

Exercice n° HA 0408 - Corrigé

Convolution à partir d'un Hydrogramme Unitaire construit à partir d'un événement pluie –débit observé

Données de l'exercice :

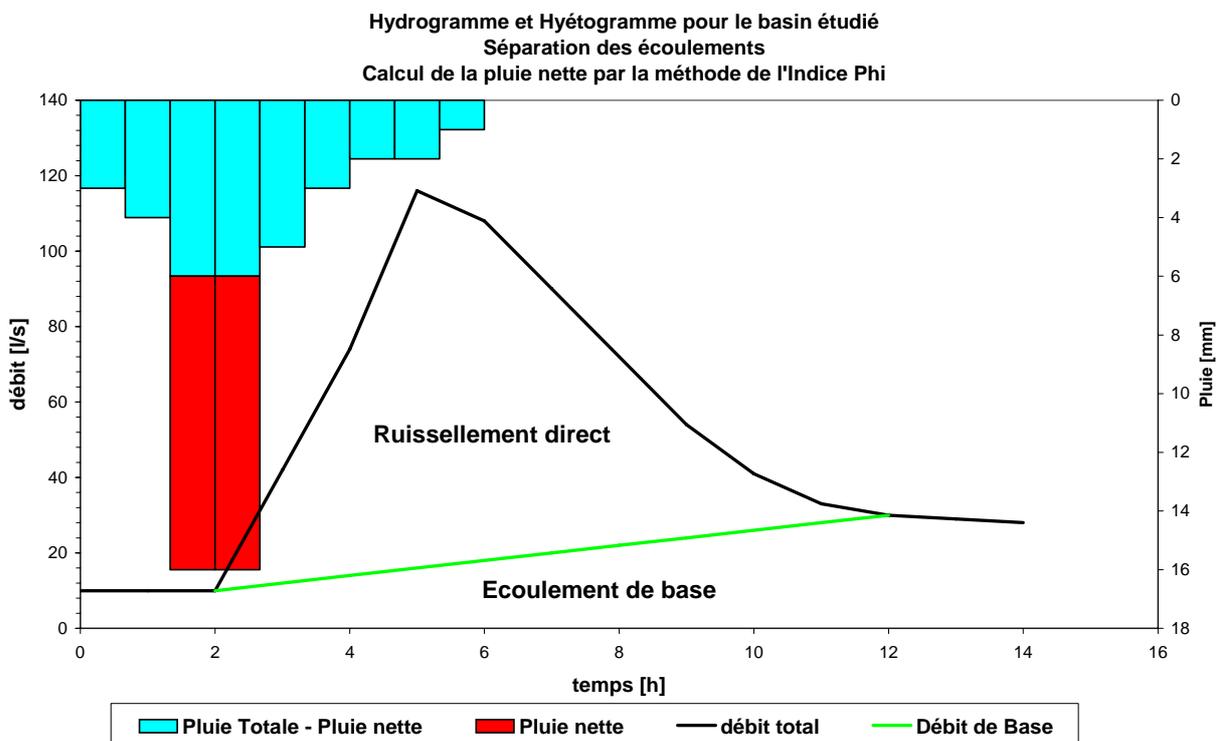
L'exercice porte sur l'événement pluie/débit enregistré au niveau d'un bassin versant de 81 km² (Tableau 1) et sur différentes pluies de projets (Tableau 2 et 3). Les données de cet exercice sont regroupées dans le fichier Excel « HA0408_enonce.xls ». Le corrigé de l'exercice se trouve également dans le document Excel « HA0408_corrige.xls ».

Question 1. Détermination de l'Hydrogramme Unitaire Normé à 10 mm

L'hydrogramme donné dans l'énoncé pouvant être considéré comme représentatif de l'hydrogramme unitaire-type du bassin, il ne reste plus qu'à le normer pour obtenir l'HUN recherché. Il faut pour cela connaître la hauteur de la pluie unitaire qui a engendré cet hydrogramme, et ensuite ramener cette hauteur à une épaisseur de lame unitaire de 10 mm.

L'Hydrogramme Unitaire Normé est ainsi obtenue à la suite des différentes étapes de calcul suivantes :

Étape 1 : Séparation du ruissellement direct de l'écoulement de base par la méthode graphique (basée sur une représentation logarithmique de la décroissance du débit en fonction du temps) et calcul du volume de ruissellement direct. Le calcul du volume généré par l'écoulement direct pour cet événement donne environ 1 620 000 m³ (voir figure ci-dessous).



