Revue-IRS

Revue Internationale de la Recherche Scientifique
(Revue-IRS)
ISSN : 2958-8413
Vol. 1, No. 3, Mai 2023

Caractérisation du régime d'étiage à l'échelle journalière dans un contexte Semi-aride : cas du bassin versant de la Tassaout Amont du barrage Moulay Youssef (Maroc)

Mohamed Chakir[1], Omar Ghadbane[1], Mohamed El Ghachi[1]
[1] Laboratoire Dynamique des Paysages, Risques et Patrimoines, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal, Maroc

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.

Résumé : Dans le contexte du changement climatique d'une part, et les pressions exercées sur les ressources en eaux d'autre part, la connaissance des débits d'étiage constitue un enjeu majeur. Ce travail comporte donc une approche systématique appliquée sur un bassin montagnard au centre du Maroc qui appartient à un climat semi-aride et qui reçoit des précipitations avec une variabilité dans le temps et dans l'espace. L'objectif principal est d'apporter des éléments d'explications sur le fonctionnement du bassin versant de la Tassaout (Amont du barrage Moulay Youssef) en période d'étiage. Dans le cadre de cette contribution nous procurons une analyse statistique fréquentielle et comparative permettant de caractériser le débit d'étiage à l'échelle journalière à partir des VCNd (Volume Consécutif Minimal pour d jours), et valider des séries de débits minimums. Cette analyse a été effectuée à l'aide de tests statistiques. La deuxième étape repose sur une méthode statistique multi-durée pour qu'on puisse déterminer et analyser les seuils de sévérité d'étiage, en faisant varier la durée du VCN de 1 à 90 jours. Cette méthode permet de déterminer le pourcentage d'années sans étiage (p0) et le pourcentage d'années conduisant à un étiage de durée supérieure à d jours. Les données utilisées sont des provenances de deux stations hydrométriques : la station de Tamsemat et la station d'Ait Tamlil pour la chronique 1978-2016.

Mots-clés : Bassin versant Tassaout (Amont du Barrage Moulay Youssef), Débit fréquentiel, Étiage, VCN, Sévérité d'étiage.

Abstract: In the context of climate change on the one hand, and the pressures exerted on water resources on the other, knowledge of Low-flow is a major issue. This work therefore involves a systematic approach applied to a mountainous basin in central Morocco that belongs to a semi-arid climate and receives rainfall with variability in time and space. The main objective is to bring elements of explanation on the functioning of the Tassaout river (Upstream of Moulay Youssef dam) in Low-flow period. Within the framework of this presentation, we provide a statistical and comparative analysis allowing to characterize the Low-flow on a daily scale from the VCNd (Minimum Consecutive Volume for d days), and to validate the series of minimum flows. This analysis was carried out using statistical tests. The second step is based on a multi-duration statistical method for determining and analysing low-flow severity thresholds by varying the duration of the VCN from 1 to 90 days. This method makes it possible to determine the percentage of years with no Low-flow (p0) and the percentage of years leading to a Low-flow level of more than d days. The data used are from two hydrometric stations: the Tamsemat station and the Ait Tamlil station for the 1978-2016 period.

Keywords: Tassaout watershed (Upstream of Moulay Youssef dam), Frequential flow, Low-flow, VCN, Low-flow severity.

Digital Object Identifier (DOI): https://doi.org/10.5281/zenodo.7933433

1. Introduction

L'eau est toujours au center de la préoccupation humaine, et au cœur des différentes activités quotidiennes, c'est pourquoi elle est considérée comme l'un des principaux défis des pays du sud de la Méditerranée. Ainsi, cette ressource est un facteur de développement durable et d'amélioration de la qualité de vie. La mesure quantitative et qualitative des ressources en eau tant souterraines que superficielles est une nécessité impérieuse, compte tenu de la diversité de ses usages et de la dégradation marquée de la qualité de l'eau au cours des dernières décennies dans ces pays en développement, et de l'augmentation continue des besoins.

Une bonne connaissance des fonctionnements hydrologiques des bassins versants marocains, et le recours à une meilleure gestion rationnelle des ressources en eau, donnent une vision distincte à tous les acteurs et usagers (eau potable, production d'énergie, activités agricoles, activités touristiques...) et le législateur (promulgations de la loi sur l'eau en 1995). Cette connaissance nécessite, au préalable, une étude complète et précise des ressources en eau, notamment en période de sécheresse et de pénurie, pour assurer une gestion efficace et durable des ressources en eau.

L'étiage est un événement saisonnier, plus ou moins sévère, qui affecte tous les cours d'eau (Smakhtin, 2001). Cet événement correspond à une diminution du débit, ou à son assèchement pendant certaines périodes. L'homme et les écosystèmes s'adaptent à ces événements récurrents. La plupart des études relatives aux étiages ont été d'ailleurs menées dans une optique prévisionnelle, elles portent sur la fréquence et la probabilité d'un phénomène qui a de graves conséquences (Frécaut, 1975). Ainsi, les gestionnaires doivent prévenir des déséquilibres entre prélèvements et ressources disponibles, en imposant des limitations temporaires de certains usages de l'eau.

