



## **FORMULE APPROPRIÉE POUR L'ESTIMATION DE L'INTENSITÉ DE PLUIE DE DURÉE ET DE FRÉQUENCE VOULUE : UN CAS D'ÉTUDE**

### **APPROPRIATE FORMULA FOR ESTIMATING RAINFALL INTENSITY OF SELECTED DURATION AND FREQUENCY: A CASE STUDY**

*HOUICHI L.*

Département d'Hydraulique, Faculté de Technologie, Université de Batna 2,  
Algérie

*houichilarbi@yahoo.fr*

#### **RÉSUMÉ**

L'étude est consacrée à la citation de quelques modèles IDF usuels issus de la bibliographie, notamment le modèle adopté par l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) qui est testé dans une vision comparative. Douze autres modèles, à deux, à trois, à quatre et à cinq paramètres, sont alors délibérément appliqués et testés. Le choix du meilleur modèle se basait sur les critères de qualité d'usage courant. Le modèle retenu en finalité est le résultat de toutes les tentatives appliquées aux données les plus complètes concernant la station pluviographique de Batna dans les « Hauts plateaux Constantinois ». Une relation d'usage pratique est enfin mise à la disposition des chercheurs et projeteurs.

**Mots clés:** Modélisation, Intensité-Durée-Fréquence, Batna, Algérie.

#### **ABSTRACT**

The study is devoted to the citation of some common IDF models from the bibliography, in particular the model adopted by the National Hydraulic Resources Agency (NHRA), which is tested in a comparative view. Twelve

other models of, two, three, four and five parameters, are then willfully applied and tested. The choice of the best model was based on current quality criteria. The ultimate model is the result of all the attempts applied to the most complete data concerning the Pluviographic station of Batna in the « Hauts plateaux Constantinois ». A relationship of practical use is finally available to researchers and designers.

**Key words:** Modelling, Intensity-Duration-Frequency, Batna, Algeria.

## **INTRODUCTION**

En hydrologie urbaine, les réponses des ouvrages d'évacuation aux pluies ont des tournures très compliquées et dépendent de toute l'évolution des pluies depuis les durées de quelques minutes jusqu'à des durées de quelques heures.

Le contrôle des pluies compose un outil efficace dans la maîtrise du fonctionnement des systèmes d'évacuation dans les ouvrages hydrotechniques et dans les réseaux d'assainissement urbain en système unitaire ou séparatif en temps de pluie. Ce contrôle est obligatoire pour métrer un système d'évacuation qui peut être un réseau d'assainissement ou des évacuateurs de crue dans des barrages et des retenues collinaires (McCuen, 1998 ; Prodanovic et Simonovic, 2007 ;). Elle permet d'évaluer le fonctionnement ces divers systèmes vis à vis des valeurs aléatoires, particulièrement les événements pluvieux rares (Kasmi, 2012).

Pour la plupart des ouvrages hydrauliques et notamment les réseaux d'assainissement en système unitaire ou séparatif en temps de pluie, le dimensionnement tributaire de la méthode dite rationnelle, qui est couramment utilisée lorsque les débits locaux ne sont plus jaugés, repose sur la connaissance régionale (Onibon et al., 2004), plus au moins correcte, de l'intensité de pluie, elle-même dépendante de la durée de l'averse assimilée par fois au temps de concentration.

Pour les petites pluies ou pour des tronçons de temps de concentration inférieures à 30 min (0.25H), le modèle classique type Montana donne des valeurs asymptotiques très fortes pour l'intensité correspondante et perd en conséquence sa validité et son intérêt d'applicabilité du moment qu'il amplifie les débits ruisselés au détriment de l'économie des projets. La tentative de remplacement dudit modèle s'avère très légitime en s'appuyant sur la notion d'intensité instantanée aux durées quasiment nulles et toujours dans l'ordre de

grandeur d'une période de retour à envisager selon la nature et l'échelle des projets.

Il s'agit, dans le présent article, de présenter une méthodologie de développement d'une formulation adéquate pour l'estimation de l'intensité de pluie liée aux courtes durées et aux périodes de retour voulues, qui évolue à long terme et doit être mise à jour, (Raiford et al., 2007), moyennant une base de données adéquate et à la disposition, qui provient du pluviographe de la station de Batna codée (070316) dans les hauts plateaux constantinois. Il s'agit de faire des analyses fréquentielles cherchant en premier lieu la loi de distribution meilleure et plus appropriée et en deuxième lieu, en cherchant par voie de conséquence le modèle : intensité-durée-fréquence (IDF) le plus robuste (Bruneau, 2004), caractérisé par des indices et des critères de performance les plus usuels et incontournables.

## **MATERIELS ET METHODES**

### **Citation de quelques modèles IDF usuels issus de la littérature**

Les modèles IDF servent à condenser l'information pluviométrique au droit d'une station donnée et mènent à l'estimation des crues de projet.

On se contentera de citer quelques modèles IDF usuels issus de la littérature qu'on va les appliquer par la suite aux données les plus complètes de la station de Batna (070316) dont les coordonnées sont : longitude (6°10'19'' Est), latitude (35°33'53'' Nord) et altitude (1040 m NGA).

### **Modèle dit ANRH (M0)**

Le modèle adopté par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH) est un modèle du type Montana, formulé selon la relation (1), décrit en détail dans le rapport n°1 intitulé : Elaboration de programmes relatifs à l'étude Intensité-Durée-Fréquence (ANRH, 1993).

$$i_{(t,T)} = P_{j_{\max}(T)} at^{(b-1)} \quad (1)$$

Où :

$i_{(t,T)}$  est l'intensité de pluie de durée  $t$  ayant une fréquence correspondante à une période de retour  $T$ .

$P_{jmax}$  est la pluie maximale journalière de fréquence correspondante à une période de retour  $T$ .

$a$  et  $b$  sont des paramètres régionaux du modèle IDF.

