

Courbe des débits classés un outil pour caractériser la sévérité et la saisonnalité d'étiage: Cas du bassin versant de la Tassaout Amont du Barrage Moulay Youssef (1978-2016), Maroc

[Classified flow curve, a tool to characterize the severity and seasonality of low water levels: Case of the Tassaout watershed upstream of the Moulay Youssef Dam (1978-2016), Morocco]

Mohamed Chakir and Mohamed El Ghachi

Laboratoire Dynamique des Paysages, Risques et Patrimoines, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal, Morocco

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The Tassaout watershed (upstream Moulay Youssef dam) belongs to a semi-arid climatic context, characterized by limited precipitation. In addition to the scarcity and uneven distribution of water resources, under the shadow of current climate change, the region is subject to increasing demand for water resources. Low water is a seasonal event that can recur every year. Annual variations in precipitation can impact the severity of low water. This article attempts to contribute to the study of the severity and seasonality of low water levels based on the water deficit recorded during these periods. For this, we used the SPA (Sequent Peak Algorithm) method based on the amount of water deficit. The threshold for the appearance of low water was determined from the Q75 indicator extracted from the classified flow curve based on the daily flow data measured at the two stations; of Ait Tamlil and Tamsemt, which covers the period from 1978 to 2016.

KEYWORDS: tassaout watershed, low water, classified flow curve, threshold, severity, water deficit.

RESUME: Le bassin versant de la Tassaout (en amont barrage Moulay Youssef) appartenant à un contexte climatique semi-aride, caractérisé par des précipitations limitées. En plus de la rareté et de la répartition inégale des ressources en eau, sous l'ombre des changements climatiques actuels, la région est soumise à une demande croissante en ressources en eau. L'étiage est un événement saisonnier qui peut se reproduire chaque année. Les variations annuelles des précipitations peuvent impacter sur la sévérité de l'étiage. Cet article tente de contribuer à l'étude de la sévérité et de la saisonnalité des étiages à partir du déficit hydrique enregistré durant ces périodes. Pour cela, nous avons utilisé la méthode SPA (Sequent Peak Algorithm) basée sur la quantité de déficit hydrique. Le seuil d'apparition d'étiage a été déterminé à partir de l'indicateur Q₇₅ extrait de la courbe des débits classés basées sur les données de débit journalier mesurées au niveau des deux stations; d'Ait Tamlil et Tamsemt, qui couvre la période de 1978 à 2016.

MOTS-CLEFS: bassin versant de tassaout, étiage, courbe des débits classés, seuil, sévérité, déficit hydrique.

1 INTRODUCTION

Les études hydrologiques revêtent aujourd'hui une grande importance, surtout compte tenu de l'augmentation spectaculaire des densités de population dans le monde, et les chercheurs s'intéressent aux raisons pouvant découler de l'exacerbation et de l'optimisation de la sécheresse, ainsi qu'aux effets des sécheresses. Le processus d'évaluation holistique

Le substratum géologique est principalement composé de grès, de dolomie et de calcaire perméables appartenant aux séries sédimentaires du Trias et du Lias en amont du bassin, et de schistes et argiles imperméable appartenant à la série sédimentaire du Trias en aval du bassin [5]. La zone d'étude est riche en formations calcaires karstiques qui offrent des sources dispersées, jouant un rôle important dans l'alimentation des cours d'eau, l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation.

Les formations hydrogéologiques très perméables du bassin de l'Oued Tasaout (amont du barrage Moulay Youssef) sont constituées de formations quaternaires récentes sous forme d'alluvions et de roches carbonatées, souvent caractérisées par des fissures, qui peuvent, dans la plupart des cas, donner des formes karstiques superficielles et souterraines. Concernant les formations peu perméables se constituent de marnes et de calcaires du Lias Moyenne, de grès du Lias supérieur, de conglomérats et de marnes et de grès du Cénomaniens inférieur [6]. Cette classe représente 56% de la superficie totale du bassin versant. Les formations imperméables sont généralement associées aux affleur

ements de basaltes doléritiques du Trias inférieur, aux formations schisteuses Cambro-Ordoviciennes et aux formations argileuses (Stéphano Trias). Cette classe représente 13% de la superficie totale du bassin versant.