2. Methods

2.1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de la Tassaout (amont du Barrage Moulay Youssef) appartient à la chaîne montagneuse du Haut-Atlas Central, située au Sud-Est du bassin d'Oum Er-Rabia. Le bassin versant occupe une superficie de 1307 Km2. Il prend naissance à une altitude de 3978 m environ et s'écoule du Nord-Est vers le Nord-Ouest. La rive droite se caractérise par des affluents assez courts et moins nombreux, souvent temporaires, les affluents les plus importants se trouvent en rive gauche.

Le bassin de la Tassaout (amont du Barrage Moulay Youssef) offre un caractère montagneux avec une forte pente de 21,5 %, le couvert végétal représente 24% de la surface globale du bassin. Le substratum géologique constitué essentiellement de grès, dolomie et calcaire perméable, qui appartiennent à la série sédimentaire du Trias et du Lias en amont du bassin, et de schiste et argile, imperméable, qui appartiennent à la série sédimentaire du Trias en aval du bassin (Couvreur, 1988). 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 Cénomanien inférieur (Castany, 1982). Cette classe représente 56% de la superficie totale du bassin versant. Les formations imperméables sont généralement associées aux affleurements 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.

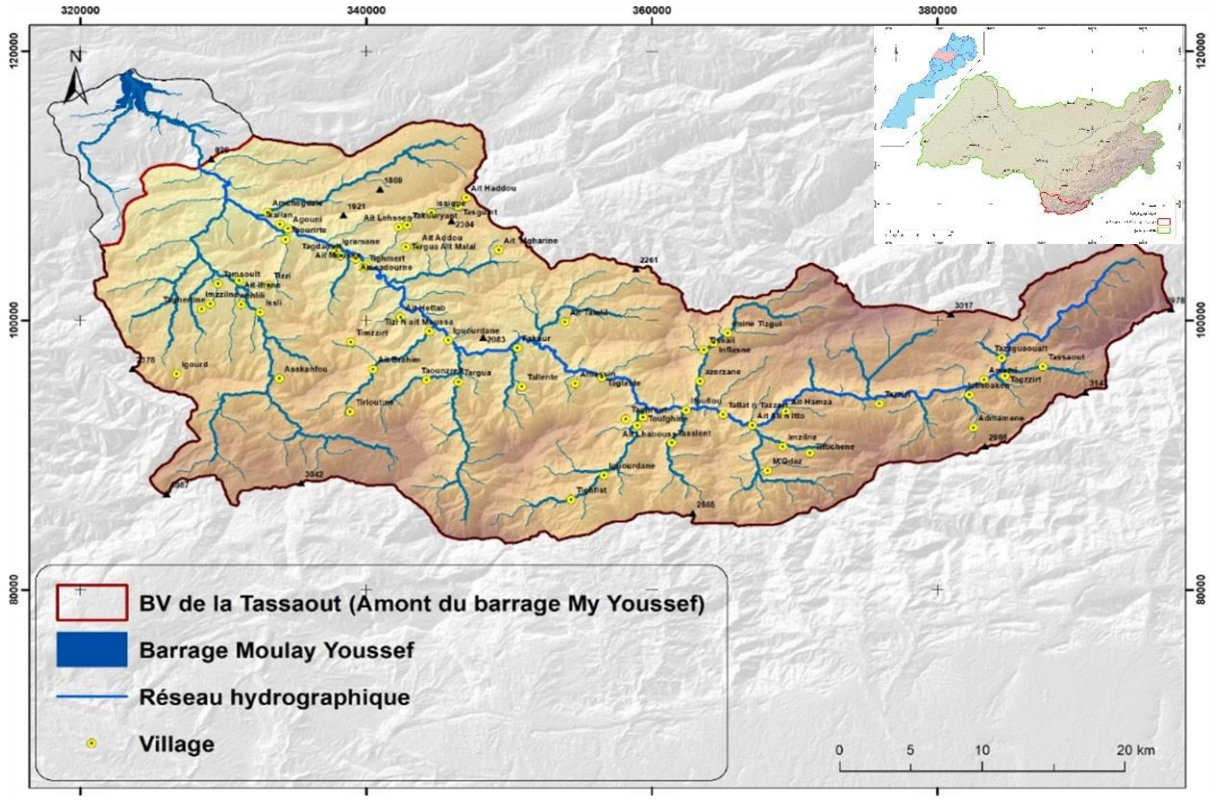

Figure 1 : Situation géographique du bassin - versant de la Tassaout (amont du Barrage Moulay Youssef). **Source** : Carte topographique de Demnat et Ait Tamlil 1/100000, DEM 2017

2.2. Contexte hydro-climatique

Le climat du Maroc est de type méditerranéen à influence océanique. Dans le bassin de L'Oum Er Rbia, cette influence se manifeste par le fait que les vents pluvieux sont de secteur Ouest et que la hauteur pluviométrique annuelle décroît quand on s'éloigne de la mer (ABHOER,1972). Dans le bassin de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef) le climat devient aussi plus continental, avec des températures maximales d'été très élevées et des températures minimales inférieures à celles qu'on enregistre sur le littoral. L'influence de l'altitude devient prépondérante et la pluviométrie croît à nouveau du pied aux sommets de l'Atlas (ABHOER,1972). Le bassin versant fait partie des bassins marocains qui ont été classés parmi les zones sensibles au changement climatique (Conseil Économique, Social et Environnemental, 2015).