### Modèles type Montana et Talbot

Des modèles du type Montana, Talbot et Montana-Talbot associés seront appliqués ultérieurement, leurs différentes formulations sont données par Chow (1988), Laborde (2000) et Mohymont (2006).

**Modèle (M1) :**

$$i_{(t,T)} = at^{-b} \tag{2}$$

**Modèle (M2) :**

$$i_{(t,T)} = (a_1 \ln T + a_2)t^{-b} \tag{3}$$

**Modèle (M3) :**

$$i_{(t,T)} = \frac{aT^b}{(t+c)^d} \tag{4}$$

**Modèle (M4) :**

**NB :** La considération du point de durée limite égale à 0.5h est basée sur les travaux de Body (1981).

$$i_{(t,T)} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{kd(a+g \ln T)}{(t+d)}, t \leq 0.5h \\ \frac{a+g \ln T}{t^{(1-b)}}, t > 0.5h \end{array} \right\} \tag{5}$$

**Modèle (M5) :**

$$i_{(t,T)} = \frac{a(b - \ln(-\ln(1 - \frac{1}{T})))}{(t+c)^d} \tag{6}$$

**Modèle (M6) :**

$$i_{(t,T)} = \frac{a(b - \ln(-\ln(1 - \frac{1}{T})))}{t(1 + (\frac{c}{t})^d)} \tag{7}$$

*Formule appropriée pour l'estimation de l'intensité de pluie de durée et de fréquence voulue : un cas d'étude*

**Modèle (M7) :**

$$i_{(t,T)} = \frac{a + b \ln T}{t \left( \frac{1}{c+d \ln T} \right)} \quad (8)$$

**Modèle (M8) :**

$$i_{(t,T)} = \frac{a + b \ln T}{(t + e) \left( \frac{1}{c+d \ln T} \right)} \quad (9)$$

**Modèle (M9) :**

$$i_{(t,T)} = \frac{a + b \ln T}{t \left( \frac{1}{(c+d \ln T) + e} \right)} \quad (10)$$

**Modèle (M10) :**

$$i_{(t,T)} = \frac{c}{t^e + f} \quad (11)$$

**Modèle (M11) :**

$$i_{(t,T)} = \frac{cT^m}{t + f} \quad (12)$$

**Modèle (M12) :**

$$i_{(t,T)} = \frac{cT^m}{t^e + f} \quad (13)$$

$a_1, a_2, a, b, c, d, e, f, g, k$  et  $m$  sont des paramètres régionaux des modèles IDF.

### **Critères de performances pour le choix des modèles IDF**

Dans la littérature et dans diverses disciplines, on constate que plusieurs indices et critères de performance ont été énumérés, testés et approuvés par des chercheurs spécialisés en modélisation. On se limitera dans cette contribution aux notions de : coefficients de détermination ( $R^2$ ), la pente de la droite de régression entre les valeurs observées et les valeurs prédites par le modèle appliqué ainsi que la valeur à l'origine (interception) de cette même droite

(disposition du nuage formé par l'observé et le prédit par rapport à la première bissectrice d'équation  $y = x$ ) et enfin la racine de la moyenne des erreurs quadratique notée  $RMSE$ .

Le coefficient de détermination ( $R^2$ ) peut être interprété comme la proportion de la variance des valeurs  $M_i$  du modèle de moyenne  $\bar{M}$  imputable à la variance des valeurs  $O_i$  observées ayant une moyenne  $\bar{O}$  pour un échantillon de taille  $N$ . Il est inutile de rappeler sa formulation très connue.

La pente de la droite de régression entre les valeurs observées et les valeurs prédites par le modèle appliqué ainsi que la valeur à l'origine de cette même droite désignée par (l'*interception*) sont données respectivement par les relations (14) et (15).

$$pente = \frac{\text{Covariance}(O_i, M_i)}{\text{Variance}(O_i)} \quad (14)$$

$$interception = \bar{M} - pente * \bar{O} \quad (15)$$

La racine de la moyenne des erreurs quadratique notée par  $RMSE$  est donnée par la relation (16) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2} \quad (16)$$

Un modèle est jugé meilleur (adéquat à adopter) s'il possède (un  $R^2$  et une *pente*) qui sont proches de l'unité, une valeur à l'origine (*interception*) proche de zéro et une  $RMSE$  à forte possibilité la plus faible.

### **Comparaison et sélection des lois de distribution après les tests d'adéquation**

Après ajustement de plusieurs lois de distribution candidats et avoir réalisés les tests d'adéquation les plus connus (Khi-deux ( $\chi^2$ ), Kolmogorov-Smirnov (KS), et d'Anderson-Darling (AD)). Le problème du choix de la loi la plus adéquate se pose au modélisateur pour prendre en charge à la fois l'optimisation et la parcimonie des modèles.

Deux critères de sélection des lois adéquats seront adoptés dans la présente contribution. Il s'agit des fameux critères basés sur la vraisemblance : le critère d'information d'Akaike (1974), désigné par  $AIC$  et le critère d'information

Bayésien (Schwarz, 1978), désigné par *BIC*. Les deux critères sont donnés respectivement par la relation (17) et la relation (18) :

$$AIC = -2\log(L) + 2p \quad (17)$$

$$BIC = -2\log(L) + 2p\log(N) \quad (18)$$

Où  $L$  est la fonction de vraisemblance,  $p$  est le nombre de paramètres de la loi de distribution candidate et  $N$  est la taille de l'échantillon considéré.

Le meilleur modèle d'ajustement est celui qui présente les valeurs minimales des critères *AIC* et *BIC* (Rao et Hamed, 2001).

Le critère *BIC* tend le mieux à pénaliser les distributions à trois paramètres que son homologue *AIC*. Une fois les deux critères présentent des conclusions non en concordance, le critère *BIC* est considéré prioritaire par principe de parcimonie (Soro et al., 2010).

