

Analyse des périodes sèches dans le bassin d'Ichkeul (Tunisie) à partir de données journalières de pluviométrie

MAJID MATHLOUTHI¹ & FETHI LEBDI²

*1 Laboratoire de Recherche en Sciences et Technologies de l'Eau de l'INAT, Tunisie
majid_mathlouthi@yahoo.fr*

2 Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), 43 Avenue Charles Nicolle 1082 Tunis, Université de Carthage, Tunisie

Résumé Cette étude porte sur les périodes sèches observées dans le bassin d'Ichkeul, situé au Nord de la Tunisie, en utilisant les données journalières de la pluviométrie sur la période de 1959 à 2005. L'objectif est d'analyser les périodes sèches, en particulier les cas extrêmes (sécheresses météorologiques), et de les évaluer sur une base quotidienne. Les tendances et les fréquences des sécheresses ont été analysées pour détecter et comparer les propriétés des états secs basées sur des échelles de temps quotidiennes et annuelles. La structure spectrale de la longueur de la période sèche permet une inférence de basses fréquences maxima et montre une période interannuelle de 2 à 3 ans de variabilité dans l'occurrence de la sécheresse dans le bassin. En outre, les fonctions de distribution de probabilités des périodes sèches aux stations du bassin ont été analysées pour confirmer qu'elles suivaient une distribution géométrique-binomiale. Ceci montre en réalité qu'il y a une indépendance entre les événements subséquents. L'intensité des sécheresses diminue dans la région de Sidi Salem. Les sécheresses de 1987 et 2001 ont été considérées comme les plus longues périodes de sécheresse dans le bassin.

Mots clés événement pluvieux; intensité de sécheresse; période sèche extrême; changement climatique; tendance

Analysis of dry spells in the Ichkeul basin (Tunisia) using daily rainfall data

Abstract This study addresses the dry spells observed in the Ichkeul basin in northern Tunisia using daily data during periods from 1959 to 2005. It aims to analyse dry spells, especially extreme cases (meteorological droughts), and assess them on a daily basis. Trends and low frequency of droughts were analysed using a general framework to detect and compare properties of dry states based on daily and annual time scales. We analysed the series of dry spells while trying to determine the longest dry spell. Spectral power of dry spell length was estimated. Spectral structure permits an inference of low-frequency maxima and confirmed an inter-annual 2- to 3-year period of variability in drought occurrence for the basin. There is a low frequency for events of extreme dryness. Furthermore, probabilistic distribution functions of dry spells at basin stations were analysed to confirm that they followed a geometric-binomial distribution. The intensity of droughts decreased in Sidi Salem regions. The droughts of 1987 and 2001 were considered to be the longest dry spells in the basin.

Keys words rainfall event; intensity of droughts; extreme dry spells; climatic change; trends

INTRODUCTION

L'étude des sécheresses est l'un des principaux axes de la climatologie, car elles sont des phénomènes récurrents avec certains impacts mondiaux les plus significatifs. Dans la plupart des endroits du monde, la sécheresse se produit en périodes. Une période de sécheresse est généralement définie comme une période de plusieurs jours consécutifs sans précipitations mesurables.

Une meilleure connaissance des caractéristiques des périodes sèches peut aider à mieux reconnaître certains aspects des phénomènes météorologiques spécifiques et leurs impacts d'aridité. Les périodes sèches à des échelles de temps journalières sont plus utiles pour l'analyse de déficit pluviométrique que les données à une échelle de temps mensuelle. Ceci permet d'estimer au mieux l'impact d'aridité sur les cultures et la demande en eau d'irrigation.

