ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Exercice n°HU 0102 - Corrigé

Prédimensionnement d'une retenue pour contrôler le débit de rejet dans un récepteur naturel à l'aide de la méthode des volumes – Application à la ville de Lausanne (VD, Suisse).

Données de l'exercice

L'exercice porte sur le dimensionnement préliminaire d'un bassin de rétention dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau de l'énoncé. La série simulée des volumes à stocker sur la période de 22 années est fournie dans le fichier Excel « HU0102_énoncé.xls ». Les résultats sont aussi disponibles sur le fichier Excel « exercice HU0102_corrige ».

Etablissement du diagramme $V_s(T,Q_s)$ pour T=20 ans

⦿ Méthode à appliquer : Méthode des volumes

La Méthode des volumes 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),

Le fonctionnement de l'ouvrage est simulé en continu :

$$h(t+\Delta t) = h(t) + [P(t+\Delta t) - q_s].\Delta t$$

avec $h(t)$: volume stocké dans l'ouvrage en mm (rapporté à la surface contributive du bassin versant (surface réduite)), $P(t)$: intensité de la pluie sur le pas de temps [t, t+Δt] en mm/h ; q_s débit de vidange spécifique en mm/h, Δt pas de temps en heures.

Pour chaque événement conduisant à un fonctionnement de la rétention on retient le volume de stockage maximum dans l'ouvrage de rétention hs_i. A partir de la série de ces volumes de stockage hs_i, on effectue un ajustement permettant d'en déduire les volumes de stockage correspondant à une fréquence de non dépassement donnée, i.e. à une période de retour de défaillance de l'ouvrage donnée.

⦿ Démarche :

Etape 1 : Calcul de la surface active de ruissellement alimentant l'ouvrage.

- 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'emprise au sol de l'ouvrage de rétention : on la suppose ici négligeable par rapport à l'aire réduite du bassin versant. On doit sinon la prendre en compte.
- Calcul de l'aire contributive totale (surface contributive du bassin versant + emprise au sol de l'ouvrage).

$$A_c = A_R + A_{ouvrage} = C_{imp}.A + A_{ouvrage}$$

Etape 2 : Calcul des volumes ruisselés à traiter pour les différents événements pluvieux de la série temporelle de pluie à disposition. Utilisation d'une routine de calcul appropriée permettant de sélectionner tous les événements ayant conduit à un volume de stockage supérieur à un seuil $\boldsymbol{h_{seuil}}$ donné. Ces 7 séries d'événements figurent pour chaque débit spécifique de vidange q_s étudié ici dans la feuille de calcul Excel « exercice HU0102_corrige ».

Etape 3 : Construction de 7 séries de données « tronquées ». Sélection des volumes de stockage supérieurs à un seuil donné (ici on a pris les 128 plus grandes valeurs).

Etape 4 : Pour chacune des séries correspondant à un débit spécifique de vidange q_s donné, ajustement d'une loi de GUMBEL pour le volume de stockage maximum annuel.

Attention, lorsque la série à ajuster est tronquée, la démarche décrites ci-dessous peut être appliquée mais en apportant des corrections aux formulations des probabilités cumulées de non-dépassement et aux paramètres de la droite d'ajustement (voir rappel-énoncé ou Meylan & Musy, 1999[1]).

Remarque : Un ajustement classique de Gumbel sur un échantillon composé de valeurs supérieures à une valeur seuil (série tronquée) n'est généralement pas approprié. On déterminera ici pour s'en convaincre le graphique des couples (u_T, $x_{[r]}$) ou u_T est la variable réduite de GUMBEL et $x_{[r]}$ les différentes valeurs de la série tronquée :

1. Classer par ordre croissant les valeurs retenues,
2. Associer à chaque valeur un rang *r*,
3. Associer à chaque valeur une fréquence cumulée empirique de non-dépassement *F(r)* ou F_T (ce qui implique d'attribuer au débit de pointe le plus faible le rang 1),
4. Représenter graphiquement les couples (u_T, $x_{[r]}$), avec $x_{[r]}$ la valeur observée de rang *r* et u_T la variable réduite de Gumbel de temps de retour *T* associée au quantile empirique de la série tronquée de fréquence de non-dépassement F_T (u_T = - ln(-ln (*F(r)*)))

Le graphique obtenu montre que les couples (u_T, $x_{[r]}$) ne s'alignent pas selon une droite ce qui devrait être le cas s'ils suivaient une distribution de Gumbel.