## **RESULTS AND DISCUSSION**

### **Étude détaillée et application à la station de Batna codée 070316 dans les hauts plateaux constantinois**

#### *Application du modèle dit ANRH (Modèle M0)*

La note descriptive de l'ANRH consiste en l'élaboration d'une succession de programmes qui se résument en :

- Une mise en forme des fichiers de dépouillement à intensité constante.
- La transformation des fichiers de dépouillement à intensité constante en des fichiers pour chaque durée choisie.
- Un traitement statistique en vue de la recherche de la loi Intensité-Durée-Fréquence.

Ces trois étapes sont appliquées au poste pluviographique de Batna ayant pour code 070316 et les résultats de cette procédure sont donnés sur la figure 1. Finalement les paramètres du modèle sont :  $a = 0.492$  et  $b = 0.284$ .

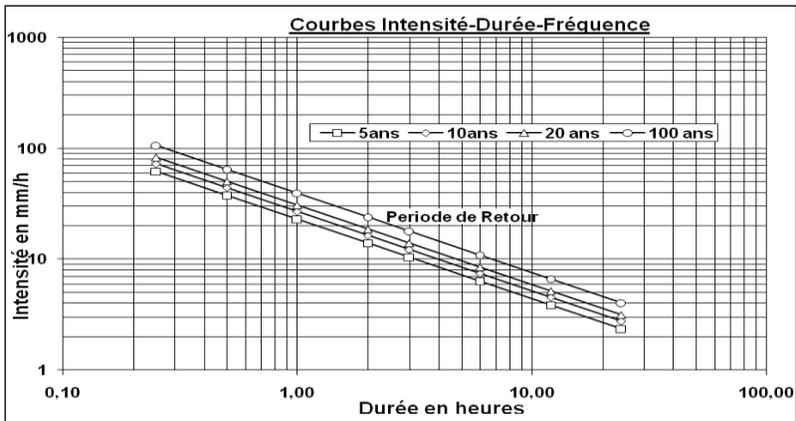


Figure 1 : Résultat graphique issu de la procédure adoptée par l'ANRH

**Application des autres modèles (M1 à M12) aux données de la station de Batna codée (070316) dans les hauts plateaux constantinois**

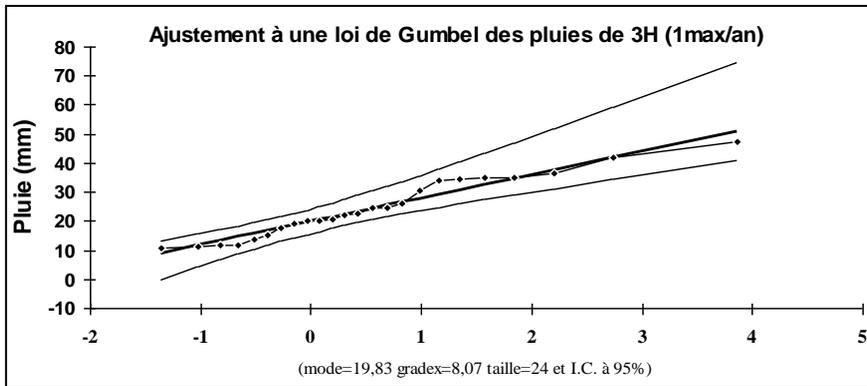
**Fichier de données caractérisées par un maximum par année et ajustées à la loi de Gumbel**

Avec le même fichier (utilisé dans le modèle M0), les données aux différents pas de temps de taille  $N = 24$  (un maximum par année (de 1970 au 1993), (voir le résumé des caractéristiques statistiques dans le tableau 1), sont ajustées à une loi de Gumbel, et ce, moyennant un logiciel approprié (à titre d'exemple sur la figure 2, les pluies de 3H sont ajustées par le logiciel Hydrolab 98.2, (Laborde, 1998). La détermination des quantiles aux divers pas de temps correspondants aux périodes de retour (5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans), (voir tableau 2 et figure 3), a permis de tester les 12 modèles délibérément sélectionnés. Les résultats de cette démarche sont consignés dans les tableaux 3 et 4.

**NB :** Les paramètres ( $a_1, a_2, a, b, c, d, e, f, g, k, m$ ) des 12 modèles sont déterminés par le Solveur Excel basé sur la méthode de résolution numérique de Newton-Raphson.

**Tableau 1 : Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (1max/an) : Station de Batna**

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.	Asymétrie	Aplatissement
<b>15mm</b>	24	9.2	3.8	0.41	2.2	20	1.66	1.87
<b>30mm</b>	24	14.3	7.2	0.51	3.8	38	3.05	4.0
<b>1H</b>	24	18.3	9.4	0.51	6.5	39	1.71	0.044
<b>2H</b>	24	22.2	10.7	0.48	8.1	47.1	1.33	0.392
<b>3H</b>	24	24.5	10.3	0.42	10.6	47.5	1.023	-0.543
<b>6H</b>	24	29.4	10.3	0.35	12.8	49.2	0.448	-0.065
<b>12H</b>	24	35.5	11.7	0.33	14	53.3	-0.419	-1.171
<b>24H</b>	24	43.4	15.7	0.36	14.4	73.8	0.685	-0.551
<b>Pjma</b>	24	36.4	13.8	0.38	18.2	64.4	1.29	-0.727



**Figure 2 : Ajustement à une loi de Gumbel des pluies de durée 3H (1max/an) : Station de Batna**

**Tableau 2 : Quantiles pour Gumbel (1max/an) : Station de Batna**

Durée (h)	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0
<b>PDR</b>	<b>Quantiles Gumbel (1max/an) : Intensité (mm/h)</b>							
<b>T=5 ans</b>	47.5	39.0	25.1	14.9	10.6	6.1	3.7	2.3
<b>T=10 ans</b>	56.3	47.4	30.6	18.1	12.7	7.1	4.2	2.7
<b>T=20 ans</b>	64.7	55.5	35.8	21.1	14.6	8.1	4.8	3.0
<b>T=50 ans</b>	75.7	66.0	42.6	24.9	17.1	9.4	5.5	3.5
<b>T=100 ans</b>	83.8	73.9	47.7	27.9	19.0	10.3	6.0	3.9