CONTEXTE HYDRO-CLIMATIQUE

La pluviométrie annuelle moyenne à la station de Tamsmat était de 514 mm pour la période (1976-2016). Cette chronique a été caractérisée par une grande variabilité avec des périodes humides et sèches successives. Le coefficient de variation moyen (CV) a été estimé à 0,31, indiquant que ce bassin reçoit généralement des précipitations modérées.

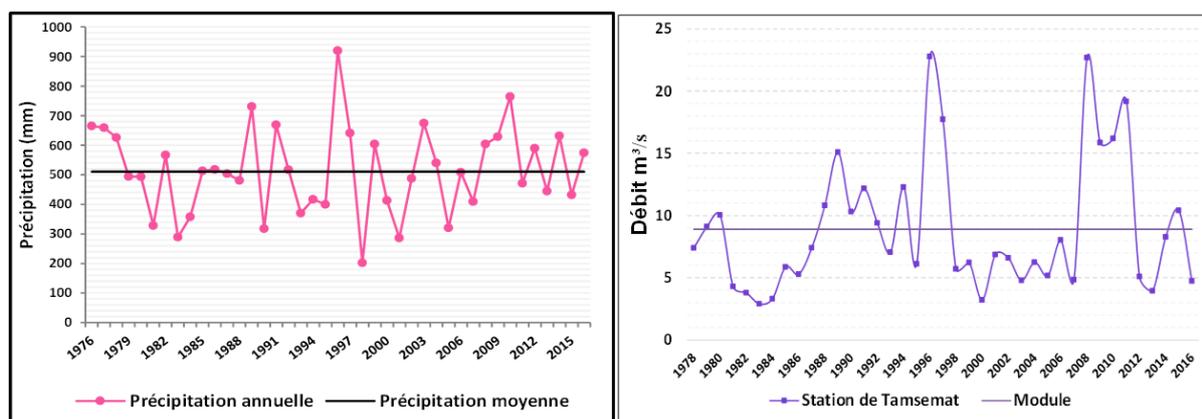


Fig. 2. Évolution annuelle de la précipitation et du débit à la station de Tamsmat (1976-2016)

On note une variabilité importante de débit d'une année à l'autre. Le module était de 8,9 m³/s à la station d'étude sur la chronique (1978-2016). Seuls 15 ans dépassent le module, en revanche 24 sont des années « en déficit hydrique ».

Pour étudier l'hétérogénéité temporelle de l'écoulement, l'indice centré réduite de NICHOLSON et la méthode de HANNING ont été retenus, pour mettre en évidence les tendances hydrologiques et de distinguer les périodes déficitaires et excédentaires. Les changements de régimes hydrologiques conduisant à des tendances excédentaires et déficitaires sont étayés par des études statistiques permettant de détecter des points de basculement ou des points de rupture [7]. Ces tests de transition permettent d'identifier les années charnières du changement climatique et d'améliorer les indicateurs de l'eau. Cette hétérogénéité des rendements annuels se caractérise par une continuité des périodes humides et sèches de durées variables. L'indice centré réduite de NICHOLSON a été produit sur quatre périodes. Il s'agit de deux périodes sèches (1978-1987) et (1999-2006), et de deux périodes humides s'étendant le long de (1988-1998) et (2007-2016). Cet indicateur montre qu'il y a eu un important déficit de débit sur la période 1978-1987. Des valeurs maximales ont été atteintes en 1983 et 1984 respectivement, à la station de Tamsemat et d'Ait Tamlil.

2.2 PROBLÉMATIQUE

La rareté des ressources en eau est considérée comme l'un des phénomènes hydrologiques extrêmes causés par le manque de précipitations pendant une période prolongée. L'aggravation de ce phénomène met en péril l'équilibre naturel en réduisant le niveau du débit et en prolongeant la période d'étiage. Jusqu'à une courte période, les enjeux liés au problème d'étiage

affectaient principalement les activités anthropiques, notamment l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation, la production d'énergie et les activités touristiques. Cependant, les aspects environnementaux doivent également être pris en compte dans les plans de gestion des ressources en eau. Certains systèmes d'alerte d'étiage sont principalement développés dans certains pays d'Europe et d'Amérique du Nord, notamment ceux à climat méditerranéen et océanique. Ces systèmes d'alerte reposent sur des seuils au-delà desquels l'utilisation des ressources en eau est restreinte.

