

DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX D'EAU PLUVIALES

Sommaire

1. Introduction.....	2
2. La pluie	2
3. Intensité de précipitations	3
a) Equivalence entre millimètres de pluie et volumes d'eau précipités	3
b) Mesure des pluies	3
c) Intensités pluvieuses, coefficient de Montana	3
4. Loi de Montana	4
5. Expression des coefficients de Montana en France métropolitaine.....	5
6. Détermination du temps de concentration	5
7. Notion de bassin versant.....	6
8. Mécanisme d'écoulement des eaux de pluies	6
9. La méthode rationnelle	7
10. La méthode superficielle	8
11. Dimensionnement des collecteurs.....	10

DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX D'EAU PLUVIALES

1. Introduction

L'urbanisation et l'imperméabilisation des sols nous montrent régulièrement et de façon parfois dramatique la nécessité de la prise en compte des eaux pluviales. Puisque nous sommes dans le développement durable, on peut rappeler la Déclaration de Dublin(1992)

« La mesure quantitative et qualitative des éléments du cycle hydrologique et la mesure des autres caractéristiques de l'environnement qui influent sur l'eau constituent une base essentielle pour une gestion efficace de l'eau »



Crue de l'Ouvèze du 22 septembre 1992 à Vaison-la-Romaine

Malheureusement, l'estimation des événements pluvieux est compliquée et nécessite la prise en compte d'événement historique souvent oubliés.

2. La pluie

La pluie désigne généralement une précipitation d'eau à l'état liquide tombant de nuages vers le sol. Dans une étude hydraulique nous devons aussi prendre en compte les précipitations solides (neige, grêle, etc...).

Mais les événements sont souvent fonction de l'intensité des précipitations (ex : orage, etc..).

L'intensité des précipitations est donc un facteur important dans la prise en compte de l'événement pluvieux.

3. Intensité de précipitations

Il n'existe pas de correspondance officielle entre l'appréciation "qualitative" d'une précipitation ("faible", "modérée" ou "forte") et son intensité chiffrée, qui peut s'exprimer en millimètres par minute ou millimètres par heure.

Le caractère des précipitations dépend de la climatologie locale. Toutefois, en plaine et pour la France métropolitaine, on peut adopter les équivalences suivantes:

Pluie faible continue	1 à 3 mm par heure
Pluie modérée	4 à 7 mm par heure
Pluie forte	8 mm / heure et plus

a) Équivalence entre millimètres de pluie et volumes d'eau précipités

Un fort volume d'eau tombant sur une surface plus ou moins importante peut entraîner une quantité d'eau précipitée faramineuse comme le montre le tableau suivant:

Surface touchée par les précipitations	Volume d'eau pour une précipitation de 100 mm
1 km ²	100 000 m ³
100 km ² (une agglomération)	10 millions de m ³
10 000 km ² (le bassin versant d'une rivière)	1 milliard de m ³

