

Exercice n° HU 0301 - Corrigé

Choix et dimensionnement d'un ouvrage de contrôle d'eaux pluviales par la méthode dite « des pluies » – Application à la ville de Davos (Grison, Suisse).

Données de l'exercice :

Les données nécessaires à la réalisation de cet exercice se trouvent dans les tableaux 1, 2 et 3 et dans les figures 1 à 4 de l'énoncé. Une feuille de calcul Excel « HU0301_corrige.xls » est disponible pour les corrections de l'exercice.

Question 1. Choix du type d'ouvrage pour répondre au problème posé.

⊙ **Méthode à appliquer : Critères d'aide au choix des techniques alternatives**

cf. Tableaux 2 et 3 + cours

⊙ **Démarche et résultats**

Choix de l'ouvrage : d'après les contraintes du milieu (cf. énoncé) et les données dont on dispose, on peut proposer les étapes successives suivantes pour le choix de la méthode alternative à utiliser :

Contraintes du milieu :	Techniques alternatives		
	Puits	Tranchées	
Espace foncier indisponible : milieu urbain dense (75% de surface imperméable)	Puits	Tranchées	
Pas d'exutoire possible	Puits	-	
Forte capacité d'alimentation de la nappe de l'ouvrage	Puits d'infiltration	Puits d'injection	-
Nappe profonde	Puits d'infiltration	-	-
Aucune information sur qualité de l'eau	Ok	-	-
Choix final :	Puits d'infiltration		

Question 2. Dimensionnement de l'ouvrage pour $T=1$ ans.

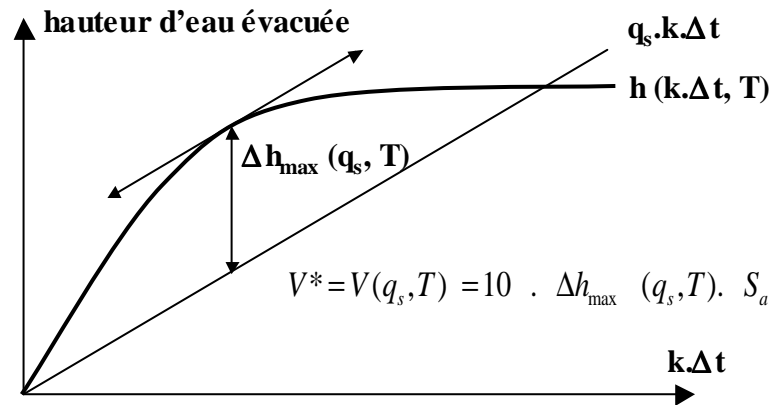
⊙ **Méthode à appliquer : Méthode des pluies**

La Méthode des pluies (telle qu'elle est décrite par les hollandais) est une méthode qui permet de pré-dimensionner facilement les volumes des ouvrages de stockage (bassins de retenue, bassins d'infiltration, etc.). C'est une méthode applicable uniquement pour des bassins versants relativement petits.

Différentes hypothèses sont nécessaires pour son application :

- Le débit de fuite de l'ouvrage de stockage est supposé constant,
- Le transfert de la pluie à l'ouvrage de retenue est supposé instantané (phénomènes d'amortissement dus au ruissellement sur le bassin négligés),
- Les évènements pluvieux sont supposés indépendants (périodes de temps sec non prises en compte, séquences de pluies non prises en compte)

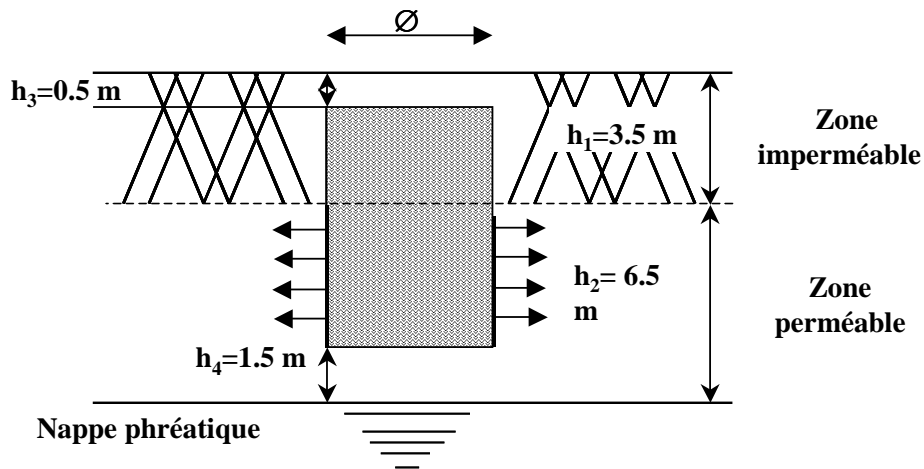
Le principe de cette méthode est de régler les valeurs des paramètres de dimension de l'ouvrage (diamètre, ect.) afin que la capacité de stockage de l'ouvrage (fonction des dimensions de l'ouvrage) soit supérieure ou égale au volume maximum à stocker V^* (fonction du volume d'eau à traiter et du débit de fuite de l'ouvrage). La figure suivante représente la manière dont est obtenu ce volume maximum à stocker pour un temps de retour T donné et un débit de fuite q_s donné.



