

## PREMIERE PARTIE : Hydrologie Urbaine

### Chapitre 3 : Transformation pluie-débit

#### 1- La mesure des débits

On appelle hydrométrie l'ensemble des techniques de mesures des différents paramètres caractérisant les écoulements dans les cours d'eau naturels ou artificiels et dans les conduites. Les deux variables principales qui caractérisent l'écoulement sont :

- La cote de la surface d'eau libre, notée  $H$  et exprimée en mètre. Sa mesure concerne la limnimétrie.
- Le débit du cours d'eau, noté  $Q$  et exprimé en  $m^3/s$  ou  $l/s$ , représentant le volume total d'eau qui s'écoule à travers une section droite du cours d'eau pendant l'unité de temps considérée. Sa mesure est du ressort de la débitmétrie.

Le niveau d'eau dans un canal est facilement observable, mais n'est représentatif que de la section d'observation et peut être soumis à des modifications dans le temps. Seule la variable débit reflète physiquement le comportement du bassin versant, et peut être interprétée dans le temps et l'espace. Généralement, on ne dispose pas d'une mesure directe et continue des débits mais d'un enregistrement des variations de la hauteur d'eau en une section donnée (station hydrométrique). On passe alors de la courbe des hauteurs d'eau en fonction du temps  $H=f(t)$  (appelée limnigramme) à celle des débits  $Q=f(t)$  (appelée hydrogramme) par l'établissement d'une courbe de tarage  $Q=f(H)$ .

La détermination de la courbe de tarage est généralement effectuée au moyen de campagnes de mesures de débits épisodiques, dont la fréquence est un élément essentiel de la qualité et de la précision des données ainsi obtenues. Le nombre de points nécessaire à l'établissement d'une courbe de tarage est de 10 minimums, répartis entre les basses et les hautes eaux. On appelle jaugeage l'ensemble des opérations destinées à mesurer le débit d'une rivière.

#### *1-1- La mesure des hauteurs d'eau*

La mesure des hauteurs d'eau (la limnimétrie) ou de la variation d'un plan d'eau s'effectue généralement de manière discontinue par la lecture d'une règle graduée (échelle limnimétrique) fixée sur un support. Pour connaître en continu les variations d'un plan d'eau, on utilise des limnigraphes qui

fournissent sur un support un enregistrement continu des variations du niveau d'eau dans la rivière en fonction du temps (enregistrement graphique sur bande papier, enregistrement magnétique sur cassette, etc.).

### ***Le limnimètre***

Le limnimètre est l'élément de base des dispositifs de lecture et d'enregistrement du niveau de l'eau : il est constitué le plus souvent par une échelle limnimétrique (Fig. 1) qui est une règle ou une tige graduée en métal (éventuellement en bois ou en pierre), placée verticalement ou inclinée, et permettant la lecture directe de la hauteur d'eau à la station. Si l'échelle est inclinée, la graduation est corrigée en fonction de l'angle d'inclinaison avec la verticale. La lecture de l'échelle limnimétrique se fait généralement au demi-centimètre près. Le zéro de l'échelle limnimétrique doit être placé au-dessous des plus basses eaux possibles dans les conditions de creusement maximum du lit dans la section de contrôle, et ce pour ne pas avoir de cotes négatives.



Fig. 1. - Echelles limnimétriques inclinée et verticale.

### ***le limnigraphe à flotteur***

Le limnigraphe à flotteur est un appareil qui maintient un flotteur à la surface de l'eau grâce à un contrepois, par l'intermédiaire d'un câble et

d'une poulie. Le flotteur suit les fluctuations du niveau d'eau, qui sont reportées sur un graphe solidaire d'un tambour rotatif (à raison d'un tour par 24h ou par semaine ou par mois). La précision de la mesure est de 5 mm environ.

### ***Le limnigraphe "bulle à bulle"***

Le limnigraphe à pression ou "bulle à bulle", mesure les variations de pression causées par les changements de niveau d'eau. Cet appareil comprend une bonbonne de gaz comprimé, un dispositif de contrôle de pression et un tube immergé relié à la bonbonne. Un débit d'air constant sous pression est envoyé au fond de la rivière. Par un manomètre à mercure, on mesure la pression de l'air dans le tube qui est proportionnelle à la hauteur d'eau au-dessus de la prise installée dans la rivière.



Fig. 2 - Limnigraphe pneumatique

### ***1-2- La mesure des débits***

Pour mesurer le débit d'un écoulement naturel (cours d'eau, canal, dérivation...), il existe quatre grandes catégories de méthodes.

