L'ECOULEMENT DES CRUES PLUVIALES

Par
Mahmoud LADJEL
PhD en Hydrologie de surface, Chargé de Cours, Institut de Génie Civil, Université de Sétif

Résumé

L'écoulement des oueds, formé essentiellement des eaux des crues pluviales, est conditionné par les facteurs météorologiques et la surface versante.

La transformation de la pluie en écoulement est mieux exprimée à travers les pertes des eaux de pluie sur les versants, par un coefficient de ruissellement, tout en tenant compte des facteurs intrazonaux.

Mots clés : type de ruissellement • structure génétique de la crue • facteurs intrazonaux • pertes totales - infiltration • retention • indice d'humidité • coefficient de ruissellement.

1 DESCRIPTION DE LA METHODE

La formation des crues pluviales est conditionnée par divers processus hydrologiques complexes. Toute combinaison de facteurs météorologiques et physiques au niveau d'un bassin est quasi unique pour chaque formation de crue, dans le temps et dans l'espace. En effet, dans un bassin donné, on observe des crues semblables mais jamais identiques, bien que les conditions climatiques restent homogènes.

Dans les zones subtropicales sèches, l'écoulement pluvial représente la part essentielle, voire la quasi totalité de l'ensemble des ressources en eau superficielle, surtout pour les oueds de l'Afrique du Nord, où l'alimentation de ces derniers reste toujours conditionnée par les pluies saisonnières, que l'on peut éventuellement stocker dans des barrages, pour couvrir une part de la demande en eau durant la saison sèche. La mobilisation de cette ressource n'est possible que sur la base d'une méthode de calcul génétiquement fondée et fiable.

Tout type de ruissellement génétique a pour origine une combinaison définie de facteurs naturels. Les crues des petits bassins peuvent être génétiquement homogènes, alors que celles des grands bassins sont hétérogènes, en raison du mélange de deux ou plusieurs types de ruissellement, mais souvent un type est prédominant. La structure génétique des crues est déterminée par les facteurs intrazonaux, qui conditionnent surtout la dynamique des différentes pertes de ruissellement sur les versants. Si les précipitations et l'écoulement sont mesurés, les pertes de l'écoulement pluvial sont à déterminer.

Le calcul des pertes de l'écoulement pluvial est lié directement aux problèmes de calcul de l'écoulement des crues pluviales. L'équation du bilan durant une crue donnée s'écrit :

$$Y = X - P \qquad (1)$$

où :

Y = lame de l'écoulement pluvial de la crue,
X = lame des pluies,
P = lame des pertes totales de l'écoulement.

La lame des pertes est constituée de différents éléments, selon le type de versant. Sur les versants plats par exemple, les pertes sont composées de l'infiltration superficielle durant la chute de la pluie $P_{inf,p}$ et après sa fin, durant la décrue $P_{inf,d}$, de la retention sur le sol (stockage superficiel) $P_{r,s.s}$ et la retention par la couverture végétale $P_{r,c.v}$. Sur les versants montagneux, les pertes sont constituées de l'infiltration dans la couche sous-jacente durant la pluie $P_{inf,c.s}$ et après son arrêt $P_{inf,d}$, de la retention (stockage) dans le sol H_s et de la retention par la couche végétale $P_{r,c.v}$. Ainsi, pour les versants plats, le bilan est exprimé par l'équation :

$$Y = X - (P_{inf,p} + P_{inf,d} + P_{r,s.s} + P_{r,c.v}) \qquad (2)$$

pour les versants montagneux, on a :

$$Y = X - (P_{inf,c.s} + P_{inf,d} + H_s + P_{r,c.v}) \qquad (3)$$

Expérimentalement, il a été établi qu'il existe une analogie dans la compensation des différentes capacités du sol et dans le remplissage des porosités libres du sous-sol ; soit la réduction de leur intensité dans le temps. Ceci permet d'exprimer le modèle régional de l'intensité des pertes totales par une seule fonction puissance binôme de la durée de pluie :

$$k_t = k_o + \frac{A}{t^n} \qquad (4)$$

où:

k_t : intensité des pertes totales dans le temps,
k_o : intensité de filtration,
A : paramètre des pertes totales,
n : indice de réduction des pertes dans le temps,
t : variable temps.