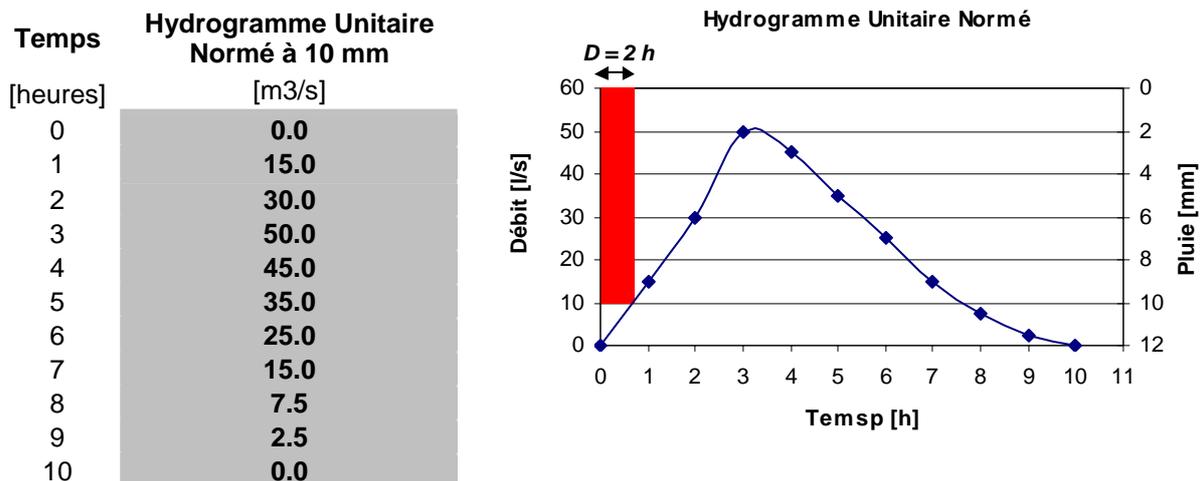
Etape 2 : Le calcul de la lame nette ruisselée L_R (qui est équivalente à la lame nette précipitée) est obtenue en faisant le rapport entre le volume ruisselé et la surface du bassin versant (81 km^2) ; elle est d'environ 20 mm.

Etape 3 : Détermination de la durée de référence (D) de l'averse unitaire : elle correspond à la durée du hyétogramme de pluie nette observée. La méthode de l'indice ϕ peut être utilisée afin d'établir la répartition de la pluie nette. Connaissant la lame ruisselée, on peut facilement trouver par itérations successives la valeur de l'intensité pluviométrique limite - l'indice ϕ - au-delà de laquelle toute la lame précipitée participe au ruissellement (i.e. vérifier l'égalité « lame nette précipitée=lame ruisselée »).

Après avoir reporter les 20 mm de pluie nette sur le hyétogramme dans sa partie la plus intense on en déduit que la capacité moyenne d'infiltration ϕ est de 6 mm/h, et que la pluie unitaire ayant donné lieu à l'hydrogramme a une durée $\tau = 2$ heures et une intensité constante de 10 mm/h.

Etape 4. Calcul des ordonnées de l'Hydrogramme Unitaire en faisant la soustraction entre les ordonnées de l'écoulement total et de l'écoulement de base estimé.

Etape 5. Calcul de l'H.U.N à 10 mm en divisant chaque ordonnée de l'HU obtenu au point précédent par le rapport de la lame ruisselée à la valeur de la norme, soit par $20/10 = 2$. On obtient le résultat suivant:



Question 2. Calcul de l'hydrogramme de crue provoquée par la pluie globale (averse 1)

Etape 1. Calcul de la pluie nette au pas de temps de 1 heure. Les pertes par infiltration sont estimées à 6 mm/h (identiques à celles calculées à la question 1), la pluie nette peut alors être calculé pour un pas de temps de 1 heure (colonne 3 du tableau)..

On remarque que le hyétogramme de pluie nette obtenu présente des intensités constantes entre 2 et 4h et entre 4 et 6h :

- Entre 2 et 4h, l'intensité de la pluie nette est constante est égale à 10 mm/h. On a donc une pluie nette de 20 mm sur deux heures.
- De même entre 4 et 6h $I = 3 \text{ mm/h}$ et on a une pluie nette de 6 mm sur deux heures.

Le hyétogramme de pluie nette de cette averse complexe peut donc être décomposé en une succession d'événements simples de durée $D=2$ heures (colonne 4 du tableau).

Pas de Temps	Pluie	Pluie nette	Pluie nette
[heures]	[mm/h]	[mm/h]	[mm]
0-1	5	0	
1-2	5	0	
2-3	16	10	
3-4	16	10	20
4-5	9	3	
5-6	9	3	6
6-7	3	0	
7-8	3	0	
8-9	2	0	
8-10	2	0	
10-11	0	0	
11-12	0	0	

Remarque : Si le hyétogramme de l'averse à transformer variait en intensité d'heure en heure, il aurait fallu déterminer un HUN résultant d'une averse unitaire de durée $\tau = 1$ heure (voir question 4).

Etape 2. Calcul de l'hydrogramme de ruissellement par convolution à partir de la pluie nette. La pluie unitaire ayant une durée $\tau = 2$ h et au vu des résultats de l'étape précédente, il est possible de calculer l'hydrogramme de crue à partir de l'HUN par convolution en gardant ce même pas de temps de 2h.

