

# CONTRIBUTION A LA CONSTRUCTION DES COURBES IDF EN ALGERIE DU NORD.

Karima SOLTANI <sup>1\*</sup>, Antoine Ndjomo <sup>1\*</sup>,

## Abstract

L'intérêt croissant ces dernières années pour l'étude des événements extrêmes tels que les sécheresses, les vagues de chaleur, les inondations, etc., est le fait de leur caractère imprévisible et des préjudices causés sur la société, ainsi que de leur fréquence remarquable. Il est toujours difficile de comprendre ces phénomènes et encore plus dur de les prévoir, puisqu'ils sont rares et suivent des lois statistiques différentes de celles des moyennes. Parmi ces événements, nous nous sommes intéressés, dans ce travail, au paramètre de la pluviométrie dans son caractère extrême, c'est-à-dire les averses de courte durée et de forte intensité. Les villes algériennes en général et les régions du littoral en particulier ont connu des inondations dévastatrices dues aux précipitations extrêmes. Ainsi, l'on se souvient de l'épisode pluvieux qui a eu lieu les journées du 09 au 10/11/2001, sur le littoral algérien, causant un bilan très lourd en dégâts humains et matériels notamment à Alger. Au vu de l'événement susmentionné et de plusieurs autres non cités ici, il est donc devenu capital de prévenir ce type d'événement. Ainsi, La prévention du risque pluvial revient à une identification rationnelle des intensités de pluies engendrant des surcharges des réseaux d'assainissement créant des inondations catastrophiques. L'insuffisance d'information quant aux pluies de courtes durées laisse prospecter des méthodes pouvant répondre à cette problématique. L'approche méthodologique adoptée consiste à construire les courbes IDF de précipitations, qui représentent un outil de première importance dans la planification, la gestion et la prévention du risque pluvial. Les courbes IDF sont modélisées sur la base de la méthode dite méthode fréquentielle globale, en se basant sur les épisodes pluvieux extrêmes de courte durée d'agrégation (en heure) : 1/4, 1/2, 1, 2, 3,6, 12 et 24h.

## Keywords

<sup>1</sup> Office national de la météorologie, Division Climatologique, Direction Régionale Ouest.

\*Correspondant:kari.mekki@yahoo.com

## Contents

<b>Contexte Théorique</b>	<b>1</b>
<b>1 Les données</b>	<b>2</b>
<b>2 METHODE</b>	<b>2</b>
2.1 La méthode POT . . . . .	2
2.2 Annualisation . . . . .	3
2.3 Equivalence gpd et gev . . . . .	3
<b>3 Outils de travail</b>	<b>3</b>
<b>4 Résultats</b>	<b>4</b>
4.1 les coefficients d'annualisation . . . . .	4
4.2 La modélisation . . . . .	4
4.3 Contrôle d'Ajustement . . . . .	4
4.4 Les Quantiles de Retour . . . . .	4
4.5 Graphes IDF . . . . .	4
<b>5 choix du seuil</b>	<b>5</b>
<b>6 Conclusion</b>	<b>6</b>
<b>References</b>	<b>6</b>

La courbe IDF (Intensité Durée Fréquence) est une relation entre l'intensité (notée  $i$ ) maximale de pluie  $i$  (en  $mm.h^{-1}$ ),

le pas de temps (ou durée d'agrégation)  $t$  de cette pluie (mesurée en minutes) et la période de retour  $T$  de l'événement pluvieux (mesurée en années) ( $T = \frac{1}{p}$ ), où  $p$  est la probabilité de dépassement annuelle. Les relations entre l'intensité, la durée et la fréquence d'apparition des pluies sont étudiées statistiquement et reportées selon des courbes caractéristiques appelées les courbes IDF. [1]

Les courbes IDF, sont des courbes qui caractérisent les précipitations extrêmes, en mettant en relation les intensités durées et fréquences des pluies maximales.

- $I$ : intensité en  $mm.h^{-1}$
- $t$ : le pas de temps.
- $a$  et  $b$  : des coefficients que nous calculerons plus tard.

D'une manière générale, l'intensité pluvieuse diminue avec la durée d'agrégation et augmente avec la période de retour, c'est-à-dire que les intensités sont d'autant plus faibles que la durée est plus longue. Cela implique que la fonction intensité doit être une fonction décroissante et ne peut donc présenter de bosses. La fig1 illustre l'allure générale de ces courbes, également appelées courbes enveloppes.