Après intégration de l'expression (4), on obtient la relation exprimant la lame des pertes totales durant la durée de l'averse T_x :

$$P_T = \int_0^{T_x} k_t \, dt = k_o T_x + \frac{A}{1-n} T_x^{1-n} \qquad (5)$$

Le calcul inverse permet d'obtenir les paramètres k_o, A et n moyens pour tout le bassin.

En raison du manque de stations hydrologiques expérimentales (bassins expérimentaux) et de la répartition irrégulière des stations météorologiques existantes, il s'avère difficile de réaliser même le modèle simple (5). Ce sont surtout les données pluviographiques qui manquent. Par conséquent, l'élaboration de la méthode de calcul des pertes totales de l'écoulement pluvial, n'est possible que sur la base de données sur les pluies journalières et sur l'état du bassin précédant la crue, en remplaçant la durée de la pluie T_x par la lame X_T en qualité d'indice de la durée.

Compte tenu de ce qui précède, le modèle des pertes totales est exprimé comme suit :

$$k_t = k_{o.x} + \frac{A'}{X_t^m} \qquad (6)$$

ou encore :

$$P_T = \int_0^{T_x} k_t \, dt = k_{o.x} \, X_T + \frac{A'}{1-m} X_T^{1-m} \qquad (7)$$

et :

$$P_T = k_{o.x} \, X_T + A'' \, X_T^{1-m} \qquad (8)$$

où :

k_t : intensité des pertes à l'instant t correspondant à la lame X_t des précipitations cumulées,
$k_{o.x}$: intensité de filtration dans le sol en fonction de X_T,
$A'' = A'/1-m$: paramètre des pertes totales,
m : indice de réduction des pertes avec l'augmentation de la lame précipitée,
X_T : lame totale précipitée.

Le paramètres A' dépend de l'indice d'humidité initial I_w,

$$A' = A_o \exp(-b.I_w)$$

où :

b : quasiconstante,
A_o : paramètre régional des pertes totales.

Expérimentalement, il a été confirmé que le premier terme de l'expression (8) est nettement plus petit par rapport au second à cause de la faible intensité permanente d'absorption $k_{o.x}$ par la couche sous-jacente. Aussi, on peut considérer le modèle des pertes sous sa forme réduite suivante :

$$P_T = X_T - Y = \frac{A'}{1-m} X_T^{1-m} = A'' \, X_T^{1-m} \qquad (9)$$

L'analyse des pertes des crues pluviales des rivières de la Transcaucasie occidentale, dont le climat est considéré méditerranéen, en fonction des précipitations, soit $P_T = f(X_T)$, a permis d'établir les modèles suivants :

a) avec $X_T < P_o$

$$P_T = X_o + (X_T - X_o)\exp[-b(I_w - I_{wx})] \qquad (10)$$

b) avec $X_T > P_o$ et $I_w \leq -\frac{1}{b} \ln \frac{P_o - X_o}{X_T - X_o}$

$$P_T = P_o \qquad (11)$$

où :

I_{wx} : valeur minimale de l'indice d'humidité du bassin,
P_o : capacité maximale d'accumulation du bassin versant,
X_o : lame des pertes initiales.

Examinons le graphique de la relation qui existe entre les pluies X_T et les pertes totales des eaux de pluies P_T (Figure 1).

