

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

Omar GHADBANE*, Mohamed EL GHACHI et Mohamed CHAKIR

Université Sultan Moulay Slimane, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Laboratoire Dynamique des Paysages et Patrimoines, BP 524 Béni Mellal, Maroc

* Correspondance, courriel : om.ghadbane@gmail.com

Résumé

La caractérisation du changement et de la variabilité climatique est d'une grande importance dans la gestion et la planification des ressources en eau. La présente étude porte sur l'analyse de variabilité pluviométrique de l'oued de Srou, premier affluent de l'oued Oum Er Rbia dans le Moyen Atlas, et la caractérisation de leur impact sur les écoulements. Pour montrer cette variabilité, nous avons appliqué l'indice centré réduit de NICHOLSON et pour éliminer les variations saisonnières des séries pluviométriques et hydrométriques nous avons appliqué le filtre passe-bas de HANNING d'ordre 2. Les données utilisées sont issues des services hydrologiques de l'agence du bassin hydrologique de l'Oum Er Rbia. Les résultats obtenus montrent une variabilité pluviométrique importante. De longues périodes de sécheresses sont installées sur l'ensemble du bassin cassé par de courtes périodes humides. Ces périodes de sécheresse ont provoqué la diminution des ressources en eaux superficielles et souterraines dans la zone. Ce travail constitue une base importante pour la caractérisation de l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau dans les bassins nord-africains.

Mots-clés : *changement climatique, Oued Srou, Oued Oum Er Rbia, variabilité hydro climatique, Indice de NICHOLSON, filtre passe-bas de HANNING d'ordre 2.*

Abstract

Study of climate variability and its impacts on the hydrological regime of the Srou river, a tributary on the left bank of Oum Er Rbia river

Characterization of climate change and variability is of great importance in water resource management and planning. The present study focuses on the analysis of rainfall variability of the Srou river, first tributary of the Oum Er Rbia river in the Middle Atlas, and the characterization of their impact on flows. To show this variability, we applied the NICHOLSON reduced index centered and to eliminate seasonal variations in the rainfall and hydrometric series we applied the Hanning filter pass-through. The data used are from the hydrological services of the Umm Er Rbia Watershed Agency. The results show significant rainfall variability. Long periods of drought are produced over the entire watershed broken by short wet periods. Long periods of drought are produced over the entire zone broken by short wet periods. These periods of drought have caused a reduction in surface and groundwater resources in the area. This work provides an important basis for characterizing the impact of climate change on water resources in North African basins.

Keywords : *climate change, Srou river, Oum Er Rbia river, hydro climatic variability, NICHOLSON Index, HANNING filter low pass order 2.*

1. Introduction

Le changement climatique et son influence sur l'environnement et la société sont les grandes problématiques du monde moderne. Les conséquences de ces phénomènes sur les ressources en eau sont particulièrement fortes et touchent de nombreux secteurs d'activité. Les études portant sur la variabilité et les changements climatiques ont intéressé la communauté mondiale à la suite de plusieurs manifestations climatiques de grande ampleur [1]. Le changement climatique s'est traduit par la succession de périodes de sécheresses, en Afrique du Nord, l'Afrique occidentale et centrale et dans le pourtour méditerranéen à partir de la fin de la décennie 1960 et le début des années 70 [2 - 12]. Le Maroc dont le développement économique était basé sur l'agriculture est très sensible au contexte climatique. Les précipitations représentent la majeure composante du climat et sont les plus concernées par la variabilité de leurs régimes aux échelles saisonnières, annuelles et interannuelles [13]. La variabilité climatique s'est traduite quant à elle par une irrégularité du régime de précipitations aussi bien dans le temps que dans l'espace. Celle-ci a influencé le potentiel hydrique du Moyen Atlas, considéré pendant longtemps, le réservoir des ressources en eaux à l'échelle du pays [14]. Ces ressources en eaux superficielles et profondes sont aujourd'hui sujettes à d'importants bouleversements et deviennent insuffisantes pour répondre aux besoins agricoles, domestiques et industriels de la région [15]. Des travaux antérieurs réalisés au Maroc montrent une plus longue persistance de la sécheresse à l'intérieur du pays que dans les zones côtières [16].

Une étude d'une série pluviométrique relative à 13 stations synoptiques réparties sur toutes les régions climatiques du Maroc, a été réalisée par le Ministère des Travaux publics en 1997, montre 11 périodes de sécheresse climatique dont l'extension a été généralisée à la majeure partie du pays : 1904-1905, 1917-1920, 1930-1935, 1944-1945, 1948-1950, 1960-1961, 1974-1975, 1981-1984, 1986-1987, 1991-1993 et 1994-1995 [17]. Une autre étude sur le bassin versant du Sebou montre que les séquences sèches sont plus étendues dans l'espace et plus persistantes dans le temps que les séquences humides [18]. Le bassin de l'oued de Srou, affluent de l'oued Oum Er Rbia, dans le haut bassin fait partie du Moyen Atlas, par leur situation géographique, leurs constitutions lithologiques et leurs structures, connaisse une forte variabilité hydro climatique annuelle et interannuelle. Au cours des vingt dernières années, la variabilité climatique s'est traduite quant à elle par une fréquence accrue des évènements extrêmes tels que les inondations et les sécheresses [19, 20]. Ces événements sont prudemment imputés au changement climatique et sont considérés à l'heure actuelle comme de la variabilité interannuelle naturelle du climat [21]. Ces variabilités climatiques abordées à l'échelle mondiale, ont fait l'objet d'études plus ciblées en Afrique de l'Ouest et Centrale par [22, 23], Congo par [24] et au Maroc [25]. Même si la variabilité climatique a déjà été mise en évidence par plusieurs auteurs, il demeure utile de pratiquer ces études et ces méthodes sur d'autres bassins versants. L'objectif principal de cette étude est de caractériser la répartition et l'évolution spatio-temporelle des périodes sèches et humides interannuelles et de retracer la variabilité climatique ainsi que leur impact sur les écoulements du bassin versant du Srou (Moyen Atlas, Maroc). La démarche adoptée pour atteindre ce but consiste à analyser les impacts de la variabilité interannuelle des pluies et des débits par le calcul des indices centrés réduits de Nicholson et le filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2.