La courbe $h(k.\Delta t, T)$ est dérivée de la courbe IDF pour la région concernée.

⊙ Démarche :

Etape 1 : Fixer la valeur pour la hauteur h_4 (valeur empirique). $h_4 = 1.5$ [m]. Le puits de diamètre \varnothing (à déterminer) se présente selon la figure suivante :



Etape 2 : Choix d'un diamètre \varnothing et d'un nombre d'ouvrage n .

Etape 3 : Calcul du débit d'infiltration sur l'ensemble des n puits de diamètre \varnothing . Ce débit est supposé constant et non dépendant de la charge dans les puits.

- Calcul de la hauteur disponible pour l'infiltration. Pour un puits :
 $H_{\text{inf}} = h_2 - h_4$ en [m]
- Calcul de la surface disponible pour l'infiltration. Pour un puits :
 $S_i(\varnothing) = H_{\text{inf}} \cdot \pi \cdot \varnothing$ en [m²]
- Calcul de la surface effective d'infiltration S_{inf} (section d'écoulement pour l'infiltration avec prise en compte d'un coefficient de sécurité s fonction de la qualité des eaux de ruissellement et du niveau d'entretien envisagé - ici on a pris $s=3/4$ à partir de la figure 3). Pour un puits :

$$S_{\text{inf}}(\varnothing) = s \cdot H_{\text{inf}} \cdot \pi \cdot \varnothing \quad \text{en [m}^2\text{]}$$

On en déduit l'équation du débit d'infiltration sur l'ensemble des n puits :

$$Q_{n,\text{inf}}(\varnothing) = n \cdot q_{\text{as}} \cdot S_{\text{inf}}(\varnothing) \quad \text{en [m}^3\text{/s]} \quad (1)$$

avec q_{as} : capacité d'absorption spécifique du sous-sol perméable (en m³/s/m²)

Etape 4 : Calcul du volume disponible pour le stockage sur l'ensemble des n puits de diamètre \varnothing .

- Calcul de la hauteur disponible pour le stockage. Pour un puits :

$$H_{\text{stock}} = (h_1 + h_2) - (h_3 + h_4)$$

Calcul du volume disponible pour le stockage (fixer une porosité p intérieure de l'ouvrage, ici, on prend $p=1$ car l'ouvrage est vide). Pour n puits :

$$V_{n,\text{stock}}(\varnothing) = n \cdot p \cdot \pi \cdot \frac{\varnothing^2}{4} \cdot H_{\text{stock}} \quad \text{en [m}^3\text{]} \quad (2)$$

Etape 5 : Calcul de la surface active de ruissellement alimentant l'ouvrage.

- Calcul de l'emprise au sol des n puits de diamètre \varnothing .

$$A_{n,\text{puits}} = n \cdot A_{\text{puits}} = n \cdot \pi \cdot \frac{\varnothing^2}{4} \quad \text{en [m}^2\text{]}$$

Remarque : Cette surface pourrait être négligée pour un ouvrage de type puits mais devrait être prise en compte pour un bassin de rétention.

- Calcul du coefficient d'imperméabilisation C_{imp} correspondant au volume à traiter. On veut juste traiter les 25% d'augmentation de l'imperméabilisation.
- Calcul de l'aire contributive totale (surface contributive du bassin versant + emprise au sol des n puits).

$$A_c = A_{R-bv} + A_{n,\text{puits}} = C_{\text{imp}} \cdot A_{bv} + n \cdot \pi \cdot \frac{\varnothing^2}{4} \quad \text{en [m}^2\text{]}$$

Etape 6 : Calcul des volumes ruisselés à traiter pour différentes pluies « bloc » de durée comprise entre 0 et 360 min et de temps de retour donné T (cf. colonne 4 tableau de résultats).

- Pour un temps de retour T , une durée de pluie t donnée (en min), calcul à partir des courbes IDF, de l'intensité moyenne maximale des précipitations. Calcul de la lame précipitée $h(t)$ (cf. colonnes 2 et 3 tableau de résultats).

$$i_T(t) = \frac{K}{B+t} \quad \text{en [l/s/ha]} \quad \text{et} \quad h(t) = t \cdot i(t) / 60$$

- Calcul du volume ruisselé à traiter pour une durée de pluie t , avec A_c en ha et $h(t)$ en l/ha :

$$V_R(t) = A_c \cdot \frac{h(t)}{1000} \quad \text{en [m}^3\text{]} \quad (3)$$

Etape 7 : Calcul des volumes infiltrés à partir de l'équation (1) et pour chaque intervalle de temps [0-360 min]. (cf. colonne 5 tableau de résultats).

$$V_{\text{inf}}(\varnothing, t) = Q_{n,\text{inf}}(\varnothing) \cdot t / 60 \quad \text{en [m}^3\text{]} \quad (4)$$

Etape 8 : Calcul du volume à stocker pour chaque pluie de durée t et du volume maximal à stocker pour les n puits de diamètre \emptyset (cf. colonne 6 tableau de résultats).

