

Sécheresse météorologique et vulnérabilité environnementale à Béchar (Algérie)

Meteorological drought and environmental vulnerability in Béchar (Algeria)

Oubadi Miloud* أوبادي ميلود

miloud.oubadi@mail-crstra.dz

ORCID: 0000-0002-0371-352X

Environmental Sciences and Climatology/ Center of Scientific and Technical

Research on Arid Regions (CRSTRA) Algeria

DOI: 10.46315/1714-015-002-030

Reçue: 15/ 12/ 2025 Accepted: 25/ 04/ 2026 Publié : 10/ 06/ 2026

**

Abstract:

Climate change poses a growing threat to Algeria, particularly in its arid regions, where it intensifies the frequency and severity of extreme weather events such as drought. This study aims to analyze the variability of meteorological drought in the Béchar region (southwest Algeria) over the period 1989–2020, with a focus on its environmental impacts. The analysis is based on a long-term climate series and the application of five drought indicators: the rainfall index, the deviation index, the standard deviation method, frequency analysis, and the standardized precipitation index (SPI). The Mann-Kendall statistical test was used to detect significant trends and identify the break year in the rainfall series. The results show a marked downward trend in rainfall starting in 2004, with a water deficit of approximately 85%. Despite some interannual variability, dry years are becoming increasingly frequent and prolonged, while wet periods remain brief and discontinuous. This situation exacerbates local environmental constraints: soil salinization, desertification, loss of vegetation cover, and sand encroachment, with repercussions for irrigated agriculture, which is essential for local populations. These findings underscore the urgent need for targeted adaptation strategies and sustainable water resource management in vulnerable Saharan areas.

Keywords: drought, Béchar, arid climate, climate variability, environmental impacts.

ملخص باللغة العربية

يُعدّ التغير المناخي تهديدًا متزايدًا للجزائر، ولا سيما في مناطقها الجافة، حيث يؤدي إلى زيادة تواتر وشدة الظواهر المناخية المتطرفة مثل الجفاف. تهدف هذه الدراسة إلى تحليل تباين الجفاف المناخي في منطقة بشار (جنوب غرب الجزائر) خلال الفترة 1989–2020، مع التركيز على آثاره البيئية. اعتمد التحليل على سلسلة مناخية طويلة المدى وتطبيق خمسة مؤشرات للجفاف، وهي: مؤشر التساقطات المطرية، مؤشر الانحراف عن المتوسط، طريقة الانحراف المعياري، التحليل التكراري، ومؤشر الهطول المطري المعياري (SPI). تم استخدام اختبار مان-كيندال الإحصائي للكشف عن الاتجاهات ذات الدلالة الإحصائية وتحديد سنة الانقطاع في السلسلة المطرية. أظهرت النتائج وجود اتجاه تنازلي واضح في كميات الأمطار ابتداءً من سنة 2004، مع عجز مائي يُقدَّر بحوالي 85%. وعلى الرغم من وجود تباين سنوي نسبي، أصبحت سنوات الجفاف أكثر تواترًا وأطول مدة، في حين تبقى الفترات الرطبة قصيرة ومتقطعة. وتؤدي

* - Auteur correspondant : miloud.oubadi@mail-crstra.dz

هذه الوضعية إلى تفاقم الضغوط البيئية المحلية، مثل تملّح التربة، والتصحر، وتراجع الغطاء النباتي، وزحف الرمال، مما ينعكس سلبيًا على الزراعة المسقية التي تُعدّ ضرورية للسكان المحليين. وتؤكد هذه النتائج على ضرورة اعتماد استراتيجيات تكيف موجهة وإدارة مستدامة للموارد المائية في المناطق الصحراوية الهشة. كلمات مفتاحية: الجفاف، بشار، المناخ الجاف، التغير المناخي، الآثار البيئية