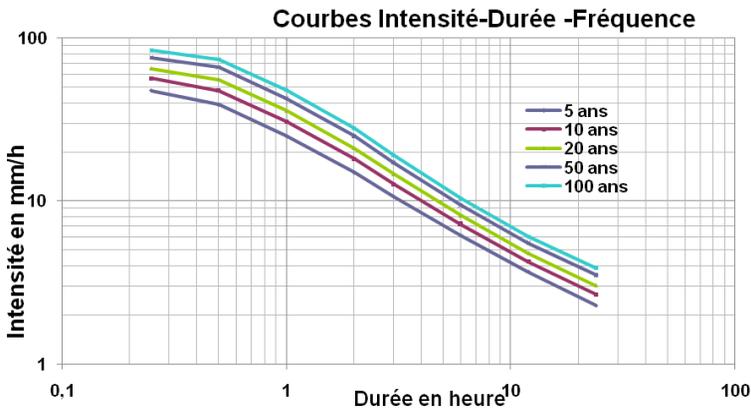


Figure 3 : Courbes Intensité-Durée-Fréquence (1max/an et loi de Gumbel) : Station de Batna

Tableau 3 : Résultats de l'application des modèles IDF (1max/an et loi de Gumbel) - Paramètres des modèles : Station de Batna

Modèles	Paramètres des modèles										
	$a_1$	$a_2$	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	$f$	$g$	$k$	$m$
(ANRH)			0.492	0.284							
M0											
M1			32.546	0.562							
M2	6.253	13.367		0.560							
M3			52.699	0.193	1.085	1.302					
M4			14.524	0.188		1.329			7.155	2.125	
M5			17.335	2.242	1.031	1.268					
M6			8.735	2.236	0.374	1.482					
M7			12.702	6.431	1.731	0.014					
M8			66.531	26.173	0.622	0.010	1.433				
M9			12.703	6.431	0.831	0.014	0.900				
M10					69.084		1.186	0.842			
M11					32.174			0.632			0.193
M12					33.038		1.112	0.725			0.202

Le modèle ANRH (M0) et les 12 autres modèles se distinguent en modèles à :

- Deux paramètres (M0 et M1).
- Trois paramètres (M2, M10, M11).
- Quatre paramètres (M3, M5, M6, M7, M12).
- Cinq paramètres (M4, M8, M9).

Du tableau 4 (ci-après), il ressort que le modèle ANRH (M0) est le meilleur modèle parmi ceux à deux paramètres avec une *RMSE* égale à 6.5072 mm/heure. Le modèle M11 est le meilleur modèle parmi ceux à trois paramètres avec une *RMSE* égale à 1.964 mm/heure. Le modèle M6 est le meilleur modèle parmi ceux à quatre paramètres avec une *RMSE* égale à 0.8223 mm/heure. Le modèle M4 est le meilleur modèle parmi ceux à cinq paramètres avec une *RMSE* égale à 0.5062 mm/heure. Dans tous les cas, le modèle M4 semble le meilleur modèle du point de vue qualité et performance.

**Tableau 4 : Résultats de l'application des modèles IDF (1max/an et loi de Gumbel) - Critères de performance : Station de Batna**

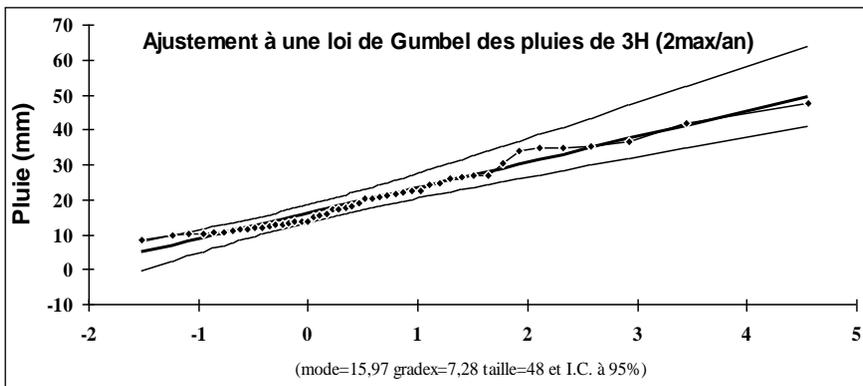
Modèles	Critères de performance			
	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>pen</i> <i>t</i> <i>e</i>	<i>inter</i> <i>cep</i> <i>tion</i>	<i>RMSE</i> (mm/h)
(ANRH) M0	0.9463	1.099	-1.960	6.5072
M1	0.8736	0.836	5.050	8.4818
M2	0.9661	0.927	2.729	4.5226
M3	0.9948	1.006	-0.434	1.7521
M4	0.9995	0.9998	0.001	0.5062
M5	0.9956	1.006	-0.408	1.6092
M6	0.9991	1.012	-0.635	0.8223
M7	0.9658	0.928	2.614	4.5188
M8	0.9956	1.017	-0.920	1.7167
M9	0.9658	0.928	2.614	4.5188
M10	0.9018	0.915	1.908	7.4146
M11	0.9932	0.985	0.549	1.9640
M12	0.9949	1.005	-0.530	1.7415

***Fichier de données caractérisées par deux maximums par année et ajustées à la loi de Gumbel (Série gonflée)***

Les données aux différents pas de temps ont été enrichies vers des séries gonflées de taille  $2*N=2*24$ (deux maximums par année (de 1970 au 1993)), (voir le résumé des caractéristiques statistiques dans le tableau 5), les nouvelles séries sont ajustées à une loi de Gumbel (à titre d'exemple sur la figure 4, les pluies de 3H sont ajoutées par le logiciel Hydrolab). La détermination des quantiles aux divers pas de temps correspondants aux périodes de retour (5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100ans), (voir tableau 6 et figure 5), a permet de même de tester les 12 modèles sélectionnés outre le modèle de l'ANRH (M0). Les résultats de cette démarche sont consignés dans les tableaux 7 et 8.

