

Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales dans le bassin versant Lebna, Cap-bon, Tunisie

Zarrouf Rafika^{1,2}, Chargui Sameh¹, Ben Khelifa Walid³

¹ Georesources Laboratory, Water Research and Technology Centre, Borj CedriaEcopark, Tunisia

² Faculty of Sciences of Sfax, Sokra Road, 3000 Sfax, Tunisia

³ National Institute of Agronomy of Tunisia, 43 Avenue Charles Nicolle, Mahrajène, 1082 Tunis, Tunisia

Résumé

Les précipitations extrêmes présentent un large domaine d'étude et d'intérêt pour les chercheurs, les hydrologues et les météorologues. L'estimation de ses valeurs extrêmes est un élément indispensable : il fournit un outil d'aide à la décision surtout lorsque on parle en termes de risque.

Ce papier a pour objet la détermination d'une loi théorique qui donne une représentation adéquate de la fonction de distribution des pluies journalières maximales annuelles, dans le bassin versant Lebna, au Nord Est de la Tunisie. La période choisie pour cette étude s'étale de 1980 jusqu'au 2019, où 11 stations pluviométriques ont été utilisées. Trois lois statistiques ont montré une bonne adéquation (la loi Log Normale, Exponentielle et Gumbel) et ont permis la détermination des quantiles et par la suite la cartographie de leur distribution spatiale. Les stations pluviométrique Oued Labid bge, Sidi Bouali Cap Bon et Takelsa Ribereau ont montré les valeurs extrêmes les plus fortes, alors que les deux stations Bge Sidi Abdelmonem aval et Tazoghbrane ont dévoilé les valeurs les plus faibles.

Mots clés : Pluies journalières maximales, bassin versant Lebna, analyse fréquentielle, quantiles

Frequency analysis of annual maximum daily rainfall in Lebna basin, Cap bon, Tunisia

Abstract:

Extreme precipitation presents an important subject and interest for researchers, hydrologists, and meteorologists. Estimation of these extreme values is essential to provide a decision-making tool, especially when speaking in terms of risk.

The paper targets to determine a theoretical function that gives an adequate representation of the annual maximum daily rainfall distribution function, in Lebna basin (Nord Est of Tunisia). Selected period for this study ranges from 1980 to 2019 and eleven rain gauges were used. As result, three statistical laws showed a good adequacy (the Log Normal, Exponential and Gumbel law) and allowed the determination of the quantiles and subsequently the mapping of their spatial distribution. The rain gauges Oued Labid bge, Sidi Bouali Cap Bon and Takelsa Ribereau showed the highest extreme values, while the two stations Bge Sidi Abdelmonem aval and Tazoghbrane revealed the lowest values

Key Words : Maximum daily rainfall, Lebna watershed, frequency analysis, quantiles.

¹ Corresponding author: chargui_sameh@yahoo.fr

INTRODUCTION

L'étude des valeurs extrêmes de la pluviométrie devient de plus en plus un défi majeur pour les scientifiques et les décideurs, surtout après l'augmentation de leur fréquence dû aux changements climatiques. Selon le 6^{ème} rapport du GIEC portant sur le changement climatique 2021[4]: le changement climatique a intensifié le cycle de l'eau et a apporté des pluies plus intenses, avec les inondations qui les accompagnent, aussi les sécheresses deviennent plus intenses dans beaucoup de régions [2, 10]. Il s'agit de faire face aux risques des inondations. Une bonne connaissance des pluies abondantes tels que les valeurs maximales journalières est nécessaire pour étudier ces extrêmes. L'analyse fréquentielle est parmi les méthodes statistiques fréquemment utilisées [5, 6, 7] pour estimer l'occurrence et l'intensité de ces maximums. Cette approche statistique est basée sur l'analyse des événements passés pour définir les probabilités d'apparition futures. Le but est de chercher la meilleure loi de probabilité avec une bonne adéquation aux valeurs observées. Dans la littérature plusieurs lois ont été utilisées pour modéliser les valeurs extrêmes tels que la loi de Gumbel et la loi GEV [5, 6, 7]. L'étude porte sur le bassin versant de Lebna, situé au Cap-Bon, dans un contexte méditerranéen connu par sa forte variabilité climatique [3] et qui connaît des événements extrêmes exceptionnels et des sécheresses récurrentes. Ainsi, une connaissance des quantiles de précipitations extrêmes s'avère nécessaire notamment dans un contexte où le changement climatique devrait s'accompagner d'une intensification du cycle hydrologique globale. L'objectif de ce sujet est de faire une analyse fréquentielle des précipitations extrêmes et de déterminer les quantiles des pluies journalières maximales annuelles dans ce bassin. L'approche méthodologique consiste à une analyse de données de la pluviométrie journalière pour une période qui couvre les quatre dernières décennies, de fournir une vision régionale de l'organisation spatiale de ces extrêmes.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Zone d'étude : Bassin versant Lebna