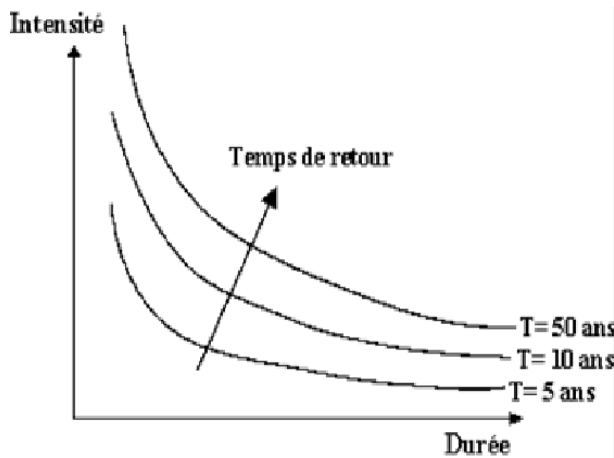


Figure 1. Allure générale des courbes IDF des pluies

Les IDF [2] sont élaborées après détermination des quantiles de retour pour chaque pas de temps, (par ex 15mn, 30,1 h, 2h, 3h, 6h 12h et 24h), et ce grâce à un modèle fréquentiel. Pour modéliser des pluies organisées en maxima en bloc, on utilise une méthode dite GEV (Generalised Extreme Value) ou loi de JENKINSON, qui s'appuie sur le théorème de Fisher-Tippet. C'est la méthode statistique adéquate pour ajuster les séries de maxima en bloc : c'est-à-dire les séries de  $k$  plus grands événements de chaque période d'observation donnée, la période d'observation est généralement l'année. Par exemple, pour constituer le fichier de pluies maxima en 24 heures annuel, après avoir dépouillé sur les pluviogrammes tous les épisodes pluvieux sur chaque année, on retiendra celui qui a cumulé le plus de pluie pendant une durée de 24 heures. On aura ainsi une seule valeur par année ; la taille de notre fichier sera égale au nombre d'années d'observation. (voir fig2), les points rouges indiquent les valeurs sélectionnées.

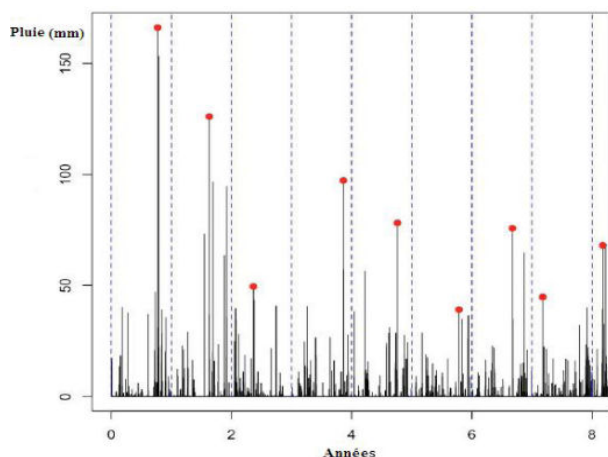


Figure 2. sélection des données maxima par bloc (une valeur par année)

Pour réaliser une étude IDF la même procédure sera suivie pour chaque pas de temps (15mn, 30mn, 1heure...etc.), on aura pour chaque année le maximum de pluie pour chaque pas de temps. Pour appliquer la GEV les spécialistes recom-

mandent un nombre d'années assez élevé ( $> 25$  ans au moins), l'estimation sera d'autant plus meilleure que la taille du fichier sera grande. La GEV consiste à calculer les paramètres suivants: Un paramètre d'échelle  $\sigma$  (un paramètre de position  $\mu$  et un paramètre de forme  $\xi$ , lesquels permettront d'estimer les quantiles de retour). La GEV est une famille qui réunit trois lois d'ajustement : GUMBEL ; lois de FRECHET, lois de WEIBULL, le paramètre de forme  $\xi$  initialement calculé décidera de laquelle de ces trois lois utiliser (voir tab1)

- $\xi = 0$  correspond au domaine d'attraction de GUMBEL
- $\xi > 0$  correspond au domaine d'attraction de FRECHET.
- $\xi < 0$  correspond au domaine d'attraction de WEIBULL.