**

1- Introduction

Le changement climatique mondial constitue aujourd'hui l'un des plus grands défis environnementaux et socio-économiques du XXI^e siècle. Il se manifeste par des variations notables dans les régimes de précipitations, l'élévation des températures, la fréquence accrue des phénomènes extrêmes, et la montée du niveau marin (Roy et al., 2023 ; El Hafyani et al., 2023). Le sixième rapport du GIEC (2023) confirme l'intensification de ces phénomènes dans les décennies à venir, avec des conséquences directes sur les systèmes naturels et humains. Parmi les risques liés à cette dynamique, la sécheresse météorologique figure comme l'un des plus préoccupants, en particulier dans les régions arides, où elle compromet sévèrement la durabilité des ressources et les conditions de vie des populations (Hoegh-Guldberg et al., 2020 ; Luo et al., 2023).

Malgré une abondante littérature sur la sécheresse, plusieurs lacunes persistent dans la compréhension fine de sa variabilité spatio-temporelle, notamment dans les zones désertiques, où les systèmes de surveillance sont souvent limités. Dans ce contexte, la région de Béchar, située dans le sud-ouest de l'Algérie et relevant de l'étage bioclimatique saharien, constitue un territoire particulièrement vulnérable. Elle est confrontée à une raréfaction accrue des ressources en eau, à la dégradation des sols, et à une pression croissante sur les écosystèmes steppiques. Le niveau préoccupant du barrage de Djorf Ettorba, principale source d'approvisionnement en eau potable, illustre la gravité de cette vulnérabilité (Améri et al., 2023), laquelle a conduit au lancement d'un projet majeur de transfert des eaux albiennes (ANBT, 2023).

Dans ce contexte, la présente étude vise à analyser la variabilité de la sécheresse météorologique à Béchar sur la période 1989–2020 et à évaluer certains de ses impacts environnementaux, notamment sur les ressources en eau et les écosystèmes fragiles. Nous nous appuyons pour cela sur des données climatiques de longue durée et sur l'utilisation de techniques géospatiales avancées. Cette approche permet de mieux comprendre les tendances en cours, de cerner les zones les plus affectées, et de proposer des éléments de réponse pour une gestion durable des ressources.

Au-delà de son intérêt local, cette contribution s'inscrit dans une réflexion plus large sur l'adaptation des territoires arides face aux aléas climatiques. Les résultats attendus devraient fournir des éléments utiles aux décideurs et gestionnaires pour atténuer les effets de la sécheresse, et

renforcer la résilience des systèmes naturels et humains dans les régions vulnérables du Sahara algérien.

2- . Données et méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Béchar est située dans le sud-ouest de l'Algérie, au cœur d'une région saharienne aux conditions environnementales extrêmes. Elle est délimitée à l'est par la wilaya d'Adrar, à l'ouest par le Royaume du Maroc, au nord par les wilayas de Naâma et d'El Bayadh, et au sud par celles de Tindouf et d'Adrar (fig. 1). Couvrant une superficie de 161 400 km² — soit environ 6,77 % de la superficie totale de l'Algérie — elle se classe au cinquième rang national en termes de superficie.

Sur le plan climatique, Béchar est dominée par un climat désertique hyperaride, marqué par une forte amplitude thermique. Les étés y sont extrêmement chauds, avec des températures dépassant régulièrement les 45°C, tandis que les hivers sont rigoureux, les températures pouvant chuter entre 2°C et 3°C. Les précipitations sont rares et irrégulières, avec une moyenne annuelle ne dépassant pas 60 mm, ce qui accentue la vulnérabilité hydrique de la région. À cela s'ajoutent des vents de sable fréquents et parfois violents, pouvant atteindre des vitesses de 100 km/h, contribuant à l'érosion éolienne et à la dégradation des sols (Oubadi et al., 2020 ; Oubadi et al., 2021).