Une sécheresse météorologique peut se développer rapidement et se terminer brusquement: dans certains cas, la transition peut se produire du jour au lendemain (Heim, 2002). Cette étude a considéré une nouvelle approche pour les études de sécheresse en la définissant à l'échelle journalière. Pour des applications tels que l'estimation du risque et l'impact des sécheresses, il est plus pratique de définir les sécheresses en utilisant la durée de la période sèche journalière comme une variable. Il n'y a pas d'études systématiques de la sécheresse sur le bassin d'Ichkeul. Par conséquent, il n'est pas possible de caractériser un modèle de la sécheresse pour le bassin. La

recherche, en générale, a été destinée aux caractéristiques statistiques des événements secs (Mathlouthi & Lebdi, 2009). Bien que ces études spécifiques se reportent aux événements secs, ils ont fourni certaines caractéristiques de ces sécheresses. La littérature passée sur les statistiques de périodes sèches basées sur les enregistrements journaliers de pluies est limitée (e.g. Mathlouthi & Lebdi, 2009; Vargas *et al.* 2011).

Cette étude vise à évaluer les périodes sèches maximales dans le bassin d'Ichkeul en considérant les données journalières de stations de référence sur la période de 1959 à 2005 et en analysant leur structure spatio-temporelle dominante à partir de modèles statistiques adaptés. Cette recherche fournit une première approche de l'évaluation des risques de sécheresses sur une base journalière.

METHODES ET DONNEES

Les données journalières de précipitations collectées à 8 stations dans le bassin d'Ichkeul situé au Nord de la Tunisie au cours des périodes d'échantillonnage de 1959 à 2005 (Fig. 1; Tableau 1) ont été utilisées pour cette étude. Le climat est de type méditerranéen. La majorité des stations ont enregistré des données journalières pendant au moins 40 ans et sont situées dans différents endroits clés du bassin.

Comme discuté précédemment, les périodes sèches sont définies comme une séquence de jours sans précipitations mesurables. Dans cette étude, les jours avec moins de 1 mm de précipitations ont été considérés comme des jours secs. Les distributions des plus longues périodes sèches annuelles ont été estimées à l'aide de plusieurs modèles statistiques afin de comparer la cohérence régionale. Les fonctions de distribution probabiliste testées comprenaient les types Gumbel, gamma, exponentielle et géométrique-binomiale (Mathlouthi & Lebdi, 2009).

Les spectres de Tukey ont été utilisés pour représenter les ondulations dominantes et les tendances. Chatfield (1980) a utilisé la formule:

$$S_p = 1 + 2 \sum_{q=1}^{M-1} r_q \cos\left(\frac{pq\pi}{M}\right) + r_M \cos(p\pi) \quad (1)$$

où S_p est une estimation de la densité spectrale, r_q représente la fonction d'autocorrélation, M est la valeur maximale de décalage p et q est un index utilisé dans plusieurs sommations. Les longueurs de périodes sèches sont des données irrégulièrement espacées.

Les tendances linéaires ont été estimées par le calcul de la régression de la variable temps. Le niveau de signification du coefficient de corrélation est représentatif de la pente, et le niveau de confiance était de 95%. Les résultats de l'estimation de la tendance ont été comparés avec le test de Mann-Kendall (Sidney, 1956).

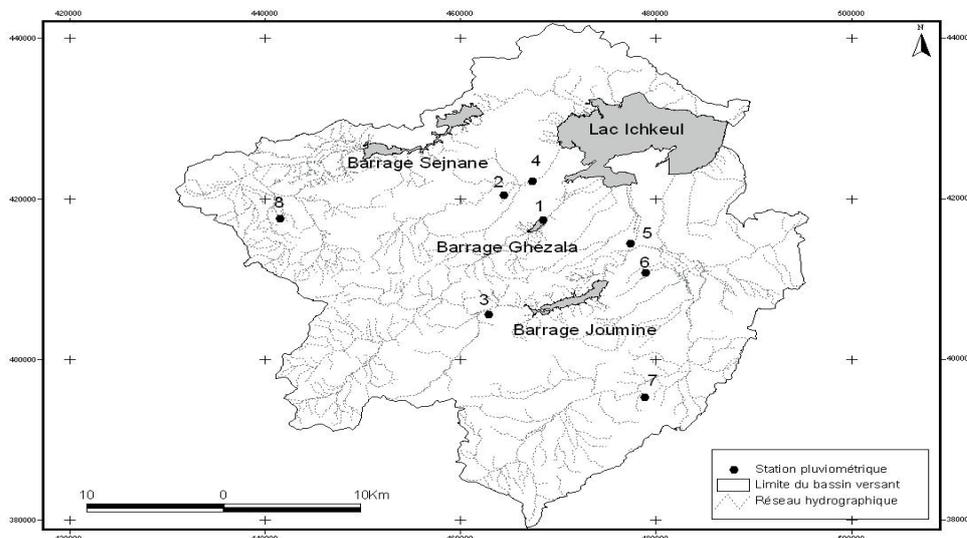


Fig. 1 Stations pluviométriques utilisées dans cette étude (codées suivant Tableau 1).