2. Méthodologie

2-1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de l'oued de Srou se situe au sud-ouest du Moyen Atlas central, dans la province de Khénifra (*Figure 1*), entre $32^{\circ}35'$ et 33° de latitude nord et $5^{\circ}05'$ et $5^{\circ}50'$ de longitude ouest. Il est limité à l'ouest par le Massif central hercynien, au nord par le causse d'Ajdîr et au sud-est par la plaine de la haute Moulouya. L'oued Srou est l'un des affluents de l'oued Oum Er Rbia, avec lequel le conflue au barrage d'Ahmed Elhansali.

Il prend naissance à une altitude de 2300 m environ et s'écoule du nord-est vers le sud-ouest. Son principal affluent, l'oued Chbouka, se trouve sur sa rive droite. Le bassin versant occupe une superficie de 1307 km².

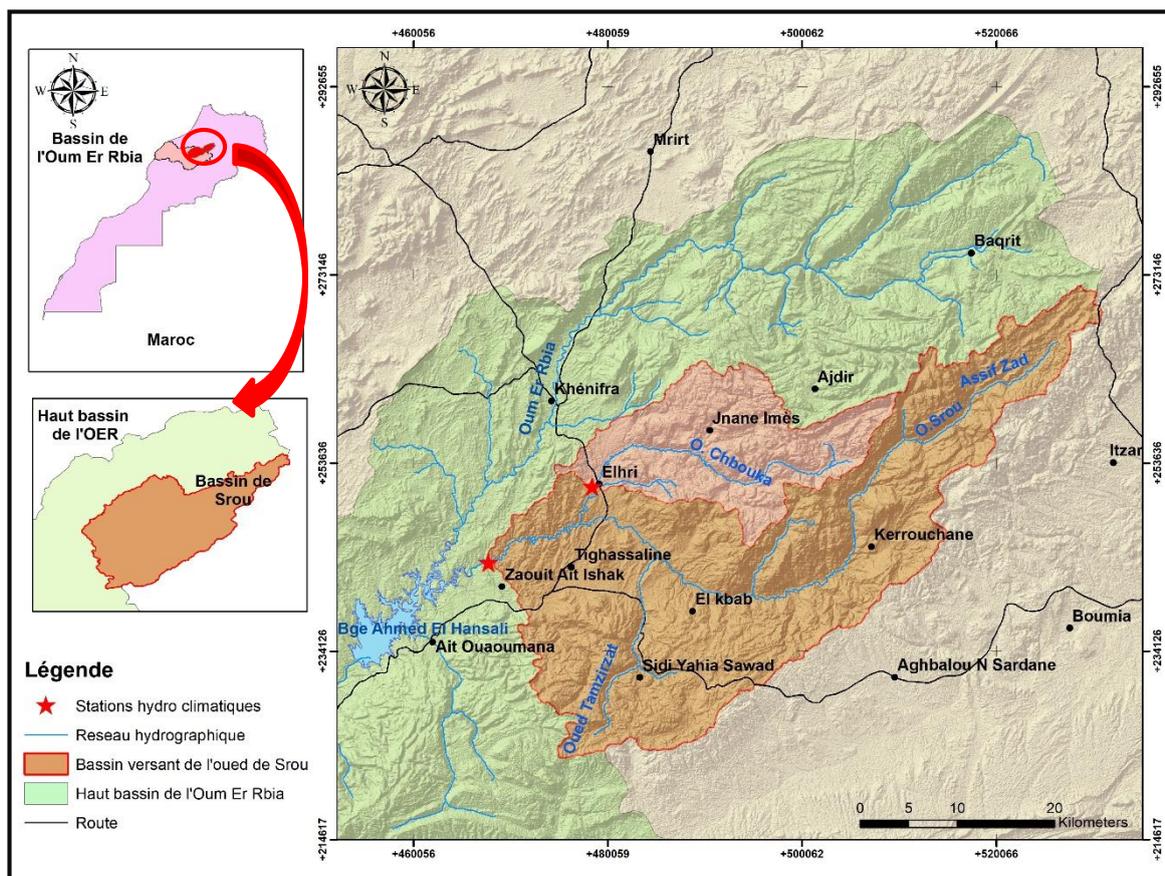


Figure 1 : Présentation de la zone d'étude

Le bassin de l'oued de Srou offre un caractère montagneux et les altitudes y sont comprises entre 700 et 2350 m. Les formations géologiques du bassin versant de l'oued de Srou, vont du Paléozoïque au Quaternaire, se composent de roches calcaires subtabulaires et des calcaires dolomitiques liasiques. Le bassin est de caractère perméable (52.75 %) (Tableau 1) [19, 26]. La pluviométrie moyenne dans les stations du bassin versant du Srou (Tamchachat, Aval Elhri et Chacha N'mallah) est de l'ordre de 548,5 mm pour la période de suivi de 1976 à 2016. Les précipitations caractérisent les mois entre novembre et avril, soit la période humide.