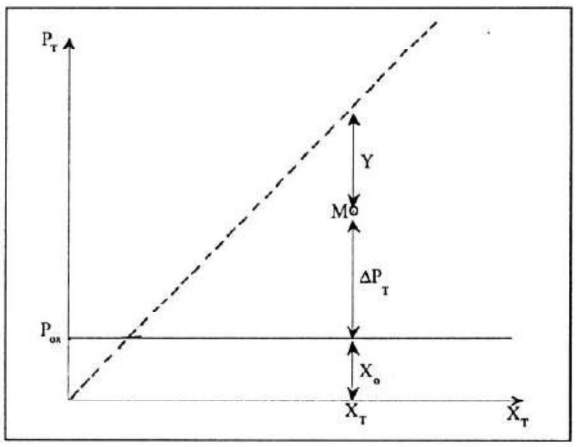


Figure 1 : Graphe de la relation $P_T = f(X_T)$.

On considère le point M qui correspond à la lame des pertes P_T composées de $P_{o.x}$ et de ΔP_T, $P_T = P_{o.x} + \Delta P_T$; sachant que l'accroissement de $P_{o.x}$ avec l'augmentation de X_T est très faible, on prend $P_{o.x} = X_o$. La lame de pluie X_T est égale à la somme de Y, de ΔP_T et de X_o. Soit :

$$X_T = Y + \Delta P_T + X_o$$

d'où :

$$Y = (X_T - X_o) - \Delta P_T \qquad (12)$$

Il a été déjà établi que :
$\Delta P_T = (X_T - X_o) \exp(-b.I_w)$ et si l'on considère $\Delta P_T = (X_T - X_o)^n$, alors on obtient :

$$n = 1 - \frac{b.I_w}{\ln(X_T - X_o)} \qquad (13)$$

L'indice de l'humidité I_w à l'instant précédant la formation de la crue peut être calculé par la formule simple de N.F Befani :

$$I_w = X_1 + 0.7X_{2-4} + 0.5X_{5-9} + 0.3X_{10-14} + 0.2X_{15-30} + 0.1X_{31-60}$$

L'analyse graphique de la relation $n = f\,[I_w, \ln (X_T - X_o)]$ a été établie pour quatre rivières de la Transcaucasie occidentale :

1) r. Touapsé - v. Touapsé	F = 351 km²,	N = 83 crues ;
2) r. Aché - s. Aché	F = 282 km²,	N = 62 crues ;
3) r. Kouapsé - Momédovo Chel	F = 14.6 km²,	N = 58 crues ;
4) r. Psézouapsé - v. Tatianovo	F = 255 km²,	N = 76 crues.

Le paramètre n est calculé à partir des données d'observations par :

$$n = \frac{\ln (X_T - X_o - Y)}{\ln (X_T - X_o)} \qquad (14)$$

Cette analyse des graphiques (Figures 2, 3, 4, 5) a permis de vérifier l'expression(13). En effet, les valeurs de n augmentent avec l'accroissement de $\ln (X_T - X_o)$ et diminuent avec l'augmentation de l'indice d'humidité I_w.

On peut exprimer, alors, le coefficient de ruissellement α comme suit :

$$\alpha = \frac{Y}{X_T - X_o} = \frac{(X_T - X_o) - (X_T - X_o)^n}{(X_T - X_o)}$$

En tenant compte de la formule (13), $n = f(X_T, I_w)$, il s'avère effectivement que le coefficient d'écoulement α est aussi fonction de la lame de pluie X_T et de l'indice d'humidité I_w; soit $\alpha = f(X_T, I_w)$ que l'on peut exprimer par :

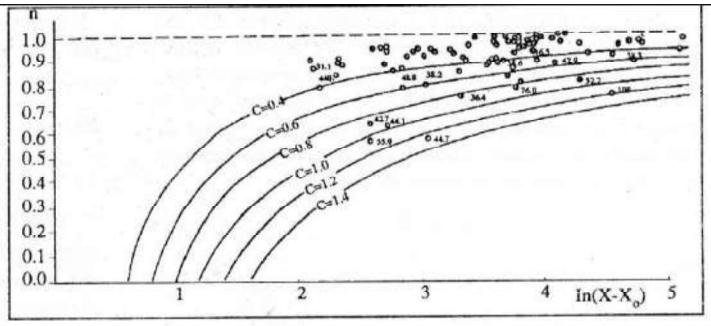


Figure 2 : Graphe de la relation n=f [ln(X-X_o)] de la r. Touapsé - v.Touapsé, F = 351 km², N = 83 crues.