Le bassin versant Lebna est situé dans le gouvernorat de Nabeul, sur la péninsule du Cap Bon, au Nord-Est de la Tunisie (Figure 1). Ce bassin est délimité à l'Ouest, dans sa partie aval, par le djebel Abderrahmane principalement couvert par du maquis et de la forêt (altitude maximale 650 m). La partie centrale est constituée de reliefs collinaires (altitude moyenne 350 m) et occupée principalement par des associations polycultures / terres de parcours. La partie Est à l'aval présente un relief peu marqué [8, 11].

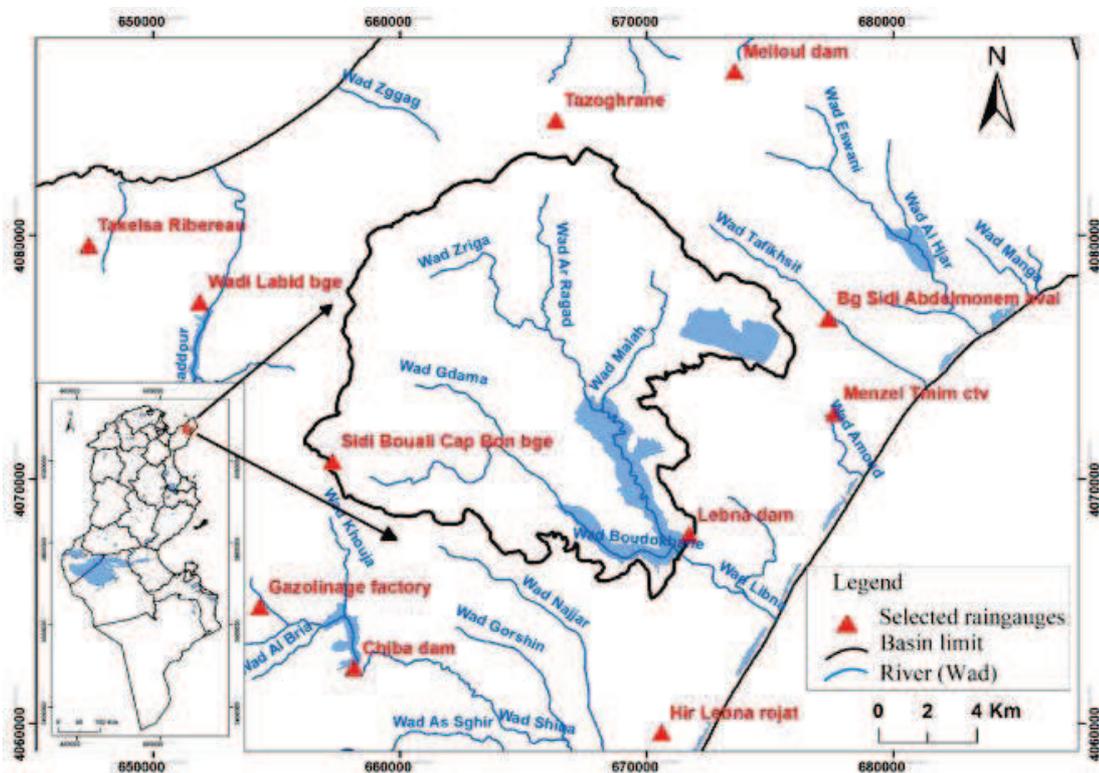


Figure 1- Localisation du bassin versant Lebna [3]

Pour étudier les pluies journalières maximales au sein du bassin versant Lebna, on a utilisé en totalité 11 stations pluviométriques (figure 1). Les stations retenues sont : Barrage Melloul, Bge Sidi Abdelmonem aval, Barrage Chiba, Mzel Temime ctv, Oued Labid bge, Hir Lebna rojat, Barrage Lebna, Takelsa Ribereau, Tazoghane, Usine de gazolinage et Sidi Bouali Cap Bon. Ces données ont été fournies par la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE). Les coordonnées ainsi que les périodes d'observations de chaque station sont dans le tableau 1.