## 1. Les données

Pour faire le travail, nous avons utilisé les données publiées dans le mémoire de fin d'études au niveau de l'IHFR de Mlle Boukhaloua Z. (juin 2008). [3] Les données concernent les deux stations Alger Dar El Beida et Oran (IHFR). Ces données ont été obtenues après dépouillement des pluviogrammes pour Alger DEB de 1981 à 2001 (21 ans), et Oran IHFR de 1990 à 2006 (17 ans). Les données sont supposées stationnaires, indépendantes, identiquement distribuées, critères du caractère aléatoire simple d'une série. A regarder les données de près, nous avons remarqué que ces dernières ne sont pas organisées en maxima annuels, mais pour chaque pas de temps les valeurs retenues sont celles dépassant un certain seuil (excès), et non pas seulement le maximum absolu. Ainsi, pour chaque année, et pour chaque pas de temps (15mn, ..24h), correspond un fichier de taille bien supérieur au nombre d'années d'observation. On dit alors que la série est tronquée. A titre d'exemple : à l'IHFR, pour le pas de temps de 15mn, ce n'est pas le cumul maximum de l'année qui a été retenu, mais tous les cumuls égalant ou dépassant 03 mm en 15mn, pour cette intensité ( $3\text{mm}/15\text{mn} = 12\text{mm/h}$ ), et pour l'année 1996, six (06) épisodes pluvieux ont égalé ou dépassé ce seuil. Pour la période 1990-2006 à la station IHFR, on compte 122 épisodes pluvieux pour ce pas de temps et pour cette intensité. Autre exemple à la station DEB, on a compté 114 épisodes pluvieux dont les hauteurs de pluie ont égalé ou dépassé 11 mm en 03 heures (soit  $3.67\text{mm}/\text{heure}$ ) pour toute la période 1981-2001.

## 2. METHODE

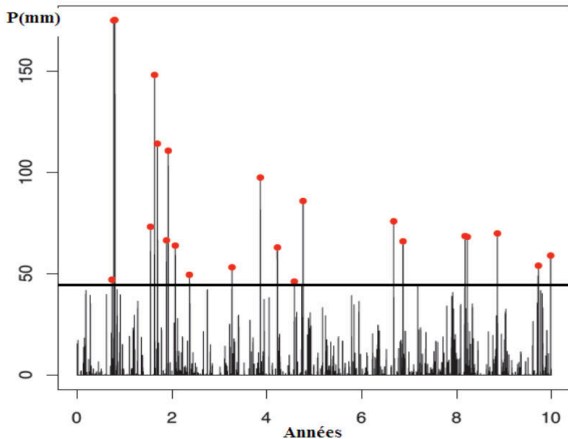
### La méthode POT

La méthode de la GEV et ses trois variantes (spécialement Gumbel) n'est pas appropriée pour modéliser ces séries, d'autant plus que le nombre d'années dépouillées pour chaque station est inférieur au nombre recommandé pour ce genre d'étude, qui doit être minimum 25 ans. Les spécialistes recommandent pour ce genre de séries de passer à une autre méthode : la loi de Pareto Généralisée "GP" ou « Generalized Pareto Distribution en anglais "GPD", qui s'appuie sur le théorème de

Loi des valeurs extrêmes généralisée(GEV)	Lois qui découlent de la GEV
$H_{\xi, \mu, \sigma}(X) = \exp(-[1 + \xi(\frac{X-\mu}{\sigma})]_{+}^{\frac{-1}{\xi}})$ si $\xi \neq 0$	LOI DE GUMBEL : $\xi \rightarrow 0$ $H_{\xi, \mu, \sigma}(X) = \exp(\exp(-[\xi(\frac{X-\mu}{\sigma})]_{+}^{\frac{-1}{\xi}}))$ si $\forall X \in R$
	LOI DE FRECHET : $\xi > 0$  $H_{\xi, \mu, \sigma}(X) = \begin{cases} 0 & \text{si } X \leq \mu \\ \exp(-\frac{x-\mu}{\sigma} \frac{-1}{\xi}) & \text{sinon.} \end{cases}$
	LOI DE WEIBULL : $\xi < 0$  $H_{\xi, \mu, \sigma}(X) = \begin{cases} \exp(-(-\frac{x-\mu}{\sigma})^{\frac{-1}{\xi}}) & \text{si } X < 0. \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$