La période sèche maximale pour chacune des N années était représentée par la plus longue période sèche. La série des N plus longues périodes sèches était l'ensemble des données des valeurs extrêmes analysées. De même, la deuxième et la troisième valeur journalière maximale annuelle ont été définies. Les périodes extrêmes ont été analysées à l'aide des trois plus longues périodes sèches maximales de chaque année, et la durée moyenne de ces plus longues périodes sèches a également été considérée.

VARIATION TEMPORELLE DES PERIODES SECHES JOURNALIERES

Le tableau 1 montre les moyennes annuelles et les écarts types des périodes sèches. Un gradient est-ouest peut être observé à partir des moyennes de périodes sèches. L'amplitude régionale varie de 5 à 7 jours dans la direction nord-est au sein du bassin. Les amplitudes dans la direction est-ouest varie de 6 à 7 jours et le gradient disparu à la limite nord du bassin. L'échantillon des écarts-types est semblable dans la forme, mais avec des valeurs plus élevées dans la région est.

Les histogrammes des périodes sèches pour une station de référence sont présentés dans la Fig. 2. Pour ces histogrammes, la précipitation a été considérée comme égale à zéro quand elle était en dessous du seuil de pluie de 1 mm. La tendance était semblable à toutes les stations, avec le maximum de fréquences de périodes sèches décroissant sur l'échelle de temps mensuelle. Les meilleurs ajustements pour ces types de distributions dans le bassin ont été les distributions gamma et géométrique. L'hypothèse nulle était que l'ensemble de données correspondait à chacune des distributions théoriques analysées. Pour estimer le degré d'ajustement, le test statistique Khi^2 a été utilisé.

Tableau 1 Durée moyenne des épisodes secs (en jours) et écart-type.

No.	Station	Période d'observation	Minimum (jours)	Maximum (jours)	Moyenne (jours)	Ecart-type
1	Ghézala Barrage	1968–2006	1	42	6.18	5.68
2	O. el Gauss	1964–1975	1	44	5.22	5.55
3	Oued J. Jebel Antra	1961–2005	1	45	5.54	6.03
4	Sidi Salem	1959–2005	1	48	5.76	6.29
5	Coopérative Bakhraya	1969–2005	1	108	6.48	8.24
6	Frétissa SM	1982–2005	1	49	6.31	6.85
7	Sidi Abdel Basset	1968–2005	1	46	5.99	6.97
8	Sejenane DE	1966–2005	1	44	5.02	5.48

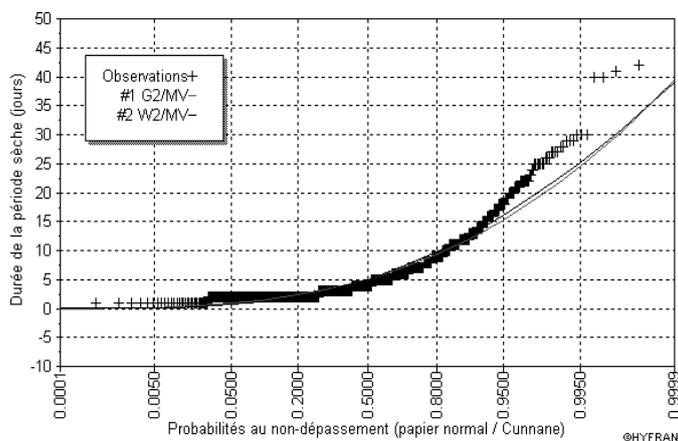


Fig. 2 Probabilité empirique des séquences de jours secs et valeurs estimées par les distributions (#1) gamma et (#2) de Weibull à Ghézala-Barrage.