Ces conditions climatiques extrêmes, conjuguées à la fragilité des écosystèmes sahariens, font de la wilaya de Béchar un territoire particulièrement sensible aux effets du changement climatique, notamment aux épisodes récurrents de sécheresse.

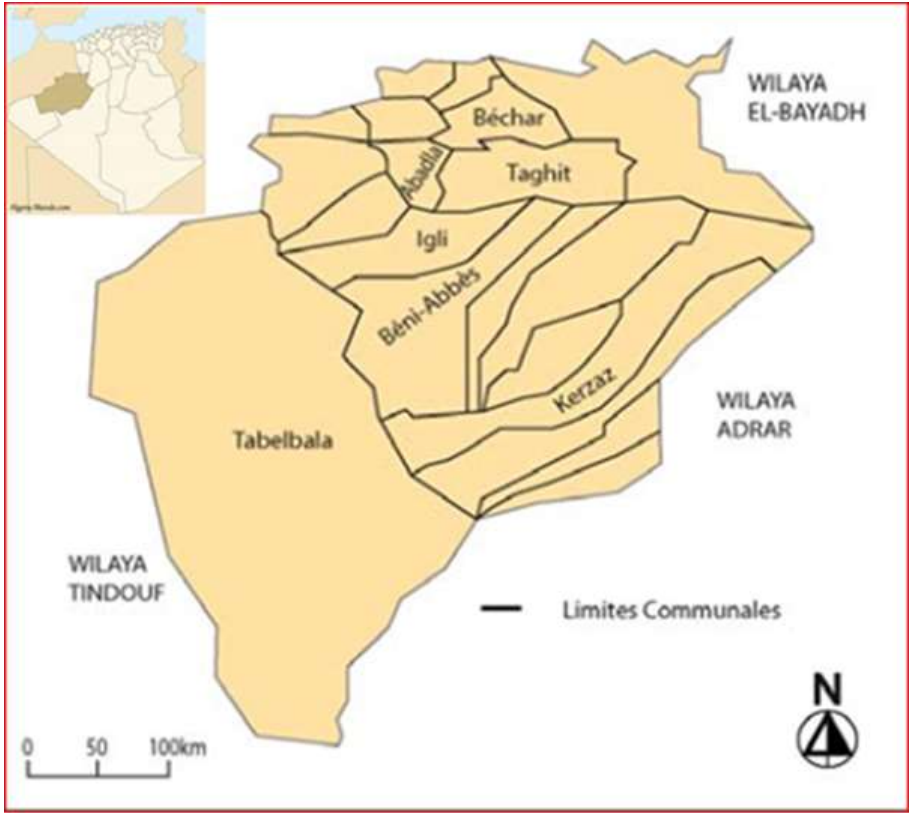


Fig.1. Présentation de zone d'étude.

2.2. Les impacts perçus de la sécheresse sur L'environnement

Les investigations menées sur le terrain dans la wilaya de Béchar révèlent l'ampleur des effets environnementaux induits par la sécheresse, notamment dans les zones les plus vulnérables du territoire. L'un des impacts les plus visibles concerne la dégradation du couvert végétal, particulièrement marquée dans la moitié sud de la wilaya. Cette détérioration est manifeste dans les zones steppiques des hamadas situées au sud des monts des Ksour, notamment aux abords de Béni Ounif, dans le piémont saharien (photo 1). Le recul du tapis végétal compromet gravement les équilibres écologiques locaux et affecte les activités pastorales traditionnelles.



Photo 1. Nomades installés dans la région de Béni Ounif, au sein d'un milieu steppique marqué par une forte dégradation environnementale (Auteur, 2020).

La persistance de conditions de sécheresse favorise l'accumulation des sels solubles dans le sol, engendrant une dégradation de ses propriétés physico-chimiques et compromettant la croissance végétale. Cette problématique devient critique lorsqu'elle affecte les zones agricoles, en particulier lorsque les niveaux de salinité dépassent les seuils de tolérance des cultures. Ce type de contrainte est fréquent dans plusieurs localités de la wilaya de Béchar, notamment dans les périmètres irrigués insuffisamment drainés, à l'instar de celui d'Abadla (cf. Photo 2).



