

## Exercice n° HA 0303 - Corrigé

### Calcul de pluies de projet dérivées des courbes IDF ou de pluies observées Application au bassin de l'Arbogne (FR/VD, Suisse)

#### Données de l'exercice :

Les données de cet exercice, regroupées dans le fichier Excel « HA0303\_enonce.xls », comprennent :

- Un tableau des coefficients  $K$  et  $B$  pour le calcul des courbes IDF pour différents temps de retour (Tableaux 1-énoncé)
- Quatre événements pluvieux enregistrés à la station ANETZ 5890 de Payerne (Tableau 2-énoncé).

Le corrigé est aussi disponible dans le fichier Excel « HA0303\_corrige.xls ».

#### Question 1 : Construction d'une pluie de projet dérivant des courbes IDF.

##### ☉ Méthode à appliquer : Méthode composite

L'utilisation des courbes « Intensité – Durée – Fréquence » pour construire une pluie de projet est une des méthodes les plus aisées. Le plus souvent, l'hydrologue dispose de courbes IDF pré-établies pour le bassin ou la région qu'il étudie et n'a pas à se soucier de les construire.

Pour passer de ces courbes représentant l'intensité pluviométriques  $i$  en fonction de la durée de l'averse et de son temps de retour  $T$ , à une structure de pluie, d'une durée totale  $n\Delta t$  et de temps de retour  $T$  choisis, il est nécessaire de recourir à plusieurs étapes (cf. ci-dessous).

La particularité fondamentale de l'averse composite est que les intensités maximales moyennes sur n'importe quelle durée sont identiques à celles lues sur la courbe IDF pour la même durée. On commencera donc par déterminer une durée totale de l'averse afin de pouvoir construire le hyétogramme. L'averse composite ainsi obtenue présente un hyétogramme décroissant dans le temps. Cette forme peu fréquente peut être "réarrangée"; par exemple en situant la pointe d'intensité au centre et les intensités décroissantes placées alternativement avant et après la pointe.

##### ☉ Démarche et résultats :

**Étape 1 :** Choix d'une durée de la pluie totale  $n\Delta t$ , d'un intervalle de temps  $\Delta t$ , et d'un temps de retour  $T$ . D'après l'énoncé, on choisit :

$$\Delta t = 1 \text{ heure} ; n\Delta t = 10 \text{ heures et } T = 20 \text{ ans.}$$

**Étape 2 :** Calcul des intensités moyennes maximales correspondant à des durées de 1 à 10 heures, selon la formule de la norme SNV et un temps de retour  $T = 20$  ans (calcul à partir des coefficients  $K$  et  $B$  correspondants). Pour avoir des intensités exprimées en mm/h, il faut multiplier par 0.36 les intensités en l/s/ha. Tableau 1 – colonne 2.

Par exemple, pour les deux premiers pas de temps, on a :

$$i_{(60,20)} = \frac{K_{20}}{B_{20} + t} = \frac{6200}{12 + 60} \cdot 0,36 = 31,0 \text{ mm/h}$$

$$i_{(120,20)} = \frac{K_{20}}{B_{20} + t} = \frac{6200}{12 + 120} \cdot 0,36 = 16,9 \text{ mm/h}$$

**Etape 3 :** Calcul des lames précipitées cumulées (en mm) durant 1, 2... 10 heures en multipliant les intensités des précipitations (en mm/h) par la durée de pluie (en h) correspondante. Tableau 1 – colonne 3.

**Etape 4 :** Calcul des incréments de pluie pour chaque pas de temps à partir de la pluie cumulée. En soustrayant deux valeurs successives de pluie cumulée, on obtient la lame effectivement précipitée durant le pas de temps (en mm). Tableau 1 – colonne 4.

**Etape 5 :** Calcul des intensités "composites" (en mm/h) pour chaque intervalle de temps en divisant la lame précipitée (en mm) sur le pas de temps par la durée de ce dernier (ici 1 heure). Tableau 1 – colonne 5.

