hyétogramme de projet ; d distance de l'épicentre au centre de gravité du bassin versant; IMP : pourcentage d'imperméabilisation. f(d) fonction d'abattement spatial de la pluie. Pour des raisons simplificatrices, nous avons pris cette fonction égale à l'unité.

CONSTRUCTION DE LA PLUIE DE PROJET

Les courbes « Intensité-Durée-Fréquence », utilisées ont été construites à partir des séries de données pluviométriques de la région de Annaba dans six stations de mesures : Berrahal, Aïn Berda, Mirebek (pont Bouchet), les Salines (Aéroport), Annaba Port et Seridi, sur une période d'observation qui s'étale de 1946/ 47 à 1999/2000.

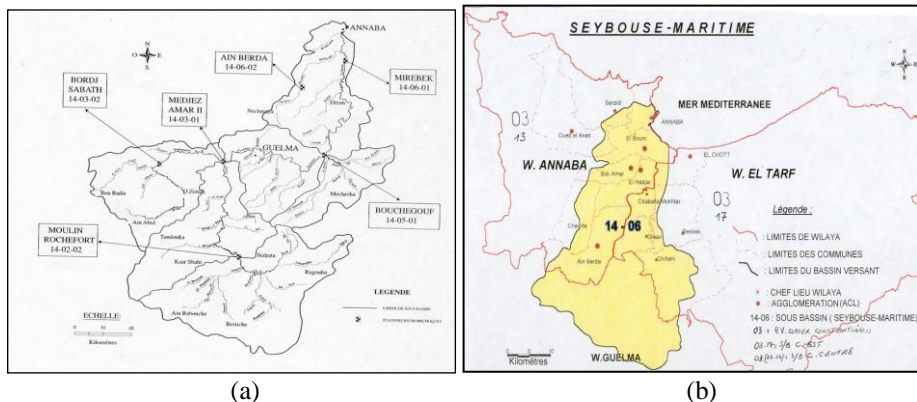


Figure 5 : (a) position de quelque stations de mesures hydrométriques ; (b) les bassins versants de la région de Annaba

Après traitement statistique des données (comblement des lacunes et extension des séries) et détermination des caractéristiques pluviométriques de chaque station (Tab. 1), les courbes *I.D.F* ont été établies selon le modèle de Montana $I(t.T)=\frac{a(T)}{t^{b(T)}}$ (Boutaghane et al, 2002). Les résultats sont dans le tableau 2.

Tableau 1 : Caractéristiques climatiques de la région de Annaba

	<i>Pluie Moyenne annuelle $\overline{P_{an}}$</i>	<i>Pluie journalière moyenne $\overline{P_j}$</i>	Ecart-type σ_p	Coefficient de variation C_v	<i>Exposant climatique b</i>
<i>Ain Berda</i>	612.86	50.78	157.24	0.26	0.36
<i>Aéroport</i>	640.58	52.23	157.20	0.25	0.37
<i>Pont Bouchet</i>	582.84	49.20	152.44	0.26	0.35
<i>Berahal</i>	631.32	51.74	147.93	0.23	0.37

Tableau 2 : Paramètres de MONTANA (A et B) pour différentes fréquences

Fréquence	Biennale	Quinquennale	Décennale
Ain Berda	(215.095, 0.64)	(266.732; 0.64)	(298.590; 0.64)
Aéroport	(206.185; 0.63)	(253.663; 0.63)	(282.727; 0.63)
Pont Bouchet	(222.162; 0.65)	(277.904; 0.65)	(311.096: 0.65)
Berahal	(205.185; 0.63)	(248.397; 0.63)	(274.530; 0.63)

L'application de cette démarche a été effectuée en utilisant les courbes « *I.D.F.* » de la région de Annaba pour la construction de la pluie de projet de période de retour décennale. On utilisera les données de la station de Mirebek (Pont Bouchet) (Tab. 3).

Soit un point quelconque du hyétogramme de la pluie de projet double triangle symétrique défini suivant la méthode de Chocat, de coordonnées (t_i, i_i) qui définissent la pluie de projet double triangle symétrique pour la région de Annaba, construites à partir de cette méthode.

Nous avons appliqué cette démarche au sous-bassin de la région de Annaba dont les caractéristiques sont : $A=14.89 \text{ ha.}$, $C=0.6$, $L_f=900m$, $IMP=0.5$, $I=1\%$, et nous avons obtenu la pluie de projet double triangle symétrique (Fig. 6).