Au niveau national, nous n'avons pas trouvé de définition précise de l'étiage au sens statistique. Ainsi, ce choix est laissé aux responsables du bassin pour tenir compte du contexte local et des spécificités de la zone (en fonction de l'abondance des ressources en eau et des différents usages).

La problématique principale se reflète dans la réponse à la question suivante:

Étant donné le manque de références et d'études liées aux aspects statistiques de l'étiage au Maroc, est-il possible de déterminer les niveaux d'étiage dans la zone d'étude sous des conditions climatiques semi-arides ?

3 MÉTHODOLOGIE

3.1 DÉFICIT DE VOLUME DE DÉBITS JOURNALIERS SUR LA BASE DU FILTRE SPA

L'étiage peut être déterminé et analysé en termes de durée et/ou de déficit hydrique et défini comme des événements au-dessous d'un seuil Q_0 [8]. L'algorithme SPA (Sequent Peak Algorithm) a été développé à l'origine pour dimensionner le volume du réservoir [9], mais il a également été utilisé pour calculer une gamme de déficits de débit journaliers par rapport à un seuil donné.

Les informations extraites de chaque événement sont précisées comme la date de début (t_0) et de fin (t_f) de l'événement, la durée de l'événement ($d = t_f - t_0$) ou encore le déficit de volume V écoulé pour le seuil, c'est à dire la somme de la différence entre le seuil et le débit observé.

Considérant que q_t est le débit journalier et que q_0 est le seuil extrait de la courbe des débits classés, alors la détermination du volume déficitaire en appliquant la méthode de l'algorithme SPA se fait selon la formule suivante:

$$S_t = \begin{cases} S_{t-1} + q_0 - q_t, & \text{positif} \\ 0, & \text{négatif} \end{cases}$$

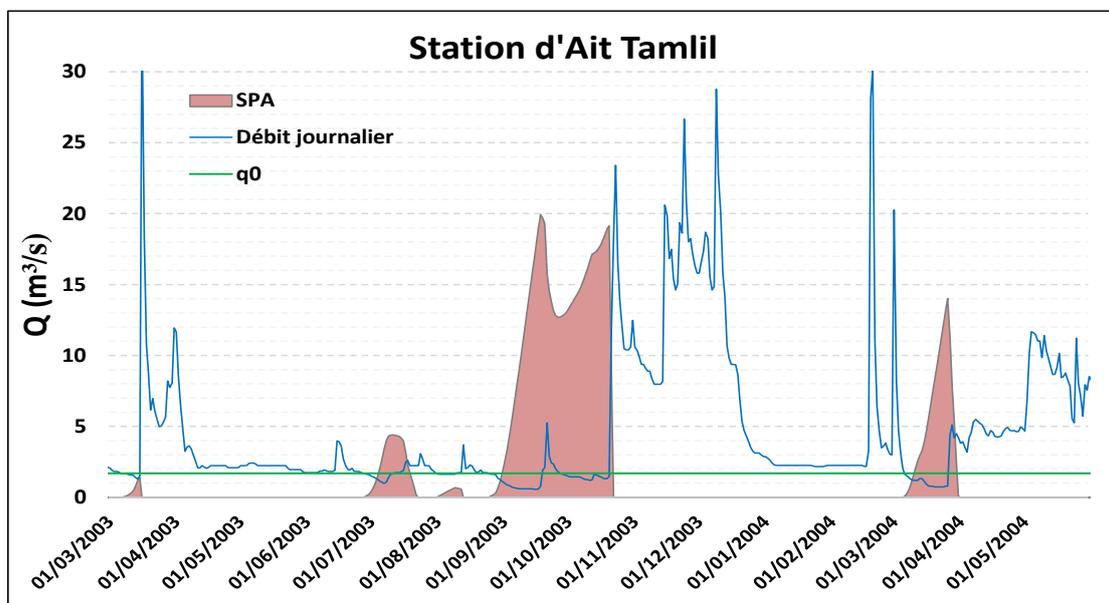


Fig. 3. Exemple de l'algorithme SPA appliqué au débit journalier dans la station Ait Tamllil (2003-2004)

La décrue de débit représente un événement naturel extrême et est généralement causée par un manque prolongé de précipitations. Par conséquent, les étiages ne peuvent pas être considérés comme absolus, mais semblent être liés à des «seuils» qui peuvent varier en fonction du contexte géographique et des caractéristiques naturelles du bassin [10]. La notion

de sévérité (ou d'amplitude) décrit le seuil de débit minimal atteint par le cours d'eau en période d'étiage [11], mais peut aussi faire référence à des aspects liés à la durée de déficit hydrique qui représente la perte de volume et la saisonnalité à des périodes spécifiques et détermine la période de l'année où la pénurie d'eau se produit [12].