**Etape 6 :** Réarrangement du hyétogramme obtenu. La structure temporelle de cette pluie peut être modifiée pour avoir une structure plus réaliste. Tableau 1 – colonne 6.

L'analyse des structures d'averses « longues » montre que l'intensité maximale se situe généralement près de la moitié de l'averse, mais dans la seconde partie de celle-ci : l'intensité de 31.0 mm/h peut donc être placée durant la 6<sup>ème</sup> heure par exemple, alors que les autres intensités sont alternativement placées à gauche et à droite de l'intensité maximale.

Il est à noter que cette manière de réorganiser les intensités au cours de l'averse débouche sur une structure similaire à celle obtenue par la méthode dite « de Chicago ».

Tableau 1 : Etapes de calcul et estimation d'une pluie de projet par la méthode « composite »

temps [h]	intensité [mm/h]	lame précipitée cumulée [mm]	incrément de pluie [mm]	intensité "composite" [mm/h]	intensité "composite" réorganisée [mm/h]
1	31.0	31.0	31.0	31.0	0.1
2	16.9	33.8	2.8	2.8	0.1
3	11.6	34.9	1.1	1.1	0.2
4	8.9	35.4	0.6	0.6	0.6
5	7.2	35.8	0.3	0.3	2.8
6	6.0	36.0	0.2	0.2	31.0
7	5.2	36.2	0.2	0.2	1.1
8	4.5	36.3	0.1	0.1	0.3
9	4.0	36.4	0.1	0.1	0.2
10	3.6	36.5	0.1	0.1	0.1

⊙ Attention!

Dans la formule qui donne l'intensité pluviométrique moyenne maximale d'une pluie de durée  $t$  pour un temps de retour  $T$ ,  $i(t, T)$  est en [l/s/ha]. Le facteur de conversion pour passer en [mm/h] est de 0,36.

Attention aux unités !

## Question 2a : Construction d'une pluie de projet dérivant des précipitations observées - moyenne arithmétique

⊙ Méthode à appliquer : Méthode de la moyenne arithmétique

Lorsque suffisamment de données pluviographiques de bonne qualité sont à disposition, il est alors très simple de dériver une structure d'averse de projet à l'aide des observations. La structure synthétique la plus simple à envisager est alors la structure moyenne. On l'obtient simplement en moyennant le volume de chaque pas de temps (en % du volume total).

Connaissant un volume de pluie de projet, par les courbes IDF par exemple, et sa durée, la structure de la pluie de projet est obtenue en multipliant les pourcentages obtenus par ce volume de pluie totale.

⊙ Démarche et résultats :

**Etape 1 :** Sélection d'averses dont les caractéristiques sont similaires à celles de la pluie de projet voulue.

**Etape 2 :** Exprimer la quantité d'eau précipitée dans chaque pas de temps en % du volume tombé  $i_k(t)$ .

**Etape 3 :** Calculer le pourcentage moyen  $\overline{i(t)}$  de volume de chaque pas de temps:

$$\overline{i(t)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n i_k(t) \text{ avec } n \text{ le nombre d'averses observées.}$$

**Etape 4 :** Calcul du volume total (ou lame totale) de l'averse critique connaissant l'intensité d'après les courbes IDF (calcul de  $i$  pour une pluie de 10 heures et  $T=20$  ans) et la durée de la pluie (10 heures).

$$i_{(600,20)} = \frac{K_{20}}{B_{20} + t} = \frac{6200}{12 + 600} \cdot 0,36 = 3,65 \text{ mm/h}$$

$$L_{total} = 3,65 \cdot 10 = 36,5 \text{ mm}$$

**Etape 5 :** Calcul de la structure de la pluie de projet en multipliant les pourcentages obtenus par le volume total (ou lame totale) de la pluie critique (Tableau 2).