La méthode consiste en fait à ajuster une loi exponentielle à la série tronquée et à en déduire les coefficients de Gumbel relatifs à la série des valeurs maximales annuelles. Pour visualiser la qualité de l'ajustement graphique sur la série tronquée obtenu avec l'hypothèse d'une loi exponentielle, on réitère la procédure ci-dessus en modifiant cependant l'expression de la variable réduite qui est ici associée à la loi exponentielle :

1. Classer par ordre croissant les valeurs retenues,
2. Associer à chaque valeur un rang *r*,
3. Associer à chaque valeur une fréquence cumulée de non-dépassement *F(r)*
4. Représenter graphiquement les couples ($u_{exp}(r)$, $x_{[r]}$), avec $x_{[r]}$ la valeur observée de rang *r* et $u_{exp}(r)$ la variable réduite de la loi exponentielle associée au quantile empirique de la série tronquée de rang r. ($u_{exp}(r)$ = - ln (1- *F(r)*))

Le graphique obtenu montre que les couples ($u_{exp}(r)$, $x_{[r]}$) s'alignent pour chaque débit de vidange q_s selon une droite ce qui valide l'hypothèse d'une distribution exponentielle (pour établir le graphique ci dessus, seules les 128 plus grandes valeurs de chaque série ont été retenues). Les paramètres a_{EXP} et b_{EXP} de la distribution exponentielle se déduisent simplement pour un débit q_s donné des estimations $\hat{\mu}$ et $\hat{\sigma}$ de la moyenne μ et de l'écart-type σ de l'échantillon:

$$b_{EXP} = \hat{\sigma}$$
$$a_{EXP} = \hat{\mu} - \hat{\sigma}$$

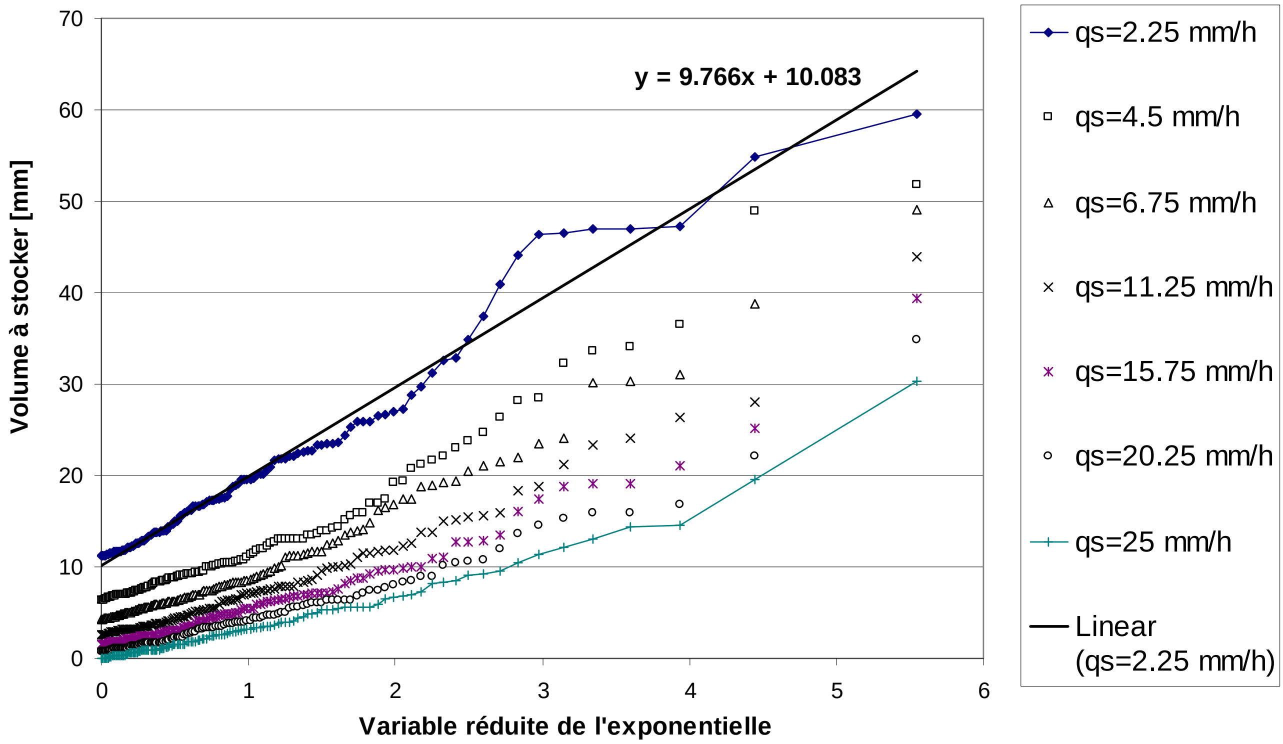
[1] Meylan P., Musy A., Hydrologie Fréquentielle, Edition HGA Bucarest, 1999

