

## Exercice n° HU 0205 - Corrigé

### Pré-dimensionnement d'un réseau d'assainissement à l'aide de la formule rationnelle – Application à la ville de Thun (Be, Suisse).

#### Données de l'exercice :

L'exercice porte sur le dimensionnement préliminaire de canalisations dont la configuration et les caractéristiques sont regroupées dans la figure 1 et le tableau 2 de l'énoncé. Les indications supplémentaires nécessaires à la réalisation de cet exercice se trouvent aussi dans l'énoncé (annexes 1 à 5). Ces données sont aussi regroupées dans un fichier Excel « HU0205\_feuillecalcul.xls ». Les résultats sont disponibles sur le fichier Excel « HU0205\_corrige.xls ».

#### Question 1. Calcul du diamètre des conduites 1.0, 1.1 et 2.0

##### ☉ Méthode à appliquer :

Le débit de dimensionnement dépend (entre autres choses) de l'intensité moyenne maximale de la pluie critique pour le bassin étudié, qui dépend du temps de concentration du bassin, qui dépend de la vitesse d'écoulement dans la conduite qui dépend du diamètre de la conduite qui dépend du débit de dimensionnement.... Il n'y a donc pas de solution explicite au problème. On le résout itérativement : on se fixe un diamètre de collecteur *a priori* et on vérifie *a posteriori* si les conditions de dimensionnement sont respectées (débit de temps de pluie pour la période de retour de dimensionnement / débit nominal, vitesse de temps sec et vitesse de temps de pluie....) et ensuite on adapte éventuellement le diamètre pour obtenir un dimensionnement plus approprié.

##### ☉ Résultats :

#### 1/ Etapes de dimensionnement de la conduite 1.0

Après la délimitation des bassins et sous bassins et le calcul de leurs caractéristiques (pente, superficie, coefficient de ruissellement), le dimensionnement de la conduite pour un sous bassin donné passe par les étapes ci-dessous :

**Étape 1 :** détermination (éventuellement choix – cf dernier point) de l'origine des ruissellements. Pour le bassin 1.0, aucune ambiguïté : origine = bassin 1.0.

**Étape 2 :** choix d'un diamètre, calcul de la vitesse nominale  $V_N$  et du débit nominal  $Q_N$  de l'écoulement (i.e. lorsque l'écoulement utilise l'entier de la section) :

$$V_N = K \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \sqrt{I} \qquad Q_N = \pi \cdot \frac{D^2}{4} K \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \sqrt{I}$$

- Unités des grandeurs dans les formules ci-dessus :  
 $V_N$  en m/s –  $I$  en m/m –  $D$  en m –  $K$  en USI –  $Q_N$  en m<sup>3</sup>/s
- Tuyaux utilisés dans le corrigé : tuyaux en PVC à bétonner  
Critères utilisés pour la conception d'un réseau : techniques (hydraulique) / économique (coût) / construction (béton = lourd d'où coût de déplacement élevé et taille des éléments limitée d'où beaucoup de raccords // tuyaux en PVC préférés)
- Diamètre utile de la conduite  $D = D_e - 2.e$
- Coefficient de Strickler pour le PVC : 80 à 100 m<sup>1/3</sup>/s  
Pour du prédimensionnement, il est souhaitable de prendre en compte les conditions

d'écoulement futures : vieillissement du matériau des canalisations ( $K$  diminue) et sédimentation d'où réduction de la surface d'écoulement : à cet effet, on prendra un coefficient de rugosité dans la gamme inférieure des coefficients proposés ( $K=90$  dans le corrigé) ;

**Etape 3 :** calcul du temps d'acheminement  $t_a$  du débit de pointe dans la canalisation ainsi que le temps de concentration  $t_c$  du bassin :  $t_c = t_a + t_i$

- $t_i$  est le temps mis par la pluie entre le moment où elle arrive au sol et son introduction dans la canalisation ; par simplicité il est supposé constant dans le temps et l'espace et égal à 5 minutes,
- le temps d'acheminement est calculé avec l'hypothèse pour chaque conduite que la vitesse de l'écoulement est la vitesse nominale  $V_N$  pour la dite conduite;
- le temps d'acheminement dépend de l'origine choisie pour les ruissellements : il est généralement la somme de plusieurs temps d'acheminement correspondant à des conduites successives (cas pour le bassin 1.2),

**Etape 4 :** calcul de l'intensité moyenne maximale  $i(t_c, T)$  pour une pluie de durée égale au temps de concentration  $t_c$ , de la surface réduite totale (somme des surfaces réduites des différents bassins ou sous bassins contributifs) et du débit de ruissellement  $Q_R$ ,