Tableau 2 : Etapes de calcul pour l'estimation d'une pluie de projet par la moyenne arithmétique

temps [h]	P1		P 2		P3		P 4		Pluie moyenne [%]	Pluie moyenne [mm]
	[mm/10]	%	[mm/10]	%	[mm/10]	%	[mm/10]	%		
1	32	27.8	21	18.26	23	16.08	2	2.25	16.1	5.9
2	1	0.9	2	1.74	14	9.79	12	13.48	6.5	2.4
3	4	3.5	27	23.48	7	4.90	2	2.25	8.5	3.1
4	1	0.9	35	30.43	31	21.68	2	2.25	13.8	5.0
5	16	13.9	15	13.04	44	30.77	5	5.62	15.8	5.8
6	33	28.7	1	0.87	14	9.79	2	2.25	10.4	3.8
7	15	13.0	2	1.74	7	4.90	16	17.98	9.4	3.4
8	0	0.0	7	6.09	2	1.40	15	16.85	6.1	2.2
9	2	1.7	3	2.61	0	0.00	24	26.97	7.8	2.9
10	11	9.6	2	1.74	1	0.70	9	10.11	5.5	2.0
total	115	100	115	100	143	100	89	100	100	36.5

⊙ Attention!

Seules 4 averses ont été considérées dans cet exercice, pour des raisons de simplicité. En pratique, une vingtaine d'événements devrait être utilisée afin de s'assurer une bonne homogénéité.

**Question 2b : Construction d'une pluie de projet dérivant des précipitations observées - Méthode de Pilgrim et Cordery**

⊙ Méthode à appliquer : Méthode de Pilgrim et Cordery

Le principe de calcul de la méthode de Pilgrim et Cordery consiste à déterminer le rang moyen des intensités dans chaque période de l'averse, et l'intensité moyenne de chaque rang. A chaque période est donc attribué un rang moyen auquel se rattache une intensité moyenne. Le grand intérêt de cette méthode est que l'averse dérivée de cette méthode reste proche de la réalité par sa forme et que les intensités maximales sont peu atténuées, puisque ce sont des valeurs moyennes. En fait, l'analyse des intensités et de la structure temporelle se fait séparément, au contraire de la méthode précédente.

Connaissant un volume de pluie de projet la structure de la pluie de projet est obtenue en multipliant les pourcentages obtenus par le volume total de la pluie de projet.

⊙ Démarche et résultats :

**Etape 1 :** Choisir un nombre suffisant d'averses d'une durée à peu près identique et choisir celles dont les lames précipitées sont les plus importantes.

**Etape 2 :** Diviser les averses en périodes d'égale durée.

**Etape 3 :** Calculer la hauteur précipitée en % du volume totale sur chaque période.

**Etape 4 :** Calculer le rang de chaque période dans l'averse en classant les lames précipitées par ordre décroissant (lorsque les valeurs sont égales, donner un rang moyen).

**Etape 5 :** Calculer le rang moyen de chaque période.

**Etape 6 :** Attribuer un rang définitif à chaque période par rapport à l'ordre des rangs moyens obtenus précédemment. Ces rangs définitifs doivent être des nombres entiers compris entre 1 et le nombre de rangs. Dans l'exercice, deux périodes ont un rang de 6.

**Etape 7 :** Calculer le % moyen de pluie de chaque rang, ce qui donne la structure de la pluie de projet.

Pour effectuer ce calcul, pour chaque valeur de rang moyen, on choisit les valeurs correspondantes dans les différentes pluies. Si l'on a une unique valeur, le calcul ne pose aucune difficulté. Si l'on a des valeurs égales donnant lieu à un rang moyen, prendre en considération les valeurs de rang moyen pour chaque valeur de rang qu'elles remplacent.

**Etape 8 :** Calcul du volume total (ou lame totale) de l'averse critique de 10 heures et de temps de retour  $T_r=20$  ans connaissant l'intensité d'après les courbes IDF (calcul de  $i$  pour une pluie de 10 heures et  $T_r=20$  ans) et la durée de la pluie (10 heures).

$$i_{(600,20)} = \frac{K_{20}}{B_{20} + t} = \frac{6200}{12 + 600} \cdot 0,36 = 3,65 \text{ mm/h}$$

$$L_{total} = 3,65 \cdot 10 = 36,5 \text{ mm}$$

**Etape 9 :** Calcul de la structure de la pluie de projet en multipliant les pourcentages obtenus par le volume total (ou lame totale) de la pluie critique.