Tableau 1 : caractéristiques et hydro-climatique du bassin d'étude

Station	Surface du bassin (km2)	Chronique disponible	Moyen du P (mm)	Module Q (m3/s)	Débit spécifique (L/s/km2)
Ait Tamlil	**531**	**1978-2016**	**458**	**4,1**	**7,6**
Tamsemat	**1307**	**1978-2016**	**514**	**8,9**	**6,8**

La pluviométrie annuelle moyenne à la station de Tamsemat (aval du bassin) au cours de la période (1978-2016) était de 514 mm. Le coefficient de variation moyen (CV) est estimé à 0,31, indiquant que le bassin reçoit des précipitations modérées en général.

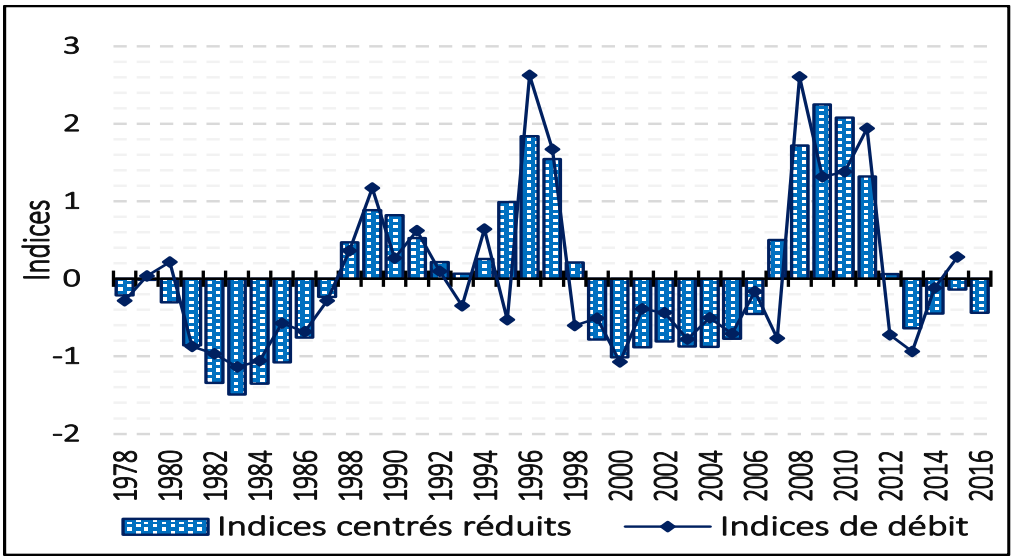

Figure 2: Évolution interannuelle des débits à la stations de Tamsemat avec les indices centrés réduits (1978-2016)

Le module sur l'échantillon étudié (39 ans) était de 8,9 m3/s à la station d'étude. Seules 15 années dépassent le module, en revanche 24 années sont déficitaires. L'indice centré réduite de NICHOLSON (Assani, 1999 ; Nejjari, 2001 ; Ghadbane et *al*, 2021) découpe la série des débits en quatre phases excédentaires et déficitaires ; deux phases sèches, il s'agit de la période (1978-1987) puis de la période (1999-2006), et deux phases humides s'étendant le long de (1988-1998) et (2007-2016). Cet indicateur a montré que le bassin présente une longue période déficitaire entre 1978 et 1987, le maximum était enregistré au cours de l'année 1983 dans le bassin versant.

2.3. Données

L'extraction des périodes d'étiage repose sur les débits enregistrés à l'échelle journalières, pour lesquelles le débit correspond à la vidange des aquifères. Pour activer le programme d'extraction des VCN, nous nous basons sur les données hydrologiques obtenues auprès de l'Agence du Bassin Hydrologique d'Oum Er-Rbia. Les débits journaliers sont des données pertinentes pour déterminer et extraire les étiages. Ce qui correspond aux débits mesurés à l'exutoire des bassins étudiés au niveau des deux stations d'Ait Tamlil et de Tamsemat au cours de la chronique (1978-2016) (Tableau 2).

Tableau 2 : Caractéristiques des données utilisées

Type de stations	Noms des stations	Coordonnées géographiques		Données utilisées	Chroniques
		X	Y		
Hydrométrie	Ait Tamlil	357600	93700	Journalières	1978-2016
	Tamsemat	328300	111200	Journalières	1978-2016

2.4. Méthodes

Le VCNd (Volume Consécutif Minimal pour d jours) ou MAMd (en anglais pour Mean Annual d-day Minimum flow) correspond au débit moyen minimal annuel non dépassé pendant

d jours consécutifs (Garcia, 2016). Ces indicateurs sont les plus communément employés pour la caractérisation de la sévérité des étiages. Les VCNd sont extraites annuellement en fonction d'une durée fixée de d jours. Des moyennes mobiles calculées à partir des débits moyens journaliers sur d jours consécutifs aboutissent au calcul des VCNd (Lang, 2007). La durée d prend généralement des valeurs égales à 1,3, 5, 10 ou 30 jours, néanmoins des durées plus longues peuvent être parfois utilisées pour caractériser la sévérité d'étiage sur le long terme (de d = 90 jusqu'à d = 284 jours) (McMahon et Meine, 1986 ; Midgley et al, 1994). La durée optimale pour le calcul des VCNd doit être en relation avec la définition attribuée à l'étiage, mais aussi avec les caractéristiques climatiques et anthropiques du bassin versant.

