

CHAPITRE 4

DONNEES HYDROLOGIQUES

Le calcul des débits de pointe en différents points d'un réseau d'eaux pluviales pour un événement pluvieux d'occurrence donnée (décennale, centennale etc...) dans une région précise du territoire, nécessite évidemment :

- une bonne connaissance statistique des précipitations qui peuvent s'y produire,
- une définition précise des caractéristiques des bassins versants, (c'est à dire des surfaces drainées en amont des points où s'effectuent les calculs), qui sont les opérateurs de la transformation de la pluie en débit.

1. - DONNEES PLUVIOMETRIQUES

1.1. MESURE DES PRECIPITATIONS

Les précipitations sous forme de pluie ou de neige sont mesurées dans des stations pluviométriques où les relevés se font soit manuellement (pluviomètres), soit à l'aide d'appareils enregistreurs (pluviographes).

- hauteur d'eau précipitée :

Si à travers une section de 1m^2 on a recueilli au bout de un an 875 litres d'eau, ce volume représente une hauteur de 875 mm, on dira qu'il est tombé une hauteur $H = 875$ mm en un an.

$1\text{ mm d'eau} \approx 1\text{ litre/m}^2$

Moyenne annuelle : 611 mm par an déterminée sur une période d'observation de 150 ans.

- pluviomètre :

Relevé manuel de la hauteur précipitée toutes les 24 heures,

- pluviographe :

Enregistre la hauteur d'eau tombée toutes les 10 minutes en général.

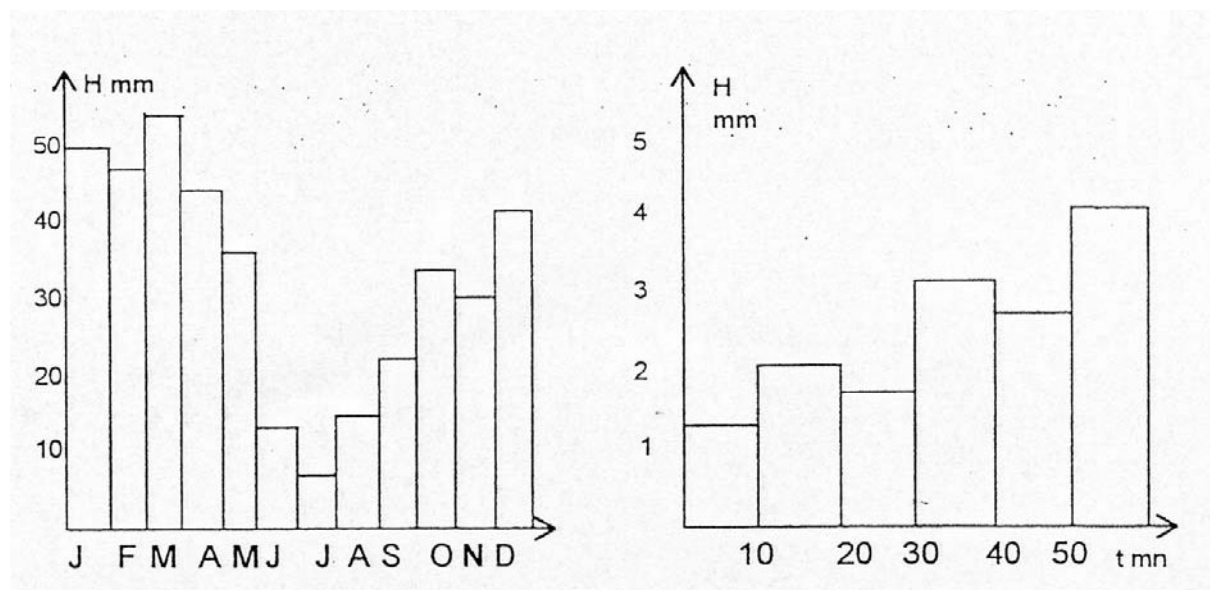
La densité des stations pluviométriques en France est en moyenne d'une station par 200 km^2 . En réalité elle est variable suivant les besoins : les stations sont nombreuses en montagne au voisinage des grands barrages par exemple, où l'on a besoin de connaître précisément les quantités d'eau recueillies.

1.2. ANALYSE DES OBSERVATIONS

Les observations effectuées sont exploitées sous différentes formes énumérées ci-après :

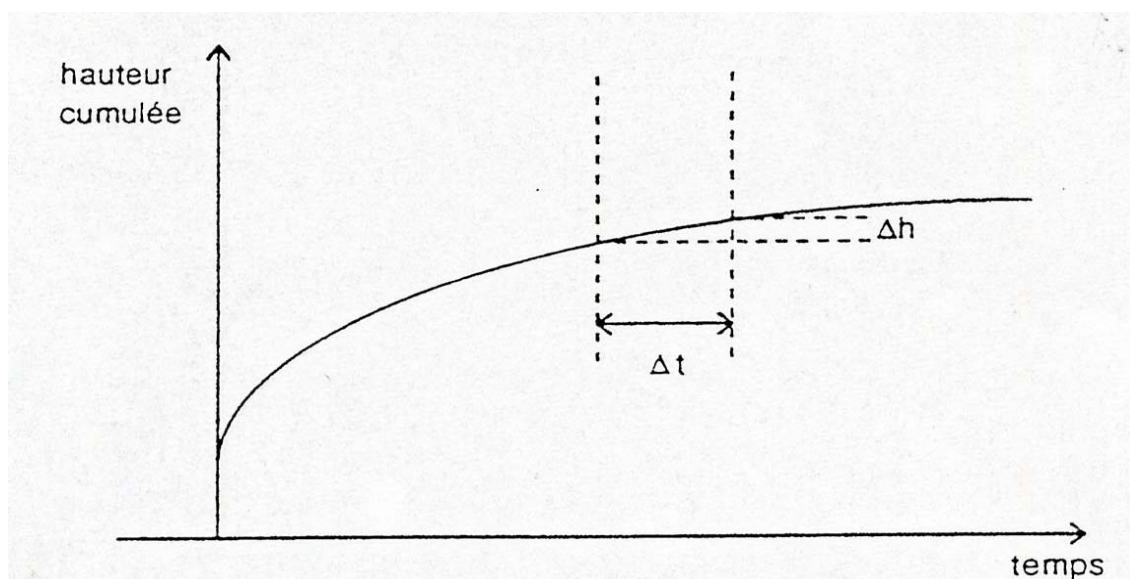
- Hyétogramme :