Tableau 3 : Etapes de calcul pour la détermination d'une pluie de projet selon la méthode de Pilgrim et Cordery

temps [h]	P1 [%]	rang [-]	P2 [%]	rang [-]	P3 [%]	rang [-]	P4 [%]	rang [-]	rang moyen [-]	rang attribué [-]	lame précipitée [%]	lame précipitée [mm]
1	27.8	2	18.3	3	16.1	3	2.2	8.5	4.1	2	22.7	8.3
2	0.9	8.5	1.7	8	9.8	4.5	13.5	4	6.3	8	1.6	0.6
3	3.5	6	23.5	2	4.9	6.5	2.2	8.5	5.8	5	8.9	3.2
4	0.9	8.5	30.4	1	21.7	2	2.2	8.5	5.0	3	16.3	5.9
5	13.9	3	13.0	4	30.8	1	5.6	6	3.5	1	29.2	10.7
6	28.7	1	0.9	10	9.8	4.5	2.2	8.5	6.0	6-7	3.4	1.2
7	13.0	4	1.7	8	4.9	6.5	18.0	2	5.1	4	12.3	4.5
8	0.0	10	6.1	5	1.4	8	16.9	3	6.5	9	1.4	0.5
9	1.7	7	2.6	6	0.0	10	27.0	1	6.0	6-7	3.4	1.2
10	9.6	5	1.7	8	0.7	9	10.1	5	6.8	10	0.8	0.3

NB : Pour les rangs attribués aux rangs moyens deux valeurs sont égales et ont donc le même rang 6 ou 7. La seule indication que nous avons est que les rangs définitifs doivent être des nombres entiers compris entre 1 et le nombre de rangs. Pour ces deux périodes (t=6 heures et t=9 heures), nous proposons de calculer le % moyen de pluie sur les 8 valeurs correspondant aux rangs 6 et 7.

### Question 3. Comparer la répartition temporelle de la pluie de projet entre ces différentes méthodes.

La comparaison des différentes méthodes est présentée dans la figure 1 (hyétoigrammes) et la figure 2 (pluie moyenne cumulée (en %) en fonction du temps).