Ensuite, pour le calcul du minimum annuel des moyennes glissantes, il a été pris en compte celles en dessous du débit moyen annuel, et un taux de 10% de lacunes sur ces valeurs a été autorisé.

3. Résultats et interprétations

3.1. Extraction de VCN_d dans le bassin versant de l'Oued Tassaout

Les valeurs des VCN_d ont été calculées pour les deux stations du bassin versant de l'oued de la Tassaout (Amont du barrage Moulay Youssef). Il y a une convergence des valeurs des VCN_d extraites pour les périodes égales ou inférieures à 30 jours, qui est plus prononcé pendant les années sèches, par exemple le VCN_{30} dépasse le VCN_{10} de 11% dans le bassin de haut Tassaout à la station Tamsemat, et de 13% dans le sous-bassin d'Ait Tamlil à la station Ait Tamlil. Cela montre que le débit quasiment stable pendant ces périodes, ce qui reflète un tarissement lent du débit, et cela peut être lié aux caractéristiques géologiques.

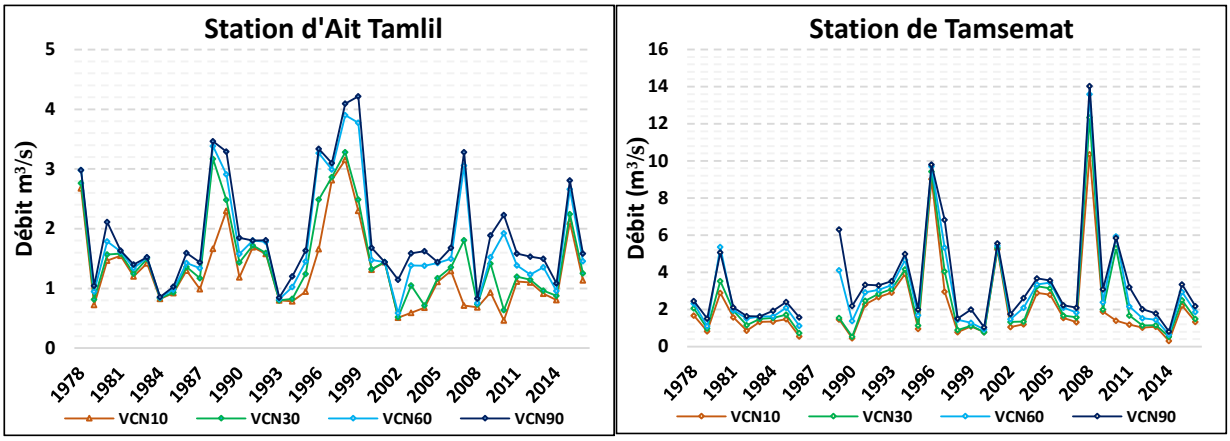

Figure 3 : Variabilité des VCNd du haut Tassaout aux stations d'Ait Tamlil et de Tamsemat (2016-1978)

L'étude de la relation montre également la forte corrélation entre les VCN_d. Le coefficient de corrélation linéaire a enregistré des valeurs comprises entre 0,72 et 0,99. La corrélation est plus forte entre les variables d'étiage à la station de Tamsemat, voire entre le VCN_1 et VCN_{90}. Quant à la station d'Ait Tamlil, la relation apparaît plus forte entre les VCN_{10} et VCN_{30}, et moins forte entre les VCN_{30} et VCN_{90}.

Vue le grand nombre d'indices, les résultats sont présentés sous forme des boites à moustaches. La distribution est positivement asymétrique (figure 4).

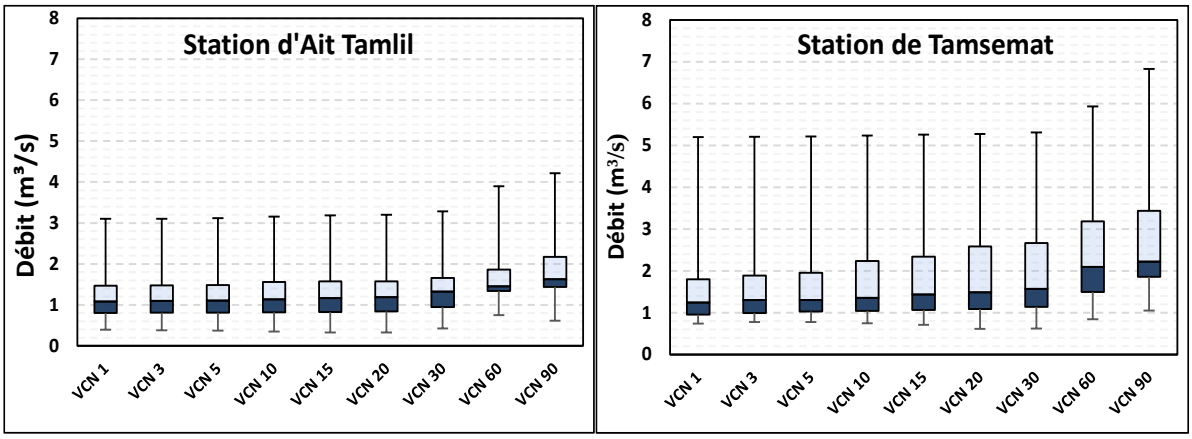

Figure 4 : Boite à moustache des VCN_d du haut Tassaout aux stations d'Ait Tamlil et de Tamsemat (2016-1978)