b) Mesure des pluies

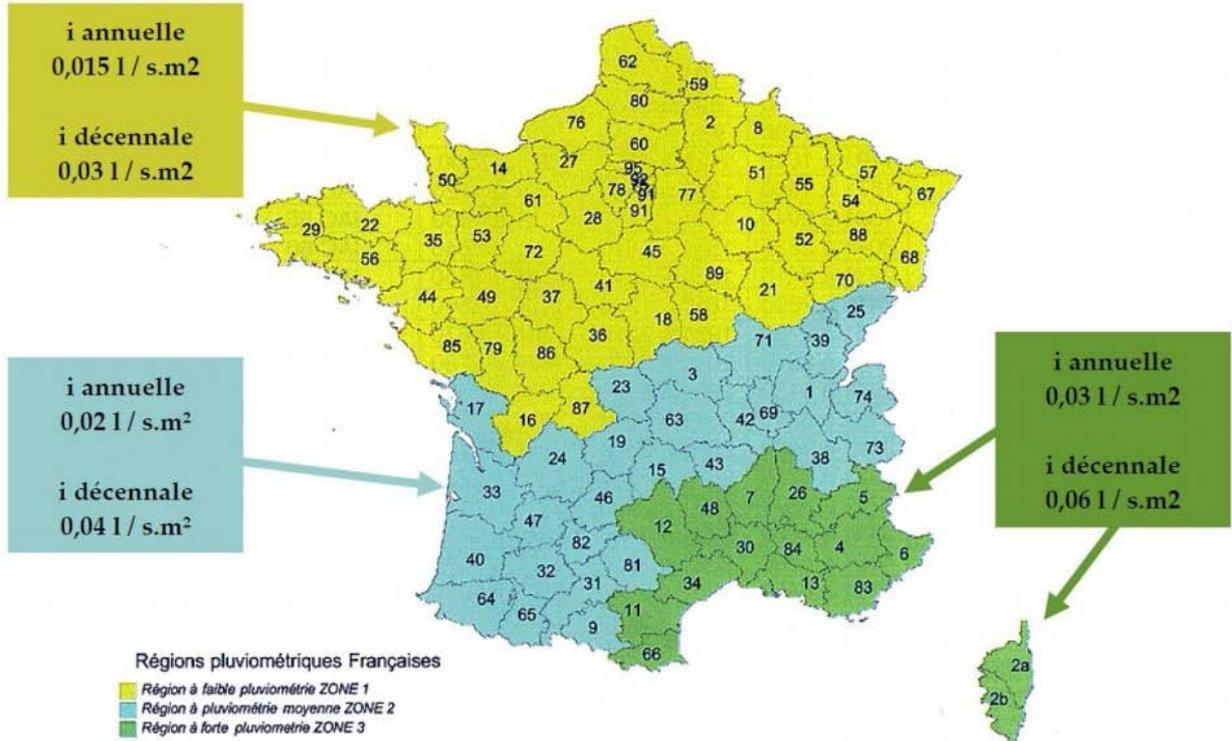
La collecte organisée des données pluviométriques date du milieu du XIX^{ème} siècle et ont relevé les précipitations à 24h. Depuis, les résultats se sont affinés pour prendre en compte les effets de site et les intensités pluvieuses.

c) Intensités pluvieuses, coefficient de Montana

Le calcul du réseau d'EP se base sur une méthode statistique de fréquence de Retour de pluies (T) sur une durée. (1 an – 2 an – 5 an – 10 an)

Les pluies sont caractérisées par une intensité d'averse fonction de leurs durées (6mn – 15 mn – 30 mn – 1h – 2h et 6h)

On peut cependant définir 3 zones relativement homogènes



En appliquant la loi de Montana, on peut calculer de façon statistique l'intensité des pluies sur une période donnée.

4. Loi de Montana

A partir des coefficients de Montana **(a) et (b)** représentatifs d'une pluviométrie homogène, on peut évaluer les **intensités moyennes** i de durée t et de période de retour **(T)** tel que :

$$i(t) = a \times t^{(-b)}$$

- **(i)** intensité de l'averse exprimée en **mm/min** si t est exprimé en minutes
- **(a) et (b)** paramètres dépendant de la pluviométrie locale en fonction de la période de retour
- **(t)** temps de concentration en (min)

Autre expression :

Formule dite de **Montana** : $h(t) = a \times t^{1-b}$ dans laquelle **h(t)** représente la hauteur de précipitations en millimètres correspondant à la durée de cumul **(t)** exprimée en minutes. **(Attention : avec b positif « + »)**

$$h(t) = a \times t^{(1-b)}$$

5. Expression des coefficients de Montana en France métropolitaine

	Période	a(F)	b(F)
Région 1	1 an	3,10	-0,64
	2 ans	3,70	-0,62
	5 ans	5,00	-0,61
	10 ans	5,90	-0,59
Région 2	1 an	3,50	-0,62
	2 ans	4,60	-0,62
	5 ans	5,50	-0,57
	10 ans	6,70	-0,55
Région 3	1 an	3,80	-0,53
	2 ans	5,00	-0,54
	5 ans	5,90	-0,51
	10 ans	6,10	-0,44
Région Grenoble	1 an	2,50	-0,59
	2 ans	5,00	-0,54
	5 ans	5,90	-0,51
	10 ans	6,10	-0,44

6. Détermination du temps de concentration

Le temps de concentration est le temps que met le ruissellement d'une averse pour parvenir à l'exutoire depuis le point du bassin pour lequel la durée de parcours est la plus longue. Ce temps est fonction de nombres paramètres, par exemple l'état d'humidité du sol, il existe donc plusieurs formule pour le calculer.