- intensité moyenne maximale :  $i(t_c, T) = a(T)/(b+t_c)$
- surface réduite :  $A_{R,i} = Cr.A_i$
- surface réduite totale (ou active totale) :  $A_{R,tot} = \sum A_{R,i}$
- débit de ruissellement  $Q_R = Q_R(t_c, T) = A_{R,tot} \cdot i(t_c, T)$

**Etape 5 :** calcul du débit « temps de pluie »  $Q_{TP}$

- il n'y a aucune indication concernant une limitation du débit à l'aval du bassin 1.0 (pas de déversoir d'orage); par suite le débit de temps de pluie utilisé pour le dimensionnement de la conduite est simplement la somme du débit de ruissellement et du débit de temps sec (idem pour les autres bassins) :
- $Q_{TP} = Q_{ECP} + Q_{EU} + Q_R$
- Avec  $Q_{EU} = q \cdot \sum P_i$  ( $P_i$  : population du sous bassin  $i$ )
- Avec  $Q_{ECP} = \sum Q_{ECP,i}$  ( $Q_{ECP,i}$  : débit d'eaux claires parasites du sous bassin  $i$ )
- Attention : pour une conduite donnée, contrairement au débit de ruissellement, les débits Eaux Usées et Eaux Claires Parasites ne dépendent pas de l'origine des ruissellements choisie (cf. point 1.) : pour ces deux derniers débits il faut prendre en compte **tous** les bassins contributifs amont.

**Etape 6 :** calcul du rapport entre les débits « temps de pluie » et nominal de la canalisation ; s'il est supérieur à l'unité, il est nécessaire de reprendre les points 2 à 6 pour un diamètre supérieur de conduite, sinon déterminer le rapport correspondant des vitesse temps de pluie - vitesse nominale (graphique 1 de l'énoncé),

**Etape 7 :** calcul de la vitesse de l'écoulement par « temps de pluie » et vérification qu'elle est inférieure à la vitesse maximale recommandée par les normes ; si elle est supérieure il est nécessaire d'augmenter le diamètre ou de diminuer la pente de la canalisation et de reprendre les points 2 à 7,

**Etape 8 :** calcul du débit « temps sec »  $Q_{TS}$ , de son rapport avec le débit nominal de la canalisation et du rapport vitesse temps sec – vitesse nominale correspondant,

**Étape 9 :** calcul de la vitesse « temps sec » de l'écoulement et vérification qu'elle est supérieure à la vitesse minimale recommandée ; si ce n'est pas le cas des mesures constructives ou une diminution du diamètre de la canalisation est nécessaire, de même que de reprendre les points 2 à 9.

## 2/ Etapes de dimensionnement des conduites 1.1 et 2.0

Dimensionnement de la conduite 2.0 : effectué selon la même procédure que celle utilisée pour la conduite 1.0. On remarquera que la condition sur la vitesse de temps sec n'est pas respectée.

Concernant la conduite 1.1 elle ne sert qu'à l'acheminement du débit évacué par la conduite 1.0 : le débit de dimensionnement pour 1.1 est donc celui obtenu pour 1.0. Les pentes des conduites étant différentes, les diamètres nécessaires pour faire passer ce débit de dimensionnement peuvent donc être différents. Le diamètre nécessaire pour la conduite 1.1 est calculé par la formule de Manning-Strickler et le diamètre minimal requis pour la conduite est déduit à partir des données fabricant. Après le choix du diamètre le plus approprié, il est nécessaire d'effectuer les points 6 à 9 pour vérifier les vitesses minimale et maximale de l'écoulement.

**Les résultats de ces dimensionnements sont donnés dans le tableau 1.**

Tableau 1 : Résultats du dimensionnement pour un coefficient de Strickler de  $90 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Conduite	Diamètre [mm]	$Q_N$ [l/s]	$Q_{TP} / Q_N$ [%]	$V_{TP}$ [m/s]	$Q_{TS} / Q_N$ [%]	$V_{TS}$ [m/s]
1.0	630/614	439	70	1.6	15	0.7
1.1	630/614	382	76	1.4	16	0.6
1.2	1000/975	829	94	1.3	16	0.7
2.0	900/878	887	77	1.6	7	0.6

avec

- $Q_N$  : débit maximal (nominal) de la canalisation
- $Q_{TP}$  : débit « temps pluie » de l'écoulement
- $V_{TP}$  : vitesse « temps pluie » de l'écoulement
- $Q_{TS}$  : débit « temps sec » de l'écoulement
- $V_{TS}$  : vitesse « temps sec » de l'écoulement