- *Les méthodes "volumétriques"* (ou jaugeage capacitif) permettent de déterminer le débit directement à partir du temps nécessaire pour remplir d'eau un récipient d'une contenance déterminée. Compte tenu des aspects pratiques inhérents à la méthode de mesure (taille du récipient nécessaire, incertitude sur la mesure du temps, aménagement spécifique éventuel), cette méthode n'est généralement pratiquée que pour des débits très faibles, quelques l/s au plus.

- Les méthodes "d'exploration du champ de vitesse" consistent à déterminer la vitesse de l'écoulement en différents points de la section, tout en mesurant la surface de la section mouillée. Ces techniques nécessitent un matériel spécifique (moulinet, perche, saumon, courantomètre...) et un personnel formé à son utilisation. Parmi les nombreuses méthodes d'exploration du champ de vitesse
- Les méthodes "hydrauliques" tiennent compte des forces qui régissent l'écoulement (pesanteur, inertie, viscosité...). Ces méthodes obéissent aux lois de l'hydraulique.
- Les méthodes "physico-chimiques" prennent en compte les variations, lors de l'écoulement, de certaines propriétés physiques du liquide (concentration en certains éléments dissous). Ces méthodes consistent généralement à injecter dans le cours d'eau un corps en solution, et à suivre l'évolution de sa concentration au cours du temps. Ce sont les méthodes dites «par dilution» ou encore «chimique».

Toutes ces méthodes de mesures des débits nécessitent généralement un régime d'écoulement en régime fluvial, sauf les jaugeages chimiques, qui sont appropriés en cas d'écoulement torrentiel.

## 2- Transformation pluie-débit

Prévoir le future aide à mieux gérer le présent. Ceci est vrai aussi dans le domaine de l'eau ou le gestionnaire d'un système hydrique est intéressé à connaître les débits qui alimentent les réservoirs. Comme les données de base sont des variables météorologiques, il faut connaître les relations entre ces dernières et le débit dans la rivière. Ces transformations permettent de relier les précipitations enregistrées ou prévue, aux débits d'eaux observés ou prévus à certains endroits stratégiques dans une rivière ou dans n réseau d'égout.

### 2-1- Méthode rationnelle

Malgré sa simplicité, la méthode rationnelle a été intensément utilisée pour concevoir la quasi-totalité des réseaux d'égouts pluvieux.

#### 2-1-1- formulation de la méthode

La méthode rationnelle est exprimée par la relation :

$$Q = K \cdot C \cdot i \cdot A \quad (1)$$

Q : est le débit de pointe en m<sup>3</sup>/s

C ; coefficient du ruissellement

A ; la superficie du bassin versant en hectares

K ; facteur de conversion = 0.0028

i ; intensité de précipitation en mm/h, supposée constante et uniforme sur tout le bassin durant toute la durée de la pluie.

### 2-1-2- courbe intensité-durée-fréquence (IDF)

La méthode rationnelle fait abstraction de la distribution spatio-temporelle de l'averse. Les intensités utilisées sont tirées des courbes intensité-durée-fréquence IDF (fig. 3) et sont appliquées uniformément sur l'ensemble du bassin.

