

Exercice n° HA 0507

Dimensionnement d'une retenue pour l'écrêtement des débits – Application au bassin versant de la Bibera (FR, BE, Suisse)

Avant propos

Ces dernières années, le bassin versant de la Bibera (surface de 50.1 km², pente moyenne de 0.48% - figure 1) a subi des modifications d'utilisation du sol qui ont eu pour conséquence une diminution du temps de retour des débits de pointe. Ceci a entraîné une élévation du niveau d'eau dans le canal et finalement son débordement.

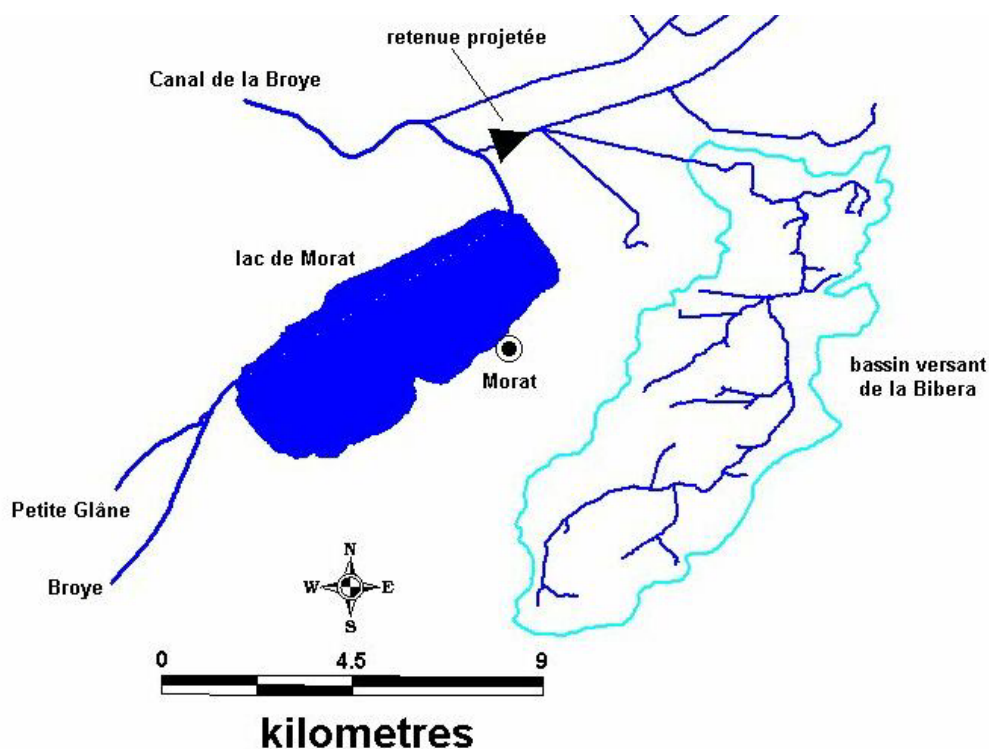


Figure 1 : Situation et délimitation du bassin versant de la Bibera (FR – BE)

Pour protéger les terrains ayant une valeur agricole élevée, votre bureau d'étude a été chargé d'estimer les dimensions d'une retenue qui permettrait l'écrêtement des débits avant qu'ils ne se déversent dans le canal de la Broye.

Pour cela, vous optez pour une approche événementielle du problème dont les étapes sont : 1) une étude hydrologique préliminaire qui consiste à établir un débit de projet afin de dimensionner les différents ouvrages hydrauliques (l'estimation de ce débit requiert la détermination d'une pluie de projet- donnée, d'une répartition temporelle de la pluie nette, ainsi que d'une fonction de transfert permettant de transformer la pluie nette en hydrogramme de ruissellement); 2) une phase de dimensionnement de la retenue qui comportera uniquement un orifice de vidange circulaire.

Objectifs de l'exercice

- Appliquer une fonction de production à une pluie brute pour obtenir une répartition de la pluie nette dans le temps.
- Identifier l'Hydrogramme Unitaire Normé (HUN) d'un bassin et construire l'hydrogramme résultant d'une pluie nette d'après la méthode de convolution avec l'HUN.
- Déterminer les paramètres K et X de la méthode de Muskingum pour un bief donné et acheminer une crue donnée par la méthode de Muskingum.
- Dimensionner une retenue pour l'écrêtement des débits, calculer la propagation d'une crue à travers ce réservoir à l'aide de la méthode de la « Storage Indication Curve » et vérifier la capacité du réservoir à laminer une crue de temps de retour donnée.

Questions :

En vous basant sur la pluie de projet de temps de retour T de 10 ans fournie par une étude préliminaire (Tableau 1) et sur les données dont vous disposez sur le bassin versant de la Bibera (Tableau 2, Tableau 3), on vous demande d'estimer les dimensions de la retenue qui permettrait l'écrêtement des débits avant qu'ils ne se déversent dans le canal de la Broye. Pour cela, on vous demande de suivre les étapes suivantes :

Question 1. Fonction de production. Appliquer à la pluie de projet la **méthode de l'indice W** , dite « proportionnelle » afin d'obtenir une répartition de la pluie nette dans le temps. Le tableau 2 vous permet de choisir une valeur du coefficient de ruissellement C_R compte tenu de l'utilisation du sol pour le bassin versant de la Bibera (pente moyenne de 0.48 %; 23 % de forêt, 63 % de culture et le reste en prairie).