Formule de Kirpich

$$t = 0,0195 \times L^{0,77} \times I^{-0,385}$$

Avec :

- (t) temps de concentration en (**min**)
- (L) longueur du plus grand chemin hydraulique en (**m**)
- (I) pente du collecteur en (**m/m**)

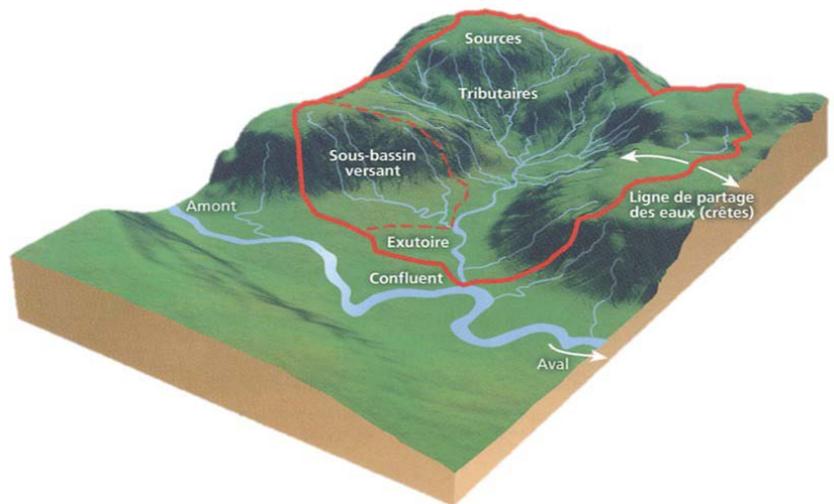
7. Notion de bassin versant

Pendant la pluie, l'eau aura tendance à s'écouler par gravité vers les points les plus bas du relief et par le chemin le plus court.

Le bassin versant d'un écoulement est la surface réceptrice de la pluie qui aboutit au même exutoire.

Un bassin versant sera donc délimité par des lignes de crêtes et par des lignes de thalweg (lignes d'écoulement).

Dans la pratique, on distinguera les bassins versants non urbanisés qui ont un écoulement naturel des bassins versants non urbanisés qui ont un écoulement modifié par les obstacles liés par l'urbanisation : voie, mur de clôture, fossé, etc...



8. Mécanisme d'écoulement des eaux de pluies

Dès que la pluie tombe, les sols s'humidifient par une partie de la pluie qu'ils reçoivent.

Une fois la saturation atteinte, il y a formation de ruissellement.

Le ruissellement va générer des « hydrogrammes » qui se nourrissent tout au long des cheminements parcourus jusqu'à l'exutoire ou du collecteur (réseau EP)

On peut donc considérer qu'un certain volume de pluie qui parvient au réseau en débit.

Les modèles de transformation de pluie/débit sont très nombreux mais on utilise en France principalement 2 méthodes.

- La **méthode rationnelle**
- La **méthode superficielle** adaptée au milieu urbanisé.
(Souvent utilisée pour des petits projets)

9. La méthode rationnelle

Elle consiste à déterminer le débit généré par la pluie sur un bassin versant

$$Q_p = \frac{C \times i \times A}{360}$$

Nota : On peut aussi utiliser la méthode de Caquot pour calculer les débits de pointe de certains sous-bassins versant qui ont ensuite comparés avec la méthode rationnelle.

Avec

- Q_p = débit de pointe de l'exutoire (m³/s)
- C = coefficient de ruissellement
- i = précipitation en (mm/h)
- A = superficie du bassin en(hectare) 1 ha = 10 000 m²
- **Coefficient de ruissellement**

Le coefficient de ruissellement est déterminé en fonction de la nature du sol et de son occupation.