**Tableau 5 : Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (2max/an) : Station de Batna**

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.	Asymétrie	Aplatissement
15mn	48	7.8	3.4	0.43	2.2	20	2.96	3.319
30mn	48	11.8	6.2	0.52	3.6	38	5.194	8.235
1H	48	15.1	8.1	0.53	5.5	39.1	3.64	2.211
2H	48	18.4	9.2	0.51	7.7	47.1	3.397	1.574
3H	48	20.2	9.3	0.46	8.3	47.5	2.881	0.730
6H	48	24.8	9.8	0.40	10.8	49.2	1.791	-0.274
12H	48	30.3	12.4	0.41	12.6	53.3	0.607	-1.847
24H	48	36	15.7	0.44	12.2	73.8	1.716	-0.371
Pjmax	48	33.6	13	0.39	16.5	64.4	2.129	-0.650



**Figure 4 : Ajustement à une loi de Gumbel des pluies de durée 3H (2max/an) : Station de Batna**

**Tableau 6 : Quantiles pour Gumbel (2max/an) : Station de Batna**

Durée (h)	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0
PDR	<b>Quantiles Gumbel (2max/an) : Intensité (mm/h)</b>							
T=5 ans	41.0	32.5	20.9	12.5	9.0	5.3	3.3	2.0
T=10 ans	48.9	39.7	25.7	15.2	10.8	6.3	3.9	2.3
T=20 ans	56.5	46.6	30.2	17.8	12.5	7.2	4.5	2.7
T=50 ans	66.3	55.6	36.1	21.1	14.8	8.4	5.2	3.2
T=100 ans	73.7	62.3	40.5	23.6	16.5	9.3	5.8	3.5

Formule appropriée pour l'estimation de l'intensité de pluie de durée et de fréquence voulue : un cas d'étude

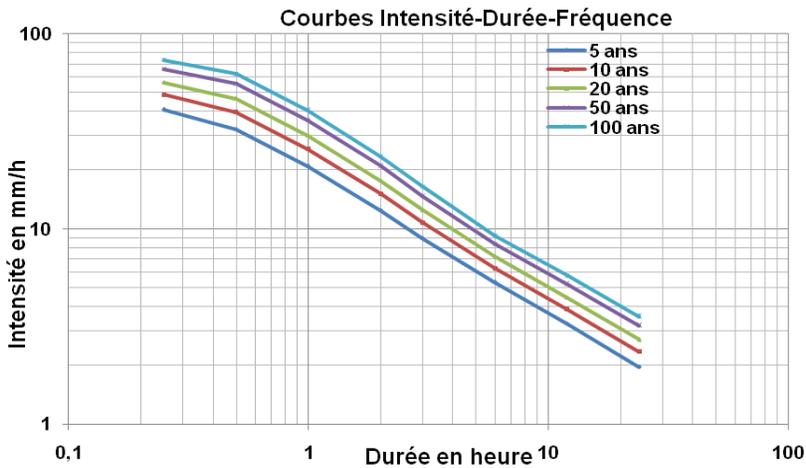


Figure 5 : Courbes Intensité-Durée-Fréquence (2max/an et loi de Gumbel) : Station de Batna

Tableau 7 : Résultats de l'application des modèles IDF (2max/an et loi de Gumbel) - Paramètres des modèles : Station de Batna

Modèles	Paramètres des modèles										
	$a_1$	$a_2$	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	$f$	$g$	$k$	$m$
(ANRH)											
M0			0.414	0.284							
M1			27.762	0.570							
M2	5.472	10.982		0.567							
M3			5.693	0.195	1.214	1.408					
M4			11.779	0.211		0.974			6.155	2.334	
M5			15.946	2.042	1.050	1.303					
M6			7.948	2.113	0.402	1.313					
M7			10.358	5.641	1.702	0.016					
M8			66.530	26.171	0.580	0.011	1.539				
M9			10.454	5.611	0.820	0.014	0.889				
M10				54.746		1.119		0.734			
M11				26.592				0.601			0.196
M12				32.169			1.180	0.834			0.190

**Tableau 8 : Résultats de l'application des modèles IDF (2max/an et loi de Gumbel) - Critères de performance : Station de Batna**

Modèles	Critères de performance			
	$R^2$	<i>pen</i>	<i>interception</i>	<i>RMSE (mm/h)</i>
(ANRH) M0	0.9512	1.0170	-1.7300	4.7177
M1	0.8773	0.8403	4.0506	7.1485
M2	0.9748	0.9410	1.9579	3.3472
M3	0.9956	1.0178	-0.7973	1.4684
M4	0.9997	1.0005	-0.0273	0.3678
M5	0.9969	1.0166	-0.7189	1.2364
M6	0.9990	1.0134	-0.5757	0.7618
M7	0.9745	0.9424	1.8491	3.3428
M8	0.9960	1.0274	-1.1919	1.5442
M9	0.9746	0.9421	1.8589	3.3428
M10	0.8982	0.9117	1.7668	6.4689
M11	0.9956	0.9946	0.1697	1.3467
M12	0.9960	1.0107	-0.4218	1.3250

Du tableau 8, il ressort que le modèle ANRH (M0) est le meilleur modèle parmi ceux à deux paramètres avec une *RMSE* égale à 4.7177 mm/heure. Le modèle M11 est le meilleur modèle parmi ceux à trois paramètres avec une *RMSE* égale à 1.3467 mm/heure. Le modèle M6 est le meilleur modèle parmi ceux à quatre paramètres avec une *RMSE* égale à 0.7618 mm/heure. Le modèle M4 est le meilleur modèle parmi ceux à cinq paramètres avec une *RMSE* égale à 0.3678 mm/heure. Dans tous les cas, le modèle M4 semble le meilleur modèle du point de vue qualité et performance.