**Table 1.** Les différentes lois de la famille GEV.

BalkemadeHaan-Pickands. Cette loi est justement appropriée pour ajuster les séries tronquées, sauf qu’il faut désigner un seuil pour le déroulement des calculs. Il s’agit d’un modèle POT (Peaks Over Threshold) où Threshold veut dire "seuil" en anglais.(voir fig3)



**Figure 3.** Méthode POT : sélection des données supérieures à un seuil.

Le modèle renvoie deux paramètres pour la GPD ( échelle et forme); le seuil ici représente le paramètre de position (borne inférieure). Si le paramètre de forme égale zéro, la série sera plutôt ajustée par la loi "exponentielle", c’est la loi équivalente à la loi de Gumbel dans la GEV, dans ce cas, le modèle ne renvoie plus qu’un seule paramètre : l’échelle, ou le Gradex (gradient de l’exponentielle, c’est la pente de la droite asymptotique d’ajustement). Le tableau 2 (tab2) résume les lois de la famille GPD

**Annualisation**

Le passage d’une GPD à une GEV se fait grace à ce qu’on appelle l’annualisation des séries: on calcule  $\lambda$  coefficient d’annualisation.

$$\lambda = \frac{n}{n_a}$$

$n$  et  $n_a$  représentent respectivement : la taille de la série et le nombre d’années

**Equivalence gpd et gev**

$GPD \rightarrow GEV$ :

$$\sigma_{GEV} = \sigma_{GPD} \lambda^{-\xi}, \xi_{GEV} = \xi_{GPD} = \xi$$

$$\mu = u + \frac{\sigma_{GPD}(1 - \lambda^{-\xi})}{\xi}$$

$EXP \rightarrow GUM$ :

$$\mu = u + \sigma \ln(\lambda), \sigma_{EXP} = \sigma_{GUM} = \sigma$$

Ces correspondances ont été démontrées en utilisant la relation de LANGBEIN-TAKEUCHI (1984):

$$F_A(x) = \exp(-\lambda(1 - F_T(x)))$$

$$F_A(x) = 1 + \frac{\ln(F_A(x))}{\lambda}$$

$F_A(x)$ : loi Annuelle de probabilités.  
 $F_T(x)$ : loi de probabilité d’une série Tronquée.  
 Il y’a correspondance entre les paramètres de la loi Exponentielle ajustée sur la série tronquée et les paramètres de la loi de Gumbel, loi annualisée: -les paramètres d’échelle restent égaux:  $\sigma_{GUM} = \sigma_{EXP} = \sigma$  les deux lois possèdent la même pente asymptotique, c’est à dire le même gradex. - les paramètres de positions sont réunis dans l’équation :

$$\mu = u + \sigma \ln(\lambda)$$

outre l’annualisation, il est impératif de designer le "seuil", pour chaque pas de pour chaque pas de temps (chaque série),pour les calculs ultérieurs,

**3. Outils de travail**

La complexité des équations GEV et GPD nécessitant un outil rationnel detravail ; les calculs ont été réalisés sur logiciel R, grâce notamment au package "extRemes", gracieusement mis à la disposition publique par un éminent spécialiste en la matière, l’américain "Eric Gilleland".

Loi de Pareto généralisé GDP	Lois qui découlent de la GDP
Pour un seuil $u$ ,	Loi exponentielle: $\xi \rightarrow 0$
$G_{\xi,\mu,\sigma} = 1 - (1 - \xi (\frac{z-u}{\sigma}))^{\frac{1}{\xi}}$	$G_{\xi,\mu,\sigma} = 1 - \exp(-\frac{x-u}{\sigma})$
si $\sigma \neq 0$	Borne inférieure $u$ , borne supérieure $+\infty$ . LOI DE PARETO de type I : $\sigma > 0$ LOI BETA : $\sigma < 0$

**Table 2.** Les différentes lois de la famille GDP

## 4. Résultats

### les coefficients d'annualisation

Les coefficients utilisés pour l'ajustement du modèle GDP(GP), ont été calculés et consignés dans les tableaux tab3 et tab4 :

### La modélisation

L'ajustement par la GDP permet conduit tout d'abord aux paramètres d'échelle et de forme estimés par la méthode du maximum de vraisemblance(MLE) très recommandée dans ce cas. Les résultats sont consignés dans les tableaux tab5 et tab6.