*Pour une **estimation rapide**, on prendra pour les zones non urbanisées, un coefficient de ruissellement de 10% et 90% pour les voiries imperméabilisées.*

Mode d'occupation des sols	C
Zones urbaines très denses (250 habitants à l'hectare)	0,80 à 0,90
Zones urbaines denses (150 habitants à l'hectare)	0,60 à 0,70
Zones urbaines moyennement denses (50 habitants à l'hectare)	0,40 à 0,50
Zones résidentielles (20 habitants à l'hectare)	0,20 à 0,30
Lotissements	0,30 à 0,40
Zones tertiaires (selon la surface viabilisée)	0,30 à 0,60
Zones commerciales	0,70 à 0,90
Zones industrielles	0,70 à 0,90
Squares, jardins publics	0,05 à 0,25
Terrains de sport	0,10 à 0,30
Zones agricoles	0,05 à 0,10
Zones boisés	0,05
Nature du revêtement de sol	C
Surfaces totalement imperméabilisés (chaussé, parking)	0,90
Pavages à larges joints	0,60
Surfaces stabilisés (selon la pente)	0,40 à 0,70
Allés en gravier	0,20
Zones engazonnés sur sol imperméable (selon la pente)	0,15 à 0,35
Zones engazonnés sur sol perméable (selon la pente)	0,05 à 0,20
Type de toiture	C
Toitures plates de faible superficie (S <100.m)	1,00
Toitures plates de superficie moyenne (< 10 000)	0,80 à 1,00
Toitures de grande superficie (> 10.000.m)	0,50 à 0,80

10. La méthode superficielle

Aussi appelé modèle de Caquot, elle permet de faire intervenir tous les mécanismes de l'écoulement et permet le dimensionnement d'ouvrage hydraulique.

Cette méthode n'est valide que pour des projets jusqu'à <200 ha

- Pour des bassins versants urbanisés ;
- Surface inférieure à **200 ha** ;
- Pente comprise entre **0,2%et 5%**;
- Coefficients de ruissellements compris entre **0,20 et 1,00**

Avec

- Q_p : débit (Brut) en (m^3/s) ; Valeur du débit de pointe
- I : pente moyenne du bassin versant (en m/m);
- C : coefficient de ruissellement ;
- A : superficie de la surface concernée en (ha).

$$Q_p = K.I^\alpha .C^\beta .A^\gamma$$

K, α, β et γ coefficient dépendant de la pluviométrie et de la période de retour choisie

T (ans)	Paramètres		Formules superficielles Q_p	
	a	b		
1	3,10	-0,64	$Q_p = 0,682.I^{0,32} .C^{1,23} .A^{0,77}$	Région I
2	3,70	-0,62	$Q_p = 0,834.I^{0,31} .C^{1,22} .A^{0,77}$	
5	5,00	-0,61	$Q_p = 1,192.I^{0,30} .C^{1,21} .A^{0,78}$	
10	5,90	-0,59	$Q_p = 1,430.I^{0,29} .C^{1,20} .A^{0,78}$	
1	3,50	-0,62	$Q_p = 0,780.I^{0,31} .C^{1,22} .A^{0,77}$	Région II
2	4,60	-0,62	$Q_p = 1,087.I^{0,31} .C^{1,22} .A^{0,77}$	
5	5,50	-0,57	$Q_p = 1,290.I^{0,28} .C^{1,20} .A^{0,79}$	
10	6,70	-0,55	$Q_p = 1,601.I^{0,27} .C^{1,19} .A^{0,80}$	
1	3,80	-0,53	$Q_p = 0,804.I^{0,26} .C^{1,18} .A^{0,80}$	Région III
2	5,00	-0,54	$Q_p = 1,121.I^{0,26} .C^{1,18} .A^{0,80}$	
5	5,90	-0,51	$Q_p = 1,327.I^{0,24} .C^{1,17} .A^{0,81}$	
10	6,10	-0,44	$Q_p = 1,296.I^{0,21} .C^{1,14} .A^{0,83}$	

À défaut de statistiques climatiques suffisamment complètes pour apprécier valablement l'intensité des précipitations exceptionnelles, l'Instruction Technique INT 77-284 propose, de multiplier le débit de pointe **Q_p** de la période de retour 10 ans par un facteur **(f)**