Graphique chronologique où l'on porte en ordonnées les hauteurs d'eau en mm et en abscisse la période des mesures.



- Courbe des hauteurs cumulées :

Hauteur cumulée en fonction du temps



- intensité de précipitation :

Supposons que l'on ait enregistré au pluviographe la courbe des hauteurs cumulées pour une averse.

Pour un intervalle de temps Δt on lit sur la courbe la variation Δh correspondante.

L'intensité moyenne associée à l'intervalle de temps Δt est définie par le rapport :

$$i_M = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

En déplaçant les deux verticales espacées de Δt le long de la courbe, on lira pour chaque position la valeur de Δh . L'intensité moyenne maximale de l'averse associée à la valeur Δt est définie par :

$$i_M = \max \left(\frac{\Delta h}{\Delta t} \right) = \frac{\max(\Delta h)}{\Delta t}$$

On recommence l'expérience pour une nouvelle valeur de Δt et l'on constatera que l'intensité moyenne maximale diminue quand Δt augmente.

Exemple :

$i_M = 131$ mm/heure pour $\Delta t = 10$ mm

$i_M = 23$ mm/heure pour $\Delta t = 120$ mm

Enfin i_M est également une fonction décroissante de la durée totale de l'averse.

2. - COURBES INTENSITE - DUREE - FREQUENCE IDF

2.1. FORMULE DE MONTANA

Au stade actuel de nos connaissances, les intensités de précipitations sont considérées comme des variables aléatoires. C'est donc en terme de risque de défaillance, que seront dimensionnés les ouvrages d'assainissement. Aussi les hydrologues ont-ils cherché à définir des événements auxquels pouvait être associée une probabilité d'occurrence. Les modèles pluviométriques utilisés sont par conséquent des modèles probabilistes empiriques. Dans les méthodes visant à déterminer le débit de pointe d'écoulement en un point du réseau, il est d'usage d'avoir recours aux courbes « intensité - durée - fréquence » traduisant l'évolution de l'intensité moyenne maximale i_M en fonction de la durée de l'intervalle de temps Δt et de la fréquence d'occurrence F , dont la formulation analytique correspond à la formule de MONTANA.

$$i_M(t, F) = a \cdot \Delta t^{-b}$$

a et b sont des paramètres fonctions de la fréquence F ou de son inverse

$$\text{la période de retour } T = \frac{1}{F}$$

2.2. VALEURS DE a ET b

Les instructions interministérielles INT 77 proposent des valeurs régionales de a et b, la France étant partagée en trois régions selon la carte ci-jointe en page 34.

Des valeurs locales sont également disponibles pour les villes les plus importantes du pays.

Exemple :

T = 10 ans (pluie décennale)
Intervalle de temps $\Delta t = 15$ mm

- valeurs régionales de a et b :
Région II a = 6,7 b = 0,55
 $i_M = 1,51$ mm/mm

En exprimant en l/s/ha, unité de l'assainissement urbain, il vient :

$$i_M = 1,51 \frac{10^4}{60} = 251,8 \text{ l/s/ha}$$

- valeurs spécifiques :
a = 8,6 b = 0,65
 $i_M = 1,48$ mm/mm soit 246,5 l/s/ha

2.3. PERIODE DE RETOUR T

Considérons une valeur particulière P de l'intensité moyenne maximale :

$$i_M = P$$

Si dans l'analyse des observations portant sur N années, on observe n évènements ayant dépassé cette intensité, la période de retour T de la valeur P est définie par le

$$\text{rapport } T = \frac{N}{n}$$

Pour $T = 10$, la valeur P est dite décennale.

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.

Exemple :

Montpellier, série d'observations 1921 - 1979

Plus forte hauteur précipitée en six heures jamais observée :

174 mm le 7 octobre 1979

158 mm le 26 octobre 1979

Soit 2 pluies exceptionnelles à 19 jours d'intervalle.

Le fait qu'il vienne de se produire une pluie décennale ne modifie en rien la probabilité d'en observer une autre dans l'année en cours.