Tableau 1 : Caractéristiques hydrologiques du bassin versant de l'oued de Srou

Bassin	Station	S en (Km ²)	Perméabilité	Modules en (m ³ /s)	Q spécifique en (l/s/Km ²)
Srou	Chacha N'mallah	1377	52.75 %	7.7	5.5
Chbouka	Aval Elhri	276	68.8 %	2.4	8.6

Les écoulements connaissent une variabilité annuelle et spatiale notoire. À la station de Chacha N'mallah, le débit est 7.7 m³/s, à la station d'aval Elhri il est de 2.4 m³/s. Des contrastes apparaissent en période des hautes eaux et des crues ; les débits de l'oued de Srou peuvent atteindre 111.2 m³/s à l'exutoire du bassin (moyenne du mois de février en 2010). Pendant la période des basses eaux, le débit de l'oued de Srou à l'exutoire peut descendre jusqu'à 0.3 m³/s (un débit observé pendant le mois d'août 2008). Cette situation

peut modifier l'équilibre du régime de Srou et conduit à des situations extrêmes (crues et étiages sévères) (**Tableau 1**). La densité moyenne de la population de la région d'étude est de 42,32 hab/km² selon le recensement de 2014. À Ait Ishaq et à Tighassaline la densité de la population est plus importante elle est les 70 hab/km², dans les zones où les terres cultivables sont abondantes, des zones généralement de pente faible (< 5 %) versant [19].

2-2. Données

Les données utilisées pour cette étude sont les précipitations et les données hydrométriques collectées au service de l'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia (ABHOER), toutes sont au pas de temps mensuels. Afin de faire une bonne étude hydroclimatique, ces données (pluie et débit) ont été organisées selon l'année civile commençant en janvier. La pluviométrie annuelle a été utilisée pour calculer la moyenne interannuelle, l'indice pluviométrique annuel. Quant aux modules hydrologiques, ils ont été utilisés pour calculer la moyenne interannuelle, l'indice d'écoulement annuel. Cet ensemble de données a été exploité sur la période 1976 - 2016 (41 ans) selon les normes de l'OMM (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Caractéristiques des données utilisées

Type de stations	Noms des stations	Coordonnées géographiques		Données utilisées	Chroniques
		X	Y		
Pluviométrie	Chacha N'mallah	467800	243300	Mensuelles et annuelles	1976-2016
	Aval Elhri	478500	251200	Mensuelles et annuelles	1976-2016
Hydrométrie	Chacha N'mallah	467800	243300	Mensuelles et annuelles	1976-2016
	Aval Elhri	478500	251200	Mensuelles et annuelles	1976-2016

2-3. Méthodes

La méthodologie utilisée pour cette étude est celle déjà utilisée par plusieurs auteurs dans les différentes dans différents bassins versants comme celui de l'Ouémé à Béterou au Bénin ; [27] sur l'Oubangui en RCA ; [28] au centre-ouest de la Côte d'Ivoire sur le bassin versant de Lobo ; au Maroc sur l'Oum Er Rbia par [25] et sur le SEBOU [18, 29] sur le bassin versant de l'Alima au Congo. Cette méthode consiste à mettre en évidence la variabilité et les tendances climatiques et de voir ensuite les impacts sur les régimes hydrologiques des cours d'eau du bassin versant de l'oued de Srou. L'indice de Nicholson et le Filtre Passe Bas de HANNING d'ordre 2 permettent de mettre en évidence la variabilité climatique et hydrologique ainsi la caractérisation des tendances hydroclimatiques et de différencier les périodes sèches, des périodes humides [30]. Ces indices sont calculés à partir des données des deux stations pluviométriques et hydrométriques de la zone d'étude pour une durée de 41 ans d'observation.

2-3-1. Indice pluviométrique de Nicholson

Cet indice mesure l'écart par rapport à une moyenne établie sur une longue période en se référant aux données des stations. L'indice annuel est la variable centrée réduite des moyennes pluviométriques annuelles (ou modules annuels). L'indice de Nicholson calculé pour chaque année est exprimé par *l'Équation (1)* [31].

$$I = \frac{X_i - X_m}{\sigma} \quad (1)$$

avec, X_i : Pluviométrie annuelle en mm (ou modules annuels en m³/s) ; X_m : Pluviométrie moyenne interannuelle en mm (ou modules interannuels en m³/s) sur la période de référence ; σ : Écart type de la pluviométrie interannuelle sur la période de référence.

2-3-2. Filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2 (« moyennes mobiles pondérées »)

Le Filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2, appelé aussi moyenne mobile pondérée, permet d'éliminer les variations saisonnières dans une série chronologique. Pour ce faire, les totaux pluviométriques et les débits sont pondérés suivant l'Équation (2)[32] :

$$X_{(t)} = 0,06 x_{(t-2)} + 0,25 x_{(t-1)} + 0,38 x_{(t)} + 0,25 x_{(t+1)} + 0,06 x_{(t+2)} \quad \text{pour } 3 \leq t \leq (n-t) \quad (2)$$

Les totaux pluviométriques pondérés des deux premiers termes [$x_{(1)}$, $x_{(2)}$] et des deux derniers termes [$x_{(n-1)}$, $x_{(n)}$] sont obtenus respectivement avec les Équations suivantes :

$$X_{(1)} = 0,54 X_{(1)} + 0,46 X_{(2)} \quad (3)$$

$$X_{(2)} = 0,25 X_{(1)} + 0,50 X_{(2)} + 0,25 X_{(3)} \quad (4)$$

$$X_{(n-1)} = 0,25 X_{(n-2)} + 0,50 X_{(n-1)} + 0,25 X_{(n)} \quad (5)$$

$$X_{(n)} = 0,54 X_{(n)} + 0,46 X_{(n-1)} \quad (6)$$

Les indices centrés et réduits des hauteurs pluviométriques annuelles pondérées obtenues sont calculés pour mieux distinguer les périodes de déficit et d'excédent pluviométriques. Les séries de débits sont soumises aux mêmes procédures de calculs que les séries pluviométriques. Le coefficient d'hydraulicité (C.H), est utilisé dans le but de vérifier les résultats obtenus par la méthode de NICHOLSON.