Photo 2. Efflorescences salines dans un périmètre agricole irrigué (Lakhdari, 2014).

Un autre impact majeur lié à l'aridité croissante est l'ensablement dû aux vents de sable violents, fréquents dans la région. Ce phénomène affecte aussi bien les terres agricoles que les infrastructures urbaines et de transport. Il est particulièrement intense au printemps, entre mars et mai, période pendant laquelle les tempêtes de sable peuvent interrompre les services ferroviaires, obstruer les routes, et recouvrir les cultures (photo 3). La lutte contre ces phénomènes éoliens constitue une préoccupation constante pour les habitants, mobilisant d'importantes ressources humaines et matérielles.



Photo 3. Envasement de la voie ferrée, interrompant les trajets sur cette ligne pendant plusieurs mois, engendrant des pertes économiques et des désagréments pour la population locale.

2.2.3. Données

Les données pluviométriques utilisées dans cette étude proviennent de la station météorologique de Béchar, relevant de l'Office National de la Météorologie (ONM, 2020). Cette station est localisée aux coordonnées géographiques 31°38' N, 2°15' W, à une altitude de 807 mètres. La série

chronologique couvre une période de 32 années, de 1989 à 2020, avec des données continues, homogènes et sans lacune.

Durant cette période, les hauteurs annuelles de précipitations varient entre un minimum de 44 mm (en 2010/2011) et un maximum exceptionnel de 1970 mm (en 1996/1997). La moyenne interannuelle s'élève à 541,94 mm, avec un écart-type de 573,84 mm, ce qui témoigne d'une forte variabilité interannuelle. La médiane des précipitations annuelles est de 440,1 mm, sensiblement inférieure à la moyenne, indiquant une distribution asymétrique des données.

2.3. Méthodes :

3.1. Détection de rupture

Afin d'évaluer la stabilité de la série pluviométrique et d'identifier une éventuelle rupture de stationnarité, le test non paramétrique de Mann-Kendall a été appliqué (Mann, 1945 ; Paturel et Servat, 1996). Ce test mesure la corrélation entre l'ordre chronologique et le rang des données, permettant de détecter une tendance significative ou un changement structurel au sein de la série.

3.2. Changement relatif

Le changement relatif permet de quantifier l'évolution des précipitations entre deux sous-périodes. Il est calculé en soustrayant la valeur moyenne de la première période de celle de la seconde, le tout divisé par la valeur de la première période, puis exprimé en pourcentage. Cet indicateur met en évidence les variations relatives dans les cumuls pluviométriques.

3.3. Caractérisation de la sécheresse

Pour analyser la sécheresse, plusieurs indices climatologiques adaptés aux milieux arides et semi-arides ont été mobilisés :

Indice de l'écart à la moyenne (Jouilil et al., 2013)

Indice de pluviosité (Doukpolo, 2007)

Méthode du nombre d'écart-type (Aghrab, 2005)

Analyse fréquentielle (Koudamilo et al., 2017)

Indice de Précipitation Standardisé (SPI) (McKee et al., 1993 ; Hayes, 1996)

Ces indicateurs permettent de caractériser la sévérité, la fréquence et la durée des épisodes de sécheresse, et d'en comparer les résultats selon les méthodes.

3.4. Tendance de la sécheresse

Le test de Mann-Kendall a également été utilisé pour évaluer la tendance linéaire des indices de sécheresse dans le temps (Mann, 1945 ; Kendall, 1975). L'hypothèse nulle (H_0), qui stipule l'absence de tendance, est rejetée lorsque la valeur p est inférieure à 5 %, indiquant ainsi une tendance statistiquement significative.