Les paramètres du modèle, estimés par la méthode du maximum de vraisemblance( MLE) tres recommandée dans ce cas, et les résultats sont consignés dans le tableau :

### Remarque

Une observation faite sur le paramètre de forme pour la station de l'IHFR nous permet de conclure que certaine valeurs de  $\xi$  sont plus proches de zéro en valeur absolu. Ainsi, ais il est préférable de recalculer le modèle avec la loi Exponentielle, les paramètres de la loi Exponentiel estimés à partir de l'ajustement des séries tronquées sur ORAN

### Contrôle d'Ajustement

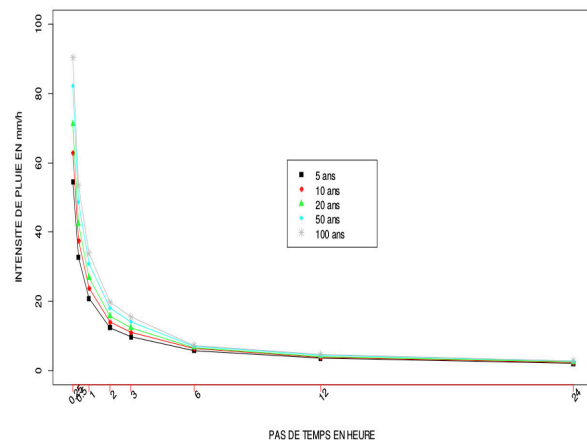
Le package offre les différents graphes caractérisant la qualité de l'ajustement, NOTAMMEN LE Q-QPLOT,ainsi que les critères AIC et BIC. Les graphes de la figure fig4 suivante illustre le contrôle de l'ajustement.

### Les Quantiles de Retour

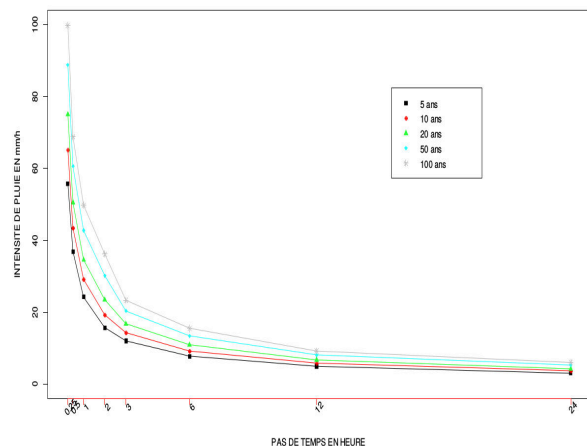
le tableaux (tab9et tab10) contient les quantiles de retour sur la ville d'Oran obtenus avec la loi exponentielle. (Hauteur des pluies, en mm).

## 4.5 Graphes

## IDF



**Figure 5.** Representation des IDF à Oran



**Figure 6.** Representation des IDF à Dar El Beida..

### Remarque :

A travers les courbes IDF que nous venons de tracer deux lois essentielles se dégagent:

- Pour une même période de retour, l'intensité d'une pluie est d'autant plus forte que sa durée est courte.
- A durée de pluie égale, une précipitation sera d'autant plus intense que sa fréquence d'apparition sera petite (donc son temps de retour sera grand).

Durée(h)	1/4	1/2	1	2	3	6	12	24
Seuils(mm)	3	3.8	6	8	11	13	15	17
Effectifs	122	129	108	107	84	85	90	86
$\lambda$	7.17	7.58	6.35	6.29	4.94	5.00	5.29	5.06

**Table 3.** coefficients d’annualisation pour la station Oran ihfr

Durée(h)	1/4	1/2	1	2	3	6	12	24
Seuils(mm)	3	4	6	8	11	13	15	17
Effectifs	183	186	158	151	114	127	143	152
$\lambda$	8.71	8.85	7.52	7.19	5.43	6.05	6.51	7.24