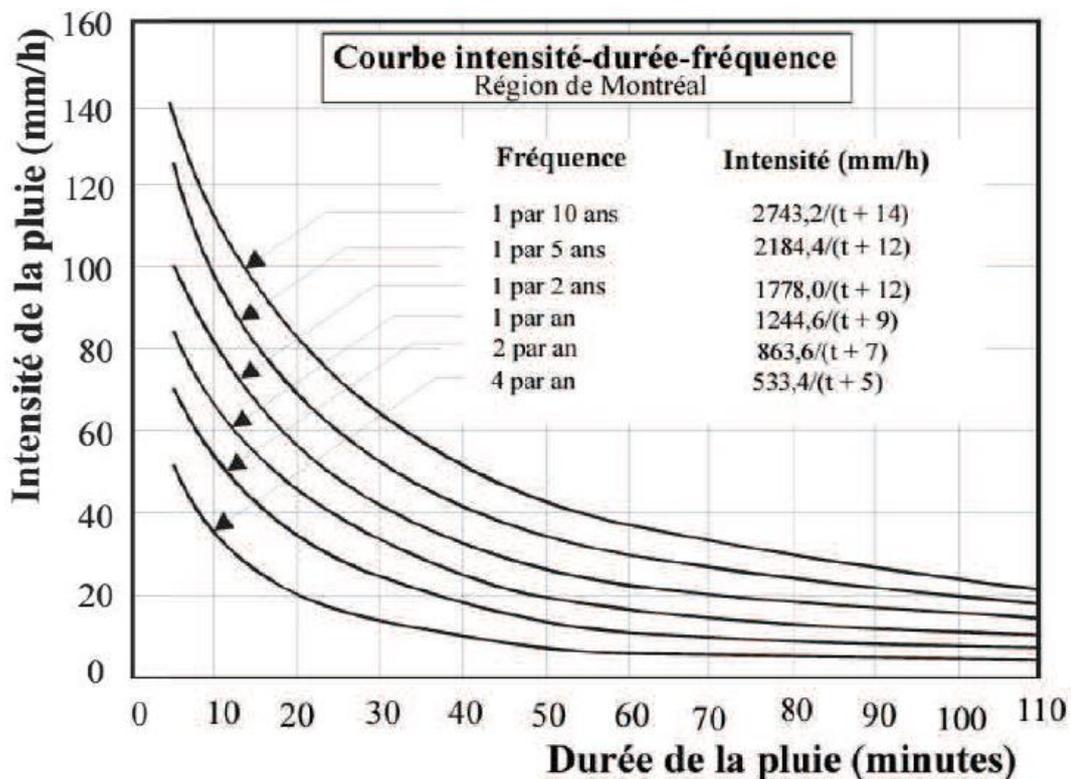


Fig. 3 : exemple d'une Courbe intensité-durée-fréquence IDF (canada)

La formule la plus couramment utilisée pour représenter la courbe IDF est celle de Grisollet :

$$i(t,T) = \frac{A(T)}{t + B(T)} \quad (2)$$

i : intensité de pluie en fonction de temps « t » pour une période de retour donnée « T ».

A,B ; des constantes propres à chaque région et à chaque période de retour « T ».

### 2-1-3- choix de la durée de la pluie

La figure 3 montre que pour une fréquence donnée, l'intensité de la pluie décroît avec la durée. On pourrait par conséquent être amené à penser à tort que plus la durée choisie est courte plus le débit est grand et la structure d'évacuation sera surdimensionnée.

Afin d'éclairer le choix judicieux de la durée de la pluie, considérant à titre d'exemple un bassin de drainage et découpons-le en dix zones de superficies  $A_1 A_2 \dots\dots\dots A_n$  (fig.4).

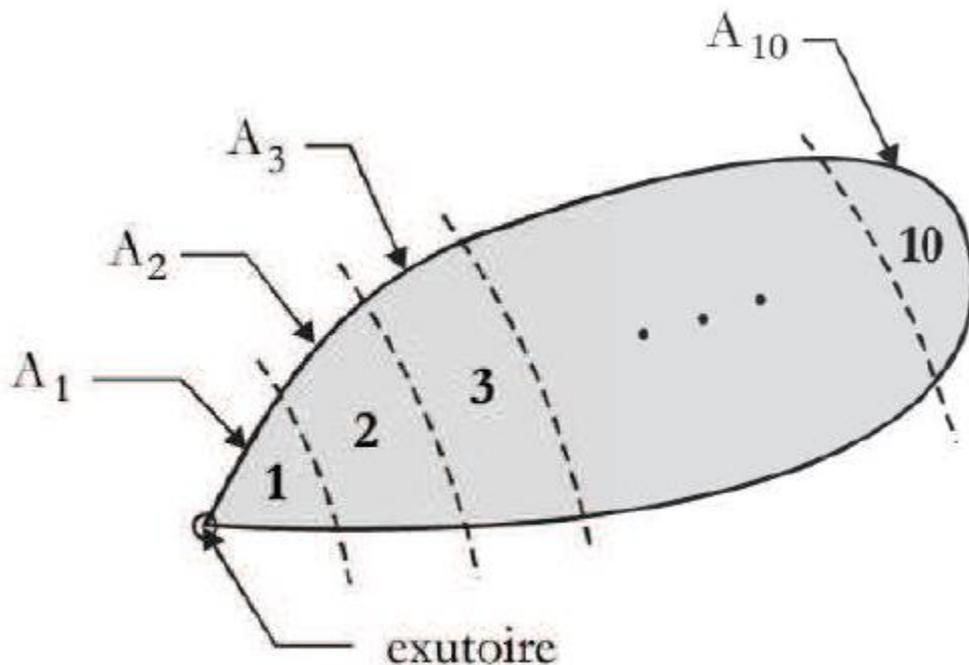


fig. 4 : Découpage d'un bassin versant

Supposons que les gouttes qui tombent dans les zones 1,2.....10 arrivent respectivement à l'exutoire au bout de 1,2 ....10 minutes. Dans un tel cas on dit que les surfaces sont isochrones.