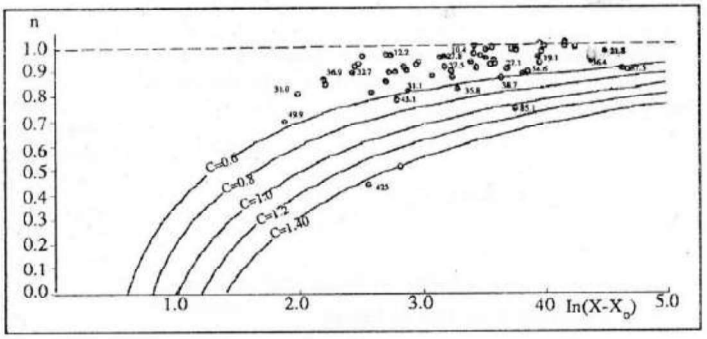


Figure 3 : Graphe de la relation n=f [ln(X-X_o)] de la r. Aché - s. Aché, F = 282 km², N = 62 crues.

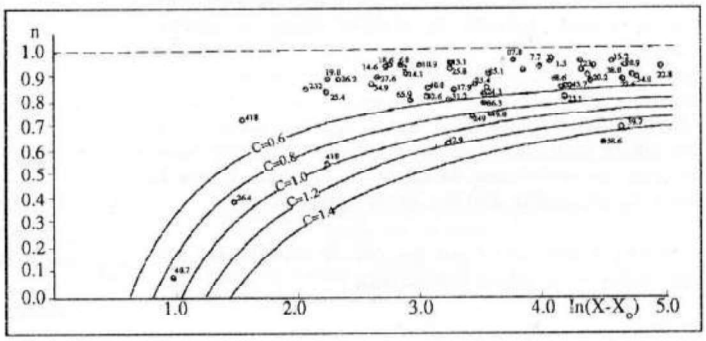


Figure 4 : Graphe de la relation n=f [ln(X-X_o)] de la r. Kouapsé - Momédovo Chel, F = 14.6 km², N = 58 crues.

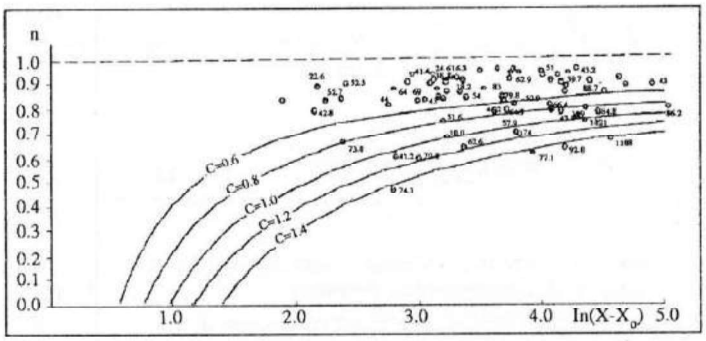


Figure 5 : Graphe de la relation n=f [ln(X-X_o)] de la r. Psézouapsé - v. Tatianovo, F = 255 km², N = 76 crues.

$$\alpha = 1 - (X_T - X_o)^{n-1} \quad (15)$$

Et à partir de l'expression (15) on obtient :

$$n = 1 + \frac{\ln (1- \alpha)}{\ln (X_T - X_o)} \quad (16)$$

Ou, d'une manière générale :

$$n = 1 - \frac{C}{\ln (X_T - X_o)} \quad (17)$$

d'où l'on tire la constante $C = - \ln (1-\alpha)$.