Tableau 1 - Les stations pluviométriques utilisées dans le bassin versant Lebna.

Station	Date d'observation	X (UTM)	Y (UTM)	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
Barrage Melloul	1990-2019	673564.45	4086716.56	565,87	180,36	0,32
Barrage Chiba	1980-2019	658143.65	4062276.88	552,44	151,12	0,27
Barrage Lebna	1990-2019	671718.49	4067721.48	456,86	148,87	0,33
Bge SidiAbdelmonem aval	1980-2019	677385.21	4076594.78	528,36	119,02	0,23
Hir lebna rojat	1980-2019	670611.44	4059619.38	455,12	158,29	0,35
Mzel Temime ctv	1980-2019	677617.70	4072714.73	479,65	132,15	0,28
Oued Labidbge	1980-2019	651897.79	4077268.01	600,37	152,2	0,25
Sidi Bouali bge	1980-2019	657272.93	4070739.88	628,94	158,3	0,25
Takelsa Ribereu	1980-2019	647396.85	4079596.94	524,99	140,69	0,27
Tazoghane	1980-2019	666321.72	4084718.03	543,49	156,21	0,29
Usine de gazolinage	1980-2019	654327.11	4064770.62	484,35	150,49	0,31

Le bassin d'étude est caractérisé par une variabilité pluviométrique dans l'espace et dans le temps. Les coefficients de variations (tableau 1) sont très proches les uns aux autres, Ils varient entre 0,35 et 0,23. La station de Hir lebna rojat est marquée par le coefficient de variation le plus élevé qui est d'environ 0,35 et un écart type de 158,29 alors que le coefficient de variation le plus faible 0,23 est observé au niveau de la station Bge Sidi Abdelmonem aval. Ce coefficient est plus élevé en aval du bassin qu'en amont.

Analyse fréquentielle et caractérisation des événements rares

- **Principe**

L'évaluation des statistiques liées aux événements rares paraît comme un sujet qui suscite de plus en plus l'intérêt des scientifiques et des décideurs dans le domaine de l'eau. Dans certaines études, il est nécessaire d'approcher en valeur les événements extrêmes pour des sites où il existe peu, ou aucune donnée, ainsi que leurs périodes de retour [5]. L'estimation des valeurs rares ou extrêmes est basée sur l'ajustement statistiques d'une longue série des données observées à un modèle statistique et par la suite la détermination des quantiles. Ces quantiles seront utiles pour la conception des ouvrages hydrauliques tels que ceux de protection contre les inondations. Cette méthode est très utilisée dans la littérature: à l'aide des tests d'adéquation, il s'agit de rechercher une loi de probabilité et une méthode d'estimation. Cette méthode sera appliquée aux séries de pluies maximales journalières annuelles. Les données journalières de onze stations pluviométriques, situées à l'intérieur et aux alentours du bassin versant de Lebna ont été utilisées pour déterminer les lois la plus adaptées. Et par la suite la détermination des quantiles pour différentes périodes de retour.

- **Logiciel utilisé : Hyfran**

Le logiciel HYFRAN-PLUS a été développé par l'INRS-Eau en collaboration avec le service hydraulique de Hydro-Québec. Il permet d'ajuster un nombre important de distributions statistiques à une série de données qui vérifient les hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité. Un Système d'Aide à la

Décision (SAD) a été développé pour permettre de choisir la classe de distributions la plus adéquate pour estimer le quantile de période de retour élevée.

- **Lois statistiques utilisées**

Afin de déterminer la loi la plus adaptée aux séries de pluviométries journalières maximales du bassin versant de Lebna, on a testé huit lois qui sont : loi exponentielle, loi GEV, loi de Gumbel, loi Weibull, loi normale, loi log normale a deux paramètres et loi de Pearson type III (tableau 2).