INTENSITÉS D'AVERSES - Valeurs des paramètres a e b de la Relation $I = a t^b$

Ville	Nombre d'années d'observations	Période de retour (années)	Intervalle des durées d'averses			
			6 mn à 120 mn		6 mn à 360 mn	
			a	b	a	b
ARBEVILLE	9	1	3.4	-0.71	3.2	-0.70
		2	4.7	-0.73	4.4	-0.71
		5	5.9	-0.71	6.1	-0.71
		10	6.7	-0.66	7.5	-0.70
AGEN	9	1	4.1	-0.73	4.3	-0.74
		2	4.8	-0.68	5.3	-0.71
		5	6.0	-0.62	6.8	-0.66
		10	7.0	-0.57	8.2	-0.62
AJACCIO	11	1	3.7	-0.62	3.9	-0.64
		2	4.6	-0.59	5.2	-0.64
		5	6.2	-0.57	7.6	-0.63
		10	7.3	-0.53	10.3	-0.65
ALENÇON	17	1	2.8	-0.62	2.9	-0.63
		2	3.9	-0.65	4.0	-0.66
		5	5.5	-0.67	5.4	-0.66
		10	7.3	-0.68	7.3	-0.68
ANGERS	10	1	2.9	-0.65	2.7	-0.63
		2	3.8	-0.65	3.7	-0.64
		5	5.4	-0.66	5.5	-0.66
		10	7.1	-0.67	7.1	-0.67
AUXERRE	17	1	2.7	-0.63	2.7	-0.63
		2	3.2	-0.58	3.7	-0.64
		5	4.0	-0.58	4.6	-0.63
		10	4.8	-0.56	6.0	-0.63
BASTIA	14	1	3.9	-0.56	4.2	-0.58
		2	5.6	-0.59	5.6	-0.59
		5	7.3	-0.57	7.0	-0.56
		10	7.4	-0.48	7.9	-0.50
BELFORT	—	1	2.3	-0.63	2.3	-0.64
		2	2.6	-0.57	2.9	-0.61
		5	3.3	-0.54	3.9	-0.59
		10	4.0	-0.51	4.9	-0.58
BIARRITZ	9	1	2.5	-0.50	2.9	-0.54
		2	3.2	-0.49	3.6	-0.52
		5	4.6	-0.48	5.0	-0.51
		10	5.0	-0.49	5.6	-0.47
BORDEAUX	11	1	3.8	-0.63	4.3	-0.68
		2	4.9	-0.65	5.5	-0.69
		5	7.7	-0.68	9.0	-0.73
		10	9.8	-0.67	11.8	-0.73
BRETIGNY/ ORGE	14	1	3.4	-0.71	3.5	-0.71
		2	4.0	-0.70	4.0	-0.70
		5	5.1	-0.69	5.0	-0.69
		10	5.8	-0.68	5.9	-0.68
CAEN	—	1	3.2	-0.60	3.7	-0.66
		2	3.9	-0.60	4.7	-0.65
		5	5.2	-0.60	6.2	-0.65
		10	6.4	-0.62	6.9	-0.64
CARCASSONNE	10	1	2.9	-0.58	2.8	-0.56
		2	4.4	-0.62	4.2	-0.61
		5	5.8	-0.60	6.8	-0.65
		10	7.3	-0.59	8.8	-0.65