4 RÉSULTATS

4.1 IDENTIFIER LES PÉRIODES DÉFICITAIRES À L'AIDE D'INDICES D'ÉTIAGE ISSUS DE LA COURBE DES DÉBITS CLASSÉS

Pour extraire les périodes de déficit hydrique à l'aide de la méthode SPA, nous considérerons les indices d'étiage résultants de la courbe des débits classés comme seuil q_0 . Cette méthode a donné les résultats illustrés dans la figure (6).

L'intervalle nul du filtre correspond à un débit soutenu. À l'inverse, les événements d'étiage correspondent à des valeurs positives dans l'algorithme SPA. Le principal avantage de cette méthode est que l'histogramme reflète la sévérité du déficit hydrique, les valeurs les plus élevées correspondant aux périodes d'étiage les plus sévères.

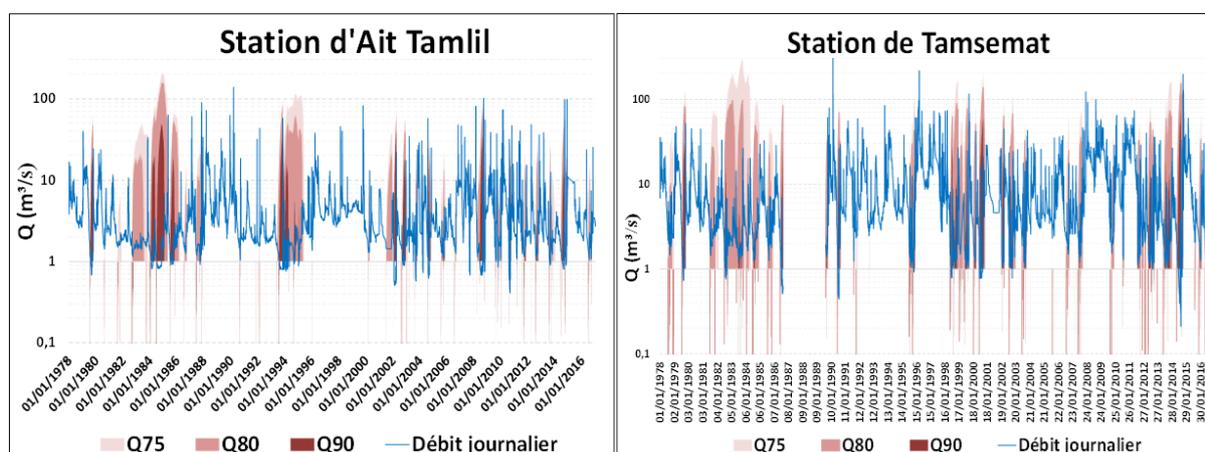


Fig. 4. Déficit hydrique cumulé à l'aide de l'algorithme SPA et les indices issus de la courbe des débits classés de 75, 80 et 90%

Dans un premier temps, nous avons proposé 75, 80 et 90 % comme seuils q_0 extraits de la courbe des débits classés, puis 50, 60 et 70 % comme seuils supérieurs. Aux seuils Q90 et Q80, le débit était très faible, et des épisodes de déficit courts à modérés se sont produits. Ces épisodes sont circonscrits à des années spécifiques dites de sécheresses sévères dans les deux bassins d'étude, ils traduisent ainsi une pénurie d'eau très marquée. Des périodes plus longues de déficit se sont produites en augmentant le seuil aux débits non dépassés 75%. Les événements les plus importants se sont produits en 1983, 1984 et 1985, qui sont des années caractérisées par une sécheresse climatique et hydrologique sévère.