## Question 2. Dimensionnement de la conduite 1.2 et procédure de contrôle du diamètre

### ☉ Méthode à appliquer :

Pour cette canalisation le débit maximal correspondant à une pluie de période de retour de  $T=5$ ans est généré par la *pluie critique pour le bassin complet*. La durée de cette pluie est généralement considérée comme égale au temps de concentration du bassin étudié (bassin complet  $B=1.0+1.2+2.0$ ) mais ceci n'est pas forcément le cas en pratique. C'est ce que l'on observe fréquemment lorsque les différents sous bassins versants du bassin étudiés sont très hétérogènes (coefficients de ruissellement, surfaces réduites contributives et/ou réactivités différentes) ! La procédure consiste donc :

- à dimensionner le collecteur 1.2 pour le bassin  $B$  complet avec la procédure habituelle en prenant une pluie de durée égale au temps de concentration  $t_{cB}$  du bassin  $B$  et d'intensité moyenne  $i(T, t_{cB})$  (configuration  $i$ )
- à vérifier ensuite que ce dimensionnement convient si l'on ne prend en compte qu'une partie  $B^*$  du bassin complet, cette partie ayant un temps de concentration  $t_c^*$  inférieur à  $t_{cB}$  (la configuration du cas  $ii$  ou une configuration du cas  $iii$ ). On appliquera alors la formule rationnelle pour le sous bassin  $B^*$  avec une pluie de durée égale à  $t_c^*$  et d'intensité moyenne maximale  $i(T, t_c^*)$ . Comme  $B^*$  a un temps de concentration  $t_c^*$  plus petit que  $t_{cB}$ , on aura bien entendu  $i(T, t_c^*) > i(T, t_{cB})$ .

Les configurations à comparer sont donc :

- Configuration de base utilisée pour le dimensionnement :
  - i. bassin  $B$  constitué de l'ensemble des sous bassins,
- Configurations de contrôle :
  - ii. bassin  $B^*$  composé des seuls deux bassins 1.2 et 2.0 (puisque son temps de concentration à l'exutoire du bassin 2.0 est inférieur au temps de concentration du bassin  $B$  complet toujours à l'exutoire 2.0),
  - iii. bassin  $B^*$  correspondant au bassin 1.2, au bassin 1.0 ou encore au bassin 2.0 (chaque bassin étant considéré individuellement),

Le débit de dimensionnement associé aux configurations  $i$  et  $ii$  est toujours calculé selon la même méthode en 8 points, de même lorsque le bassin 1.2 est considéré seul (aux précautions à prendre présentées plus bas près). Le débit de dimensionnement finalement retenu pour la conduite 1.2 sera le débit maximum entre les débits obtenus pour les différents cas.

### ⊙ Résultats :

On remarque que le dimensionnement obtenu pour la configuration  $i$  (bassin complet  $B$ ) demande une conduite de 1000mm. Ce dimensionnement est suffisant pour faire passer les débits résultant des autres configurations testées. Cependant, la configuration conduisant au débit le plus défavorable est la configuration  $ii$  : lorsqu'on applique la méthode rationnelle en ne considérant que les bassins 1.2 et 2.0, on obtient un débit et donc un niveau de remplissage de la canalisation de 1000mm plus important que lorsqu'on applique la méthode en considérant le bassin en entier... On fera donc la remarque importante suivante : pour la période de retour de dimensionnement  $T$ , la pluie de durée correspondant au temps de concentration du sous bassin  $B^* = 1.2+2.0$  est donc plus critique pour le bassin  $B$  que la pluie de durée égale au temps de concentration de ce même bassin  $B$ . L'hypothèse de durée critique de pluie égale au temps de concentration du bassin est donc fautive pour le bassin  $B$ . Ici cela n'a pas à première vue de conséquence sur le dimensionnement car le collecteur de 1000mm initialement dimensionné est suffisant pour pouvoir accepter cette surcharge : le taux de remplissage obtenu avec cette surcharge est juste inférieur à la situation de pleine charge du collecteur ( $Q_{TP}/Q_N=99\%$ ).