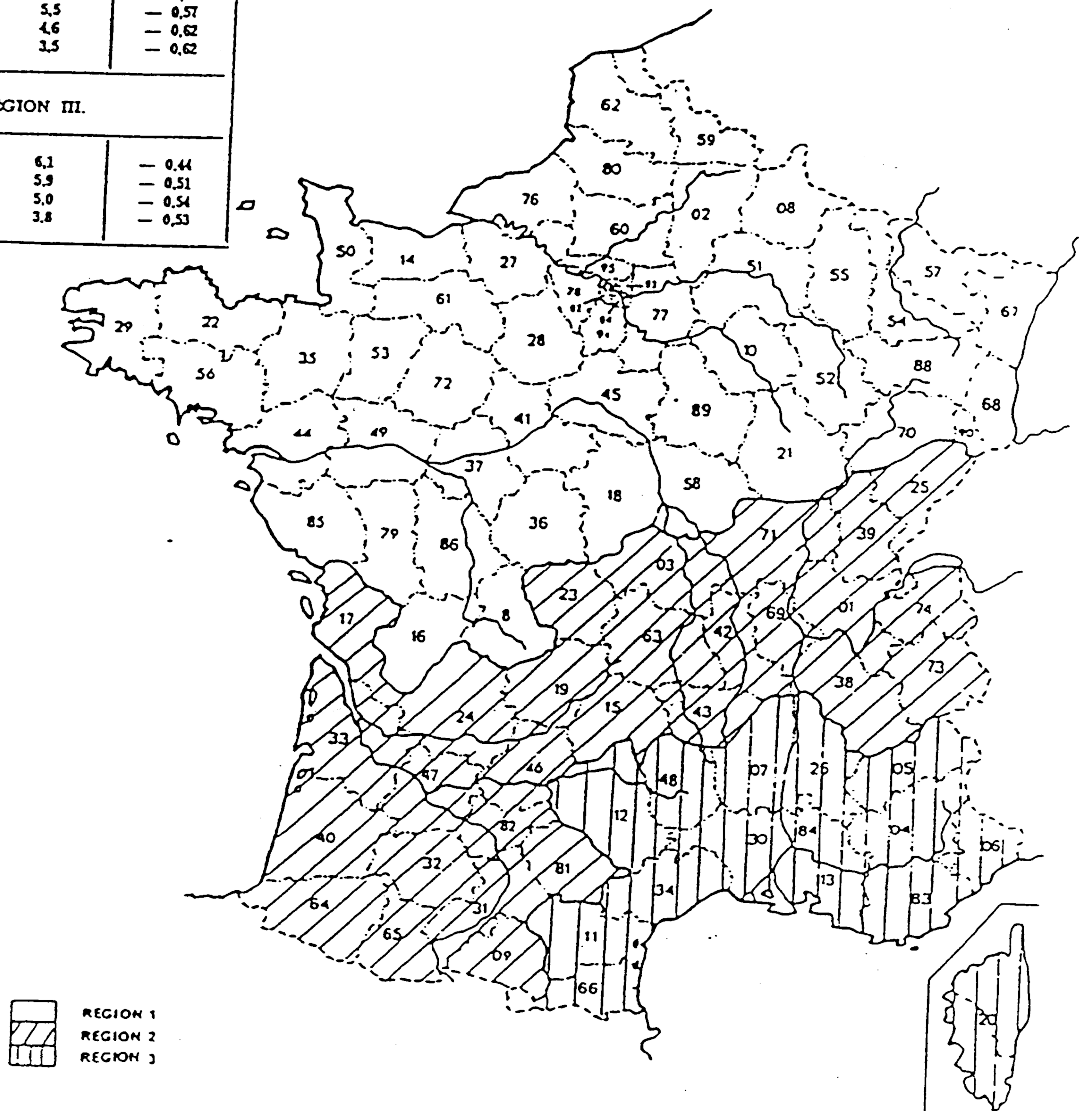
Ville	Nombre d'années d'observations	Période de retour (années)	Intervalle des durées d'averses			
			6 mn à 120 mn		6 mn à 360 mn	
			a	b	a	b
CAZAUX	9	1	2.7	-0.63	2.6	-0.61
		2	3.6	-0.63	3.6	-0.63
		5	5.1	-0.64	5.4	-0.66
		10	6.5	-0.64	7.0	-0.67
CHALLES-LES-EAUX	8	1	3.5	-0.65	3.3	-0.64
		2	3.5	-0.60	3.5	-0.60
		5	4.8	-0.59	5.0	-0.60
		10	6.3	-0.58	6.7	-0.60
CHARTRES	19	1	2.9	-0.67	3.1	-0.69
		2	3.5	-0.66	3.7	-0.68
		5	4.2	-0.64	4.5	-0.66
		10	4.7	-0.61	5.2	-0.64
CHATEAU-CHINON	17	1	6.3	-0.75	6.0	-0.73
		2	7.5	-0.75	7.0	-0.73
		5	8.7	-0.74	8.2	-0.72
		10	10.6	-0.76	9.4	-0.72
CLERMONT FERRAND	17	1	3.3	-0.63	3.4	-0.64
		2	3.9	-0.61	4.2	-0.64
		5	4.6	-0.57	5.6	-0.64
		10	6.0	-0.60	7.3	-0.67
COGNAC	10	1	2.4	-0.58	2.6	-0.62
		2	3.1	-0.57	3.6	-0.62
		5	4.2	-0.56	5.5	-0.64
		10	5.5	-0.55	7.5	-0.66
DAX	10	1	3.6	-0.65	3.5	-0.64
		2	3.9	-0.63	3.8	-0.61
		5	3.8	-0.54	3.8	-0.54
		10	4.3	-0.50	4.7	-0.54
DUON	—	1	2.9	-0.63	3.1	-0.65
		2	3.9	-0.62	4.4	-0.67
		5	5.2	-0.61	6.0	-0.66
		10	5.3	-0.55	6.4	-0.62
GOURDON	10	1	3.0	-0.57	3.2	-0.59
		2	3.2	-0.52	3.5	-0.56
		5	3.4	-0.47	3.8	-0.51
		10	3.9	-0.45	4.4	-0.49
GRENOBLE	—	1	2.5	-0.59	2.7	-0.63
		2	3.1	-0.56	3.6	-0.62
		5	4.7	-0.55	5.8	-0.62
		10	6.1	-0.51	8.3	-0.62
LE MANS	13	1	2.2	-0.59	2.3	-0.61
		2	3.0	-0.61	3.1	-0.61
		5	4.0	-0.60	4.1	-0.60
		10	5.5	-0.62	5.2	-0.61
LILLE	18	1	3.3	-0.64	3.7	-0.68
		2	4.4	-0.65	5.1	-0.70
		5	5.9	-0.64	7.5	-0.71
		10	7.5	-0.63	9.8	-0.72
LIMOGES	10	1	2.8	-0.57	3.0	-0.59
		2	3.2	-0.56	3.5	-0.59
		5	3.6	-0.54	4.1	-0.56
		10	4.0	-0.52	4.7	-0.57