T	f
10 ans	1
20 ans	1,25
50 ans	1,60
100 ans	2,00

1) Détermination (I) pente moyenne du bassin versant

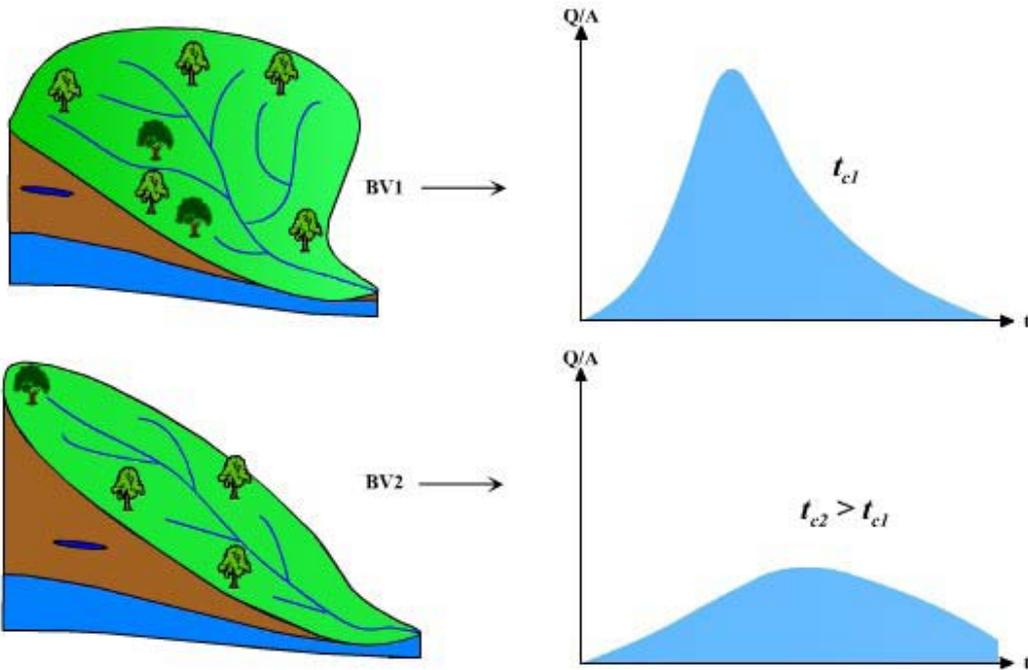
Avec :

- L longueur du plus grand chemin hydraulique en (m)
- L_j longueur des tronçons sensiblement constants

$$I = \left[\frac{L}{\sum \frac{L_j}{\sqrt{L_j}}} \right]^2$$

2) Coefficient correcteur

La forme du bassin versant va influencer sur le débit de pointe du bassin. En effet, plus le bassin est allongé, plus le temps de concentration va être long et plus le rapport entre le débit et la surface sera réduit.



La longueur du cheminement hydraulique est prise en compte dans le calcul de l'allongement du bassin (M).

On va intégrer un coefficient correcteur **(m)** qui intervient lorsque l'allongement **(M)**.

$$M = \frac{L}{\sqrt{A}} \text{ Avec : } (L), \text{ longueur d'écoulement la plus grande jusqu'à l'exutoire.}$$

(A)= Superficie de la surface concernée.

Et \rightarrow **(m)**: (Coefficient d'influence)

Avec **(b)** : Coefficient de Montana

$$\text{avec } m = \left(\frac{M}{2} \right)^{0.7.b}$$

Q_c : Débit corrigé \rightarrow

$$Q_c = m \times Q_p$$

11. Dimensionnement des collecteurs

Pour déterminer le débit capable d'un collecteur, on utilise la formule de **Manning-Strickler**

Deux possibilités pour ce calcul :

- soit directement par la formule de **Manning Strickler** ;
- soit par utilisation d'abaques définis à partir de la formule.

La formule de Manning Strickler reliant le débit d'une canalisation avec les caractéristiques géométriques et la nature des matériaux utilisés permet la détermination du diamètre d'une canalisation.