**Table 4.** coefficients d’annualisation pour la station Alger DEB

### Coefficients de Montana

Les coefficients de Montana s’adressent aux collectivités locales désireuses d’engager des travaux d’assainissement. Ils intéressent aussi les cabinets d’étude, d’expertises ou d’assurance dans le cadre d’études pluviométriques. Ils constituent une référence pour dimensionner les ouvrages destinés à évacuer ou canaliser les eaux. Les coefficients de Montana permettent de connaître, pour une durée de pluie donnée, la hauteur d’eau maximale attendue pour chacune des durées de retour suivantes (durée généralement utilisée) : 5 ans, 10 ans, 20 ans, 30 ans, 50 ans et 100 ans. Les coefficients de Montana permettent de déterminer pour un intervalle de temps compris entre 2 pas de temps (ou durées de cumul) non-consécutifs la hauteur de pluie ou l’intensité maximale selon différentes durées de retour. Les coefficients de Montana sont liés aux intensités par la formule:

$$I = \frac{a}{t^{-b}}$$

$I$ : intensité en  $mm.h^{-1}$ .

$t$ : le pas de temps.

$a$  et  $b$  sont appelés coefficients de Montana, ils sont utiles pour les calculs de dimensionnement des ouvrages hydrauliques, et propres à chaque région L’estimation des paramètres et de Montana est simplifiée en prenant le logarithme de cette formule de manière à obtenir une relation linéaire tel que :

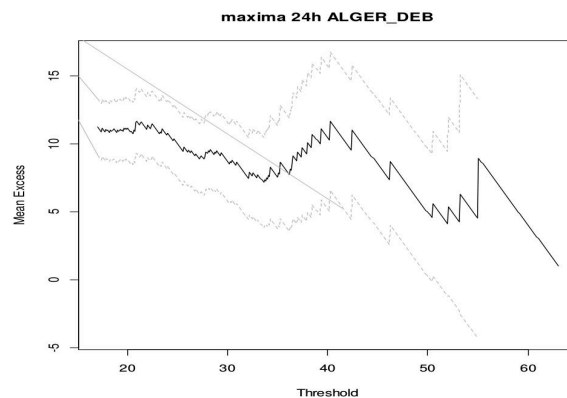
$$\ln(I) = \ln(a) - b \ln(t)$$

Après calcul on obtient les coefficients de Montana  $a$  et  $b$  pour les deux stations dans le tableau suivant:

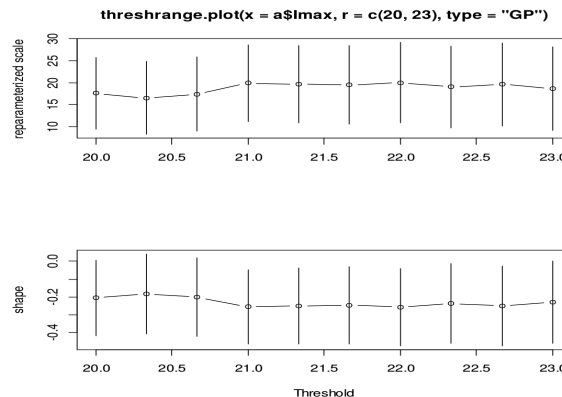
Return level	Alger		Oran	
	A	B	A	B
T=5	2.2	2.3	1.2	1.3
T=10	2.2	2.3	1.2	1.3
T=20	2.2	2.3	1.2	1.3
T=50	2.2	2.3	1.2	1.3
T=100	2.2	2.3	1.2	1.3

### 5. choix du seuil

Dans ce travail nous avons pris les seuils tels que choisis par l’auteur de l’ouvrage, mais à l’heure actuelle beaucoup de spécialistes ont mis et continuent de mettre à notre disposition des méthodes rationnelles pour régler la question. Un des outils de choix du seuil est le graphe de la fonction moyenne des excès (FME), accompagné du graphe threshold .plot



**Figure 7.** choix du seuil par la méthode de la fonction moyenne des excès(mean excess plot)



**Figure 8.** choix du seuil par la méthode de la fonction moyenne des excès(mean excess plot)

Pas de temps(h)	1/4	1/2	1	2	3	6	12	24
Paramètre $\sigma$	3.1	3.5	4.9	4.3	5.7	10.0	11.3	13.15
Erreur standard	0.4098	0.4012	0.6055	0.6367	0.8763	1.3925	1.4581	1.9223
Paramètre $\sigma$	-0.008	1.7e-7	3.6e-7	1.8e-7	6.5e-8	-0.260	-0.199	-0.171
Erreur standard	0.0869	0.0823	0.1018	0.0951	0.1105	0.0906	0.0747	0.0997

