

Exercice n° HU 0403 - Corrigé

Estimation des débits de crue à différents temps de retour avec plusieurs méthodes – comparaison et critique des résultats.

Données de l'exercice

L'exercice porte sur deux bassins versants urbains dont les caractéristiques sont regroupées dans la figure 1-énoncé. Les indications supplémentaires nécessaires à la réalisation de cet exercice se trouvent aussi dans l'énoncé. Les résultats sont disponibles sur le fichier Excel « HU0403_corrige.xls »

Question 1 : Estimation du débit de pointe maximal de temps de retour 10 ans par la méthode rationnelle

⊙ Méthode à appliquer : la méthode pseudo-empirique de la formule rationnelle

Le concept de la méthode rationnelle doit son origine à un ingénieur irlandais Mulvanay responsable de drainage agricole au siècle dernier (1850). Malgré de nombreuses hypothèses simplificatrices, c'est probablement de loin la formule la plus connue et la plus utilisée essentiellement à cause de sa simplicité, mais aussi du fait que les séries de pluies sont souvent plus longues que celles des débits.

Le débit de pointe est calculé en fonction des caractéristiques physiographiques des bassins versants et de l'intensité des précipitations (estimée à partir des courbes IDF) selon l'expression suivante :

$$Q_p(t) = u \cdot C_r \cdot i(T, t_c) \cdot A \quad (1)$$

Avec :

C_r : Coefficient de ruissellement (ou coefficient d'écoulement) du bassin versant qui dépend de la couverture du sol et du temps de retour (cf. figure 2- énoncé) [-] ;

$i(T, t_c)$: Intensité moyenne maximale de la pluie fonction du temps de concentration t_c et de la période de retour T [mm/h] ;

A : Superficie du bassin versant [ha] ;

u : Coefficient qui est fonction des unités choisies. Avec A en ha, i en mm/h et $u = 0.0028$, on obtient Q en m³/s.

L'application de cette méthode nécessite l'identification des différents coefficients qui la caractérisent, à savoir, le coefficient de ruissellement C_r , le temps de concentration t_c , l'intensité moyenne maximale de la pluie $i_{(T, t_c)}$.

Lorsque l'on doit traiter simultanément deux bassins le débit de dimensionnement Q sera le maximum entre :

- le débit à l'exutoire du bassin 1,
- le débit à l'exutoire du bassin 2,
- le débit résultant de la combinaison des deux bassins.

⊙ Démarche et résultats

Etape 1 : Pour chaque bassin, estimation du temps de concentration d'après l'équation de l'EAWAG de l'énoncé :

Etape 3 : Pour chaque bassin, estimation de l'intensité critique de pluie pour T et de durée $t=tc$ d'après la formule de l'énoncé qui donne les coefficients a, b de la formule IDF.

Etape 4 : Pour chaque bassin, estimation des débits de pointe pour les différents temps de retour T d'après la formule rationnelle, i.e. l'équation (1) :

La configuration proposée dans cet exercice conduit aux valeurs du tableau 1.

Tableau 1 : Débits de ruissellement calculés selon la méthode rationnelle

	Surface S [ha]	C_R [-]	$S \cdot C_R$ [ha]	t_c [min]	$i(t_c)$ [l/s/ha]	Q [l/s]
Bassin 1	22.0	0.9	19.8	73	79.4	1573
Bassin 2	28.0	0.9	25.2	49	110.6	2786
Bassin 1 + 2	50.0	0.9	45.0	73	79.4	3575

Le débit de dimensionnement sera donc de 3575 l/s, ceci en supposant que le temps d'acheminement entre l'exutoire des bassins et la confluence de leur débit est négligeable.

Question 2 : Estimation du débit de pointe maximal de temps de retour 10 ans par la méthode des isochrones

⊙ Méthode à appliquer : Méthode des isochrones

La méthode des isochrones, dérivée de la méthode rationnelle, permet de manière simple la détermination d'un hydrogramme de crue. Elle consiste à estimer les débits après avoir préalablement subdivisé le bassin versant en un certain nombre de secteurs limités par des isochrones. Les lignes isochrones sont définies, rappelons-le, comme des lignes d'isovaleur de temps d'écoulement.

La contribution maximale de la surface A_k comprise entre deux courbes isochrones successives est de :

$$Q_k = \alpha \cdot C_r \cdot i \cdot A_k \quad (2)$$

Q_k : débit maximal au temps $t + \Delta t$ provoqué par les précipitations tombant sur le secteur A_k entre t et $t + \Delta t$ [m^3/s],

C_{Rk} : coefficient de ruissellement de la surface A_k ,

i : intensité pluviométrique entre t et $t + \Delta t$ en [mm/h]

A_k : surface comprise entre deux courbes isochrones, en [ha]

α : coefficient multiplicatif fonction des unités choisies, ici 0,0028

Ainsi pour tous pas de temps il est nécessaire de calculer le débit de chaque surface A_k . Pour obtenir l'évolution de l'hydrogramme de crue, il faut prendre garde à tenir compte du temps mis par chaque débit Q_k pour parvenir à l'exutoire du bassin.

⊙ **Démarche et résultats :**

Étape 1 : Pour chaque bassin, il s'agit de calculer successivement l'hydrogramme généré par chaque surface comprise entre deux courbes isochrones d'après l'équation (2) ci-dessus.