- Pour chaque intervalle de temps [0-360 min], calcul des volumes à stocker en soustrayant au volume à traiter (équation 3) le volume infiltré (équation 4).

$$V_{stock}(\emptyset, t) = V_R(t) - V_{inf}(\emptyset, t) \text{ en [m}^3\text{]}$$

- On prend le volume maximum à stocker pour les n puits. $V^*(\emptyset) = \text{Max}(V_{stock}(\emptyset, t))$

Etape 9 : Comparaison du volume maximum à stocker $V^*(\emptyset)$ avec la capacité de stockage des n puits de diamètre \emptyset (cf. équation 2). Réglage des paramètres n et \emptyset jusqu'à ce que la relation (5) soit vérifiée.

$$V_{n,stock}(\emptyset) \geq V^*(\emptyset) \quad (5)$$

Si le diamètre \emptyset est trop grand (par rapport à la situation donnée –milieu urbain dense), il est possible de jouer sur le nombre n des ouvrages. Une analyse de coûts supplémentaires est nécessaire pour déterminer le meilleur compromis entre le diamètre \emptyset de l'ouvrage et le nombre d'ouvrages.

⊙ **Résultats - Exemple, pour T=1 ans :**

Caractéristiques de « l'ouvrage » ($p=1$ et $s=0.75$)

Diamètre de l'ouvrage	Nombre d'ouvrages	Emprise au sol des n ouvrages	Surface d'infiltration effective des n ouvrages	Capacité de stockage des n ouvrages
[m]	[-]	[m ²]	[m ²]	[m ³]
1.5	6	10.603	106.0	84.8

Caractéristiques du bassin versant et surface réduite contributive

surface bassin versant	Coef. imp. avant	Coef. imp. après	Coef. projet imperméabilisation	Surface réduite contributive ($A_{R-bv} + A_{n, puits}$)
[ha]	[-]	[-]	[-]	[m ²]
5.0	0.50	0.75	0.25	12510.60

durée pluie [min]	intensité [mm/h]	lame précipitée [mm]	volume ruisselé à traiter [m ³]	volume infiltré [m ³]	volume à stocker [m ³]
0	0	0	0	0	0
10	34.2	5.7	71.3	12.7	59
20	22.8	7.6	95.1	25.4	70
30	17.1	8.6	107.0	38.2	69
40	13.7	9.1	114.1	50.9	63
50	11.4	9.5	118.9	63.6	55
60	9.8	9.8	122.2	76.3	46
70	8.6	10.0	124.8	89.1	36
etc.

Capacité de stockage de tous les ouvrages =	84.8	[m³]
Durée critique de la pluie =	20	[mm]
Volume maximal à stocker =	69..6	[m³]
Capacité de stockage non utilisée =	15.2	[m³]

Ainsi, une série de 6 puits de diamètre $\varnothing = 1.5$ m permettra de stocker l'excédent d'eaux de ruissellement provoqué par une pluie de temps de retour de 1 ans et pour une augmentation de l'imperméabilisation de 25%.

Question 3. Nombre de puits supplémentaires pour $T = 5$ ans

Dans les calculs précédents, après avoir changé la valeur de la constante K de la courbe IDF utilisée (pour $T=5$ ans, $K= 300$ mn.l/s/ha), on fait varier uniquement le nombre n de puits supplémentaires pour que l'équation 5 soit de nouveau vérifiée.

Avec 3 puits supplémentaires ($n= 9$), on obtient :

Capacité de stockage de tous les ouvrages =	127.2	[m ³]
Durée critique de la pluie =	20	[mm]
Volume maximal à stocker =	112	[m ³]
Capacité de stockage non utilisée =	15.2	[m ³]

Question 4. Calcul du temps de vidange du puits dimensionné

On calcule le temps de vidange du puits dimensionné à la question 2 pour une pluie de $T=1$ ans et de durée $t=20$ min.

Au bout de 20 minutes (pour $T=1$ ans), le volume stocké dans chaque puits est :

$$V_{stock}(\varnothing, 20) = \frac{1}{n} (V_R(20) - V_{inf}(\varnothing, 20)) = 11.6 \text{ [m}^3\text{]}$$

Le débit d'infiltration du puits est :

$$q_s = \frac{1}{n} (Q_{n,inf}(\varnothing)) = 3.53 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Le temps de vidange sera donc :

$$t = \frac{V}{q_s} = \frac{V_R(20) - V_{inf}(\varnothing, 20)}{Q_{n,inf}(\varnothing)} = 3283.7 \text{ [s]} \text{ soit : } t = \mathbf{54.7 \text{ [min]}}$$