

Exercice n° HU 0201 - Corrigé

Pré-dimensionnement d'un réseau d'assainissement à l'aide de la formule rationnelle – Application à la ville de Wassen (Ur, 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 « HU0201_feuillecalcul.xls ». Les résultats sont disponibles sur le fichier Excel « HU0201_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.

⊙ Démarche et 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 correspondants (i.e. lorsque l'écoulement utilise l'entier de la section). Utilisation de l'équation de frottement de Manning-Strickler :

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

- 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 m³/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 : $80 \text{ à } 100 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
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 de chaque sous bassin contributif i : $A_{R,i} = Cr_i \cdot A_i$
- 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 $Q_{EU} = r \cdot q \cdot \sum P_i$ (P_i : population du sous bassin i , q : consommation moyenne journalière par habitant, r : coefficient de pointe fonction en première approximation de la population $r = 5/p^{1/5}$)
- 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 vitesses temps de pluie - vitesse nominale (figure 3 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,

Étape 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 démarches sont donnés dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1 : Résultats du dimensionnement pour les 4 conduites 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	692	743	88	2.2	6	0.9
1.1	780	831	79	1.9	5	0.7
2.0	975	1854	84	2.8	3	0.8
1.2	1170	3015	95	3.2	4	1.1

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 $T=15$ 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 (configuration i : bassin complet $B=1.0+1.0+1.2+2.0$) 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) !

Pour valider la cohérence de l'estimation obtenue par l'application directe de la méthode rationnelle il faut alors vérifier (méthode double calcul) que ce dimensionnement convient si le débit maximal est généré par une pluie de durée égale :

- au temps de concentration du bassin $B^* 1.2, 1.0$ ou 2.0 (configuration ii). On prendra le temps de concentration de la conduite 1.2.

- au temps de concentration du bassin B** composé des bassins 1.2 et 2.0 (configuration iii).

Le débit de dimensionnement associé aux configurations i, ii et iii est toujours calculé selon la même méthode en 8 points (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 3 configurations.

⊙ **Résultats :**

On remarque que le dimensionnement obtenu pour la configuration *i* (bassin complet *B*) demande une conduite de 1200 mm ce qui est suffisant pour les autres configurations testées mais la configuration la plus défavorable est la configuration *ii* pour laquelle on a un niveau de remplissage plus important que pour 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 1200mm 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 ($Q_{TP}/Q_N=98\%$).

Configuration	Bassins considérés	Diamètre Ø [mm]	Temps de concentration t_c [mn]	Aire contribut. A_R (ha)	Débit nominal Q_N [l/s]	Débit relatif Q_{TP}/Q_N [%]
<i>i</i>	1.2+2.0+1.0	1200/1170	13.9	13.2	3015	95
<i>ii</i>	1.2+2.0	1200/1170	6.8	5.6	3015	57
<i>iii</i>	1.2	1200/1170	8.5	10.8	3015	98

Remarque : Attention cependant car la méthode du double contrôle est imparfaite ! Lorsque l'on calcule le débit à l'exutoire de *B* pour une pluie de durée θ égale au temps de concentration t_{c^*} de l'un des sous bassins B^* du bassin *B* (avec $t_{c^*} < t_{cB}$), il serait nécessaire de prendre en compte les contributions à l'exutoire de tous les sous bassins versants du bassin *B* (et non pas la seule contribution du sous bassin B^*) (cf. cours) ! Dans l'exemple ci-dessus, le sous bassin 1.0 (non pris en compte dans la configuration *ii*) contribue aussi, au temps $\theta = t_{c^*} = t_{c_{2.0+1.2}}$, 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 98%).

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 HU0102). 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...

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

Caractéristiques des Canalisations :

Données fournies par la société CANPLAST SA - Canalisations plastiques (<http://www.canplast.ch/>) pour les tuyaux de type " GRESINTEX " en matière PVC.

Diamètre constructeur	400	500	630	710	800	900	1000	1100	1200	1400
Epaisseur	5.0	6.2	7.9	8.8	10.0	11.3	12.5	13.5	15.0	16.0
Diamètre utile	390.0	487.6	614.2	692.4	780.0	877.4	975.0	1073	1170	1368
coeff. Strickler K =	90 [m ^{1/3} /s]									

Précipitations

K = 5400

B = 12 [min]

ti = 5 [min]

débit spécifique des eaux usées q = 0.5 [l/s/100 EqH]

coefficient de pointe r = 5.0 /p^{0.2} [-]

(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)	
Tronçon	Longueur	Diff. altitude	Pente	Diamètre Utile	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	Coefficient de pointe	Débit EU	Débit ECP	Débit conservé	Débit temps pluie	Débit relatif TP	Vitesse rel. TP	Vitesse TP	
-	L	ΔH	J	ø	V _N	Q _N	t _a	-	Σt _a	t _c	i	S	Ψ	F _{act}	ΣF _{act}	Q _R	-	-	r	Q _{EU}	Q _{ECP}	Q _C	Q _{TP}	Q _{TP} /Q _N	V _{TP} /V _N	V _{TP}	
-	[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]	
1.0	500	2.50	5.0	488	1.6	292	5.3	1.0	5.3	10.3	242	8.0	0.30	2.4	2.4	580	400	400	5.0	10.0	35	625	625	214			
	500		5.0	692	2.0	743	4.2	1.0	4.2	9.2	255	8.0	0.30	2.4	2.4	611	400	400	5.0	10.0	35	656	656	88	112	2.2	
1.1	300	0.99	3.3	692	1.6	604	3.1													10.0	35	656	656	109			
1.1	300	0.99	3.3	780	1.7	831	2.9													10.0	35	656	656	79	110	1.9	
2.0	250	1.25	5.0	975	2.5	1854	1.7	2.0	1.7	6.7	289	8.0	0.65	5.2	5.2	1503	800	800	5.0	20.0	30	1553	1553	84	112	2.8	
1.2	300	1.50	5.0	1170	2.8	3015	1.8	1.0	8.9	13.9	209	8.0	0.70	5.6	13.2	2755	800	2000	4.4	43.5	65	2863	2863	95	114	3.2	
Vérification du dimensionnement de 1.2 avec sous bassins (2.0+1.2) et (1.2) seuls																											
1.2	300		5.0	1170	2.8	3015	1.8	1.2	1.8	6.8	287	8.0	0.70	5.6	5.6	1610	800	2000	4.4	43.5	65	1718	1718	57	104	2.9	
	300		5.0	1170	2.8	3015	1.8	2.0	3.5	8.5	264	8.0	0.70	5.6	10.8	2850	800	2000	4.4	43.5	65	2959	2959	98	114	3.2	