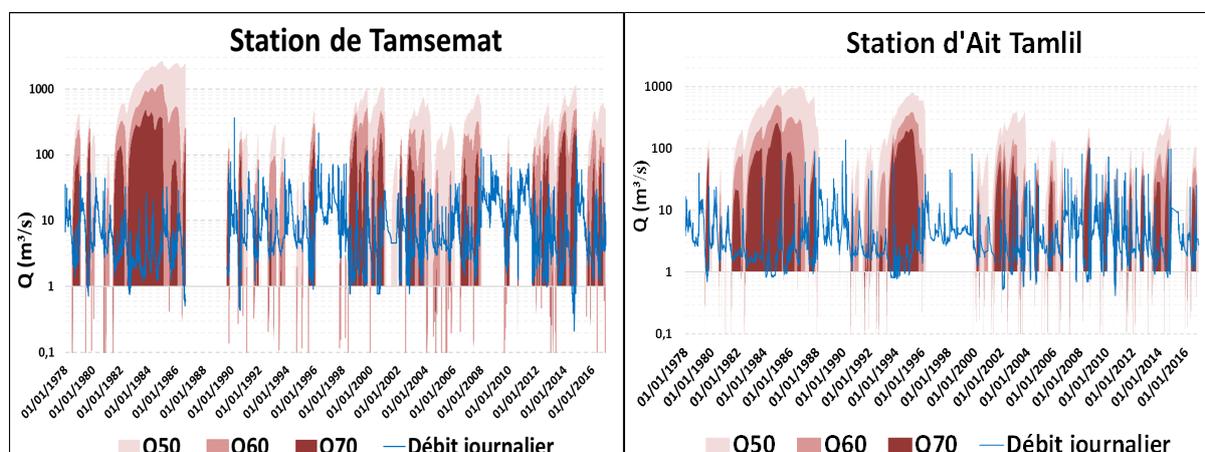


Fig. 5. Le déficit hydrique cumulé selon la procédure « Sequent Peak Algorithm » avec les indices issus de la courbe des débits classés de 50, 60 et 70 %.

En appliquant le filtre SPA à la période d'enquête (1978-2016) sur la base des indices Q50, Q60, Q70, plusieurs périodes déficitaires se sont produites, notamment la période (1982- 1988) dans le sous-bassin d'Ait Tamlil. Entre 1999 et 2016, à l'exception de 2009, 2010 et 2011, le bassin versant de la Tassaout (en amont du barrage M. Youssef) a également connu un déficit hydrique marqué (selon les critères retenus). Ce choix a posé le problème d'étudier des phases qui ne reflètent pas les événements de d'étiage, ainsi le choix d'un seuil plus élevé a entraîné plusieurs années de déficits attribués au phénomène de sécheresse hydrologique selon la classification proposée par [13]. En revanche, des indices très bas peuvent mettre en évidence des étiages très sévères, mais seulement pour une durée limitée.

4.2 LA SAISONNALITÉ DES PÉRIODES DE DÉFICIT HYDRIQUE

Parmi les caractéristiques qui distinguent l'événement de l'étiage, il y a sa saisonnalité, selon différentes définitions des chercheurs [4], [12], [14] – [17].