**NB :** Pour ce qui suit, on se contentera de ne considérer que les modèles caractérisés par un coefficient de détermination au-delà de la valeur 0.99 ( $R^2 > 0.99$ ), ce qui induit de ne prendre en compte que les modèles qui donnent des *RMSE* < 2 mm/h. Ce compromis conduit à écarter, pour tous les cas étudiés, les six modèles (M0, M1, M2, M7, M9 et M10) et à ne garder pour le test que les sept modèles (M3, M4, M5, M6, M8, M11 et M12).

**Fichier de données au-delà d'un seuil, ajustées à la loi adéquate (Série tronquée)**

Dans la vision d'enrichir davantage et d'une façon légitime les échantillons des pluies de la station de Batna à différents pas de temps, nous allons faire recours à l'astuce logique et raisonnable qui consiste à considérer toutes les valeurs au-delà d'un seuil des valeurs des pluies à un pas de temps déterminé. Nous allons considérer comme seuil le minimum des maxima pour chaque durée de temps

(15mn, ..., 24h), et ce, pour être en cohérence avec la réalité physique des événements pluvieux (averses) au sein de la région de Batna (1970-1993), ponctuellement mesurés au niveau de la station codée 070316. La prise en compte de ce seuil évite la pénalisation des valeurs qui succèdent strictement la valeur maximale et offre la possibilité de valoriser un événement même faible en valeur quoi qu'il soit événementiel dans son contexte naturel lié au pas de temps déterminé. Au cours de la période (1970-1993), les caractéristiques des échantillons à différents pas de temps sont résumées dans le tableau 9 ainsi que les statistiques de base dans le tableau 10.

**NB :** Nous allons faire l'analyse fréquentielle pour les échantillons tronqués sans valeur répétées dans le but de ne plus avoir des quantiles influencés par les valeurs extrêmes faibles.

Les données formées par les valeurs de pluie de différentes durées ayant des différents seuils seront ajustées aux lois de distributions à deux paramètres (log-Normale et la plus grande valeur extrême) et à trois paramètres (log-Normale (3p), Gamma (3p) et Weibull (3p)).

L'exemple détaillé sera donné pour la durée de 15mn et les résultats globaux seront mentionnés directement pour le reste des durées (30mn, 1H, 2H,3H, 6H, 12H et 24H) dans un tableau récapitulatif.

**Tableau 9 : Caractéristiques des échantillons (avec seuils) aux diverses durées : Station de Batna**

Durée	Seuil (mm)	Taille avec valeurs répétées	Taille sans valeurs répétées
15mn	2.2	199	68
30mn	3.8	161	77
1H	6.5	108	69
2H	8.1	117	73
3H	10.6	91	69
6H	12.8	100	78
12H	14	106	84
24H	14.4	130	98

**Tableau 10 : Statistiques de base des échantillons de pluie aux diverses durées (avec seuils) : Station de Batna**

Durée	Taille	Moy.	Ecart type	Coef. Vari.	Min.	Max.	Asymétrie	Aplatissement
15mn	68	6.5	4.43	0.53	2.2	20	4.391	4.095
30mn	77	9.95	5.65	0.57	3.8	38	7.368	12.724
1H	69	13.66	7.24	0.53	6.5	39.1	5.703	5.247
2H	73	15.86	7.84	0.495	8.1	47.1	6.646	6.915
3H	69	18.97	8.08	0.426	10.6	47.5	5.056	3.459
6H	78	22.42	8.53	0.38	12.8	49.2	4.304	2.062
12H	84	25.39	10.48	0.413	14.0	53.3	3.928	0.038
24H	98	27.8	13.74	0.494	14.4	73.8	6.064	3.666

**L'exemple détaillé pour la durée de 15mn**

Les données formées par les 68 valeurs (sans répétition) de pluie de durée de 15mn ayant pour seuil 2.2 mm, sont ajustées aux lois suscitées et les résultats sont donnés par le tableau 11 qui fait ressortir que la loi de Weibull (3p) soit à retenir pour la détermination des quantiles cherchés. L'ajustement des cinq lois de distributions pour les pluies de durée de 15mn est réalisé et les lois ajustées sont sélectionnées moyennant les critères *AIC* et *BIC* déjà définis.

**Tableau 11 : Choix de la loi de distribution pour les valeurs de pluie de durée de 15mn : Station de Batna**

Comparaison des lois alternatives	Tests d'adéquation			Critères de sélection		
Loi	$\chi^2$	<i>KS</i>	<i>AD</i>	<i>AIC</i>	<i>BIC</i>	Classement
Weibull (3 paramètres)	0.967	0.0408	0.146	336.11	341.103	1
Gamma (3 paramètres)	0.992	0.0448	0.212	337.05	342.045	2
Log-Normale (2 paramètres)	0.995	0.0519	0.258	340.83	344.164	3
Log-Normale (3 paramètres)	0.986	0.0567	0.301	341.63	346.625	4
Plus grande valeur Extrême (2 paramètres)	0.891	0.0610	0.528	344.82	348.152	5

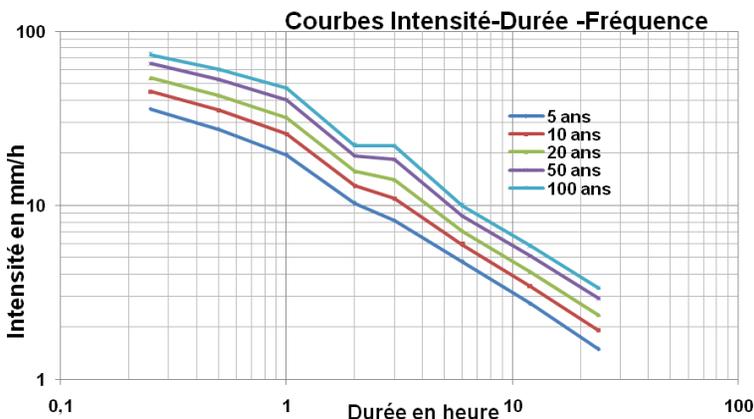
**Lois de distribution à retenir pour les durées de 30mn, 1H, 2H, 3H, 6H, 12H, et 24H**