Tableau 2- Lois statistiques sélectionnées pour l'ajustement des pluies journalières maximales

Loi	Fonction de densité de probabilité	Paramètres
GEV	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 - \frac{k}{\alpha}(x-u) \right]^{\frac{1}{k}-1} \exp \left(- \left[1 - \frac{k}{\alpha}(x-u) \right]^{\frac{1}{k}} \right)$	α, u, k
Gumbel	$f(x, \alpha, u) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[-\frac{x-u}{\alpha} - \exp \left(-\frac{x-u}{\alpha} \right) \right]$	$\alpha, u,$
Log normale	$f(x, \alpha, u) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{[\ln x - u]^2}{2\sigma^2} \right]$	σ, u
Pearson type III	$f(X) = \frac{\alpha^\lambda}{\Gamma(\lambda)} e^{-\alpha(x-m)} (X - m)^{\lambda-1}$	α, λ, m
Weibull	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha} \right)^{c-1} \exp \left[-\left(\frac{x}{\alpha} \right)^c \right]$	α, c
Normale	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$	σ, μ
Exponentielle	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[-\frac{x-m}{\alpha} \right]$	α, m

- **Validité des modèles**

Le choix d'une loi de probabilité pour représenter une variable donnée dépend de plusieurs facteurs. De nombreuses techniques existent pour comparer les différentes méthodes d'analyse des lois de probabilité et pour choisir le meilleur. Dans cette étude, la sélection est faite sur la base de deux critères statistiques: le critère d'information d'Akaike (AIC) proposé par [1] et le critère d'information bayésien (BIC) proposé par [9]. Les meilleurs ajustements correspondent aux plus faibles valeurs de ces critères.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Caractérisation de la pluviométrie journalière maximale annuelle

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont les précipitations journalières observées à 11 stations pluviométriques pendant la période 1980 à 2019. La moyenne de nombres de jours pluvieux varie de 51 à 88 jours pluvieux (Figure 2) : la valeur la plus élevée est enregistrée à la station de Barrage Chiba (88 jours pluvieux) alors que la plus faible est dans la station Hir Lebna rojat avec 51 jours pluvieux.

Les pluies journalières minimales dans le bassin de Lebna varient de 21 à 34 mm, alors que les pluies journalières maximales s'échelonnent de 85 à 247 mm sur l'ensemble des pluviomètres étudiés. Les valeurs journalières les plus élevées sont de 247mm, 218mm, 194mm, 180mm et 166mm et qui sont respectivement enregistrées à Takelsaribereau, Oued Labidbge, Hir lebna rojat, Bge Sidi Bouali Cap Bon et Usine de gazolinage, soit la partie Est du bassin. La majorité de ces valeurs sont ceux de l'automne 2018/2019. Ces sont les pluies torrentielles qui ont causés des dégâts énormes dans la région du Cap-Bon.