Ces résultats s'accordent avec les conclusions précédentes dans différentes régions dans le monde (Vargas *et al.*, 2011).

Un des aspects les plus importants des probabilités montrées dans la Fig. 2 est que les périodes d'une durée minimale de 10 jours ont une probabilité d'occurrence d'au moins 20%, indiquant une probabilité significative de cet état atmosphérique. Des distributions antérieures sont utiles à considérer: elles peuvent aider à ajuster les probabilités de distribution de fréquences de la longueur des cycles (défini comme la somme de la longueur des périodes sèches et pluvieuses consécutives). Cette modélisation permet d'obtenir des valeurs pour différentes périodes de retour, et par conséquent caler la saison pluvieuse, début du premier événement pluvieux de l'année, et terme de cette saison.

Nous avons analysé la série temporelle de périodes sèches à différentes stations dans la région tout en essayant de déterminer la plus longue période sèche. La Fig. 3 montre la puissance spectrale de la durée de la période sèche pour une station de référence. La puissance représente des cycles par le nombre total de séquences. La série montre des périodicités d'environ 1–3 semaines, et ces périodes semblent régir leur occurrence. Un autre pic spectral important a été trouvé selon des périodes de 1 à 2 ans.

En outre, ces séries de la durée des périodes sèches montrent certaines caractéristiques climatiques. Par exemple, la station de coopérative Bakhraya, située à l'est, présente la plus longue période sèche qui est due à l'exposition de cette station opposée au vent dominant (nord-ouest) favorable aux précipitations.

D'un point de vue régional et pour les propriétés basées sur l'information quotidienne et annuelle, l'estimation des périodes sèches montre une tendance particulière. Cette tendance a été estimée en utilisant la statistique Z avec un niveau de confiance de 5%. Une tendance envers une diminution dans la longueur de la période sèche peut être observée dans la région de Sidi Salem. Ce résultat indique des périodes sèches plus courtes dues à une plus grande variabilité climatique. Cette région est plus proche de la mer, il y a une variabilité des régimes de circulation qui sont plus responsables de la génération des précipitations dans la zone (le passage de fronts et tempêtes de masses d'air).

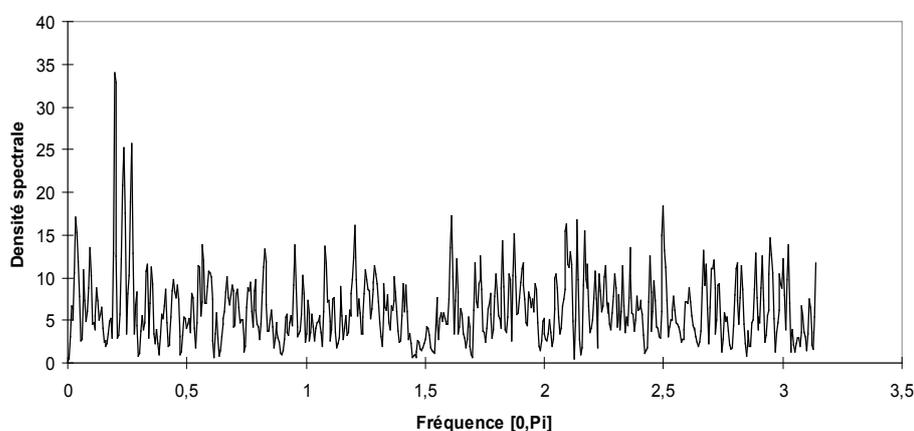


Fig. 3 Estimation des spectres de puissance calculés selon l'équation 1 de la durée de la période sèche (jours) à Sidi Salem.

Il est également important d'examiner les variations en termes de moyennes et faibles fréquences de périodes sèches en écartant les fréquences élevées afin de mettre en évidence des phénomènes tels que la variabilité interannuelle du climat et du régime hydrologique sur le bassin.

ANALYSE DES PERIODES SECHES EXTREMES

Afin d'aborder le concept de la sécheresse (situations extrêmes d'absence de pluie), les trois plus longues périodes sèches annuelles ont été identifiées et leurs moyennes ont été calculées afin d'établir quatre séries annuelles (trois valeurs annuelles plus leur valeur moyenne).