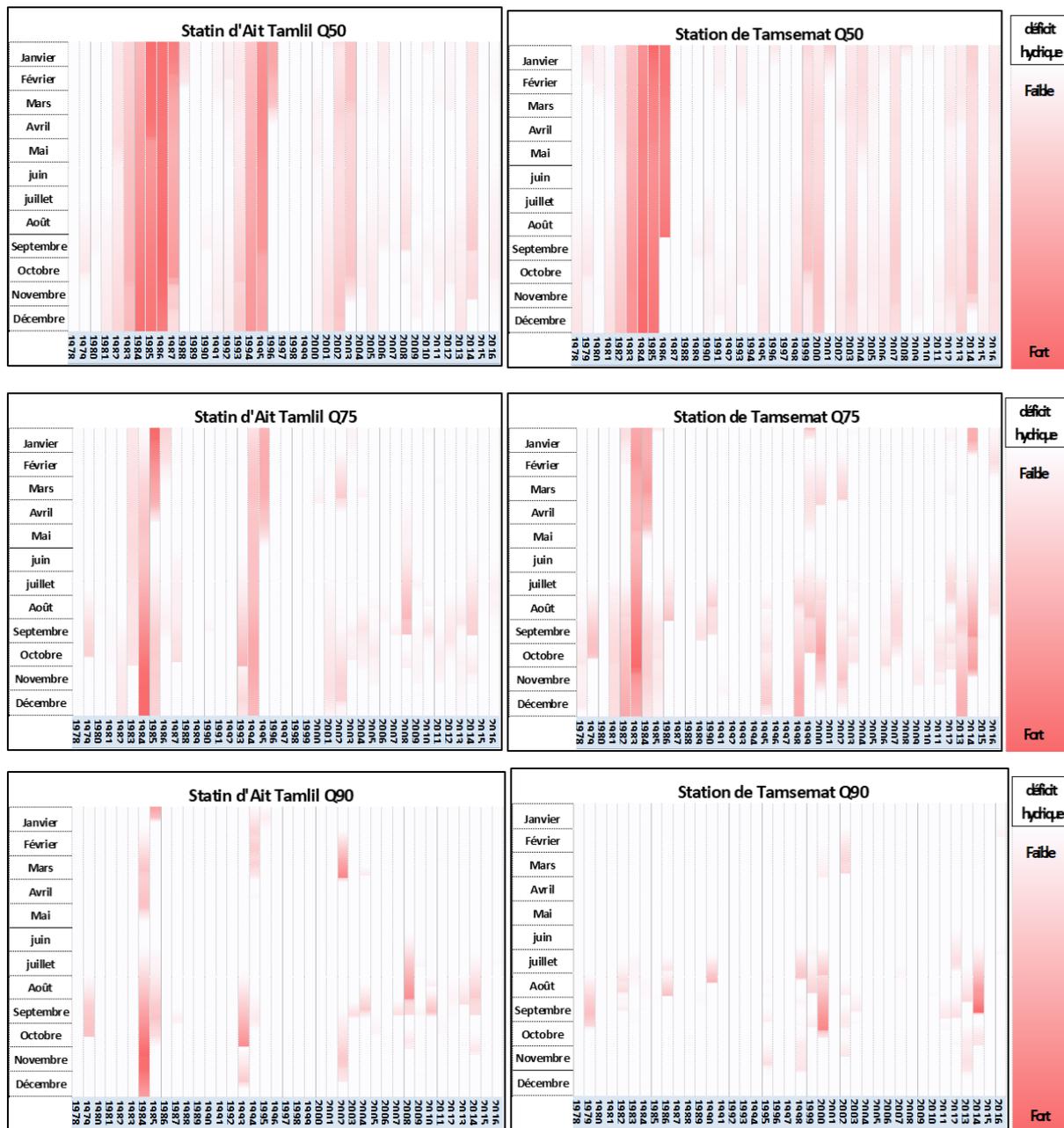


Fig. 6. Saisonnalité des périodes de déficit hydrique selon les indices issus de la courbe des débits classés

Les résultats de la saisonnalité du déficit hydrique révèlent un ensemble d'informations sur la répartition temporelle et spatiale des débits d'étiage:

- La plupart des épisodes de déficit hydrique surviennent pendant les périodes de basses eaux, en particulier la période de juillet à septembre.
- Les épisodes de déficit hydrique dans le sous-bassin d'Ait Tamtil sont caractérisés par des périodes prolongées. En revanche, le bassin versant de Tassaout (Amont du barrage M. Youssef) est caractérisé par des périodes plus courtes mais un déficit hydrique remarquable.
- Les indices issus de la courbe des débits classés à 50% révèlent des épisodes de déficit hydrique durant plusieurs années, notamment la période entre 1982 et 1986 et les années 1994 et 1995.
- Les indices Q75 et Q90 dérivés de la courbe des débits classés, révèlent de courtes périodes de déficit hydrique, sauf en 1983, 1984 et 1994 qui ont été caractérisées par un sécheresse hydrologique sévère.

Le choix des indices d'apparition d'étiage doit tenir compte d'une sorte d'équilibre. Un seuil plus élevé (Q50) ne reflète pas précisément cet événement d'étiage, mais plutôt un événement hydrologique non extrême. En revanche, un indice très bas (Q90) permet d'identifier les épisodes d'étiage les plus sévères, ce qui conduit à étudier des événements moins fréquents.