- K : coefficient de rugosité ;
- R : rayon hydraulique ;
- I : pente de la conduite ;
- S_m: surface mouillée

Formule de **Manning-Strickler**

$$Q = K \times Rh^{2/3} \times I^{1/2} \times S_m$$

Valeur du coefficient de rugosité :		
K =	60	Canal
K =	70	caniveau béton
K =	30	caniveau en herbe
K =	80	collecteur avec regards
K =	90	collecteur gros diamètre
K =	100	collecteur sans branchement
K =	110	collecteur en acier

(Q) =débit en (m³/s)

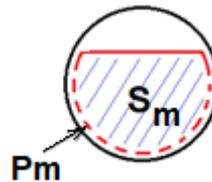
(K) qui *dépend de nombreux facteurs parmi lesquels la rugosité de la surface et la sinuosité.*

(K) Coefficient de Manning-Strickler en m^{1/3}.s⁻¹

(S_m) = Surface mouillée (m²)

(I) = Pente du collecteur en (m/m)

(Rh) = Rayon hydraulique du collecteur en (mètre)



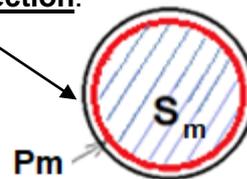
$$Rh = \frac{S_m}{P_m} = \frac{\text{Surface}_\text{ mouillée}}{\text{Périmètre}_\text{ mouillé}}$$

Le rayon hydraulique est égal au rapport de la surface mouillée (S_m) sur le périmètre mouillé (P_m).

Pour les conduites d'eaux pluviales, le calcul se fait à **pleine section**.

$$\text{Avec : } S_m = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \text{ et } P = \pi \cdot D$$

D'où
$$Rh = \frac{D}{4}$$



Sachant que Q=V/S, on peut exprimer la **vitesse** d'écoulement par :

La relation :
$$V = K \times Rh^{2/3} \times I^{1/2}$$

Cette formule est utilisée pour les vitesses d'écoulement limites dans le réseau :

Remarque :

- Le débit maximum est obtenu avec une hauteur de remplissage **de 0,95** x hauteur totale
- La vitesse maximale est obtenue avec une hauteur de remplissage **de 0,90** x hauteur totale

Calcul du diamètre d'un collecteur circulaire

A partir du débit **Q_p** d'un bassin versant, la formule de Manning-Strickler nous donne le diamètre du collecteur d'évacuation des eaux en pleine charge.

$$D = \left(\frac{4^{5/3} \times Q_p}{\pi \times K \times I^{1/2}} \right)^{3/8} = \left(\frac{Q_p}{K \times I^{1/2} \times 0,3117} \right)^{3/8}$$

Exemples de Calculs:

➤ Détermination du diamètre d'un collecteur :

la pente : on connaît : (I) : 20 mm/m (2%) c'est-à-dire 0.02 m / m

le débit : on connaît : (Q) : 410 l/s c'est-à-dire 0.410 m³/s

Coefficient de rugosité : K = 90 conduite gros diamètre

$$D = \left(\frac{0,410}{90 \times 0,02^{1/2} \times 0,3117} \right)^{3/8} = 0,427 \text{ m soit } \phi 500$$

➤ Détermination du débit pleine section d'un collecteur diamètre Ø500:

la pente : on connaît : (I) : 20 mm/m (2%) c'est-à-dire 0.02 m / m

Coefficient de rugosité : K = 90 conduite gros diamètre

$$Rh = \frac{D}{4} = \frac{0.5}{4} = 0.125 \text{ m} \quad \text{Et : } Sm = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \times .5^2}{4} = 0.19635 \text{ m}^2$$

$$Q = K \times Rh^{2/3} \times I^{1/2} \times Sm \quad Q = 90 \times 0.125^{2/3} \times 0,02^{1/2} \times 0.196 = 0,624 \text{ m}^3 / \text{s}$$