Le déficit dans les régimes de précipitations a une caractéristique particulière qui peut être étudiée par la cohérence entre les trois sécheresses les plus prolongées et estimées par le

coefficient de corrélation. On étudie l'intensité de la liaison qui peut exister entre ces variables. On utilise la corrélation de Spearman qui est étudiée lorsque deux variables statistiques semblent corrélées sans que la relation entre les deux variables soit de type affine. Elle consiste à trouver un coefficient de corrélation, non pas entre les valeurs prises par les deux variables mais entre les rangs de ces valeurs. Elle permet de repérer des corrélations monotones. Il faut également souligner que la corrélation de Spearman utilise les rangs plutôt que les valeurs exactes. Le Tableau 2 montre le signe du coefficient de corrélation de Spearman calculé entre les durées des trois plus longues périodes sèches par an. À chaque station, une corrélation significative existait entre les trois différentes plus longues périodes sèches de chaque année. Cette constatation peut signifier que dans les années avec une longue anormalement extrêmes périodes sèches, d'autres longues périodes tendent à se produire aussi bien. Le même comportement se produit pour les jours de pluies extrêmes (Vargas *et al.*, 2011). Les sécheresses de 1987 et 2001 ont été considérées comme les plus longues périodes de sécheresse dans le bassin. Les déficits en eau dans le barrage Ghézala à partir de cette sécheresse ont résulté en des apports hydrauliques pratiquement nuls.

Les plus longues périodes sèches annuelles montrent des tendances négatives, en particulier dans le Nord du bassin. Ceci suggère une augmentation des précipitations dans la région au

Tableau 2 Signes des coefficients de corrélation de Spearman (significatifs à 5%) entre les trois plus longues durées de périodes sèches annuelles à Frétissça SM, O. J. Jebel Antra, Sidi Salem et Ghézala-Barrage.

	1 FR	2 FR	3 FR	1 JA	2 JA	3 JA	1 SA	2 SA	3 SA	1 GB	2 GB	3 GB
1 FR		+	+	-	+	+	-	-	-		+	+
2 FR			+	+	+	+	-	-	-	+	-	+
3 FR				+	+	+	+	-	-	-	-	-
1 JA					+	+	-	-	-	+	+	+
2 JA						+	-	-	-	+	+	
3 JA							-	-	-	+	+	+
1 SA								+	+	+	-	-
2 SA									+	-	-	-
3 SA										-	-	-
1 GB											+	+
2 GB												+
3 GB												

Légende: FR Frétissça, JA O.J. Jebel Antra, SA Sidi Salem, GB Ghézala-Barrage

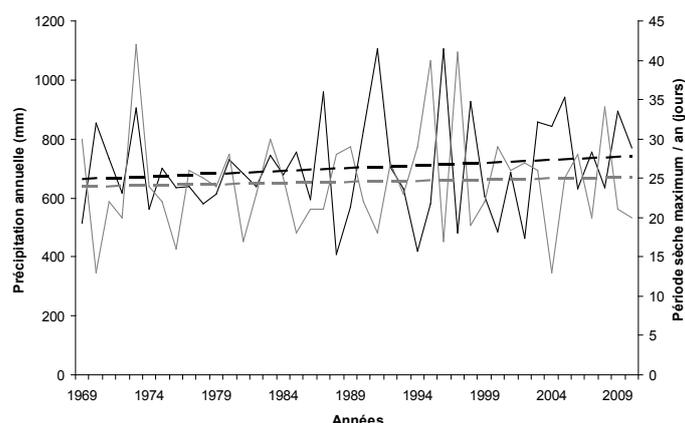


Fig. 4 Précipitations annuelles (noir) et séquences sèches maximum (gris) à Ghézala-Barrage. Les lignes pointillées représentent les tendances de régression linéaire. Ces deux tendances sont statistiquement significatives au niveau de confiance de 95%.

détriment de l'occurrence de la sécheresse. Cependant on observe à Ghézala-Barrage une tendance positive avec une augmentation des précipitations (Fig. 4). A Ghézala-Barrage, la présence de moyennes fréquences sur une longue période de temps (43 ans) est significative.