5 DISCUSSION

Les événements d'étiage peuvent être déterminés et analysés à l'aide de seuil de débit, qui est utilisé pour identifier le déficit et sa durée. L'analyse des situations d'étiage basée sur un seuil de débit présente de nombreux avantages, dont le plus important est la prise en compte de la durée des événements hydrologiques, inversement à d'autres indicateurs qui limitent l'étiage dans un contexte temporel qui peut être identique quelles que soit l'année [15]. Plusieurs auteurs, s'intéressant aux volumes déficitaires [18] utilisent des seuils correspondant généralement aux indices issus de la courbe des débits classés entre 70–95 %. On peut également citer les travaux de [19] qui ont analysé la durée et le volume de déficit hydrique selon trois seuils différents; 50, 70 et 90 %. Ils ont également constaté que l'occurrence de sécheresses sur plusieurs années plutôt que sur d'autres années était également une caractéristique importante dans le choix d'un seuil approprié, et que ce choix dépend du type de déficit hydrique à l'étude plutôt que d'un choix aléatoire. Dans le contexte continental, le Nouveau-Brunswick (Canada) a été mis en évidence dans une étude sur l'étiage par [20] en adoptant l'indice Q90, en dessous duquel des périodes de déficit ont été extraites. Ils ont souligné que la justification de l'application de cet indice est basée sur des caractéristiques hydrologiques et économiques.

L'étude d'étiage dans le bassin versant d'étude, basée sur les indices issus de la courbe des débits classés (DC), a révélé des périodes de déficit hydrique qui s'étendent sur plusieurs mois au cours de certaines années (1983 dans le bassin de Tassaout en amont du barrage M. Youssef et 1984 dans le sous-bassin d'Ait Tamtil). Sur la base des seuils extraits de DC, on a constaté que le nombre total de jours de chaque année variait d'une année à l'autre et entre l'amont et l'aval du bassin, car l'extraction des débits non dépassés 90% (Q90) est inférieur à 72 % des années de la chronique. Lorsque les seuils sont fixés à 80 % à 50 %, le pourcentage d'années en dessous desquels variait de 83 % à 97 % dans le bassin versant de Tassaout (en amont du barrage M. Youssef).

Les résultats ont montré que le bassin de la Tassaout (en amont du barrage M. Youssef) connaît des périodes d'étiage d'une sévérité remarquable lors d'événements particulièrement extrêmes. L'étiage s'est fréquenté pendant de nombreuses années (plus de 70%), cela est dû à des facteurs climatiques affectant le régime hydrologique des bassins versants. L'occurrence de l'étiage à l'échelle spatiale diffère entre l'amont et l'aval, cela est principalement dû aux caractéristiques physiques du bassin. Les jours d'étiage surviennent plus fréquemment en amont (sous-bassin d'Ait Tamtil) qu'en aval. Cela s'explique par des étiages fréquents pendant la période hivernale, caractérisée par des accumulations de neige qui retiennent de grandes quantités d'eau.

6 CONCLUSION

Pour déterminer l'état de la situation hydrologique du bassin de la Tassaout (en amont du barrage M. Youssef), le choix du débit d'entrée à étiage a été fixé à Q75. Le travail que nous avons réalisé en termes de définition de seuils pour le bassin versant d'étude est encore un simple essai basé sur une analyse statistique.

Les étiages peuvent être déterminés en fonction de seuils choisis exprimant la sévérité de la situation hydrologique. Ainsi, le choix du seuil a permis d'enregistrer un étiage dans certaines années et pas d'autres. Certaines années ont été marquées

par plusieurs périodes. L'analyse de la sévérité des étiages a révélé deux périodes très déficitaires de durée et de volumes très importants. Il s'agit de la période (1982-1986) et de la période (1993-1995).

La détermination de seuils d'apparition d'étiage permet d'améliorer la gestion de la ressource en eau en période des basses eaux, notamment en amont des barrages, et d'offrir une vision claire aux gestionnaires du secteur de l'eau, en impliquant de les lier à des mesures proactives pour éviter les crises ou y surmonter en cas de survenance, et aussi d'adopter des éléments et des solutions stratégiques, pour atténuer les risques liés à la sécheresse et au déficit hydrique en rationalisant la gestion et en trouvant des facteurs d'influence, et assurer la résilience humaine face aux aléas et aux catastrophes climatiques pour une gestion prédictive et préventive.