➤ Détermination de la vitesse pleine section d'un collecteur diamètre Ø500

la pente : on connaît : (I) : 20 mm/m (2%) c'est-à-dire 0.02 m / m

Coefficient de rugosité : K = 90 conduite gros diamètre

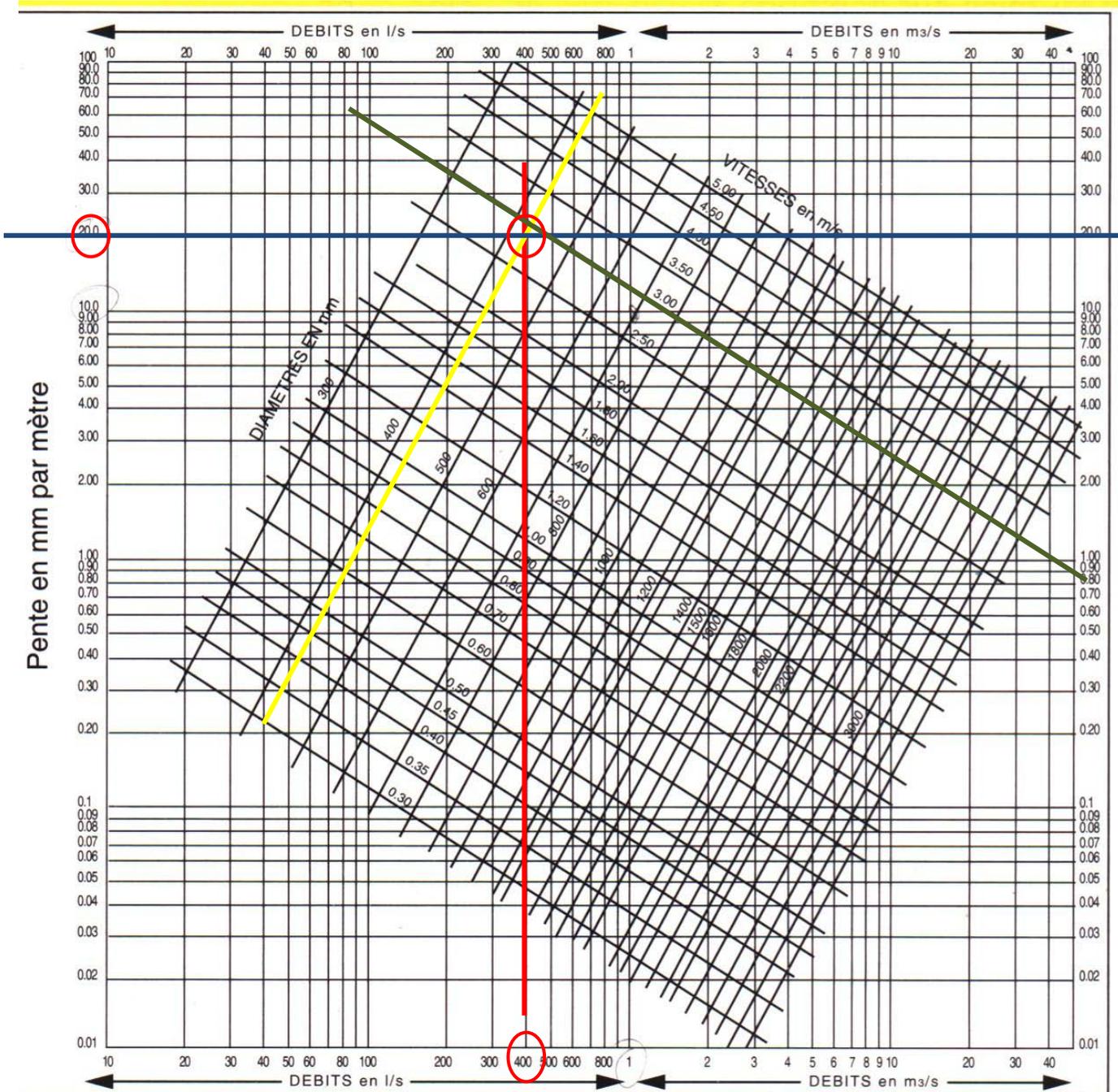
$$V = K \times Rh^{2/3} \times I^{1/2} \quad V = 90 \times 0.125^{2/3} \times 0,02^{1/2} = 3.18 \text{ m/s}$$

Abaque de Manning-Strikler

Exemple Calcul:

Pour le dimensionnement des collecteurs, on peut aussi utiliser l'abaque de *Manning-Strikler*
 Qui donne une relation entre:

- • la pente : on connaît : 20 mm/m (2%)
- • le débit : on connaît : 410 l/s
- • la vitesse d'après le diagramme = on trouve 3 m/s
- • le diamètre on trouve un diamètre = à 427 mm



Abaque de Manning-Strikler

Pour le dimensionnement des collecteurs, on peut aussi utiliser l'abaque de *Manning-Strikler* :

Qui donne une relation entre:

- la pente
- le débit
- la vitesse
- le diamètre