3. Résultats

3-1. Variabilité interannuelle des précipitations

Les variations interannuelles de la pluviométrie aux stations de Chacha N'mallah sur le Srou et d'Aval Elhri sur le Chbouka sont mis en évidence par l'indice de NICHOLSON et le Filtre Passe Bas de HANNING d'ordre 2 (Figure 2). La variabilité interannuelle diminue, mais reste toujours importante après l'utilisation du filtre passe-bas. La précipitation moyenne annuelle observée dans les stations de Chacha N'mallah et d'Aval Elhri respectivement 490,8 mm et 606,4 mm ainsi que les moyennes mensuelles observées sont respectivement de 40,7 mm et 50,5 mm.

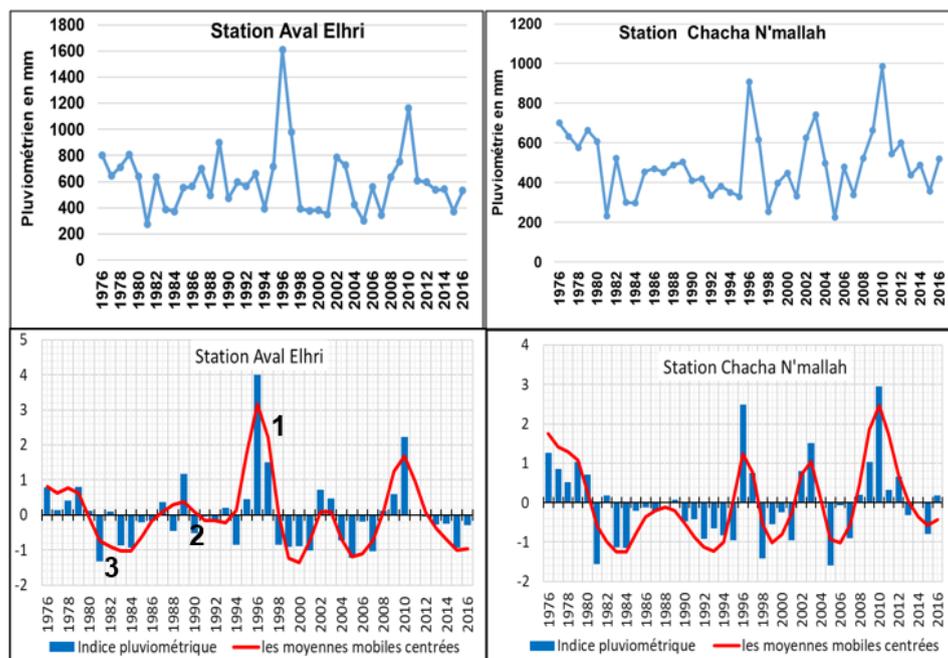


Figure 2 : Évolution interannuelle de la pluviométrie aux stations d'Aval Elhri et de Chacha N'mallah avec les indices centrés réduits des hauteurs de pluie et les totaux pluviométriques annuels pondérés
1 -Période humide ; 2 -Période normale ; 3 -Période déficitaire

La fluctuation interannuelle de la pluviométrie observée aux stations d'Aval Elhri et de Chacha N'mallah se caractérise par des périodes humides, normales et sèches. Une période normale se définit comme une période où les indices se répartissent de façon équilibrée de part et d'autre du zéro de l'axe des abscisses. La pluviométrie au niveau des deux stations montre sensiblement une évolution identique avec les mêmes périodes humides et sèches. Toutefois, l'intensité et la durée de ces pluies montrent une différence considérable entre le Srou et le Chbouka. De légères différences apparaissent aussi au niveau de la distribution des périodes sèches et humides. Les caractéristiques de ces périodes sont consignées dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : Découpage de la chronique pluviométrique des stations du bassin de Srou en périodes humides, normales et sèches

Station	Pluie moyenne (mm)	Période	Durée	Moyenne de la période (mm)	Type
Aval Elhri	606	1976-1980	5	720,6	Humide
		1981-1986	7	464,1	Sèche
		1987-1993	7	627,1	Normale
		1995-1997	3	1103,7	Humide
		1998-2001	4	375,8	Sèche
		2002-2003	2	756,4	Normale
		2004-2007	4	406,5	Sèche
		2008-2012	5	751,4	Humide
Chacha N'mallah	490,8	1976-1980	5	636,9	Humide
		1981-1994	14	401,7	Sèche
		1995-1997	3	617,9	Humide
		1998-2001	4	358,6	Sèche
		2002-2004	3	621,9	Humide
		2005-2007	3	347,7	Sèche
		2008-2012	5	625,5	Humide
		2013-2016	4	455,6	Sèche

Ces résultats montrent que dans les deux stations étudiées, celle d'Aval Elhri est marquée par une alternance de période humide, normale et sèche, et celle de Chacha N'mallah est caractérisée par une grande période sèche qui est installée entre 1981 et 1994. En effet, la région présente une période de baisse pluviométrique qui se fait ressentir sur les deux stations vers les dernières décennies de notre étude. Dans les deux stations, la grande période excédentaire (1976-1980) est suivie d'une longue période déficitaire qui débute à partir des années 1981. Elle est ressentie dans toute la région. La période la plus humide de la chronique est observée en Aval d'Elhri entre 1995 et 1997 avec une moyenne historique de 1103,7 mm (*Tableau 3*).