Configuration	Bassins considérés	Diamètre Ø [mm]	Temps de concentrat° $t_c$ [mn]	Aire contribut. $A_R$ (ha)	Débit nominal $Q_N$ [l/s]	Débit relatif $Q_{TP}/Q_N$ [%]
$i$	1.2+2.0+1.0	1000/975	27.9	4.8	829	94
$ii$	1.2+2.0	1000/975	12.9	3.2	829	99
$iii$	1.2	1000/975	9.5	0.8	829	39

### ⊙ Remarque :

**Attention : cette méthode du double contrôle est imparfaite !** Lorsque l'on calcule le débit à l'exutoire de  $B$  pour une pluie de durée  $\theta$  égale au temps de concentration  $t_{c^*}$  de l'un des sous bassins  $B^*$  du bassin  $B$  (configurations  $i$  et  $ii$  mentionnées plus haut), il serait nécessaire de prendre en compte les contributions à l'exutoire (même si elles étaient partielles) de tous les sous bassins versants du bassin  $B$  (et non pas la seule contribution du sous bassin  $B^*$ ) ! En effet, le temps de concentration correspondant à  $B^*$  est inférieur au temps de concentration du bassin  $B$  et donc aussi au temps de concentration d'un ou plusieurs autre(s) sous-bassin(s)  $B_k$  du bassin  $B$ . Ce(s) sous bassin(s)  $B_k$  est (sont) aussi soumis à la pluie de durée  $t_{c^*}$  et d'intensité  $i(t_{c^*}, T)$ . Certes, seule une partie de ce(s) sous bassin(s)  $B_k$  contribuera aux ruissellements à l'exutoire du bassin  $B$  puisque la pluie de durée  $\theta = t_{c^*}$  a une durée inférieure à son (leur) temps de concentration mais l'on ne peut pas négliger cette partie a

priori (cf. + exercice 114). Ainsi, dans l'exemple ci-dessus, le sous bassin 1.0 (non pris en compte dans la configuration *ii*) contribue aussi au temps  $\theta = tc^* = tc_{2.0+1.2}$  aux ruissellements à l'aval de 2.0 : la contribution supplémentaire provenant de 1.0 (même si elle n'est que partielle car ne correspondant qu'à une partie seulement de l'aire contributive totale de 1.0) conduira donc probablement à une surcharge du collecteur (sans 1.0 on atteint déjà un débit relatif de 99%).

La détermination de cette contribution partielle des bassins  $B_k$  est délicate et l'on pourra utiliser à cet effet la méthode du diagramme Aire-temps de concentration (cf. exercice HU 0206). Cependant, cette méthode, intéressante pour le diagnostic d'un réseau existant, est peu pratique dans le cadre d'un dimensionnement de collecteur (à moins que l'on dispose d'un outil informatique qui puisse déterminer ces diagrammes automatiquement) : en effet, les temps d'acheminement varient suivant le dimensionnement choisi des collecteurs et donc les diagrammes des différents sous bassins vont dépendre en particulier du diamètre de dimensionnement pour ces collecteurs. Hors dans les problèmes de dimensionnement ceux ci sont inconnus *a priori* et ajustés de manière itérative... On peut aussi, à défaut d'établir le diagramme Aire-temps de concentration pour le bassin B, adopter l'approche simplifiée suivante pour avoir une meilleure estimation des débits de pointe correspondant aux différentes configurations de contrôle.

*Calcul avec une pluie de durée égale au temps de concentration du bassin 1.2+2.0 :*

*Sous bassin 1.2+2.0*

- *Diamètre de la conduite dimensionnée pour la configuration i :  $\varnothing = 1000\text{mm}$ .*
- *Le temps d'acheminement dans la conduite 1.2 est d'environ  $ta_{1.2} = 4.5\text{mn}$ .*
- *Le temps de concentration du bassin 1.2+2.0 est d'environ  $tc^* = tc_{1.2+2.0} = 12.9\text{mn}$*
- *Le débit de pointe provenant des bassins 1.2+2.0 pour une pluie égale à  $tc^*$  est :  $Q^*_{1.2+2.0} = A_{R1.2+2.0} \cdot i(tc^*) = 819\text{ l/s}$*

*Sous bassin 1.0 :*

- *Le sous bassin 1.0 commence à contribuer au ruissellement à l'exutoire du bassin 1.2 au temps  $t_1^* = ta_{1.2} + ta_{1.1} = 7.1\text{mn}$ . Au temps  $tc^* = 12.9\text{mn}$  sa contribution n'est donc pas nulle. Le sous bassin 1.0 contribue en totalité au temps  $t_2^* = ta_{1.2} + ta_{1.1} + tc_{1.0} = 22.8\text{mn}$  ( $= 4.5 + 2.6 + 15.7\text{mn}$ ).*
- *En supposant que l'augmentation de sa contribution est linéaire entre les temps  $t_1^*$  et  $t_2^*$  on en déduit sa contribution partielle au temps  $tc^*$ . Ce sera :  $Q^*_{1.0} = A_{R1.0} \cdot (tc^* - t_1^*) / (t_2^* - t_1^*) \cdot i(tc^*) = 128\text{ l/s}$*