Les paramètres a_{GUM} et b_{GUM} de la loi de GUMBEL sur les valeurs annualisées s'en déduisent ensuite simplement comme l'ont démontré Langbein-Takeuchi :

$$b_{GUM} = b_{EXP} = b$$
$$a_{GUM} = a_{EXP} + b \cdot Ln(\lambda)$$

avec

b_{GUM} : le paramètre d'échelle de la distribution de Gumbel
b_{EXP} : le paramètre d'échelle de la distribution exponentielle
a_{GUM} : le paramètre de position de la distribution de Gumbel
a_{EXP} : le paramètre de position de la distribution exponentielle
λ : le nombre moyen d'événements survenus durant les n_a années d'observations ($\lambda = n/n_a$ avec n le nombre d'événements retenus).



Etape 5 : détermination pour chaque débit de vidange des quantiles correspondant à différentes périodes de retour intéressantes pour le dimensionnement de l'ouvrage.

- Choix de la période de retour T
- Détermination de la fréquence de non dépassement correspondante : F_T = 1-1/T
- Détermination de la variable réduite de Gumbel correspondante : $u_T = -\ln(-\ln(F_T))$
- Détermination du quantile correspondant : $h(T, q_s) = a_{GUM} + u_T \cdot b_{GUM}$ en mm
- Détermination du volume de stockage nécessaire pour le couple (T, q_s) et pour un bassin versant de surface réduite contributive A_C : $V_{stock}(T, q_s) = 10 \cdot A_C \cdot h(T, q_s)$ en m^3

⦿ Résultats pour T=20 ans :