On note une dispersion dans l'échantillon statistique entre les valeurs inférieures et supérieures des indices d'étiage. L'écart interquartile à la station de Tamsemat, (la distance entre le 1er quantile et le 3e quantile) a été caractérisé par une expansion significative, notamment pour les indices de plus de 30 jours, qui ont enregistré un maximum de 1,6 m^3/s pour la variable VCN_{60}. Quant aux indices inférieurs à 20 jours, l'écart interquartile s'est réduit à moins de 1,4 m^3/s. Pour la station d'Ait Tamlil, l'écart interquartile était moins étendu, et ne dépassait pas 0,7 m^3/s pour le VCN_{90}. Cependant, la dispersion était moins sévère, malgré la divergence des valeurs supérieurs au 3^e quartile.

3.2. Étude fréquentielle des VCN_d selon la loi Ln-Normale

La fréquence est analysée par ajustement à la loi statistique Ln-Normale pour les VCN extraits sur 3, 5, 10, 20, 30, 60 et 90 jours de l'échantillon d'observations (1978-2016). Ce processus sert à évaluer la relation entre le débit estimé pour le temps de retour T et la fréquence de non-dépassement associée.

Le bassin est caractérisé par un écart faible entre les fréquences d'étiage (vers les années sèches) à l'échelle spatiale et temporelle. Il y a une rassemblement des fréquences de VCN_d entre l'amont et l'aval du bassin, notamment pour les périodes inférieures à 30 jours. Cela confirme l'importance de l'alimentation souterraine qui est un facteur de régulation des écoulements.

Tableau 3 : Fréquences d'apparition des VCNd du bassin versant de la Tassaout (1976-2016) avec la loi Ln-Normale

Durée d (jours)	Station d'Ait Tamlil			Station de Tamsemat		
	VCN (T, d) (m^3/s)			VCN (T, d) (m^3/s)		
	2 ans	5 ans	10 ans	2 ans	5 ans	10 ans
	U_f			U_f		
	0	-0,84	-1,28	0	-0,84	-1,28
1	1,119	0,756	0,616	1,399	0,758	0,550
3	1,132	0,766	0,624	1,443	0,779	0,565
5	1,143	0,774	0,631	1,491	0,803	0,581
10	1,170	0,790	0,643	1,575	0,845	0,611
15	1,198	0,810	0,660	1,656	0,891	0,644
20	1,233	0,839	0,686	1,746	0,944	0,685
30	1,339	0,909	0,742	1,887	1,029	0,750
60	1,587	1,075	0,876	2,366	1,367	1,026
90	1,753	1,219	1,008	2,766	1,664	1,275

3.3. Nombre de jours sous les seuils VCNd(T)

L'analyse des étiages peut également être appréhendée à partir de la définition d'un débit seuil (lang, 2011). Donc, on parle d'étiage lorsque le débit est inférieur à la valeur seuil fixée pour le cours d'eau. Il a été appuyé sur les seuils de $VCN_{d(T)}$ (T correspond les périodes de retour 2, 5 et 10 ans), afin d'extraire et de déterminer la sévérité de l'étiage par rapport au nombre de jours sous ce seuil.

Le nombre moyen de jours sous les seuils de $VCN_{1(2)}$ à $VCN_{30(2)}$ a enregistré une raccordement des valeurs, avec un écart de 4 jours pour la station d'Ait Tamlil, et de 8 jours pour la station de Tamsemat. La différence ressort clairement à partir de l'indicateur statistique $VCN_{60(2)}$. Ces résultats expliquent les longues périodes d'étiage, car les périodes de déficit peuvent dépasser un mois à plusieurs mois, notamment pendant les années sèches.

Les résultats sont très similaires pour les indices $VCN_{3(T)}$ et $VCN_{15(T)}$. Dans la station d'Ait Tamlil, les années 1984, 1993, 2002 et 2008 ont enregistré un étiage plus sévère. Quant à la station de Tamsemat, la sévérité de l'étiage a été moins sévère. Lorsque le seuil a été relevé à l'indicateur $VCN_{30(T)}$, un léger changement est apparu dans la durée et le nombre de périodes, notamment durant la période comprise entre 1981 et 1986, et nous mentionnons surtout l'année 1983 pour la station Tamsemat et 1984 pour la station Ait Tamlil station, qui ont été caractérisées par une grave sécheresse hydrologique, et donc un grand déficit hydrique. Pour les indicateurs $VCN_{60(T)}$ et $VCN_{90(T)}$, le pourcentage d'années caractérisées par un débit inférieur au seuil s'élevait à plus de 80 % des chroniques statistiques, et le nombre de jours sous le seuil augmentait d'une façon significative, tandis que d'autres sont apparues bien qu'elles aient été qualifiées d'années humides.