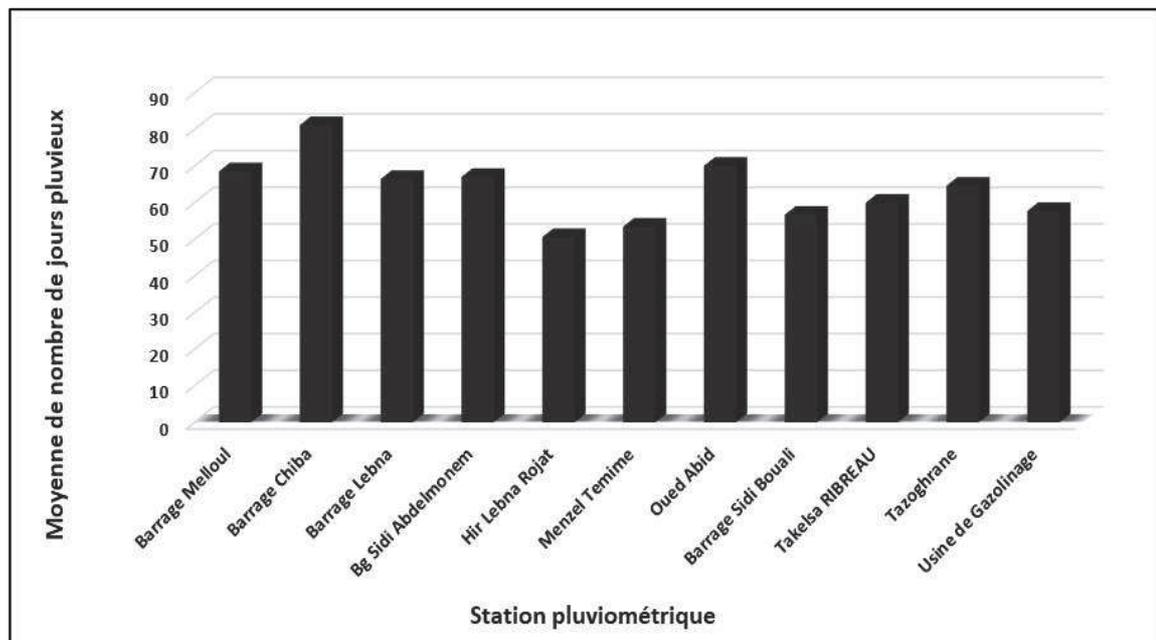


Figure-2 La moyenne des nombres des jours pluvieux

D'après le tableau de statistique descriptive des précipitations maximales journalières (Tableau 3), on a remarqué une irrégularité marquée par un coefficient de variation qui varie de 0.38 à 0.58. La variabilité est bien marquée dans la partie Ouest du bassin verant. La pluie journalière moyenne varie de 60.7mm (Barrage Lebna) à 82.1mm (Barrage Sidi Bou ali). La faible valeur est à la station Bg Sidi abdelmonem alors que la forte valeur est enregistrée à Takelsa Ribereau. Généralement, les valeurs les plus élevées correspondent aux stations Oued Labid bge, Sidi Bouali Cap Bon et Takelsa Ribereau.

Tableau 3- Statistiques descriptives des précipitations maximales journalières

Station	Min	Max	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Coef de variation
Barrage Melloul	23	150	60.8	29	56	0.477
Barrage Chiba	24	132	65	30.5	57.5	0.468
Barrage Lebna	19	127	60.7	27.7	54	0.457
Bge Sidi Abdelmonem aval	24	118	59	22.4	52	0.380
Hir Lebna rojat	28	194	63	36	54	0.571
Mzel Temime ctv	20	144	62.6	26.3	58	0.419
Oued Labid bge	26	218	72.3	40.1	59	0.555
Sidi Bouali Cap Bon	34	180	82.1	40.5	69.5	0.494
Takelsa ribereau	27	247	69.2	40.7	62	0.589
Tazoghane	24	127	58.5	24.3	55.5	0.415
Usine de Gazolinage	22	166	62.8	31.4	55	0.500

Ajustement statistique

Les résultats de l'ajustement des lois choisies et cités avant, obtenu à l'aide d'HYFRAN-Plus, dans un intervalle de confiance de 95%, pour les onze stations étudiées, ont montré que six capteurs (Barrage Melloul, Barrage Chiba, Barrage Lebna, BGE Sidi Abdelmonem, Tazoghane et Usine de gazolinage) ont présenté une adéquation à la loi log normale (soit 54,5% des stations étudiées). Quatre stations (Takelsa Ribereau, Sidi Bouali Cap bon, Oued Labid BGE et Hir lebna rojat) ont montré une adéquation à la loi exponentielle (soit 36,3%). Les résultats ont montré une dominance de la loi log normale suivie par la loi exponentielle. En effet, la loi de Gumbel paraît aussi comme une loi qui s'ajuste à ces séries puisqu'il est, dans la plupart des cas, classé dans le deuxième ordre. On illustre par la suite quelques graphiques des ajustements statistiques (Figure 3), chaque station suivant le

modèle adéquat. La sélection de la loi la plus adéquate est effectuée en utilisant le test de khi 2 et les deux critères AIC et BIC .