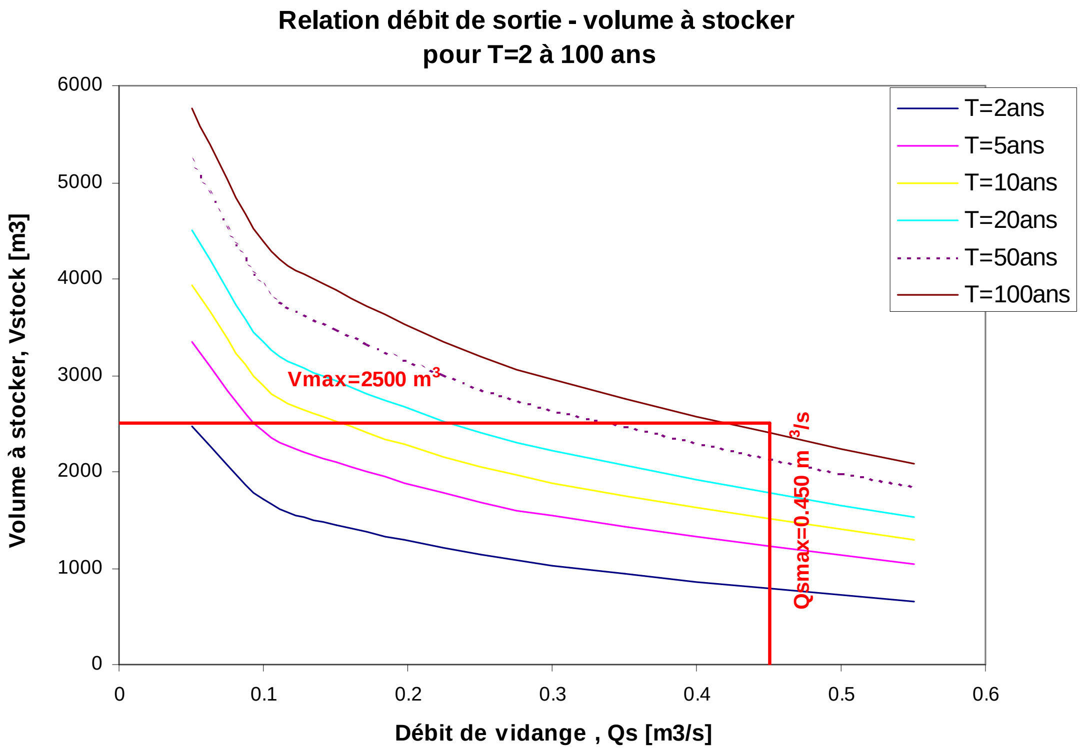
Le débit de vidange spécifique correspondant à un débit de vidange effectif de Q_{s0} =1 m^3/s pour la surface réduite $A_C = A_R$ = 8 ha est q_{s0} = 45 mm/h. Au débit de vidange effectif Q_s correspond donc le débit de vidange spécifique $q_s = Q_s/Q_{s0} \cdot q_{s0}$.

Valeurs des paramètres des lois exponentielles et Gumbel obtenues pour différents débits de vidange de la rétention :

q_s (mm/h)	2.3	6.8	11.3	15.8	20.3	24.8
a_{EXP}	9.8	7.2	6.1	5.4	4.7	4.2
b_{EXP}	10.1	2.7	1.3	0.4	-0.2	-0.8
λ	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
a_{GUM}	9.8	7.2	6.1	5.4	4.7	4.2
b_{GUM}	27.2	15.4	12.0	9.8	8.1	6.6

Question 2. Graphique Q_s – $V_{stockage}$ pour les autres périodes de retour

En procédant de la même manière pour les autres temps de retour, on obtient les **diagrammes** $\boldsymbol{V_s(T,q_s)}$ pour un bassin de rétention de surface contributive réduite A_R = 8ha. (utilisation des IDF de Pully pour la méthode des pluies et de la série temporelle des précipitations à pas de temps 10mn observée à Pully pour la méthode des volumes) :



Commentaires : la méthode des volumes conduit à la détermination de volumes de stockage nettement plus importants que ceux obtenus par la méthode des pluies (de +20% pour un débit de vidange Qs=0.55 m^3/s à +80% pour un débit de vidange Qs=0.05 m^3/s !). Ceci est particulièrement sensible pour les débits de vidange faibles pour lesquels il n'est plus possible de supposer, comme l'impose la méthode des pluies, que deux pluies successives peuvent être considérées indépendamment et que l'on peut de fait se baser sur les IDF construites sur une approche événementielle des événements; au contraire plus le débit de vidange est faible, plus les temps de vidange de la retenue sont grands et plus la probabilité est grande que la retenue soit remplie ou partiellement remplie lorsque l'une nouvelle pluie débute.

Question 3. Respect des contraintes

Quelque soit la période de retour choisie pour le dimensionnement de l'ouvrage on peut trouver un débit de vidange suffisamment grand pour que le volume à stocker soit inférieur au volume maximum permis (2500 m^3) et suffisamment petit pour qu'il soit inférieur au débit de vidange maximum possible (450l/s). La plage des couples (q_s, $V_s(q_s,T)$) admissibles pour une période de retour T donnée est nettement moins large que celle obtenue avec la méthode de pluies. Pour T=50 ans, le débit de vidange doit être supérieur à 0.35 m^3/s (contre 0.05 pour la méthode des pluies) pour que l'on puisse respecter la contrainte de volume.