3-2. Variabilité interannuelle des débits

Les débits annuels de l'oued Srou et son affluent oued Chbouka varie énormément d'une année à l'autre (*Figure 3*). Cette variabilité est bien illustrée par les débits moyens annuels des années extrêmes. Pour les deux stations, l'année 2010 est la plus abondante, l'année la plus sèche est variable ; c'est en 1995 à Chacha N'mallah et en 2007 en Aval d'Elhri. Ces deux années correspondent à des périodes de sécheresses exceptionnelles observées sur l'ensemble du pays (*Tableau 4*).

Tableau 4 : Débits des années extrêmes dans les stations d'Aval Elhri et Chacha N'mallah

Stations	Module (m3/s)	La plus sèche		La plus humide	
		Année	Q (m3/s)	Année	Q (m3/s)
Aval Elhri	2,4	2007	0,7	2010	7,7
Chacha N'mallah	7,5	1995	1,6	2010	29,7

Le Filtre passe bas d'ordre 2 de HANNING appliqué aux séries hydrologiques (*Figure 3*) montre une régularité interannuelle des écoulements dans le bassin du Srou à Chacha N'mallah et sur le Chbouka en Aval Elhri au cours de la période d'étude de 41 ans.

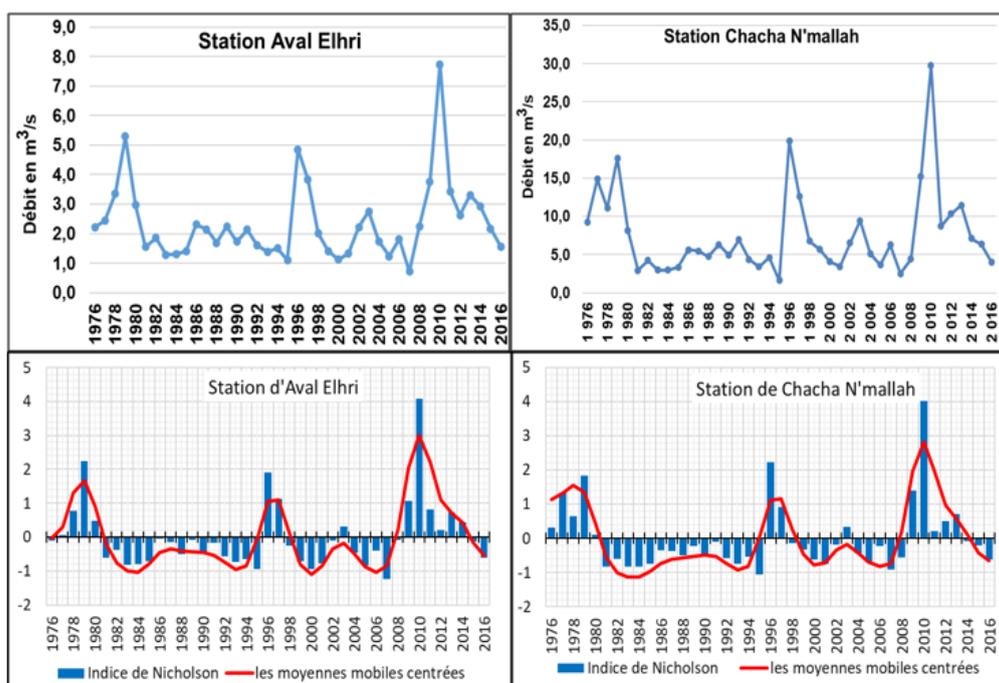


Figure 3 : Évolution interannuelle des débits de l'oued de Chbouka à la station Aval Elhri et de l'oued de Srou à la station de Chacha N'mallah avec les indices centrés réduits et les totaux de débit annuels pondérés de 1976 à 2016

Ces résultats montrent que l'irrégularité est moins importante que celle déjà observée dans la pluviométrie. Une alternance de cinq majeures phases était distinguée dans les deux stations du bassin, de longues périodes déficitaires tranchées par de courtes périodes excédentaires (*Tableau 5*). Une longue période déficitaire est observée dans les deux stations, entre 1981 et 2007 coupé par une courte période excédentaire de deux ans. Cette situation est ressentie dans toute la région.