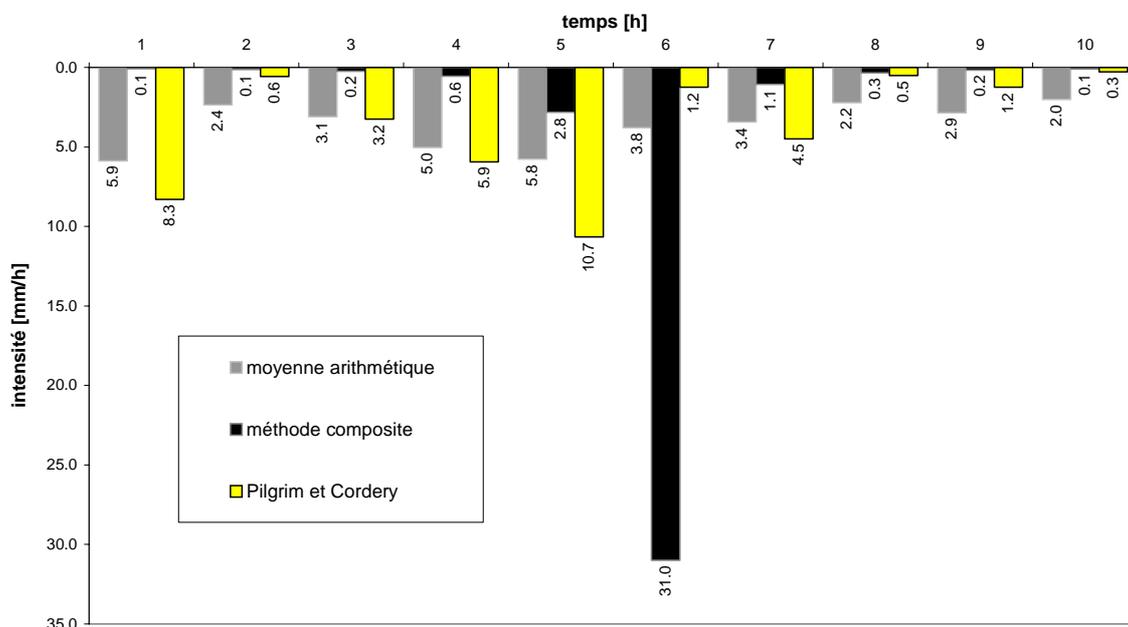


Figure 1 : Comparaison des pluies de projet déterminées par moyenne arithmétique, par la méthode composite et par celle de Pilgrim et Cordery

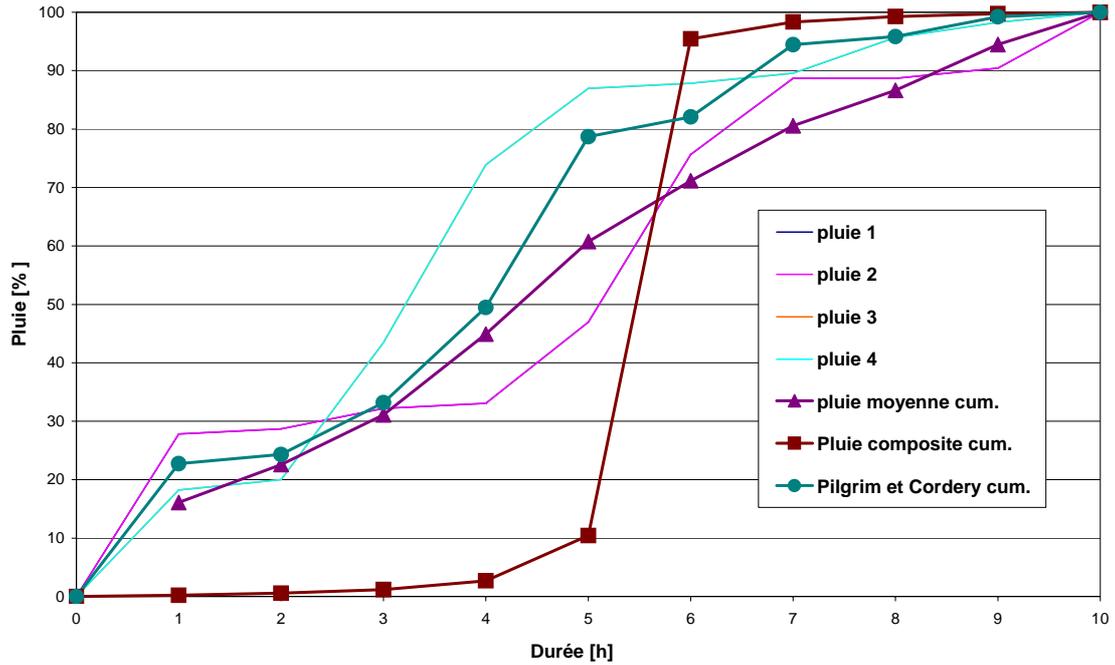


Figure 2 : Comparaison des pluies de projet (pluie moyenne cumulée) déterminées par moyenne arithmétique, par la méthode composite et par celle de Pilgrim et Cordery - Comparaison avec les pluies observées.

Les courbes de pluies cumulées dérivées des observations (Methodes Pilgrim & Cordery et moyenne arithmétique) sont évidemment plus proche des courbes cumulées observées dont elles sont issues. Le choix d'une méthode ou d'une autre dépendra des objectifs de l'ouvrage à dimensionner. On pourra prendre par exemple la pluie de projet la plus défavorable, pour dimensionner un ouvrage hydraulique, de type barrage. Si les données sont suffisantes, il est généralement conseillé d'utiliser une synthèse des averses types observées dans un lieu donné.