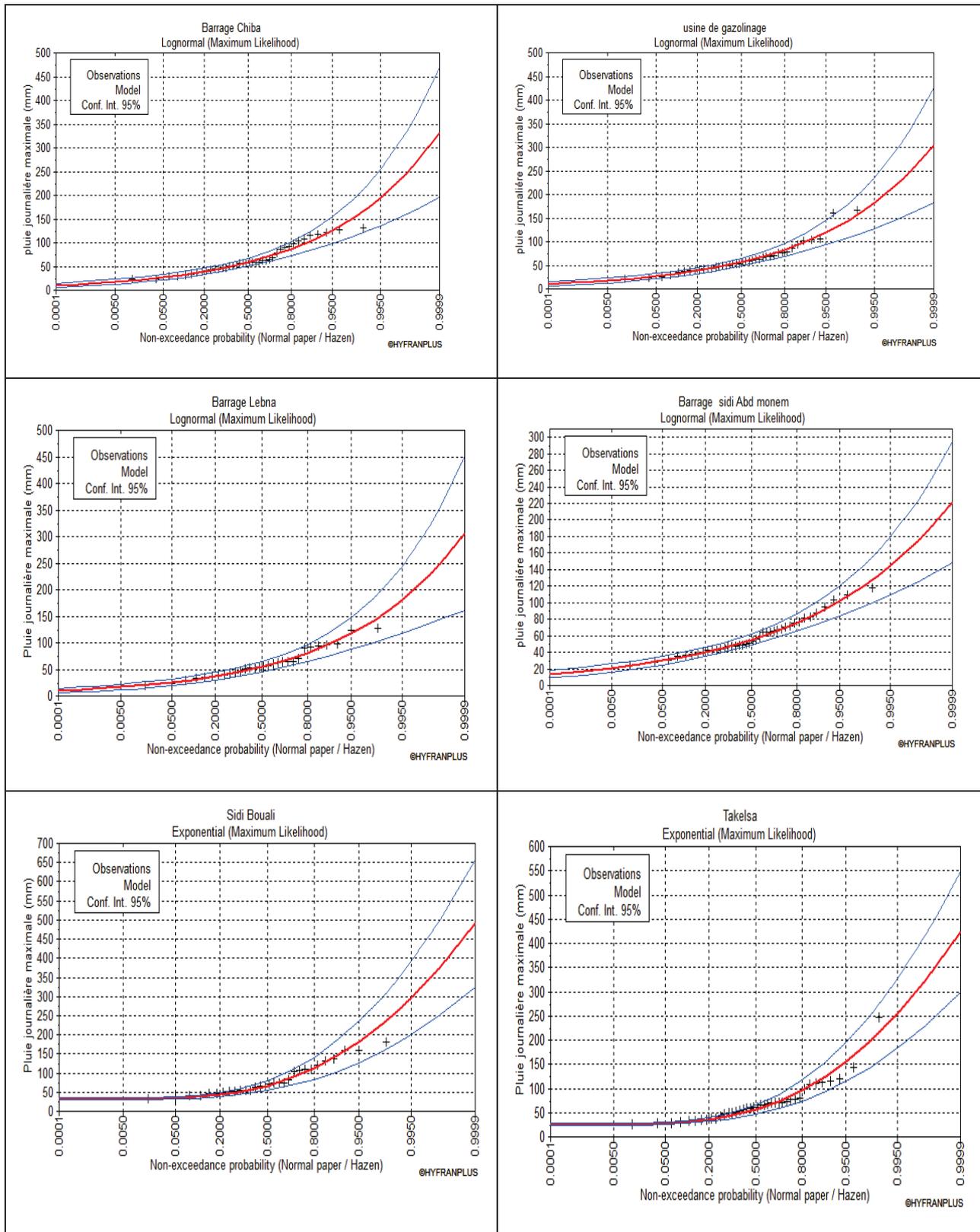


Figure 3- Exemple des ajustements de la loi log normale et exponentielle pour les pluies journalières maximales

La loi de Gumbel était toujours parmi les trois meilleurs modèles ajustés à ces séries. Pour les capteurs étudiés, il était classé en premier ordre seulement pour la station de Mzel Temime ctv. Comme il a été décrit dans la littérature, la loi log normale et Gumbel sont parmi les meilleures lois pour les valeurs journalières extrêmes

Estimation des quantiles extrêmes

L'ajustement des séries de données journalière maximale aux tests statistiques a permis d'obtenir les quantiles X(T) estimés pour différentes périodes de retour (5, 10, 20, 50 et 100 ans) pour les différentes stations étudiées. Les quantiles de diverses périodes de retour ont été calculées à l'aide des lois les mieux ajustées (la loi log-normale et la loi exponentielle et la loi Gumbel) sont représentés dans le tableau 4. On a dressé les cartes des quantiles X(T) pour les différentes périodes de retour étudiées. On se limite à présenter la répartition des quantiles pour les périodes de retour T= 50 et T= 100 (figure 4). L'analyse des valeurs extrêmes a permis de caractériser la distribution spatiale de ces extrêmes. Les résultats montrent que les pluies journalières rares (T=50) varient dans le bassin versant de Lebna de 119mm à 227mm. Cependant, ils varient de 136 mm à 255mm pour une période de retour de 100ans (Figure 4) .