La Fig. 5 montre l'estimation du spectre de puissance de la plus longue période sèche par an pour une station de référence. Les pics significatifs ont été observés dans la station, avec des fréquences plus élevées que 2 à 3 ans. Le même cas a été observé aux autres stations de référence (données non présentées). En outre, ces résultats sont en accord avec les conclusions tirées sur une base journalière, comme montré dans Fig. 3.

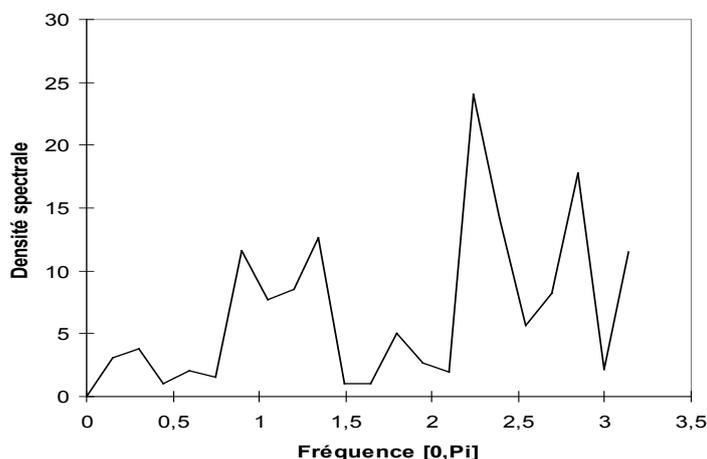


Fig. 5 Estimations du spectre de puissance des plus longues séquences sèches par an à Ghézala-Barrage.

CONCLUSIONS

Cette étude, qui s'appuie sur des données journalières, décrit les caractéristiques des périodes sèches et leurs cas extrêmes en Tunisie. Ces caractéristiques sont importantes lors de l'estimation des risques de sécheresse. Bien que le bassin d'étude soit l'un des principaux du pays en matière de gestion de l'eau, les données n'étaient pas toujours disponibles au niveau de détail requis. En conséquence, le détail des événements étudiés dépend des stations de collecte de données impliquées. Ce manque de données est partiellement compensé par les séries journalières. Les périodes sèches extrêmes ont été analysées pour estimer la probabilité d'occurrence de tels événements. En conclusion, il y a une tendance vers une diminution de la longueur des périodes sèches à l'échelle annuelle, en particulier au Nord du bassin. Si cette tendance se maintient dans le futur, les sécheresses pourraient être moins récurrentes. La structure spectrale de la longueur de la période sèche à une station de référence montre une fréquence faible pour les périodes sèches de durées extrêmes. Elle confirme une période inter-annuelle de 2 à 3 ans de variabilité dans l'occurrence des sécheresses pour la plupart du bassin. Enfin, l'occurrence de la période sèche extrême montre une préférence saisonnière, ce qui suggère qu'il y a une légère, mais complexe dépendance, sur le cycle annuel des précipitations. En d'autres termes, l'apparition de la période sèche extrême dépend de la répartition saisonnière des précipitations, ce qui laisse penser qu'il y a une dépendance complexe avec le cycle climatique annuel.

REFERENCES

- Chatfield, C. (1980) *The Analysis of Time Series: an Introduction*. Chapman and Hall, London.
- Heim, R. (2002) A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 83(8), 1149–1165.
- Mathlouthi, M. & Lebdi, F. (2009) Analyse statistique des séquences sèches dans un bassin du nord de la Tunisie. *Hydrol. Sci. J.* 54(3), 442–455.
- Sidney, S. (1956) *Nonparametrics Statistics for the Behavioral Sciences*. McGraw-Hill, New York.
- Vargas, W.M., Naumann, G. & Minetti, J.L. (2011) Dry spells in the River Plata Basin: an approximation of the diagnosis of droughts using daily data. *Theor. Appl. Climatol.* 104, 159–173. doi 10.1007/s00704-010-0335-2.