Tableau 5 : Découpage de la chronique hydrométrique des stations du bassin de Srou en période déficitaire et excédentaire

Station	Module m3/s	Période	Durée	Qmoy m3/s	Type
Aval Elhri	2,35	1976-1980	5	3,3	Excédentaire
		1981-1995	15	1,7	Déficitaire
		1996-1997	2	4,3	Excédentaire
		1998-2007	10	1,6	Déficitaire
		2008-2014	7	3,7	Excédentaire
		2015-2016	2	1,9	Déficitaire
Chacha N'mallah	7,53	1976-1980	5	12,2	Excédentaire
		1981-1995	15	4,3	Déficitaire
		1996-1997	2	16,2	Excédentaire
		1998-2007	10	5,4	Déficitaire
		2008-2014	7	12,4	Excédentaire
		2015-2016	2	5,2	Déficitaire

4. Discussion

La fluctuation interannuelle de la pluviométrie est assez importante au niveau des stations du bassin. Les périodes sèches et humides apparaissent donc plus nettement après filtrage des variations saisonnières comme dans l'étude [33]. On note une forte tendance à la sécheresse, 60 % des années de la chronique sont déficitaire. La période de sécheresse la plus longue qui affecte la majorité du bassin, s'étale de 1981 à 1994, avec quelques intercalations d'épisodes humides qui ont des durées comprises entre 1 et 4 années selon les stations. Cette même période a été observée dans plusieurs régions du Maroc et de l'Afrique. Il s'agit des travaux de [34, 35] au Maroc septentrional où ils trouvent une baisse de la pluviométrie à partir de 1970. Ces résultats sont de même ordre que celles observées en Tunisie centrale entre 1976 et 1989, où [36] mettent en évidence une baisse significative des précipitations annuelles. [37, 38] ont mentionné le démarrage d'une longue phase déficitaire en Côte d'Ivoire à partir de 1975. L'analyse composée de l'évolution interannuelle des débits sur les deux bassins versants, à l'aide de l'indice de NICHOLSON et le Filtre Passe Bas de HANNING d'ordre 2, permet de découper les séries des débits des deux stations du bassin en cinq phases excédentaires et déficitaires similaires. Les bassins versants du Chbouka et du Chacha N'mallah présentent une longue période déficitaire entre 1981 et 2007, coupée par une courte phase humide. Cette dernière a duré seulement deux ans, entre 1996 et 1995. Les plus grandes augmentations de débits sont enregistrées au cours de l'année 2010. La plus grande baisse des écoulements par rapport à celle des précipitations peut être liée à la longue durée du déficit pluviométrique. La succession d'années à pluviométrie déficitaire marque aussi négativement l'écoulement. Pour certains auteurs [39 - 41], l'explication de cet écart entre déficit pluviométrique et hydrologique viendrait d'une contribution réduite des apports d'origine souterraine à l'écoulement de surface depuis les années 1970. En effet, les réserves d'eau souterraine diminuaient au fur et à mesure que le déficit pluviométrique se prolongeait. Les périodes humides ont favorisé la reconstitution rapide des réserves hydriques et la recharge de la nappe aquifère. Tandis que la période sèche ou la

sécheresse récente a été persistante et très sévère surtout pour les années 1981, 1995 et 2007. Cette tendance chaude et sèche s'est reprise en 2015 marquant la continuité de la phase majeure de sécheresse commencée il y a plus de 36 ans (1981). Ceci provoque la diminution des ressources en eau souterraine et superficielle dans la zone. Plusieurs auteurs [42 - 44] insistent sur l'ampleur sans précédent de la sécheresse dans le Moyen Atlas par son aspect cumulatif des déficits sur près de 15 ans. Ces résultats sont aussi comparés à ceux d'autre bassin versant nord-africains, de l'Afrique de l'Ouest et l'Afrique centrale et ils montrent une concordance presque totale [36, 45, 46].

5. Conclusion

L'objectif de cet article est d'examiner l'existence d'une variabilité climatique dans le haut bassin de l'Oum Er Rbi au Moyen Atlas, particulièrement dans le bassin de l'oued de Srou et de montrer son impact sur l'écoulement de cet affluent. Les méthodes de détermination de l'indice de NICHOLSON et le filtre Passe Bas de HANNING d'ordre 2 ont été appliquées aux données de pluies et de débits des stations pluviométriques et hydrométriques de la zone d'étude. Ces applications ont permis d'identifier des périodes humides, normales et sèches humides. Celles-ci ont des répercussions considérables sur les écoulements de surface de l'oued de Srou et de son affluent l'oued de Chbouka. Les résultats de la présente étude constituent une importante base de données pour l'évaluation de la vulnérabilité de la variabilité climatique et ces impacts sur les régimes hydrologiques des cours d'eau de la zone. Dans ce contexte, l'amélioration et le renforcement des systèmes d'observations des pluies et des débits au niveau des différentes stations s'avèrent nécessaires afin de mieux caractériser l'évolution du climat et contribuer à une meilleure adaptation aux probables effets néfastes des changements climatiques sur les écoulements de surface de l'oued de Srou affluent de l'Oum Er Rbia. En effet, la succession des années sèches dans le Maroc pourrait donc créer un écart défavorable entre la demande croissante en eau et les ressources en eau disponibles. Ainsi la situation des réserves hydriques devient préoccupante, et des mesures d'adaptation avec les variabilités climatiques, de rationalisation et de gestion durable des ressources en eau, devront être prises pour faire face aux effets des changements climatiques qui pourraient aggraver les impacts négatifs.