Tableau 3 : Paramètre de la pluie de projet de Chocat

POINT	STATION MIREBEK
O (t_1, i_1)	(0 , 0)
A (t_1, i_1)	(43.9 , 255.55)
B (t_2, i_2)	(48.78 , 355.9)
C (t_3, i_3)	(53.66 , 255.55)
D $(t_4, 0)$	(97.55 , 0)

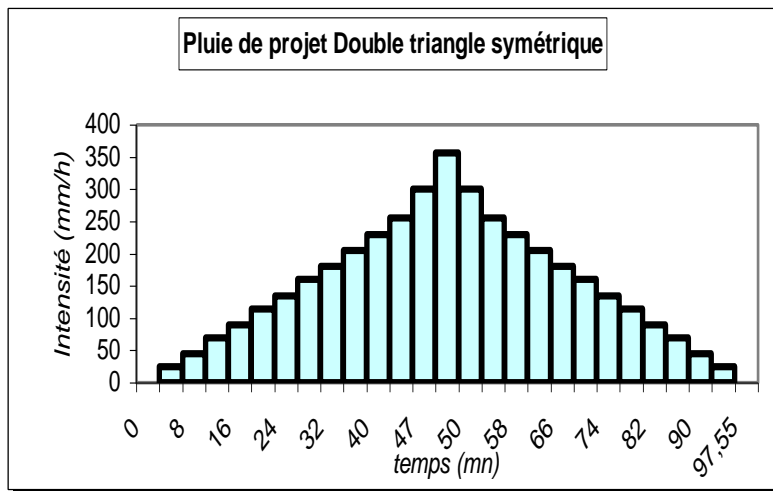


Figure 6. Hyetogramme suivant la méthode pluie de projet double triangle symétrique

Les relations (6) et (8) donnent respectivement les valeurs numériques de Q_s et Q_e

La figure 7 montre l'allure de l'hydrogramme de ruissellement qui pénètre dans le réseau d'assainissement.

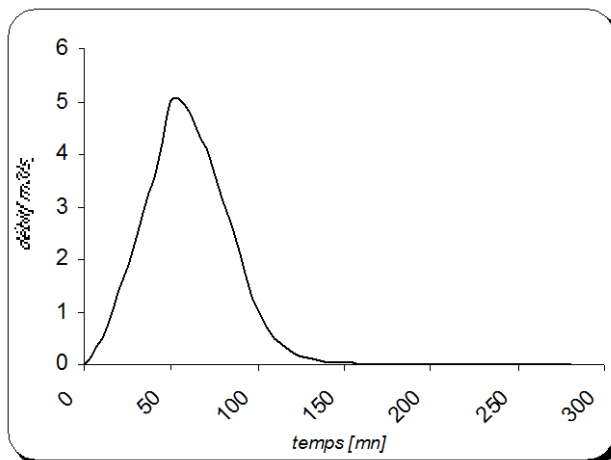


Figure 7. Hydrogramme de ruissellement qui pénètre dans le réseau d'assainissement

Le débit de pointe est estimé : $5 \text{ m}^3/\text{s}$, alors que une formule classique donne une valeur de $8,83 \text{ m}^3/\text{s}$ soit une différence en hausse de l'ordre de 35%, engendrant un surdimensionnement des ouvrages et un mauvais fonctionnement.

CONCLUSION

L'avantage des méthodes des hydrogrammes est le gain d'une information obtenu en ce qui concerne le débit de pointe, car elle prend en considération l'effet du stockage du, au bassin versant. Ce qui nous ramènera à un dimensionnement plus précis et plus économique. En plus, la connaissance de la variation du débit en fonction du temps (hydrogramme qui pénètre le réseau) améliorera la gestion des ouvrages non statiques à l'aval comme les déversoirs d'orage à seuil mobile et stations d'épuration.

En perspective, il reste à étudier la transformation de l'hydrogramme qui se propage à l'intérieur même du réseau, c'est à dire déterminer l'effet de stockage du réseau, pour arriver à un modèle complet dans l'étude l'assainissement pluvial.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Balades J.D., 1991 Quelques exemples d'utilisation des modèles hydrologiques, Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, N° :172-mars-avril, 1991, pp79-92.
- Bemmo N., 1985 Contribution a la recherche d'une méthode de dimensionnement des ouvrages d'assainissement pluvial urbain en zone tropicale humide d'Afrique : Cas de Yaoundé, Mémoire DEA, Institut National des Sciences Appliquées, Lyon,.114p.
- Bemmo N., Chocat B., 1993 Cchoix des modèles de pluie adaptées a la conception des réseaux d'assainissement pluvial urbain en zone tropicale humide : cas de Yaoundé (Cameroun), bulletin du cieh n°94, pp 13-28.
- Body K, 1985 Analyse fréquentielle des pluies de l'Algérie « Synthèse Régionale : détermination des paramètres principaux par station et leur répartition spatiale », Constantine : Institut National des Ressources Hydrauliques i.n.r.h., 2^{ème} impression, 46p.
- Bourrier R., 1997 Les réseaux d'assainissement, « calculs, Applications, Perspectives ».: Technique et Documentation, 4^{ème} édition. Paris 811p

- Boutaghane H., Mansouri R., 2002 Contribution a l'étude et au dimensionnement et du comportement Des ouvrages d'assainissement : Les déversoirs d'orage, mémoire de magister. Université de Annaba, 119p+annexes.
- Chocat B., 1997 Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Edition: technique et documentation, Lavoisier. Paris 1124p.
- Valiron F., 1989 Gestion des eaux « alimentation en eau, assainissement ». Ed. Presse de l'Ecole National des Pont et Chaussées, Paris. 505p.