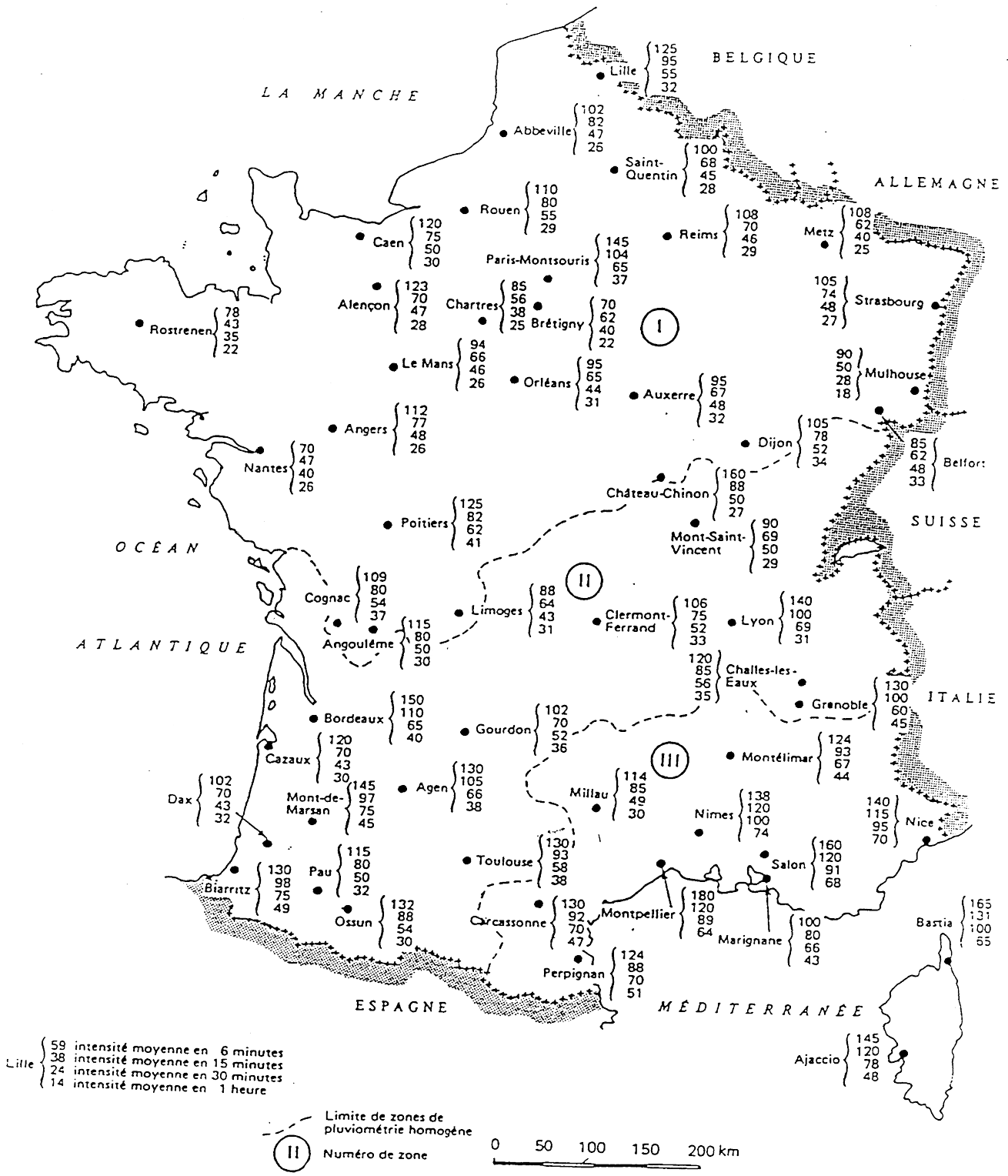
Ville	Nombre d'années d'observations	Période de retour (années)	Intervalle des durées d'averses			
			6 mn à 120 mn		6 mn à 360 mn	
			a	b	a	b
LYON	14	1	3.9	-0.65	3.8	-0.64
		2	4.7	-0.63	5.0	-0.66
		5	6.2	-0.63	7.0	-0.67
		10	8.6	-0.65	10.4	-0.71
MARJ-GNAGNE	14	1	2.5	-0.50	3.0	-0.55
		2	2.8	-0.45	3.4	-0.52
		5	3.2	-0.41	4.1	-0.49
		10	3.2	-0.34	4.4	-0.44
METZ	18	1	3.4	-0.69	3.5	-0.69
		2	3.9	-0.67	4.2	-0.69
		5	5.0	-0.67	5.5	-0.70
		10	5.7	-0.64	6.4	-0.68
MILLAU	6	1	2.7	-0.54	2.7	-0.54
		2	3.4	-0.55	3.4	-0.56
		5	4.8	-0.59	4.8	-0.58
		10	6.5	-0.62	6.4	-0.61
MONT-DE-MARSAN	—	1	2.8	-0.57	3.3	-0.62
		2	3.8	-0.57	4.8	-0.65
		5	5.1	-0.54	6.7	-0.63
		10	6.9	-0.54	9.3	-0.64
MONTE-LIMAR	—	1	3.2	-0.50	4.0	-0.58
		2	4.0	-0.51	4.7	-0.57
		5	4.8	-0.50	5.4	-0.54
		10	5.3	-0.48	5.8	-0.51
MONT-ST-VINCENT	—	1	3.4	-0.67	3.5	-0.68
		2	3.7	-0.62	3.9	-0.65
		5	4.4	-0.61	4.7	-0.63
		10	4.7	-0.56	5.5	-0.61
MULHOUSE	—	1	3.3	-0.80	2.9	-0.75
		2	3.8	-0.77	3.5	-0.74
		5	4.5	-0.72	4.2	-0.70
		10	5.0	-0.68	5.1	-0.68
NANTES	—	1	1.7	-0.55	1.9	-0.59
		2	2.1	-0.53	2.7	-0.61
		5	2.4	-0.47	3.5	-0.60
		10	2.6	-0.44	3.9	-0.57
NICE	8	1	3.9	-0.51	3.6	-0.49
		2	4.3	-0.46	4.2	-0.45
		5	4.6	-0.40	4.8	-0.41
		10	5.4	-0.40	5.6	-0.41
NIMES	10	1	5.4	-0.61	5.9	-0.64
		2	5.8	-0.55	7.1	-0.62
		5	6.2	-0.49	7.7	-0.57
		10	6.0	-0.43	8.3	-0.54