On note que le sous-bassin d'Ait Tamlil à l'amont a une grande fréquence d'apparition d'étiage. Bien que le débit spécifique annuel soit élevé, les déficits hydriques peuvent se reproduire pendant l'hiver en raison de l'accumulation de la neige caractérisant l'amont du bassin, qui contribuent directement à la rétention des quantités importantes d'eau et donc à l'apparition de périodes supplémentaires d'étiage.

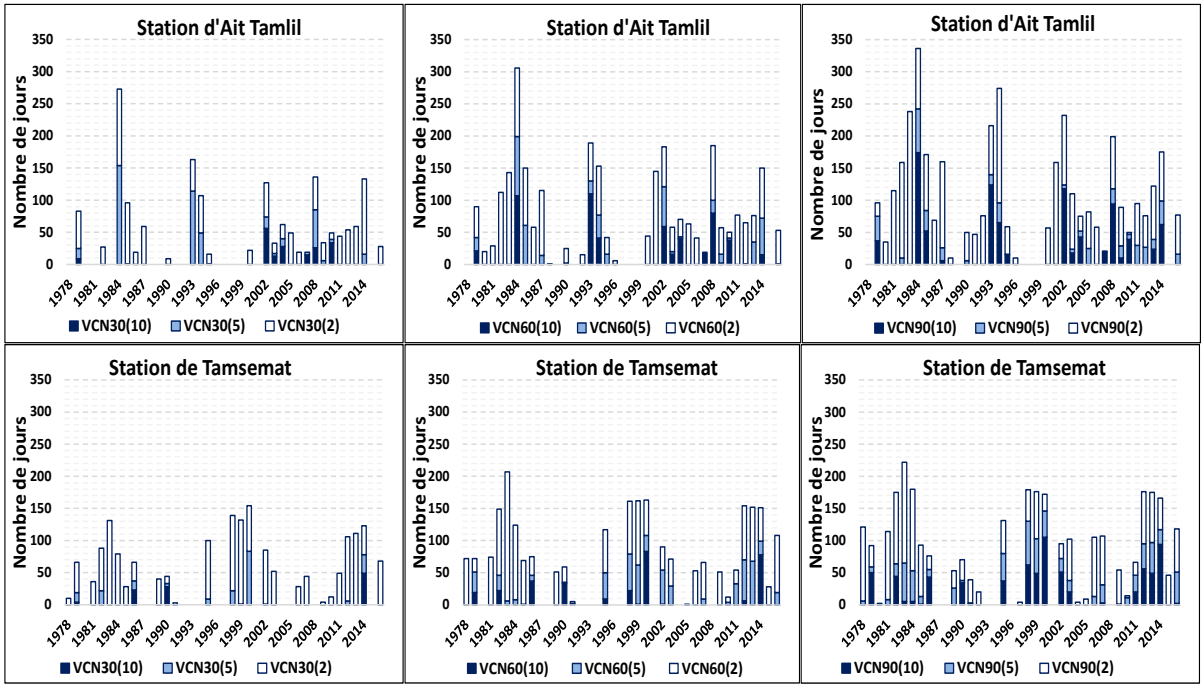

Figure 4 : Nombre de jours de d'étiage sous les seuils VCNd(T) aux stations d'Ait Tamlil et de Tamsemat (1978-2016)

2.4. Seuils d'étiage basés sur les indices $VCN_{d(T)}$

Afin de trouver la meilleure concordance, nous avons adopté l'approche (Renard et Giuntoli, 2009) qui a été appliquée aux indicateurs extraits de la courbe des débits classés : selon plusieurs choix de seuils d'étiage extraits à l'échelle annuelle qui correspond au débit moyen minimal annuel non dépassé pendant d jours consécutifs (VCN_d) où d varie de 1 jour à 90 jours. p_0 est le pourcentage d'années sans étiage, et p_{90} est le pourcentage d'années conduisant à un étiage de durée supérieure à 90 jours. Une valeur élevée de p0 indique que le seuil choisi est trop bas, tandis qu'une valeur élevée de p_{90} indique un seuil trop élevé.

On note que les seuils du $VCN_{1(2)}$ à $VCN_{20(2)}$ sont clairement trop bas, puisqu'ils conduisent pour les deux stations (Ait Tamlil et Tamsemat) à un nombre important des années sans étiage. Le choix entre les autres seuils est plus délicat. On peut remarquer que les deux courbes se croisent en général entre $VCN_{30(2)}$ et $VCN_{60(2)}$ pour les deux stations.