*Sous bassin : total (1.2+2.0)+ partie(1.0) :*

- *Le débit total provenant de l'ensemble du bassin B au bout d'une durée  $\theta = tc^*$  et pour une pluie d'intensité moyenne maximale  $i(tc^*) = 217\text{ l/s/ha}$  sur cette durée est donc :  $Q^* = Q^*_{1.0} + Q^*_{1.2+2.0} = 947\text{ l/s}$*
- **Ceci correspond à un débit relatif de 114 % ! Le débit de dimensionnement obtenu en ne prenant en compte que la contribution des bassins 1.2 et 2.0 est donc insuffisant !**

**Suite de l'exercice : cf. exercice HU 0206**

## Prédimensionnement d'un réseau d'assainissement à l'aide de la formule rationnelle

Diamètre constructeur	400	500	630	710	800	900	1000	1100	1200
Epaisseur	5,0	6,2	7,9	8,8	10,0	11,3	12,5	13,5	15,0
Diamètre utile	390,0	487,6	614,2	692,4	780,0	877,4	975,0	1073	1170

précipitations K = 5400  
 B = 12 [min]  
 ti = 5 [min]  
 coeff. Strickler K = 90 [m<sup>1/3</sup>/s]

débit spécifique des eaux usées q = 1,0 [l/s/100 EqH]

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)
Tronçon	Longueur	Diff. altitude	Pente	Diamètre	Vitesse nominale	Débit nominal	Temps achemine.	Origine	Cumul temps ach.	Temps concentra.	Intensité	Surface	Coefficient ruiss.	Surface active	Cumul surf. active	Débit ruiss.	Population	Cumul population	Débit EU	Débit ECP	Débit conservé	Débit temps pluie	Débit relatif TP	Vitesse rel. TP	Vitesse TP	Débit relatif TS	Vitesse rel. TS	Vitesse TS
-	L	ΔH	J	ø	V <sub>N</sub>	Q <sub>N</sub>	t <sub>a</sub>	-	Σt <sub>a</sub>	t <sub>c</sub>	i	S	Ψ	F <sub>act</sub>	ΣF <sub>act</sub>	Q <sub>R</sub>	-	-	Q <sub>EU</sub>	Q <sub>ECP</sub>	Q <sub>C</sub>	Q <sub>TP</sub>	Q <sub>TP</sub> /Q <sub>N</sub>	V <sub>TP</sub> /V <sub>N</sub>	V <sub>TP</sub>	Q <sub>TS</sub> /Q <sub>N</sub>	V <sub>TS</sub> /V <sub>N</sub>	V <sub>TS</sub>
-	[m]	[m]	[‰]	[mm]	[m/s]	[l/s]	[min]	-	[min]	[min]	[l/s/ha]	[ha]	[-]	[ha]	[ha]	[l/s]	[EqH]	[EqH]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[%]	[%]	[m/s]	[%]	[%]	[m/s]
1,0	1400		3,3	488	1,3	237	18,4	1,0	18,4	23,4	153	4,0	0,4	1,6	1,6	244	500	500	5	40	289	289	122					
	1400		3,3	614	1,5	439	15,7	1,0	15,7	20,7	165	4,0	0,4	1,6	1,6	264	500	500	5	40	309	309	70	108	1,6	15	71	0,7
1,1	200		2,5	614	1,3	382	2,6												5	40	309	309	81	111	1,4	15	71	0,7
2,0	300		2,0	878	1,5	887	3,4	2,0	3,4	8,4	265	4,0	0,6	2,4	2,4	635	1000	1000	10	40	685	685	77	110	1,6	7	58	0,6
1,2	300		1,0	877	1,0	625	4,8	1,0	23,2	28,2	134	2,0	0,4	0,8	4,8	645	1000	2500	25	100	770	770	123					
	300		1,0	975	1,1	829	4,5	1,0	22,9	27,9	135	2,0	0,4	0,8	4,8	650	1000	2500	25	100	775	775	94	113	1,3	16	73	0,7
Vérification du dimensionnement de 1.2 avec sous bassins (2.0+1.2) et (1.2) seuls																												
1,2	300		1,0	975	1,1	829	4,5	1,2	4,5	9,5	251	2,0	0,4	0,8	0,8	201	1000	2500	25	100	326	326	39	94	1,0	38	94	0,4
	300		1,0	975	1,1	829	4,5	2,0	7,9	12,9	217	2,0	0,4	0,8	3,2	694	1000	2500	25	100	819	819	99	114	1,3	15	72	0,7