**Table 5.** Les paramètres de la loi de Pareto généralisé GP estimés à partir de l’ajustement des séries tronquées sur ORAN\_IHFR

Pas de temps(h)	1/4	1/2	1	2	3	6	12	24
Paramètre $\sigma$	2.6	3.2	3.8	4.3	6.4	7.7	10.5	12.3
Erreur standard	0.2622	0.3479	0.4781	0.5535	0.9502	1.0363	1.2718	1.4748
Paramètre $\sigma$	0.0659	0.0955	0.1576	0.2268	0.1204	0.1402	0.0951	0.1298
Erreur standard	0.0662	0.0764	0.0962	0.1017	0.1124	0.0989	0.0864	0.864

**Table 6.** Paramètres de la loi de Pareto généralisé GP estimés à partir de l’ajustement des séries tronquées sur ALGER\_DEB

L’interprétation de ces graphes est souvent difficile mais l’idée est de rechercher le seuil dans un intervalle qui présente une linéarité, par cette méthode le choix du seuil est empirique. il est à noter que la sélection rationnelle du seuil est un sujet d’actualité, et reste encore à l’état de recherche. Quelques auteurs ont proposé des méthodes. applicables dans R, tels que les packages ” tea”, ” threshr”, et d’autres .

## 6. Conclusion

La méthode POT est très intéressante pour modéliser les extrêmes non seulement en cas de nombre d’années insuffisant mais même pour un nombre d’années assez élevé, ainsi même si on dispose de quarante ou soixante années, la méthode GPD, augmente considérablement la taille du fichier grâce à la technique de l’annualisation.

La seule difficulté réside dans le choix du seuil, qui doit être optimum; ni trop bas sinon les estimations seront biaisées, ni trop élevé, sous peine de négliger des valeurs déterminantes.