Ville	Nombre d'années d'observations	Période de retour (années)	Intervalle des durées d'averses			
			6 mn à 120 mn		6 mn à 360 mn	
			a	b	a	b
ORLEANS	9	1	2.0	-0.56	2.5	-0.63
		2	2.4	-0.53	3.1	-0.61
		5	3.4	-0.53	4.5	-0.62
		10	4.2	-0.52	5.6	-0.61
PAU	19	1	2.7	-0.55	3.4	-0.53
		2	3.6	-0.57	4.4	-0.65
		5	4.6	-0.58	5.8	-0.66
		10	6.2	-0.60	7.8	-0.68
PERPIGNAN	9	1	2.2	-0.36	2.6	-0.42
		2	2.7	-0.36	3.2	-0.42
		5	3.5	-0.37	4.2	-0.43
		10	3.9	-0.36	4.7	-0.42
POITIERS	14	1	3.1	-0.65	3.0	-0.64
		2	3.8	-0.62	4.0	-0.63
		5	5.0	-0.58	5.8	-0.63
		10	5.8	-0.53	7.0	-0.60
REIMS	14	1	3.2	-0.69	3.4	-0.71
		2	4.4	-0.70	4.6	-0.72
		5	5.4	-0.67	5.7	-0.69
		10	6.3	-0.65	6.9	-0.67
ROSTRENE	16	1	1.9	-0.56	1.9	-0.57
		2	2.2	-0.57	2.3	-0.58
		5	2.8	-0.55	3.1	-0.58
		10	3.6	-0.57	3.9	-0.59
ROUEN	17	1	3.9	-0.72	4.1	-0.73
		2	4.9	-0.71	5.3	-0.74
		5	5.8	-0.66	7.1	-0.72
		10	6.9	-0.65	8.6	-0.72
ST-QUENTIN	18	1	2.3	-0.61	2.3	-0.60
		2	3.3	-0.63	3.2	-0.62
		5	4.0	-0.60	4.2	-0.61
		10	5.5	-0.61	5.7	-0.62
STRASBOURG	6	1	4.5	-0.75	4.9	-0.78
		2	5.5	-0.75	6.1	-0.79
		5	6.5	-0.72	7.5	-0.77
		10	7.6	-0.71	8.5	-0.75
TARBES-OSSUN	10	1	4.6	-0.67	4.8	-0.68
		2	5.8	-0.68	6.3	-0.71
		5	7.4	-0.69	8.4	-0.74
		10	9.0	-0.71	10.7	-0.77
TOULOUSE	9	1	2.8	-0.61	2.9	-0.62
		2	5.7	-0.68	5.8	-0.69
		5	5.5	-0.57	6.2	-0.61
		10	5.7	-0.51	7.1	-0.59

Délimitation des régions de pluviosité homogène (extrait de l'Instruction technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations [1])

Périodes de retour. T = 1/F.	Paramètres.	
	a (F).	b (F).
RÉGION I.		
10 ans	5,9	— 0,59
5 ans	5,0	— 0,61
2 ans	3,7	— 0,62
1 an	3,1	— 0,64
RÉGION II.		
10 ans	6,7	— 0,55
5 ans	5,5	— 0,57
2 ans	4,6	— 0,62
1 an	3,5	— 0,62
RÉGION III.		
10 ans	6,1	— 0,44
5 ans	5,9	— 0,51
2 ans	5,0	— 0,54
1 an	3,8	— 0,53





— Intensités moyennes d'averses (mm/h), en 6, 15, 30 et 60 minutes dépassées, en moyenne, une fois tous les dix ans
 d'après : Intensités d'averses en France — juil. 1970 — Ministère de l'Équipement et du Logement — DAFU — DEU).

2.4. EXERCICE

Construction d'un hyétogramme à partir de la formule de MONTANA :

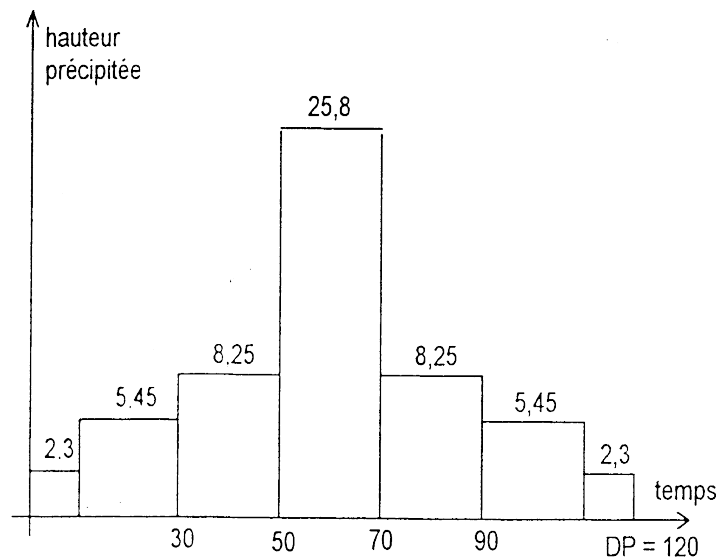
Données :

- durée de précipitation $DP = 2$ heures
- hyétogramme symétrique
- intervalle de temps $\Delta t = 20$ mn
- période de pluie intense centrée sur 1 heure, durée de pluie intense $DM = 20$ mn
- région II, $T = 10$ ans $\Rightarrow a = 6,7$ $b = 0,55$

Hauteur d'eau précipitée pendant la durée de pluie intense :

$$H_M = i_M \cdot DM \quad i_M = 6,7 \cdot 20^{-0,55} = 1,29 \text{ mm/mn}$$

$$H_M = 1,29 \cdot 20 = 25,8 \text{ mm/mn}$$



Hauteur précipitée entre les instants 30 et 90 :

$$H(3\Delta t) = a(3\Delta t)^{-b} \cdot 3\Delta t \\ = 6,7 \cdot 60^{(1-0,55)} = 42,3 \text{ mm}$$

Hauteur précipitée entre les instants 30 et 50, et entre les instants 70 et 90 :

$$h_1 = [H(3\Delta t) - H_M] \frac{1}{2} = 8,25 \text{ mm}$$

Hauteur précipitée entre les instants 10 et 110 :

$$H(5\Delta t) = a(5\Delta t)^{-b} \cdot 5\Delta t = 6,7(100)^{(1-0,55)} = 53,2 \text{ mm}$$

Hauteur précipitée entre les instants 10 et 30, et entre les instants 90 et 110 :

$$h_2 = [H(5.\Delta t) - H(3\Delta t)] \frac{1}{2} = 5,45 \text{ mm}$$

Hauteur totale précipitée entre les instants 0 et 120 :

$$H(6\Delta t) = a(6\Delta t)^b \cdot 6\Delta t = 57,8 \text{ mm}$$

Hauteur précipitée entre les instants 0 et 10 mn et les instants 110 et 120 mn :

$$h_3 = [H(6.\Delta t) - H(5\Delta t)] \frac{1}{2} = 2,3 \text{ mm}$$

En appliquant la loi de MONTANA, nous avons ainsi bâti une pluie fictive dite « pluie de projet », discrétisée selon le pas de temps $\Delta t = 20$ mn.