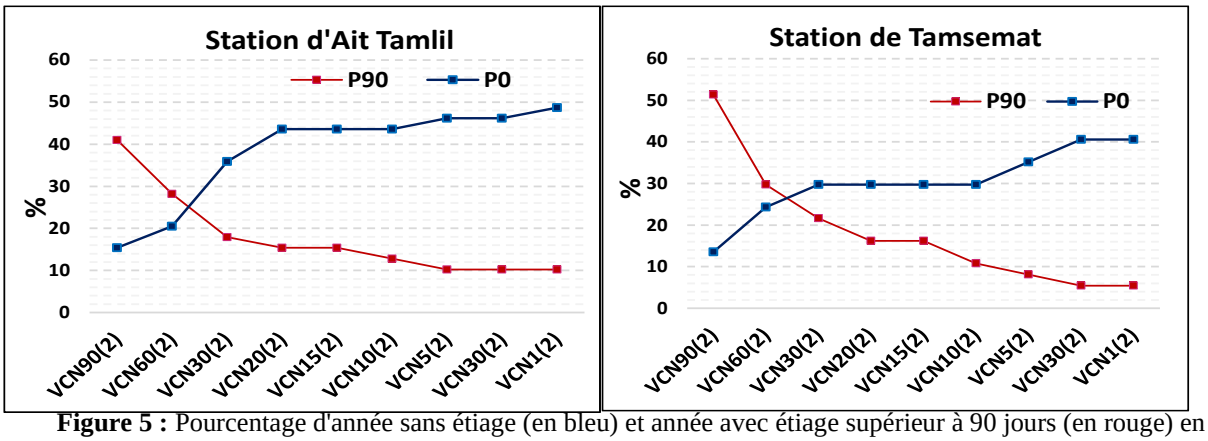

Figure 5 : Pourcentage d'année sans étiage (en bleu) et année avec étiage supérieur à 90 jours (en rouge) en fonction du seuil choisi au niveau des stations d'Ait Tamlil et de Tamsemat (1978-2016)

Le choix d'un indice plus élevé peut conduire à l'étude d'événements hydrologiques non extrêmes, mais il peut être un indicateur du début d'une période d'étiage. Ainsi, une sorte d'équilibre doit être considéré dans la sélection des indices qui représentent réellement l'événement d'étiage et ses niveaux de sévérité, en tenant compte des caractéristiques climatiques du bassin étudié.

4. Discussion

La détermination des indices qui reflètent réellement les périodes d'étiage reste une question très complexe. Comme le souligne d'ailleurs Frécaut (1975), « il semble plus satisfaisant de définir une valeur de débit au-dessous de laquelle on peut estimer valablement qu'il y a étiages», Les travaux recensés dans la bibliographie, qui s'intéressent à caractériser le régime d'étiage à l'échelle journalière, utilisent fréquemment les indicateurs $Q_{7,10}$, $Q_{7,2}$ et $Q_{30,5}$ au Canada par exemple, pour étudier la capacité d'absorption des déchets et des concentrations de polluants dans les cours d'eau (Ouarda et al, 2008). On peut aussi citer Lang (2007) qui se fond sur le VCN_{10} qui a été considéré comme une valeur adéquate pour analyser l'étiage dans le bassin versant de Rhin-Meuse (zone de transition entre le climat océanique et le climat continental). En effet, le choix des indicateurs appropriés est une question cruciale, et dépend finalement du contexte, des objectifs de l'étude et des caractéristiques du bassin, de sorte qu'il soit pertinent. Ces conditions représentent des facteurs clés dans la différenciation des sévérités d'étiage. Également, dans le choix de cet indice, il faut prendre soin de ne pas confondre l'émergence d'événements extrêmes tels que les sécheresses pluriannuelles, et de ne pas se limiter à des événements très rares.

Le bassin versant de Tassaout (Amont du Barrage Moulay Youssef) est caractérisé par un

climat montagnard dans un contexte semi-aride. Il reçoit des précipitations variables dans le temps, parfois absentes pendant plusieurs mois. Aussi, le contexte naturel associés au substratum perméable (dolomie et calcaire fissuré) contribue, à partir des réservoirs souterrains, à la continuité de l'alimentation du cours d'eau, pendant les périodes de déficit pluviométrique.

L'étude statistique comparative des indices d'étiage révèle que les seuils du $VCN_{1(2)}$ à $VCN_{20(2)}$ sont clairement trop bas, puisqu'ils conduisent pour les deux stations à un nombre important des années sans étiage. Le choix entre les autres seuils est plus délicat. On peut remarquer que les deux courbes se croisent en général entre $VCN_{30(2)}$ et $VCN_{60(2)}$, suggérant que le meilleur compromis se situe dans cette fourchette.

La détermination des seuils d'étiage cède une vision rationnelle aux gestionnaires du secteur de l'eau. L'analyse de la situation hydrologique est liée à des mesures proactives, afin d'éviter ou de surmonter les crises en cas de survenance, ainsi que l'adoption d'éléments et de solutions stratégiques, pour atténuer les risques associés à la sécheresse et à l'étiage, vu que l'adaptation aux risques climatiques nécessite une gestion par la prédiction et la prévention.

Conclusion

Il semble, dans tous les cas et quelle que soit la variable définie, qu'il est difficile de cerner la problématique de l'étiage en travaillant sur la définition d'un seul indicateur. De manière générale, la plupart des auteurs se sont appuyés, à travers les études consultées, sur des indicateurs qui sont extraits du débit moyen minimal annuel non dépassé pendant d jours consécutifs sur une période de 7 jours à 30 jours pour des périodes de retour de deux à 10 ans dans le sens de la sécheresse. Les VCN_d permet d'identifier les débits d'étiage à différents pas de temps afin de limiter l'influence des précipitations sur les écoulements. Dans le bassin versant de Tassaout (contexte climatique semi-aride), les $VCN_{30(2)}$ et $VCN_{60(2)}$ peuvent être représentatifs des situations d'étiages.