Tableau 4- Quantiles de diverses périodes de retour issus de l'estimation des pluies journalières maximales

Station	Loi retenue	Quantiles (mm) de diverses périodes de retour (ans)				
		T5	T10	T20	T50	T100
Barrage Melloul	Log-normale	80.9	99.1	117	142	161
Barrage Chiba	Log-normale	86.7	107	126	153	174
Barrage Lebna	Log-normale	81	99.3	117	142	161
Bge Sidi Abdelmonem aval	Log-normale	75.5	89	102	119	131
Hir Lebna rojat	Exponentielle	84.8	110	134	167	192
Mzel Temime ctv	Gumbel	81.5	96.9	112	131	145
Oued Labidbge	Exponentielle	101	134	167	211	243
Sidi Bouali Cap Bon	Exponentielle	112	147	181	227	261
Takelsa ribereau	Exponentielle	95.5	125	155	195	225
Tazoghrene	Log-normale	75.9	90.7	105	124	138
Usine de Gazolinage	Log-normale	82.8	101	119	143	162

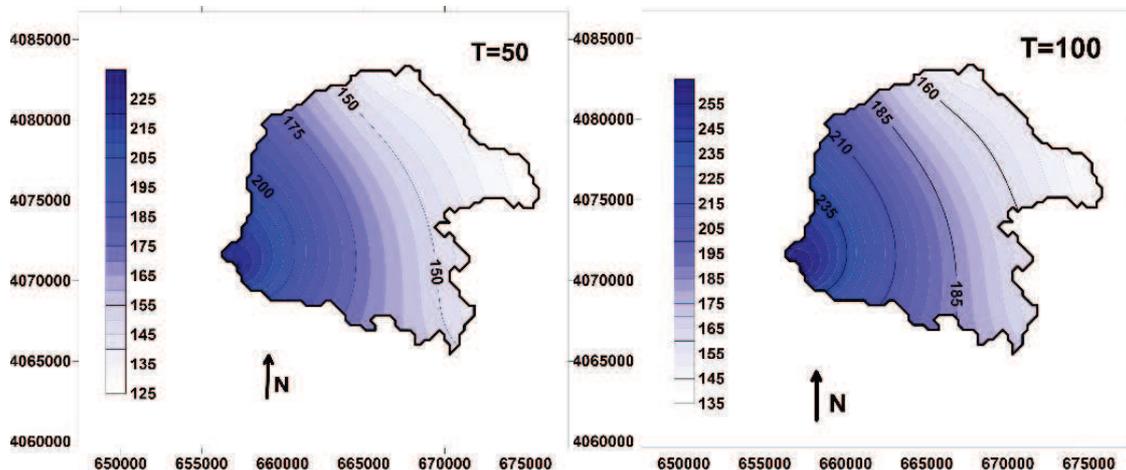


Figure 4- Répartition spatiale des quantiles (période de retour de 50 et 100ans)

Pour toutes les périodes de retour, les stations Oued Labid bge, Sidi Bouali Cap Bon et Takelsa Ribereau présentent les valeurs extrêmes les plus fortes, alors que les deux stations Bge Sidi Abdelmonem aval et Tazoghrene présentent les valeurs les plus faibles. On constate que les stations Oued Labid bge, Sidi Bouali Cap Bon et Takelsa Ribereau sont les plus susceptibles aux évènements extrêmes et les Stations Bge Abdelmonem aval et Tazoghrene sont les moins susceptibles. La répartition spatiale de différents quantiles calculés pour T=50 et 100 ans est dans la figure 4. Les courbes d'iso-valeurs ont été faites avec le logiciel Surfer. Pour T=5ans, les valeurs journalières varient de 76mm à 112mm et les faibles valeurs sont dans la partie Est du bassin. En ce qui

concerne les autres périodes de retour $T=10, 20, 50$ et 100 ans, la répartition spatiale des courbes d'iso-valeurs se conserve. Un gradient Ouest/ Est a été mis en évidence dans le bassin. Les valeurs maximales estimées pour $T=10, 20, 50$ et 100 ans sont respectivement de l'ordre de $148, 180, 230$ et 260 mm.