Les données formées par différentes valeurs (sans répétition) de pluie de durée de 30mn à 24H ayant des seuils différents, sont ajustées aux lois suscitées et les résultats montrent que la loi de Weibull (3p) est la mieux adaptée pour les

durées de 30mn, 1H, 2H et 3H alors que la loi Gamma (3p) soit retenue pour 6H, 12H, et 24H. A l'exception de la durée de 15mn où toutes les lois se rapprochent sensiblement ; on constate, que les lois à trois paramètres surestimèrent les quantiles surtout concernant les fréquences faibles (50 ans et 100 ans) et que les lois à deux paramètres quant à elles, elles les sous-estimèrent. La loi log-Normale à 3 paramètres donne des valeurs intermédiaires pour tous les cas. Les mêmes données aux différentes durées et aux seuils différents, qui ont été enrichies vers des séries tronquées de tailles variées, sont ajustées aux meilleures lois sélectionnées moyennant toujours les critères AIC et BIC. La détermination des quantiles aux diverses durées correspondants aux périodes de retour (5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans), (voir tableau 12 et figure 6), a permet de même de tester les 07 modèles retenus (M3, M4, M5, M6, M8, M11 et M12).

**Tableau 12 : Quantiles pour Meilleures lois (au-delà des seuils) : Station de Batna**

Durée (h)	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0
PDR	Quantiles Meilleurs lois : Intensité (mm/h)							
T=5 ans	35.8	27.3	19.5	10.3	8.2	4.7	2.7	1.5
T=10 ans	45.1	35.1	25.7	13.0	10.9	5.9	3.4	1.9
T=20 ans	53.9	42.8	32.0	15.7	14.0	7.1	4.1	2.3
T=50 ans	65.1	52.7	40.6	19.3	18.4	8.7	5.1	2.9
T=100 ans	73.2	60.2	47.2	22.0	21.9	9.9	5.8	3.4
Loi	Weib. 3p	Weib. 3p	Weib. 3p	Weib. 3p	Weib. 3p	Gam. 3p	Gam. 3p	Gam. 3p



**Figure 6 : Courbes Intensité-Durée-Fréquence (au-delà des seuils et Meilleurs lois) : Station de Batna**

Les résultats de cette démarche sont consignés dans les tableaux 13 et 14.

**Tableau 13 : Résultats de l'application des modèles IDF (au-delà des seuils et Meilleurs lois) - Paramètres des modèles : Station de Batna**

Modèles	Paramètres des modèles								
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>k</i>	<i>m</i>
M3	52.691	0.241	1.441	1.432					
M4	7.828	0.162		0.774			8.087	2.194	
M5	17.243	1.105	1.010	1.185					
M6	10.980	1.144	0.528	1.170					
M8	66.530	26.170	0.522	0.035	1.640				
M11			23.952			0.705			0.243
M12			27.417		1.128	0.889			0.241

**Tableau 14 : Résultats de l'application des modèles IDF (au-delà des seuils et Meilleurs lois) - Critères de performance : Station de Batna**

Modèles	Critères de performance			
	$R^2$	<i>pente</i>	<i>interception</i>	<i>RMSE (mm/h)</i>
M3	0.9902	1.005	-0.372	1.9960
M4	0.9957	0.996	0.081	1.2993
M5	0.9927	0.999	-0.106	1.6941
M6	0.9933	0.996	0.010	1.6255
M8	0.9922	1.016	-0.782	1.8575
M11	0.9906	0.983	0.473	1.9266
M12	0.9911	0.996	0.014	1.8716

Le tableau 14 nous indiquent que le modèle M6 est le meilleur modèle parmi ceux à quatre paramètres avec une *RMSE* égale à 1.6255 mm/heure pour les meilleures lois de distributions sélectionnées. Le modèle M4 est le meilleur modèle parmi ceux à cinq paramètres avec une *RMSE* égale à 1.2993 mm/heure pour les meilleures lois de distributions sélectionnées.

Pour le présent cas de figure qui consiste à considérer les valeurs de pluies au-delà des seuils pour diverses durées, le modèle M4 se présente comme meilleur modèle à considérer pour l'élaboration des courbes intensité-durée-fréquence.

Depuis le début et pour tous les cas étudiés, le modèle M4 s'est avéré qu'il est le meilleur modèle eu égard à ces qualités de performances.

Le tableau 15 résume ces qualités et guide à la formulation finale ciblée par l'approche adoptée dans la présente étude.

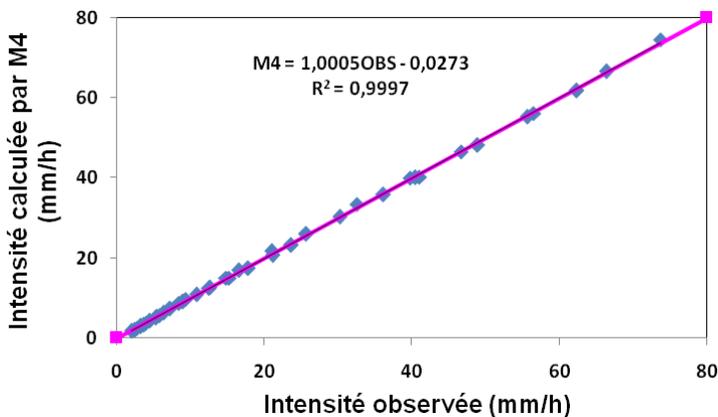
**Tableau 15 : Récapitulation des critères de performance du modèle M4 : Station de Batna**