La plupart des études qui ont été passées en revue ont été réalisées dans les contextes climatiques océanique et continental, dans lesquels le débit est caractérisé par une forte variabilité tout au long de l'année. Cependant, dans le contexte hydro-climatique semi-aride et aride comme le Maroc, on note un grand manque des études d'étiage, à l'exception de quelques rapports et études d'hydrologie qui traitent l'étiage comme un élément du cycle hydrologique. Les résultats de l'analyse statistique et fréquentiel pour déterminer les seuils d'étiage ne sont pas suffisants pour une gestion efficiente, car il existe d'autres facteurs qui influencent le fonctionnement hydrologique en étiage, dont le plus important est l'impact anthropique, qui aggrave la situation de la pénurie en eau. Ainsi, on peut citer l'étiage anthropique, qui est lié à l'intervention humaine. La situation devient critique lorsqu'une diminution de la disponibilité de l'eau entraîne une insuffisance à répondre aux besoins (El Ghachi, 2008). Cette situation oblige les gestionnaires à penser des stratégies intégrées visant à mieux articuler les usages tout en maintenant le bon fonctionnement des milieux aquatiques, et à prévoir la situation hydrologique à moyen et long terme afin d'éviter la survenance des crises associée à l'étiage.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

[1] ABHOER, (1972). Étude hydrologique de l'OUM ER RBIA. Rapport.

[2] Assani, A. (1999). Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916-1996) à Lubumbashi (Congo-Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation atmosphérique (oscillation australe) et océanique (El Nino/La Nina), 10 (4) 245 - 52

[3] Castany, G. (1982). Principes et méthodes de I' hydrogéologie. Edition. Dunod

[4] Conseil Économique, Social et Environnemental, (2015). Rapport Annuel, www.cese.ma.

[5] Couvreur, G. (1988). Essai sur l'évolution morphologique de haut atlas calcaire – Maroc. Notes et Mémoires du Service Géologique. Edition du Service Géologique du Maroc N° 318.

[6] El Foul, M., & El Ghachi, M. (2018). Impact des actions anthropiques sur le bilan hydrologique dans le bassin versant de la Tassaout (amont du barrage Moulay Youssef): modèle hydrologique Orchy II (1986-2010). Journal of Water and Environmental Sciences, 2(1), 297-304

[7] Frécaut, R., (1975). Contribution à l'étude statistique des étiages, Application au domaine tempéré

océanique, Revue Géographique de l'Est, Tome XV, 89-100.

[8] Galéa, G., Mercier, G., & Adler, M.J. (1999). Modèles débit-durée-fréquence d'étiage, concept et usage pour une approche régionale des régimes de basses eaux des bassins hydrographiques de la Loire (FRANCE) et du Crisu-Alb (ROUMANIE), Revue des sciences de l'eau, n°12/1, p.93-122.

[9] Garcia, F. (2016). Amélioration d'une modélisation hydrologique régionalisée pour estimer les statistiques d'étiage. Doctoral dissertation, Paris 6.

[10] Ghadbane, O., El Ghachi, M., & Chakir, M. (2021). Étude de la variabilité climatique et de ses impacts sur le régime hydrologique de l'Oued Srou, affluent de rive gauche de l'Oued Oum Er Rbia. Afrique SCIENCE, 18(2), 69-80

[11] Herrera-Guzman, E. (2008). Développement d'une méthodologie hydrologique/statistique pour estimer les débits d'étiage au Québec habité, Thèse, Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Doctorat en sciences de l'eau, 296 p.

[12] Hindley, D.R. (1973). The definition of Dry Weather Flow in river flow measurement. J. Inst. Water Engng 27, 438–440.

[13] Lang, C. (2007). Étiages 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 de doctorat de 3ème cycle. Université de LORRAINE. 375p.

[14] Lang, C. (2011). Les étiages : définitions hydrologique, statistique et seuils réglementaires. Cybergeo : Revue européenne de géographie / European journal of geography, 30 (17), pp.3097-3104. ⟨10.4000/cybergeo.24827⟩. ⟨hal-02989844⟩

[15] McMahon. T. A., & Mein. R. G (1986). River and reservoir yield (Vol. 368). Littleton, CO: Water resources publications.

[16] Midgley, D.C., Pitman. W.V, & Middleton. B.J (1994). Surface water resources of South Africa 1990, Water Research Commission Report No 298/5.1/94, Pretoria, South Africa.

[17] Nejjari, A., Gille, E., & François, D. (2001). L'apport des longues séries pluviothérmiques dans l'étude de la sécheresse dans le Moyen Atlas (Maroc). In Mosella 2000, t. xxv, Univ de Metz, n° 3-4, 55-69.

[18] Ouarda, T.B.M.J., Christian C., & St-Hilaire A. (2008). Statistical models and the estimation of low flows. Vol 33(2), pp. 195-206.

[19] Pirt, J., & Simpson, M. (1983). The Estimation of river flows. Severn Trent Water Authority, UK, 41 pp., append.

[20] Renard, B., & Giuntoli, I. (2009). Identification des impacts hydrologiques du changement climatique : vers un réseau de référence pour la surveillance des étiages, Rapport, ONEMA- CEMAGREF. France, 86p.

[21] Smakhtin, V. (2001). Low flow hydrology: a review. Journal of Hydrology 240 (2001), pages 147 - 186.