Question 2. Fonction de transfert. Des travaux préliminaires sur les données pluies/débits ont permis d'établir une première approximation de l'**Hydrogramme Unitaire Normé à 1 mm (HUN)** du bassin de la Bibera. Il se présente sous une forme triangulaire avec un débit de pointe de $1.93 \text{ m}^3/\text{s}$, un temps de montée de 5 heures, un temps de base de 14 heures. Le temps de concentration est calculé à l'aide de la formule de Ventura. A partir de l'H.U.N déterminé au pas de temps horaire (pas de temps de la pluie), il est alors possible de calculer l'hydrogramme de ruissellement de projet correspondant à la pluie nette de la question 1.

Question 3. Fonction d'acheminement. Vous choisissez de réaliser l'acheminement de l'hydrogramme de projet entre l'exutoire de la Bibera et l'emplacement de la retenue à l'aide de la **méthode de Muskingum**. Les données débitmétriques en votre possession présentent heureusement une crue importante (tableau 3) qui vous permet de déterminer les paramètres « temps de propagation dans le canal K » et « facteur de pondération X » de cette relation semi-empirique.

Question 4. Dimensionnement de la retenue. Une analyse globale du bassin a permis de définir un site pour la construction de la retenue dont les caractéristiques envisagées sont présentées dans le tableau 4. Grâce à un Modèle Numérique d'Altitude vous avez pu notamment établir la relation entre le niveau d'eau et le volume stocké par la retenue à l'emplacement projeté (tableau 4).

Dans un premier temps, vous devez fournir une première estimation des dimensions de l'orifice de vidange circulaire de la retenue, de telle sorte que le débit de sortie Q_s soit limité à $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Pour cela, il vous faudra estimer le volume de stockage maximum et la hauteur du plan d'eau maximum derrière la retenue.

Par la suite, vous devez vérifier la capacité du réservoir à laminer la crue de projet pour cette première estimation (utiliser la méthode de la « Storage Indication Curve »).

Données de l'exercice :

La pluie de projet de temps de retour T de 10 ans est donnée dans le Tableau 1. Le tableau 2 présente les valeurs du coefficient de ruissellement C_R en fonction de l'occupation du sol et de la pente. Les hydrogrammes de références, entrant (exutoire de la Bibera) et sortant (emplacement de la retenue) observés pour le bief à l'aval du bassin versant de la Bibera, sont donnés dans le tableau 3. L'ensemble de ces données est regroupé dans le fichier Excel « exercice HA0507_enonce.xls ».

Tableau 1. Pluie de projet « composite » de temps de retour T de 10 ans et d'une durée de 10 heures obtenue à l'aide de la courbe Intensité – Durée – Fréquence de la région considérée

Temps [h]	Intensité de projet [mm/h]
1	0.1
2	0.1
3	0.3
4	0.6
5	3.1
6	33.8
7	1.2
8	0.4
9	0.2
10	0.1

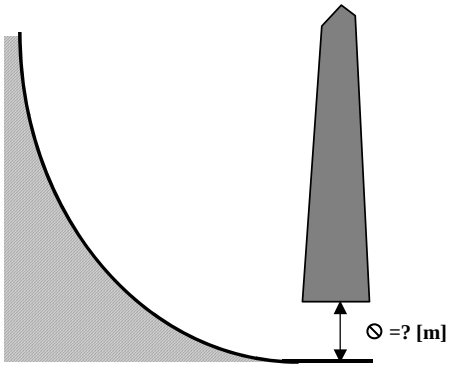
Tableau 2. Valeurs du coefficient de ruissellement C_R en fonction de l'occupation du sol (Chow et al 1988)

Character of surface	Return Period (years)						
	2	5	10	25	50	100	500
Developed							
Asphaltic	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concrete/roof	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Grass areas (lawns, parks, etc.)							
Poor condition (grass cover less than 50% of the area)							
Flat, 0–2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Average, 2–7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Steep, over 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Fair condition (grass cover on 50% to 75% of the area)							
Flat, 0–2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Average, 2–7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Steep, over 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Good condition (grass cover larger than 75% of the area)							
Flat, 0–2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Average, 2–7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Steep, over 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Undeveloped							
Cultivated Land							
Flat, 0–2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Average, 2–7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Steep, over 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pasture/Range							
Flat, 0–2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Average, 2–7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Steep, over 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Forest/Woodlands							
Flat, 0–2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Average, 2–7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Steep, over 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Tableau 3. Hydrogrammes de références, entrant (exutoire de la Bibera) et sortant (emplacement de la retenue) observés pour le bief à l'aval du bassin versant de la Bibera