Références

- [1] - A. DEZETTER, J. E. PATUREL, D. RUELLAND, S. ARDOIN-BARDIN, L. FERRY, G. MAHE, C. DIEULIN, E. SERVAT, Modélisation semi-spatialisée des ressources en eau du fleuve Niger à Koulikoro. Prise en compte des variabilités spatio-temporelles. World Water Congress, 1-4 septembre, Montpellier, France, (2008) 111 - 126
- [2] - S. E. NICHOLSON, Recent rainfall fluctuations in Africa and their relationship to past conditions over the continent, *The Holocene*, 4 (2) (1994) 121 - 131
- [3] - A. A. AKA, E. SERVAT, J. E. PATUREL et B. KOUAME, Analyse de la variabilité temporelle des écoulements en Côte d'Ivoire : Approche statistique et caractérisation des phénomènes, *Journal des sciences hydrologiques*, 41 (6) (1996) 959 - 970
- [4] - E. SERVAT, J. E. PATUREL, B. KOUAME, M. TRAVAGLIO, M. OUEDRAOGO, J. F. BOYER, H. LUBES-NIEL, J. M. FRITSCH, J. M. MASSON et B. MARIEU, Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et centrale, *IAHS Publication*, 252 (1998) 323 - 337
- [5] - J. E. PATUREL, E. SERVAT et M. O. DELATTRE, Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique, *Journal des sciences hydrologiques*, 43 (3) (1998) 937 - 945

- [6] - M. OUEDRAOGO, Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale, Thèse de l'Université de Montpellier II, France, (2001) 257
- [7] - S. ARDOIN, H. LUBES-NIEL, E. SERVAT, A. DEZETTER et J. F. BOYER, Analyse de la persistance de la sécheresse en Afrique de l'Ouest : caractérisation de la situation de la décennie 1990, *IAMS Publication*, 278 (2003) 223 - 228
- [8] - B. S. ARDOIN, Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de l'Université de Montpellier II, France, (2004) 330
- [9] - J. ESPER, F. DAVID, B. ULF, V. ANNE, L. JURG, X. ELENA, Long-term drought severity variations in Morocco. *Geophysical research letters*, Vol. 34, Issue 17 (2007), L17702, doi:10.1029/2007GL030844
- [10] - E. XOPLAKI, J. LUTERBACHER, R. BURKARD, I. PATRIKAS, P. MAHERAS, Connection between the large-scale 500 hPa geopotential height fields and precipitation over Greece during wintertime, *Climate Research*, Vol. 14, N°2 (2000) 129 - 146 p.
- [11] - A. SHABAN, indicators and aspects of hydrological drought in Lebanon. *Water resources management*, Vol. 23, issue 10, (2009) 1875 - 1891 p., doi :10.1007/s11269-008-9358
- [12] - J. A. PAKA, J. B. DINGA, D. V. KOMBYLA, L. S. NKAMDJOU, M. J. SAMBA, Étude de la variabilité climatique et de ses impacts sur le régime hydrologique de la rivière Lefini, affluent de rive droite du fleuve Congo. *Afrique SCIENCE*, 17 (6) (2020) 178
- [13] - J. MARTIN, Le Moyen Atlas central : Étude géomorphologique. Notes et mémoires du service géologique, N° 258Bis (1981) 107
- [14] - B. EL FELLAH IDRISSE, B. CHERAI, S. HINAJE, K. MEHDI, La variabilité climatique et son influence sur les ressources en eau dans la partie septentrionale du Moyen Atlas Marocain : cas des causses de Sefrou et de l'Anoceur. *Iarhyss journal*, Vol. 14, (2017) 155 - 179
- [15] - D. M. MEKO, Temporal and Spatial Variation of Drought in Morocco. In : *Drought, Water Management and Food Production*, Conference Proceedings, Agadir, Morocco, (1985) 55 - 82 p.
- [16] - M. YACOUBI, Vers la définition d'une méthode d'alerte à la sécheresse, généralisable au contexte semi-aride Marocain. Thèse de doctorat des sciences agronomique, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, (2001) 191
- [17] - E. B. YOLI BAUDET, S. HAIDA and J. L. PROBST, Analyse de la variabilité hydroclimatique et impacts des barrages sur le régime hydrologique d'une rivière de zone semi-aride : Le Sebou Au Maroc. *European Scientific Journal*, ISSN 1857-7881, Vol. 13, (5) (2017) 509 - 525
- [18] - K. ELBOUQDAOUI, Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation du risque potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Srou (Moyen Atlas, Maroc). *Geo-Eco-Trop*, (2005) 25 - 36
- [19] - A. M. KOUASSI, Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, (2007) 210
- [20] - C. NORRANT, Variabilité climatique passée, changement climatique futur : Que peut-on réellement observer. *Air Pur* N° 72 - Deuxième semestre, (2007)
- [21] - J. E. PATUREL, E. SERVAT, B. KOUAME, H. LUBES-NIEL, M. OUEDRAOGO, J. M. MASSON, "climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part two: an integrated regional approach", *Journal de l'hydrologie*, Vol. 191, (1997) 16 - 36
- [22] - A. M. KOUASSI, F. KOFFI, Y. B. KOFFI, B. D. KOUAKOU, J. E. PATUREL et S. OULARE, Analyse de la variabilité climatique et ses influences sur le régime sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire, *Cybergéo : European*

- Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, Document 513, mis en ligne le (07 Décembre 2010)
- [23] - J. D MALOBA MAKANGA et G. SAMBA, Organisation pluviométrique sur l'espace Congo-Gabon (1950-1998). *Sécheresse*, Vol. 8, N° 1 (2000) 39 - 45
- [24] - I. JOUILIL, K. BITAR, H. SALAMA, AMRAOUI, A. MOKSSIT, M. TAHIRI, Sécheresse météorologique au bassin hydraulique Oum Er Rbia durant les dernières décennies. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, N° 12, (Janvier 2013) 109 - 127
- [25] - R. SERBOUT, Le Bassin Versant de l'Oued Oum Er Rbia en amont de Dchar Eloued (Moyen Atlas). Thèse de doctorat en géographie, Université de Nice-Sophia Antipolis, (2001) 285
- [26] - C. R. NGUIMALET et D. ORANGE, Caractérisation de la baisse hydrologique de la rivière Oubangui à Bangui, République Centrafricaine. Colloque International sur l'Hydrologie des Grands bassins fluviaux de l'Afrique (26 - 30 Octobre 2015), Hammamet, Tunisie
- [27] - A. B. YAO, B. T. A. GOULA, Z. A. KOUADIO, K. E. KOUAKOU, A. KANE et S. SAMBOU, Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide : cas du bassin versant de la Lobo au centre-ouest de la côte d'ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 19 (2012) 136 - 157
- [28] - J. A. PAKA, D. V. KOMBYLA, B. KOUA BITA, J. B. DINGA, S. YALLO MOUHAMED, E. AMOUSSOU et M. J SAMBA - KIMBATA, Fluctuations des précipitations et des écoulements dans le bassin versant de l'Alima à Tchikapika au Congo-Brazzaville en Afrique centrale de 1960-1993. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 32 (2018) 85 - 97
- [29] - T. D. SORO, N. SORO, M. S. OGA YEI, T. LASM, G. SORO, E. AHOUSI KOUASSI, J. BIEMI, La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire), *Physio-Géo*, Vol. 5, (2011) 55 - 73
- [30] - S. E. NICHOLSON, J. KIM, J. HOOPINGARNER, Atlas of African rainfall and its interannual variability. Department of Meteorology, Florida State University Tallahassee, Florida, USA, (1988)
- [31] - A. ASSANI, 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) (1999) 245 - 52
- [32] - A. NEJJARI, E. GILLE, D. FRANÇOIS, L'apport des longues séries pluviométriques dans l'étude de la sécheresse dans le Moyen Atlas (Maroc). In Mosella 2000, t. xxv, Univ de Metz, N° 3-4 (2001) 55 - 69
- [33] - A. QADEM, Quantification, modélisation et gestion de la ressource en eau dans le bassin versant du haut Sebou (Maroc). Thèse de Doctorat. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah et université de Lorraine, (2015) 358
- [34] - U. BAHIN, Y. BAUDET, S. HAIDA, JL. PROBST, Analyse de la variabilité hydroclimatique et impacts des barrages sur le régime hydrologique d'une rivière de zone semi-aride : Le Sebou Au Maroc. *European Scientific Journal*, Vol. 13 (5) (2017) 509 - 525
- [35] - A. KINGUMBI, Z. BERGAOUI, J. BOURGES, P. HUBERT et R. KALLED, Étude de l'évolution des séries pluviométriques de la Tunisie centrale. Documents Techniques en Hydrologie, (Hydrologie des Régions Méditerranéennes" Actes du Séminaire de Montpellier), UNESCO Paris, 51 (2000) 341 - 345
- [36] - A. SEBBAR, W. BADRI, M. HSAINE et A. SALIOU, Étude de la variabilité du régime pluviométrie au Maroc septentrional (1935-2004), *Sécheresse*, 22 (3) (2011) 139 - 148
- [37] - Y. T. BROU, Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Techniques de Lille France, (2005) 212
- [38] - G. MAHE, J. C. OLIVRY, Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'ouest et centrale de 1951 à 1989, *Sécheresse*, Vol. 6, 1 (1995) 109 - 17

- [39] - J. P. BRICQUET, F. BAMBA, G. MAHE, M. TOURE, J. C. OLIVRY, Variabilité des ressources en eau de l'Afrique Atlantique, PHI, Vol. 6, (1997) 83 - 95
- [40] - G. MAHE, J. C. OLIVRY, R. DESOUASSI, D. ORANGE, F. BAMBA et E. SERVAT, Relation eaux de surface-eaux souterraines d'une rivière tropicale au Mali, C.R. Acad. Sci., *Sciences de la Terre et des Planètes*, Vol. 330, (2000) 689 - 692 p.
- [41] - E. GILLE, A. NEJJARI, D. FRANÇOIS, Le lac Aguelmam Sidi Ali (Moyen Atlas Marocain) : une évaporomètre naturel. In *Mosella 2000*, t. xxv, Université de Metz, N° 3-4 (2000) 37 - 54
- [42] - K. OBDA, Indigences extrêmes des écoulements des oueds méditerranéens : cas des oueds Nekor au Rif et du Haut Sebou au Moyen Atlas. Thèse de doctorat d'Etat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Fès, Maroc, (2004) 422
- [43] - M. SARY, B. AKDIM, La sécheresse hydrologique récente dans le bassin du Haut Sebou. (Moyen Atlas, Maroc). In *Mosella 2000*, t. xxv, N° 3-4 (2000) 121 - 138
- [44] - F. NEZZAL, Z. IFTINI-BELAID, Variabilité climatique et impacts anthropiques sur la nappe alluviale de la Mitidja Orientale (Baie d'Alger). *Revue scientifique et technique, LJEE N° 21 et 22 (2013). Spécial colloque CIRED' 2013*
- [45] - J. E. PATUREL, E. SERVAT, B. KOUAME, H. LUBES-NIEL, M. OUEDRAOGO, J. M. MASSON, Climatic variability in humid Africa along the Gulfe of Guinea. Part two : an integrated regional approach, *Journal de l'Hydrologie*, Vol. 191, (1997) 16 - 36 p.
- [46] - T. D. SORO, N. SORO, Y. M.-S. OGA, T. LASM, G. SORO, K. E. AHOUSSE, J. BIEMI, La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire), *Physio-Géo*, Vol. 5, (2011) 55 - P73 p.