REFERENCES

- [1] Q. A. Raml et A. S. Arzek, « Evaluating the qualitative characteristics of groundwater and its suitability for human use in the Kirkuk district », *J. Educ. Sci. Stud.*, vol. 2, n° 11, 2018, Consulté le: 18 juin 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.iasj.net/iasj/article/179349>.
- [2] J.-P. Larue et A. Giret, « L'assèchement de cours d'eau dans le bassin de la Maine entre 1989 et 1992 », *Norais Environ. Aménage. Société*, n° 192, Art. n° 192, sept. 2004, doi: 10.4000/norais.944.
- [3] J. Corbonnois et J. Humbert, « Ressources et gestion de l'eau dans le Nord-Est de la France », in *L'eau dans les régions françaises, d'un extrême à l'autre*, J.P. Bravard, SEDES.SEDES, 2000, p. 219-249.
- [4] M. Chakir, « Étude statistique des étiages et des tarissements dans le bassin versant de l'oued de Tassaout (Amont du Barrage de Moulay Youssef): Détermination, extraction, modélisation et problématique de la gestion (1978-2020) (Haut Atlas - Maroc) », Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université Sultan Moulay Slimane, FLSHBM, Maroc, 2022.
- [5] G. Couvreur, *Essai sur l'évolution morphologique de haut atlas calcaire – Maroc*, Edition du Service Géologique du Maroc. in Notes et Mémoires du Service Géologique. 1988.
- [6] G. Castany, *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*. DUNOD. PARIS, 1982. Consulté le: 17 juin 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://side.developpement-durable.gouv.fr/ACCIDR/doc/SYRACUSE/78711/principes-et-methodes-de-l-hydrogeologie>.
- [7] S. BOUKRIM, LAHRACH, N. SADKAOUI, et A. CHAOUNI, « Impact des changements climatiques sur l'hydrologie du bassin versant de l'Ouergha (Rif-Maroc) », *Rev. Sci. Tech. LJEE*, n° 19, p. 42-55, 2011.
- [8] V. Yevjevich, « An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. VUJICA YEVJEVICH: Fort Collins, Colorado State University, 1967, 19 p. (Hydrology paper no. 23) », *J. Hydrol.*, vol. 7, p. 353-353, janv. 1969, doi: 10.1016/0022-1694(69)90110-3.
- [9] L. Tallaksen et H. A. J. van Lanen, *Hydrological drought. Processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. Elsevier, 2004. Consulté le: 19 juin 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://research.wur.nl/en/publications/hydrological-drought-processes-and-estimation-methods-for-streamf>.
- [10] I. Giuntoli et B. Renard, « Identification des impacts hydrologiques du changement climatique : vers un réseau de référence pour la surveillance des étiages », ONEMA-Irstea, Rapport, 2010.
- [11] F. Garcia, « Amélioration d'une modélisation hydrologique régionalisée pour estimer les statistiques d'étiage », Thèse de doctorat de 3ème cycle, Irstea UPMC Paris VI, Paris, 2016.
- [12] C. Catalogne, « Amélioration des méthodes de prédétermination des débits de référence d'étiage en sites peu ou pas jaugés », Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, 2012. Consulté le: 17 juin 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-01547922>.
- [13] J. A. Dracup, K. S. Lee, et E. G. Paulson Jr., « On the definition of droughts », *Water Resour. Res.*, vol. 16, n° 2, p. 297-302, 1980, doi: 10.1029/WR016i002p00297.
- [14] G. Laaha et G. Blöschl, « A comparison of low flow regionalisation methods -catchment grouping », *J. Hydrol.*, vol. 323, n° 1-4, p. 193-214, 2006.
- [15] C. Lang, « Etiages et tarissements : vers quelles modélisations ? L'approche conceptuelle et l'analyse statistique en réponse à la diversité spatiale des écoulements en étiage des cours d'eau de l'Est français », Thèse, Université de Metz, France, 2007.
- [16] M. F. Roche, *Dictionnaire français d'hydrologie de surface avec équivalents en anglais, espagnol, allemand*. Paris ; New York: Dunod, 1986.
- [17] V. U. Smakhtin, « Low flow hydrology: a review », *J. Hydrol.*, vol. 240, n° 3, p. 147-186, janv. 2001, doi: 10.1016/S0022-1694(00)00340-1.
- [18] A. K. Fleig, L. M. Tallaksen, H. Hisdal, et S. Demuth, « A global evaluation of streamflow drought characteristics », *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 10, n° 4, p. 535-552, juill. 2006, doi: 10.5194/hess-10-535-2006.
- [19] L. M. Tallaksen, H. Madsen, et B. Clausen, « On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume », *Hydrol. Sci. J.*, vol. 42, n° 1, p. 15-33, 1997.
- [20] N. El-Jabi, F. Ashkar, et M. Issa, « Application stochastique du phénomène d'étiage », *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 24, p. 191-200, févr. 2011, doi: 10.1139/cjce-24-2-191.