Il est évident que nous aurions pu choisir un pas de temps Δt plus faible, $\Delta t = 10$ mn par exemple qui correspond au temps de mesure d'un pluviographe, tout en gardant la même durée de pluie intense.

DM = 20 mn.

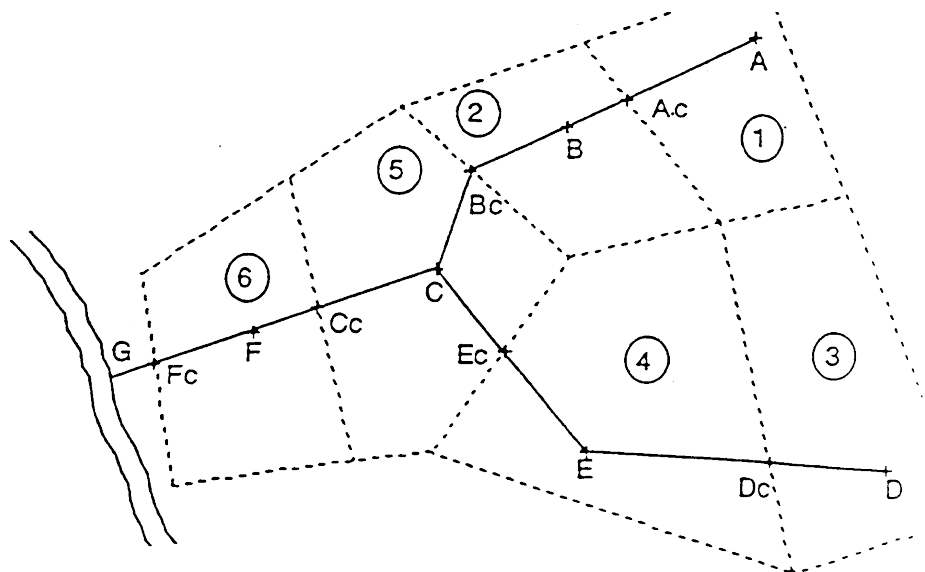
Nous développerons par la suite les notions de pluies de projet et de durée de pluie intense.

3. - CARACTERISTIQUES D'UN BASSIN VERSANT

3.1. SURFACE DRAINEE A

Revenons à l'exemple du chapitre précédent. Le découpage de l'agglomération obéit à deux règles :

- les points du réseau où l'on effectue les calculs de débit de pointe d'eaux pluviales sont les exutoires des bassins versants,
- les limites latérales des bassins versants correspondent aux limites des surfaces bâties effectivement raccordées au réseau.



Au point A_c : la surface drainée A₁ correspond au bassin versant B₁, générant le débit de pointe Q_{p1}, qui permettra le choix du diamètre sur le tronçon AB.

Au point Bc : surface A₁₂ = A₁ + A₂

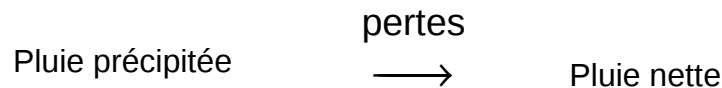
Bassin : B₁₂ = B₁ + B₂ équivalent aux deux bassins en série.

Débit de pointe : Q_{p12}

Choix du diamètre ØBC etc

3.2. COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT C

Le coefficient de ruissellement C d'un bassin versant est un coefficient volumétrique mesurant l'importance des pertes à l'écoulement des eaux dans le bassin. Il en résulte la notion de pluie nette déduite de la pluie précipitée après abattement des pertes.



$$I_n(t) = C I(t)$$

I(t) : intensité de la pluie précipitée

I_n(t) = intensité de la pluie nette

Les différents types de pertes sont les suivants :

- évaporation :

négligeable en hydrologie urbaine, car l'évaporation survient pour l'essentiel dans l'atmosphère au cours du trajet des gouttes de pluie entre le nuage et le sol.

- interception par la végétation

- infiltration

- rétention de surface :

consistant en un stockage permanent de l'eau dans les dépressions du sol.

Chaque surface de ruissellement peut par conséquent être envisagée comme le lieu d'un ensemble de transformations particulières. Les types de surface seront classés :

- en fonction du revêtement : perméable/imperméable

- en fonction de la morphologie : en liaison directe avec le réseau EP ou non

- en fonction du comportement : active/non active

On constate que des surfaces dites non actives le deviennent pour les fortes précipitations (après saturation des sols).