date & heure	débit entrée Qe [m3/s]	débit sortie Qs [m3/s]	date & heure	débit sortie Qs [m3/s]	débit sortie Qs [m3/s]
12.11.1998 05:00	0.38	0.38	13.11.1998 21:00	3.02	3.23
12.11.1998 06:00	0.38	0.38	13.11.1998 22:00	3.18	3.08
12.11.1998 07:00	0.38	0.38	13.11.1998 23:00	2.99	3.33
12.11.1998 08:00	0.48	0.39	14.11.1998 00:00	2.81	3.08
12.11.1998 09:00	0.53	0.40	14.11.1998 01:00	2.94	2.86
12.11.1998 10:00	0.80	0.65	14.11.1998 02:00	2.70	2.98
12.11.1998 11:00	0.77	0.66	14.11.1998 03:00	2.50	2.82
12.11.1998 12:00	0.85	0.67	14.11.1998 04:00	2.39	2.65
12.11.1998 13:00	1.08	0.77	14.11.1998 05:00	2.25	2.54
12.11.1998 14:00	1.36	1.16	14.11.1998 06:00	2.23	2.28
12.11.1998 15:00	1.30	1.07	14.11.1998 07:00	2.10	2.37
12.11.1998 16:00	1.33	1.10	14.11.1998 08:00	1.77	2.25
12.11.1998 17:00	1.48	1.29	14.11.1998 09:00	2.05	1.90
12.11.1998 18:00	1.40	1.32	14.11.1998 10:00	2.13	1.96
12.11.1998 19:00	1.33	1.26	14.11.1998 11:00	2.13	2.18
12.11.1998 20:00	1.51	1.07	14.11.1998 12:00	2.07	2.23
12.11.1998 21:00	2.50	1.53	14.11.1998 13:00	2.00	2.11
12.11.1998 22:00	4.41	3.26	14.11.1998 14:00	1.99	1.99
12.11.1998 23:00	4.68	4.13	14.11.1998 15:00	1.89	2.02
13.11.1998 00:00	4.70	4.29	14.11.1998 16:00	1.78	2.04
13.11.1998 01:00	4.74	4.43	14.11.1998 17:00	1.76	1.83
13.11.1998 02:00	4.65	4.26	14.11.1998 18:00	1.72	1.76
13.11.1998 03:00	5.20	4.62	14.11.1998 19:00	1.58	1.81
13.11.1998 04:00	6.38	5.00	14.11.1998 20:00	1.53	1.65
13.11.1998 05:00	7.89	5.75	14.11.1998 21:00	1.48	1.58
13.11.1998 06:00	10.37	7.66	14.11.1998 22:00	1.42	1.50
13.11.1998 07:00	12.02	9.82	14.11.1998 23:00	1.33	1.41
13.11.1998 08:00	13.30	10.68	15.11.1998 00:00	1.32	1.30
13.11.1998 09:00	11.70	11.35	15.11.1998 01:00	1.28	1.34
13.11.1998 10:00	10.87	11.58	15.11.1998 02:00	1.25	1.31
13.11.1998 11:00	8.84	11.36	15.11.1998 03:00	1.21	1.22
13.11.1998 12:00	7.07	9.62	15.11.1998 04:00	1.18	1.22
13.11.1998 13:00	6.26	7.95	15.11.1998 05:00	1.13	1.21
13.11.1998 14:00	4.92	7.29	15.11.1998 06:00	1.10	1.16
13.11.1998 15:00	4.70	5.74	15.11.1998 07:00	1.06	1.13
13.11.1998 16:00	4.15	5.09	15.11.1998 08:00	0.98	1.11
13.11.1998 17:00	3.93	4.42	15.11.1998 09:00	1.01	0.95
13.11.1998 18:00	3.60	4.16	15.11.1998 10:00	0.97	1.00
13.11.1998 19:00	3.03	4.02	15.11.1998 11:00	0.99	0.91
13.11.1998 20:00	3.16	3.31	15.11.1998 12:00	0.98	0.99

Tableau 4 : Caractéristiques de la retenue à dimensionner

Relation Hauteur/Volume de la retenue : $V = 65'500 \cdot \sqrt{H} + 35'000 \cdot H$	V : le volume d'eau stocké, en [m³] H : Hauteur d'eau mesurée à partir du fond de l'orifice, en [m]
Orifice de vidange circulaire situé à la base de la retenue : 	Nombre :1 Diamètre : à dimensionner [m] Altitude du fond : 842 [m] Débit de vidange : $O(t) = C_c \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$ Avec : C_c : Coefficient de débit (estimé à 0.8), adimensionnel D : Diamètre de l'orifice de vidange, en [m] H : Hauteur d'eau mesurée à partir du fond de l'orifice, en [m] g = 9.81 m/s²

Rappel : temps de concentration t_c d'un bassin versant d'après Ventura :

$$t_c = 76.3 \cdot \sqrt{\frac{A}{I}}$$

t_c : le temps de concentration du bassin versant, en [min],

A : la surface du bassin versant, en [km²],

I : la pente moyenne du bassin versant, en [%]