Par exemple, en ne considérant que le bassin 1, après le premier pas de temps (10 minutes) seul le débit provenant de la surface A_1 atteint l'exutoire, et le débit total Q_t est donné par :

$$Q_t = \alpha \cdot C_{R1} \cdot i_{0-10} \cdot A_1$$

Après 20 minutes les deux surfaces les plus à l'aval du bassin contribuent au ruissellement, mais chacune pour une intensité de pluie différente :

$$Q_t = Q_1 + Q_2$$

$$Q_t = \alpha \cdot C_{R1} \cdot i_{10-20} \cdot A_1 + \alpha \cdot C_{R2} \cdot i_{0-10} \cdot A_2$$

Étape 2 : Pour chaque bassin, calculer le débit total arrivant à l'exutoire en tenant compte du temps mis par chaque débit Q_k pour parvenir à l'exutoire du bassin.

Étape 3 : L'hydrogramme résultant pur les deux bassins est la somme des deux hydrogrammes.

Les résultats sont présentés dans le tableau 2 et la figure 1.

Il est possible de constater que même si les pics se produisent à des temps différents, la combinaison des deux hydrogrammes donne un débit de pointe beaucoup plus élevé que pour les deux bassins pris indépendamment. Le « découpage » des bassins en zones isochrones a donc une influence sur le résultat qui ne peut pas être pressentie de façon évidente.

Tableau 2 : Débits de ruissellement calculés selon la méthode des isochrones

Temps [min]	Contribution bassin 1 [l/s]	Contribution bassin 2 [l/s]	Hydrogramme résultant [l/s]
0	0	0	0
10	35	134	170
20	216	890	1106
30	165	1064	1229
40	167	963	1129
05	488	1375	1863
60	589	1495	2084
70	970	1455	2425
80	1254	822	2076
90	986	572	1558
100	968	526	1494
110	1089	177	1266
120	755	88	843
130	325	35	360
140	149	0	149
150	39	0	39
160	0	0	0

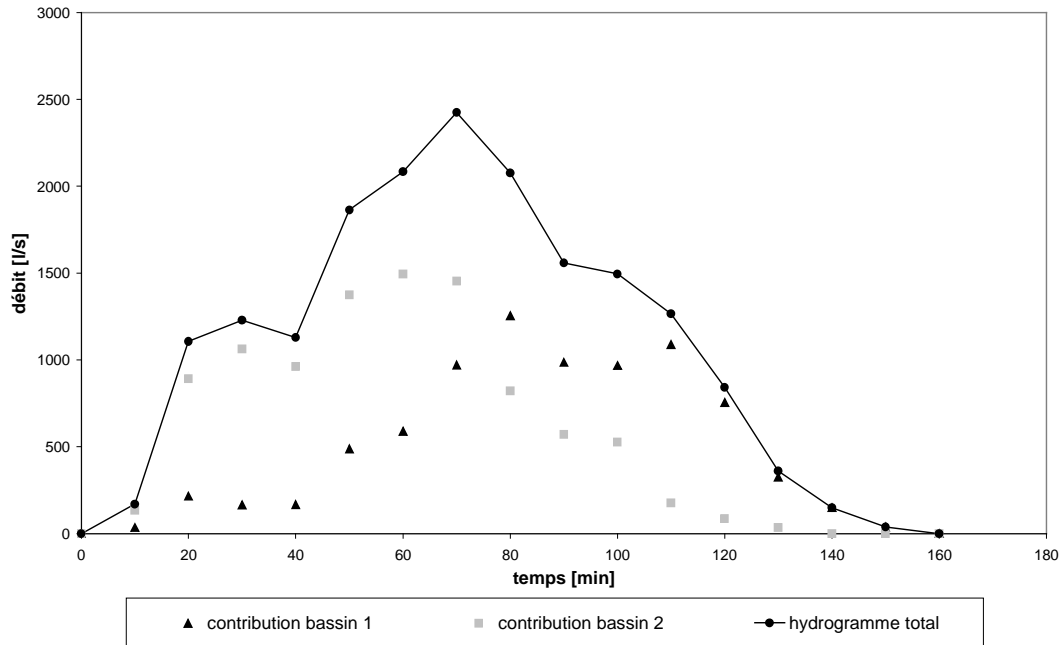


Figure 1 : Hydrogrammes de ruissellement obtenu par la méthode des isochrones.

Question 3. Dimensionnement du collecteur circulaire

Dans le cas d'un collecteur circulaire de diamètre D , et en faisant l'hypothèse que la section mouillée est égale à la section du collecteur, sans mise en charge de ce dernier, l'expression de Q tirée de la relation de Manning-Strickler peut s'écrire (avec n : coefficient de Manning [$m^{-1/3}/s$]) :

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R_h^{2/3} \cdot J_f^{1/2} \cdot S = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \cdot J_f^{1/2} \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (3)$$

Dans cette équation, le diamètre D du collecteur est calculée par itérations successives (recherche par tâtonnement) de manière à ce que le débit calculé avec l'équation (3) soit égale au débit maximal de dimensionnement calculé dans les questions 1 ou 2 (3575 l/s par exemple). Une fonction d'Excell (SOLVEUR) permet de trouver rapidement la valeur de D pour le débit de projet.

Le diamètre final D est de 1.05 m. Ce diamètre n'est peut être pas disponible sur le marché, il faudra prendre celui qui est le plus proche (supérieur ou inférieur) selon votre appréciation.