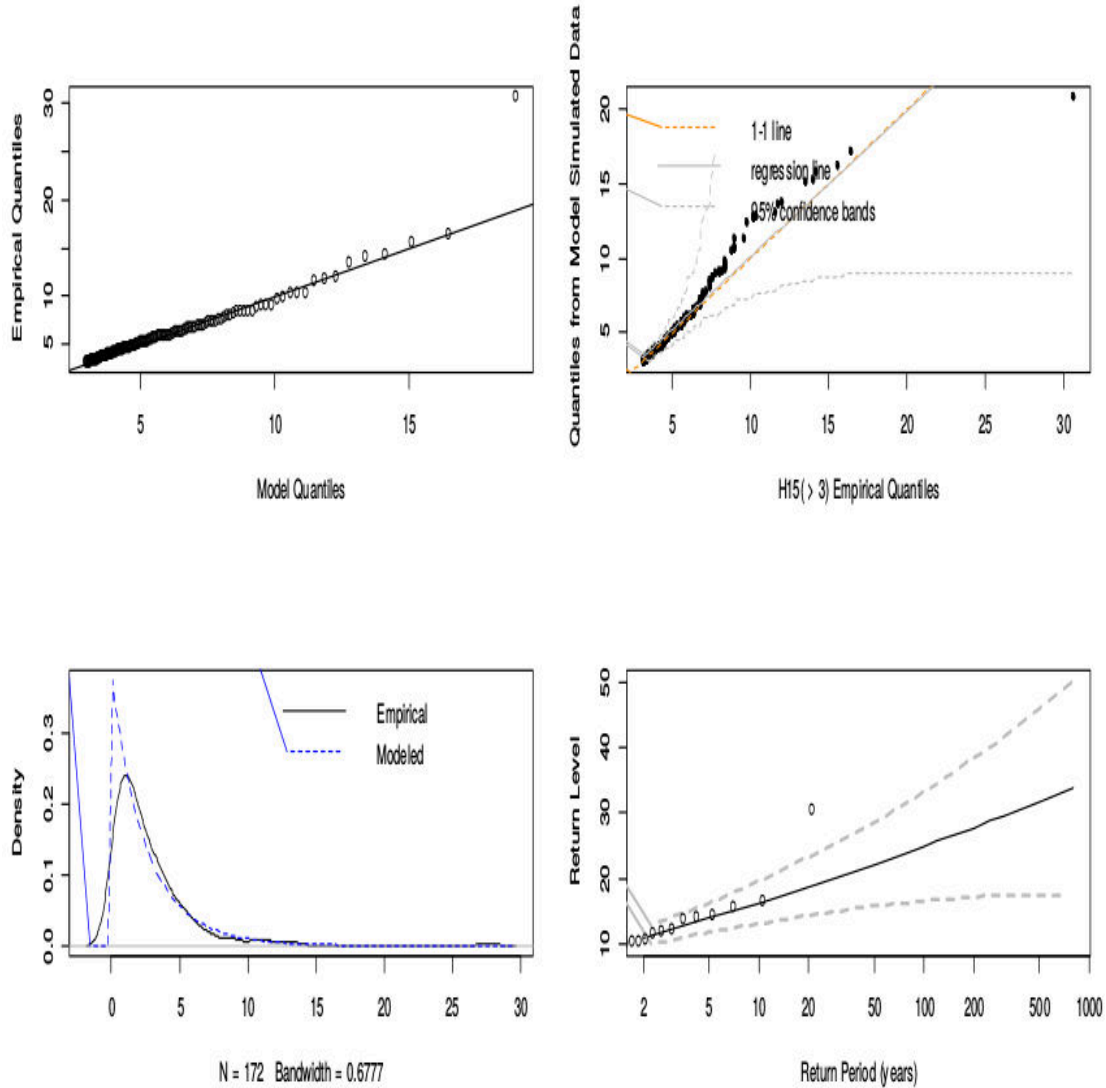
## References

- [1] Paul Meylan, Anne-Catherine Favre, and André Musy. *Hydrologie fréquentielle: une science prédictive*. PPUR presses polytechniques, 2008.
- [2] Eric Gilleland, Richard W Katz, et al. extremes 2.0: an extreme value analysis package in r. *Journal of Statistical Software*, 72(8):1–39, 2016.
- [3] Zoubida Boukhaloua. *Les courbes intensité durée fréquences exemples d’Alger et d’Oran*. IHFR d’Oran, 2007.



Pas de temps(h)	1/4	1/2	1	2	3	6	12	24
Paramètre $\sigma$	3.082	3.594	4.3701	5.1631	5.89	7.9607	9.4666	11.224
Erreur standard	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2

**Table 7.** Paramètres de la loi de Pareto généralisé « GP » estimés à partir de l’ajustement des séries tronquées sur ALGER\_DEB.



**Figure 4.** Températures prévues par ALADIN en fonction des températures observées

Durée de retour (an)	pas de temps (jour)					
	5	10	20	30	50	100
1/4	13.69	15.80	17.90	19.20	20.80	22.90
1/2	16.80	19.30	21.80	23.30	25.10	27.60
1	20.90	24.00	27.00	28.80	31.00	34.00
2	25.60	29.20	32.70	34.80	37.51	41.10
3	29.60	33.70	37.70	40.10	43.10	47.20
6	38.50	44.00	49.60	52.80	56.80	62.40
12	45.70	52.30	58.80	62.60	67.50	74.10
24	53.10	60.90	68.70	73.20	79.00	86.80

**Table 8.** Niveaux de retour sur la ville d’Oran obtenus avec la loi exponentielle.

Durée de retour (an) pas de temps (jour)	5	10	20	30	50	100
$\frac{1}{4}$	13.93	16.29	18.75	20.25	22.19	24.93
$\frac{1}{2}$	18.43	21.73	25.27	27.45	30.31	34.43
1	24.22	29.11	34.56	38.04	42.75	49.78
2	31.34	38.52	46.92	52.48	60.26	72.36
3	36.02	42.82	50.21	54.83	60.97	69.94
6	46.42	55.48	65.47	71.78	80.25	92.77
12	59.07	69.64	80.94	87.90	97.06	110.22
24	72.92	87.08	102.57	112.31	125.32	114.41

**Table 9.** Niveaux de retour (quantiles) sur la ville d'Alger.