L'application de la formule (13), pour les prévisions de la lame d'écoulement pluviale des crues, nécessite une information détaillée sur les pluies et les températures journalières de l'air, pour calculer l'indice d'humidité I_w à tout moment précédant une crue donnée.

Puisque l'écoulement $Y_{P\%}$ correspond à une combinaison de facteurs générateurs $X_{P'\%}$ et $I_{w,P''\%}$ dont les probabilités respectives P'% et P''% sont aussi rares et voisines de P% mais différentes d'elle. Cette combinaison est, statistiquement et génétiquement la plus probable parmi tant d'autres, conditionnée par l'état du bassin versant que l'on exprime à travers le paramètre $C_{P\%}$. Alors, le calcul de l'écoulement pluvial des crues d'une fréquence rare donnée P% (0.01%, 0.1%, etc.) est possible par la formule (17).

Vu l'insuffisance même des données hydrométéorologiques standards dans les pays en voie de développement, la réalisation de l'expression (17), et plus particulièrement l'identification du paramètre C, est possible sur la base de quelques crues exceptionnelles observées sur des bassins versants de différentes tailles.

Connaissant les éléments d'une crue d'une fréquence proche de P% : le débit maximum $Q_{P\%}$, la lame d'écoulement $Y_{P\%}$, la lame de la pluie génératrice $X_{P\%}$ ainsi que la lame des pertes minimales constantes X_o, on calcule alors :

$$\alpha_{P\%} = \frac{Y_{P\%}}{(X_{P\%} - X_o)}$$

et

$$C_{P\%} = - \ln (1-\alpha_{P\%})$$

Et dans un but de généralisation, on cherche à établir pour chaque fréquence la relation :

$$C_{P\%} = f (F_{b,v}) \quad (18)$$

avec : $F_{b,v}$ = superficie du bassin versant.

Il faut aussi chercher à identifier l'influence des facteurs intrazonaux sur ce paramètre, soit :

$$C_{P\%} = f \text{ (facteurs intrazonaux)}$$

L'application pratique de cette méthode est possible, une fois le paramètre $C_{P\%}$ identifié en fonction de la taille du bassin $F_{b,v}$ et aussi en fonction de tous les facteurs intrazonaux. Connaissant la lame de pluie génératrice de fréquence $X_{P\%}$ et la lame des pertes constantes X_o, on calcule :

1) Le paramètre $n_{P\%}$

$$n_{P\%} = 1 - \frac{C_{P\%}}{\ln (X_{P\%} - X_o)}$$

2) Le coefficient de ruissellement

$$\alpha_{P\%} = 1 - (X_{P\%} - X_o)^{n_{P\%}-1}$$

3) L'écoulement pluvial

$$Y_{P\%} = (X_{P\%} - X_o)\, \alpha_{P\%}$$

2 CONCLUSION

La méthode de calcul de l'écoulement pluvial $Y_{P\%}$ proposée, présente l'avantage d'être applicable à partir de données hydrologiques et météorologiques ordinaires. Le coefficient de ruissellement $\alpha_{P\%}$ est exprimé directement en fonction de la lame précipitée $X_{P\%}$ et du paramètre régional $C_{P\%}$. Ce dernier peut faire l'objet d'une régionalisation, il peut aussi être cartographié sous forme d'isolignes ❷

BIBLIOGRAPHIE

[1] A.N Befani : "*Les questions de l'hydraulique régionale : les crues pluviales*" (en Russe). Kiev, 1989.

[2] A.F Befani : "*Prévisions des crues pluviales sur la base des relations générales territoriales*" (en Russe). Leningrade, guidro météo isdat, 1977.

[3] A.F Befani et G.P Kalinine : "*Exercices et élaborations métodologiques des prévisions hydrologiques*" (en russe). Leningrade, guidro météo isdat, 1983.

[4] M. Ladjel : "*Elaboration de la méthode de calcul et des prévisions des crues pluviales en Transcaucasie occidentale*". Thèse de PhD, OGMI, Odessa, 1984.