Modèles	Critères de performance			
	$R^2$	<i>pen</i> t	<i>inter</i> ception	<i>RMSE</i> (mm/h)
M0 (ANRH)	0.9443	0.9970	-1.3300	6.2375
M4 (1max/an) Gumbel	0.9995	0.9998	0.001	0.5062
M4 (2max/an) Gumbel	<b>0.9997</b>	<b>1.0005</b>	<b>-0.0273</b>	<b>0.368</b>
M4 (Seuils) Meilleures lois	0.9957	0.9960	0.0810	1.2993

Finalement, le modèle à retenir pour la station de Batna codée (070316) s'écrit sous la forme donnée par la relation 19. Cette dernière relation est établie en appliquant la loi de Gumbel à des échantillons de pluies avec deux maximums par année pour diverses durées (de 0.25H à 24H).

$$i_{(t,T)} = \begin{cases} \frac{27+14 \ln T}{(t+0.974)}, & t \leq 0.5h \\ \frac{12+6.2 \ln T}{t^{0.789}}, & t > 0.5h \end{cases}; t \text{ en heure, } T \text{ en ans et } i \text{ en mm/h} \quad (19)$$

Les intensités calculées par le modèle M4 (relation 19) en fonction des intensités observées (2max/an et loi de Gumbel), sont illustrées par la figure 7.



**Figure 7 : Intensités du M4 en fonction des intensités observées (2max/an et loi de Gumbel) : Station de Batna**

## CONCLUSIONS

Le modèle retenu en fin est le résultat de toutes les vérifications appliquées aux données les plus complètes concernant la station pluviographique de Batna dans les « Hauts plateaux Constantinois ». Une formule d'usage pratique a été élaborée et mise au service des chercheurs et projeteurs dans le domaine de l'hydrologie appliquée et opérationnelle, notamment l'hydrologie urbaine. Au terme de cette contribution, il est fort utile de signaler les points suivants :

### A propos des lois de distribution

Les résultats font ressortir qu'il est tout à fait logique d'avoir, pour une durée fixe, des quantiles qui décroissent lorsque les lois ajustées sont à deux paramètres et ces mêmes quantiles sont exagérées lorsque qu'il s'agit des lois à trois paramètres.

La figure 6 affiche des cassures des courbes IDF, au niveau des durées 1H, 2H et 3H, ces cassures s'accroissent toute en allant vers les grandes périodes de retour (fréquences plus au moins rares), (20 ans, 50 ans et 100 ans), ce qui est un inconvénient d'avoir une disparition du parallélisme des courbes IDF qui mène en conséquence à ne plus avoir des proportions des quantiles en fonction des fréquences. En effet ce rapport est très utile dans des études de prédimensionnement moins rigoureuses.

### A propos des modèles testés

En rappelant que le modèle M4 est une association des modèles Montana et Talbot. On peut annoncer en outre : « avoir ajusté le meilleur modèle selon les critères *AIC* et *BIC* ne permet plus au modèle sélectionné d'avoir impérativement la plus faible *RMSE* ou les meilleures performance ».

## REFERENCES

- AKAIKE, H. (1974). A new look at the statistical model identification, IEEE Trans. Automat. Control, 19: pp.716-723.
- ANRH (1993). Etude des pluies de courtes durées- Elaboration de programmes relatifs à l'étude Intensité - Durée - Fréquence, Rapport n°1, Département: Hydrologie. Service: Climatologie. Algérie.

- BODY K. (1981). Analyse fréquentielle des pluies de l'Algérie – Synthèse régionale: Détermination des paramètres principaux par station et leur répartition spatiale, INRH Constantine. Algérie.
- CHOW V.T., Maidment D.R., Mays L.W. (1988). Applied Hydrology. Mc Graw-Hill International Editions. Civil Engineering Series.
- KASMI M. (2012). Contribution méthodologique à la modélisation de l'intensité de pluie de courte durée. Mémoire de Magister, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, Algérie.
- LABORDE J.P., MOUHOUS N. (1998). Hydrolab 98.2. Notice d'utilisation du logiciel Hydrolab. 43 p. Université de Nice-Sophia Antipolis. France.
- LABORDE J.P. (2000). Eléments d'hydrologie de surface. Université de Nice - Sophia Antipolis. France (204p).
- McCUEEN R. (1998). Hydrologic analysis and design. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- MOHYMONT B., DEMAREE G.R. (2006). Courbes Intensité - Durée - Fréquence des précipitations à Yangambi, Congo, au moyen de différents modèles de type Montana. Hydrological Sciences, Journal des Sciences Hydrologiques, 51(2).
- ONIBON H., OUARDA T.B.M.J., BARBET M., St-HILAIRE A., BOBEE B., BRUNEAU P. (2004). Analyse fréquentielle régionale des précipitations journalières maximales annuelles au Québec, Canada. Hydrological Sciences, Journal des Sciences Hydrologiques, 49(4).
- PRODANOVIC P., SIMONOVIC S.P. (2007). Development of rainfall intensity duration frequency curves for the City of London under the changing climate, London: Water Resour Res Report.
- RAIFORD J. P., AZIZ N.M., KHAN A.A., POWELL D.N. (2007). Rainfall Depth-Duration- Frequency Relationships for South Carolina, North Carolina, and Georgia, American Journal of Environmental Sciences 3 (2), pp. 78-84.
- RAO A.R., HAMED K.H. (2001). Flood Frequency analysis. CRC Press, New York, United States, pp. 350.
- SCHWARZ G. (1978). Estimating the dimension of a mode. Ann. Stat. (6), pp. 461-464.
- SORO G.E., GOULA Bi T.A., KOUASSI F.W., SROHOUROU B. (2010). Update of Intensity- Duration- Frequency Curves for Precipitation of Short Durations in Tropical Area of West Africa (Cote d'Ivoire), Journal of Applied Sciences, 10(9), pp.704-715.