Les instructions techniques interministérielles de 1977 proposent de retenir l'expression :

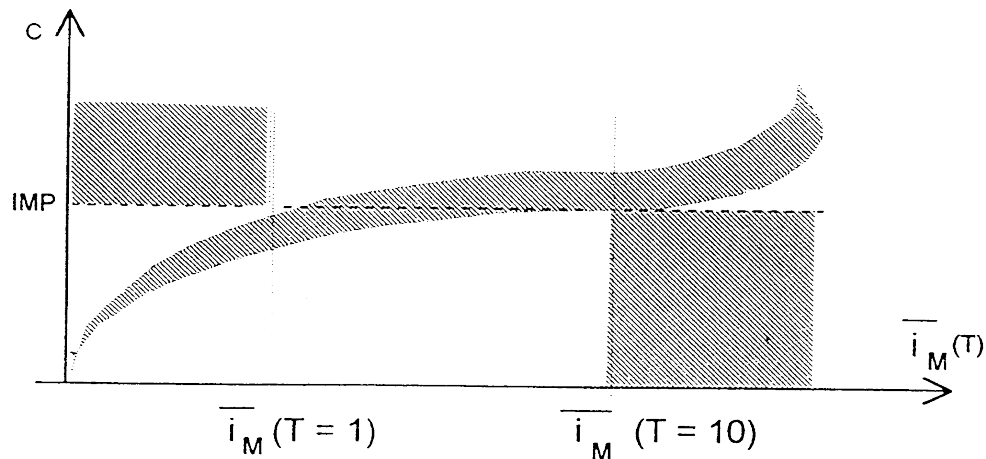
$$C = \frac{A'}{A} = IMP$$

A' superficie imperméable

A' superficie du bassin versant

Dans ce modèle le coefficient de ruissellement C est pris égal au taux d'imperméabilisation IMP. Ce modèle est acceptable dans un bassin urbain où les surfaces perméables ne sont pas drainées.

En général on observe une variation de C en fonction de l'intensité de précipitation.



Pour les évènements faibles $C < IMP$

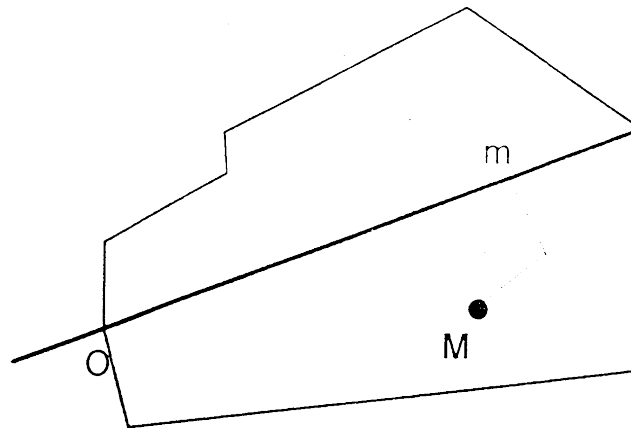
Pour les évènements forts $C > IMP$

Pour les évènements moyens $1 < T < 10$ ans
 $C \neq IMP$

L'évaluation du coefficient de ruissellement C est l'élément déterminant de tout projet d'assainissement. Nous indiquons ci-après des valeurs observées en fonction du type d'habitat :

- Habitations très denses : $C = 0,9$
- Habitations denses : $C = 0,6$ à $0,7$
- Habitations moins denses : $C = 0,4$ à $0,5$
- Quartiers résidentiels : $C = 0,2$ à $0,3$

3.3. TEMPS DE CONCENTRATION T_c



La goutte d'eau tombée en un point M du bassin versant :

- ruisselle selon le trajet Mm (gouttières, caniveaux...) pendant un temps t'
- s'écoule dans le collecteur entre les points m et O pendant un temps t''

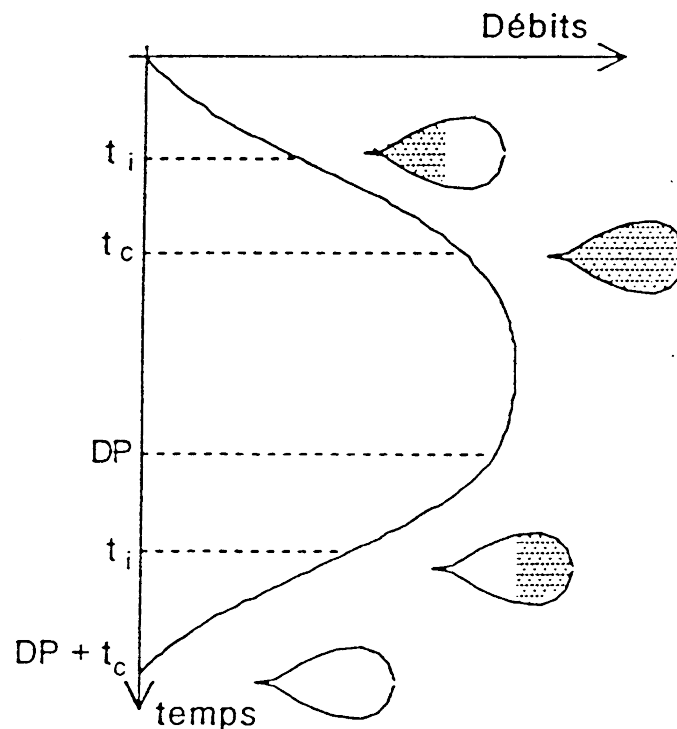
La durée totale de l'écoulement est $t = t' + t''$

La durée maximale d'écoulement dans le bassin est appelée TEMPS de CONCENTRATION $t_c = \max(t' + t'')$

Sur le plan pratique, ce temps peut-être mesuré à l'aide de traceurs injectés dans l'eau (ex : fluorescéine).

3.4. HYDROGRAMME A L'EXUTOIRE

L'hydrogramme à l'exutoire exprime la variation du débit en fonction du temps.



A l'instant $t_i < t_c$:

Seule l'eau de la partie inférieure du bassin versant a pu atteindre l'exutoire O.

A l'instant t_c la totalité du bassin donne un débit au point O.

Si la durée de précipitation DP est supérieure à t_c le débit maximal sera observé à un instant voisin de t_c .

Si $DP < t_c$ le débit maximal ne sera pas atteint.