Pour chacun des événements simples de durée D (2 heures), l'hydrogramme de ruissellement qui en résulte est obtenu en multipliant les ordonnées de l'HUN par le rapport de la lame ruisselée durant le pas de temps D à la valeur de la norme (10 mm). Calcul de l'hydrogramme de ruissellement résultant de la pluie nette s'obtient par addition des 2 hydrogrammes partiels, décalés entre eux de 2 heures.

Etape 3. Calcul de l'hydrogramme total en additionnant à ce dernier, le débit de base de $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

heure[h]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hydrogramme	5	35	65	114	113	105	82	56	35	19	9.5	6.5	5
Total 1 [m3/s]													

Question 2. Déterminer la courbe en S du bassin versant.

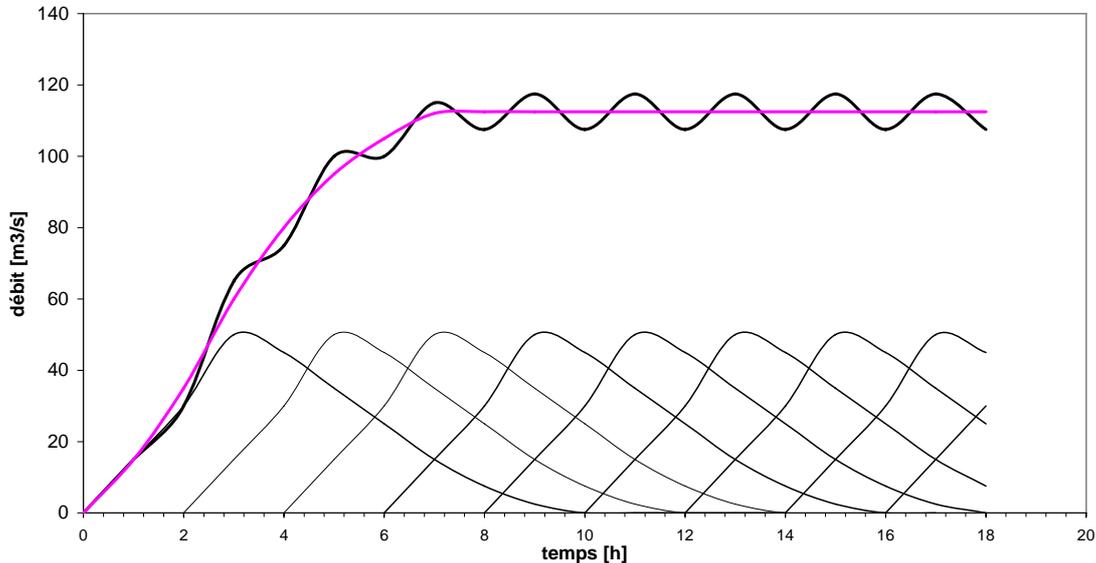
L'hydrogramme en S s'obtient en sommant entre eux les HUN décalés de la durée de référence τ (càd de la durée de la pluie qui a engendré l'HU) jusqu'à ce que le débit maximal ait atteint une constante (voir figure ci-dessous).

L'hydrogramme en S obtenu par sommation n'est pas constant après une durée $t > tc$, mais oscille entre 107.5 et 117.5. La cause est à rechercher dans la schématisation de l'HU. Il est alors possible de lisser l'hydrogramme en S.

Pour la suite de l'exercice, nous admettrons l'hydrogramme en S lissé suivant :

Temps	[h]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Courbe en S « lissée »	[m ³ /s]	0	15	35	60	80	95	105	112	112.5	112.5	112.5	112.5	112.5	112.5	112.5

Courbe en S du bassin étudié et courbe en S "lissée"



Question 3. Détermination de l'HUN à 10 mm et de durée T de 1 heure

Cet HUN s'obtient en soustrayant entre eux deux hydrogrammes en S décalés de la durée τ , et en corrigeant les ordonnées pour retrouver la norme de 10 mm. Dans le cas présent (H.U.N. de durée de 2 heures, volume de 10 mm), la sommation des deux H.U.N. décalés de 1 heure correspond à une pluie nette de 5 mm, il faut donc encore multiplier les ordonnées par 2 pour avoir un Hydrogramme Unitaire Normé de durée 1 heure et de volume 10 mm.

Question 4. Calcul de l'hydrogramme de ruissellement de la pluie nette 2

La pluie du tableau 3-énoncé est nette. Il n'y a donc aucune modification à lui apporter, et on peut la transformer directement en hydrogramme en travaillant par pas de temps de 1 heure. Il faut pour cela additionner des fractions ou des multiples de l'HUN ($\tau = 1h$), en décalant entre eux ces composés de 1h à chaque fois, et en faisant attention au fait que l'HUN est normé à 10 mm. L'hydrogramme total s'obtient en additionnant à l'hydrogramme résultant, le débit de base de 15 m³/s. Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

heure[h]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Hydrogramme																			
Total 2	15	21	32	37	62	101	128	134.8	145.4	137.3	134.2	106.6	75.8	53.8	41.1	24.2	18.1	15.2	15
[m3/s]																			