CONCLUSION

Cette étude a pour objet la caractérisation des séries des pluies journalières maximales et la compréhension du comportement probabiliste de ces précipitations extrêmes. Il s'agit de trouver un modèle fréquentiel qui représente la variable étudiée. Une évaluation des quantiles et une caractérisation de leur répartition spatiale a été faite. La moyenne de nombres des jours pluvieux dans le bassin de Lebna varie de 51 à 81 jours. Les valeurs journalières les plus élevées sont 247 mm, 218 mm, 194 mm, 180 mm et 166 mm et qui sont respectivement enregistrées aux stations de Takelsa Ribereau, Oued Labid bge, Hir lebna rojat, Sidi Bouali Cap Bon et Usine de gazolinage. La majorité de ces valeurs sont ceux de l'automne 2018/2019. Ces sont les pluies torrentielles qui ont causés des dégâts énormes dans la région du Cap-Bon. Les résultats de l'analyse fréquentielle montrent que les lois les plus adaptées aux valeurs journalières maximales sont la loi log normal, la loi exponentielle et la loi Gumbel. Les quantiles des pluies journalières rares ($T=50$) varient dans le bassin versant de Lebna de 119 mm à 227 mm. Cependant, ils varient de 131 mm à 261 mm pour une période de retour de 100 ans.

Références

1. Akaike, H. 1974. New look at statistical-model identification. IEEE Transactions on Automatic Control, 19, 716-723.
2. Ben Khelifa, W., Chargui, S. 2021. Drought impact on rainfall and water storage in Tunisian semi-arid context. IJWSET Vol (VI), Issue. 1, 95-104.
3. Chargui, S., Zarrour, R., El mouaddeb, R., Ben Khelifa, W., 2022. Recent trends and variability of extreme rainfall indices over Lebna basin and neighborhood in the last 40 years. Arabian Journal of Geosciences 15 (203). <http://doi.org/10.1007/s12517-021-09334-y>
4. GIEC 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis, the Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report on 6 August 2021
5. Habibi, B., Meddi, M., Boucefiane, A. Analyse fréquentielle des pluies journalières maxiales Cas du bassin Chott-Chergui. Revue Nature & Technologie, C- Sciences de l'Environnement, 8, 41–48, 2012.
6. Kouassi, A. M., Nassa, R. A., Yao, K. B., Kouame, K. F., Biemi, J. 2018. Modélisation statistique des pluies maximales annuelles dans le district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire). Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, 31(2), 147–160. <https://doi.org/10.7202/1051697ar>
7. Koumassi, D.H., Tchibozo, A.E., Vissin, E., Houssou, C. 2014. Analyse fréquentielle des événements hydro-pluviométriques extrêmes dans le bassin de la sota au Bénin. Afrique Science 10(2), 137-148.
8. Mekki, I., Bailly, J., Jacob, F., Chebbi, H., Ajmi, T., Blanca, Y., Biarnès, A. 2018. Impact of farmland fragmentation on rainfed crop allocation in Mediterranean landscapes: A case study of the Lebna watershed in Cap Bon, Tunisia. Land use policy, 75, 772-783.
9. Schwarz, G. 1978. Estimating the dimension of a model. Annals of Statistics, 6, 461-464.
10. Scott, M., Lindsey, R. 2017. State of the climate: Global drought. <https://www.climate.gov/news-features/featured-images/2017-state-climate-global-drought>
11. Zitouna Chebbi, R., Feuerer, D., Raclot, D., Molenat, J., Mekki, I., Mechlia, N., Jacob, F. 2014. OMERE Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau Bassin versant de Kamech: Impact des actions anthropiques sur les transferts de masse dans les hydrosystèmes méditerranéens ruraux. In Annales de l'INRGRF. 19, 216-230.