Supposons maintenant une pluie dont l'intensité est « i » et la durée 1 minute. Pendant la première minute, seule la surface  $A_1$  contribue à l'écoulement, le ruissellement des autres surfaces n'ayant pas eu encore le temps de se rendre à l'exutoire. Le débit à l'exutoire est alors :

$$Q_1 = K \cdot C \cdot i \cdot A_1 \tag{3}$$

Durant la deuxième minute, la pluie s'est déjà arrêtée et le ruissellement de la surface  $A_1$  est épuisé. Donc, seule la surface  $A_2$  contribue au ruissellement, l'eau des autres surfaces  $A_3$  à  $A_{10}$  n'ayant pas encore eu le temps de se rendre à l'exutoire. Le débit à l'exutoire durant la deuxième minute est donc ;

$$Q_2 = K \cdot C \cdot i \cdot A_2 \quad (4)$$

Par un raisonnement similaire, on trouve pour les autres minutes :

3 <sup>e</sup> minute	$Q_3 = K \cdot C \cdot i \cdot A_3$
.....	
10 <sup>e</sup> minute	$Q_{10} = K \cdot C \cdot i \cdot A_3$
11 <sup>e</sup> minute	$Q_{11} = 0$

Considérant maintenant une pluie de même intensité «  $i$  » mais d'une durée de deux minutes. Durant la première minute, le débit est identique à la pluie de même intensité de durée d'une minute :

$$Q_1 = K \cdot C \cdot i \cdot A_1 \quad (5)$$

Durant la deuxième minute, pendant qu'il pleut encore, les deux surfaces  $A_1$  et  $A_2$  contribuent simultanément à l'écoulement et le débit devient :

$$Q_2 = KCiA_1 + KCiA_2 = KCi(A_1 + A_2) \quad (6)$$

durant la troisième minute, la pluie s'est déjà arrêtée et le ruissellement provenant de la surface  $A_1$  est épuisé. Seules les surfaces  $A_2$  et  $A_3$  contribuent à l'écoulement et le débit de ruissellement de la troisième minute :

$$Q_3 = KCi(A_2 + A_3) \quad (7)$$

Par un raisonnement similaire, on trouve pour les autres minutes :

4 <sup>e</sup> minute	$Q_4 = KCi(A_3 + A_4)$
.....	
10 <sup>e</sup> minute	$Q_{10} = KCi(A_9 + A_{10})$
11 <sup>e</sup> minute	$Q_{11} = KCiA_{10}$
12 <sup>e</sup> minute	$Q_{12} = 0$

Il devient clair que pour faire contribuer simultanément toutes les surfaces élémentaires  $A_i$  du bassin au ruissellement à l'exutoire, il faut prendre une durée de pluie gale à dix minutes, le débit sera alors :

$$Q_{10} = KCi(A_1 + A_2 + \dots + A_{10}) \quad (8)$$

La durée de dix minutes choisie à titre d'exemple, est le temps de concentration de ce bassin.

Le temps de concentration d'un bassin versant est défini comme le temps mis par l'eau pour parcourir la distance entre le point le plus éloigné hydrauliquement de l'exutoire et ce dernier. On peut estimer le temps de concentration, en utilisant l'une des formules suivantes :

**De Kirpich (1940)**

$$t_c = K_1 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$$

$$K_1 = 0,1147$$

L : la longueur de parcours en m

S : la pente moyenne du bassin en %

$$L = K_L \cdot A^{0,568}$$

L : longueur de parcours en m

$$K_L = 95,95$$

A : aire de bassin en hectare

**De la FAA**

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

$$K_2 = 3,26$$

C coefficient de ruissellement

L : la longueur de parcours

S : la pente représentative de la surface

**2-1-4- Coefficient de ruissellement**

Les tableaux 1 et 2, donnent les ordres de grandeur du coefficient de ruissellement « C » en fonction de la nature de la surface et de l'utilisation de sol.

Normalement un bassin versant de drainage comprend plusieurs types de surfaces avec des coefficients de ruissellements différents. Dans ce cas, le coefficient de ruissellement se calcule par la relation suivante :

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{A} \quad (9)$$

TABLEAU 1 Coefficient e 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

TABLEAU 2 : Coefficient e 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