3.5. Estimation de l’ampleur des tendances

En cas de tendance significative détectée, la pente de Sen est utilisée pour en estimer l’ampleur (Sen, 1968). Cette méthode consiste à calculer toutes les pentes possibles entre les paires de points de la série chronologique, puis à en prendre la médiane. La robustesse de cette approche a été validée par plusieurs études (Lubes-Niel et al., 1998 ; Yue et Wang, 2004).

3.6. Période de retour

La période de retour est une mesure de la fréquence à laquelle un événement extrême, tel qu’un épisode de sécheresse sévère, est susceptible de se reproduire. Elle est déterminée à partir de l’ajustement statistique des données aux modèles de distribution (Cooley, 2013). Dans cette étude, les courbes cumulatives du SPI ont été utilisées pour estimer la probabilité d’occurrence de tels événements.

3- Résultats

1. Analyse de tendance et rupture climatique

L’application du test de Mann-Kendall, au seuil de 5 %, a mis en évidence une rupture significative à la baisse en 2004 dans la série des précipitations annuelles à Béchar (1989–2020) (Fig.2). Cette rupture marque le passage d’une période excédentaire (985,73 mm) à une période déficitaire (150,36 mm), soit une chute de 85 % du cumul annuel moyen (écart de –835,37 mm) (Tableau 1).

Tableau 1. Résultats du test de Mann-Kendall appliqué à la série pluviométrique saisonnière (1989–2020).

Statistique U(t)	Seuil de signification ($\alpha = 5\%$)	Année de rupture	Pluviométrie moyenne avant rupture (mm)	Pluviométrie moyenne après rupture (mm)	Déficit pluviométrique (%)
-4,51	-1,96	2004	985,73 mm	150,36 mm	-85 %

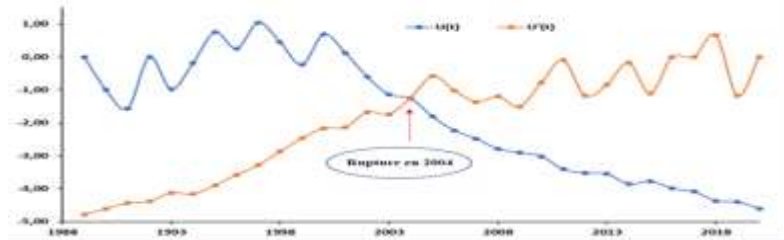


Fig.2. Etude de la tendance des totaux pluviométriques annuels de la station de Bechar (1989–2020).

2. Écart à la moyenne

L'analyse de l'indice de l'écart à la moyenne montre une prédominance des années déficitaires (59,4 %) sur les années excédentaires (40,6 %). L'année la plus déficitaire fut 2020-2020 avec un déficit de $-486,84$ mm, soit $-89,8$ %. (Fig. 3).

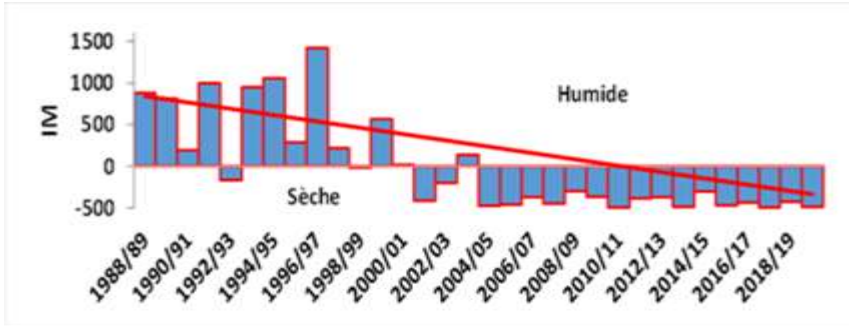


Fig.3. Variabilité de la sécheresse météorologique à Béchar, durant la période 1989-2020. Résultats de l'analyse de l'indice de l'écart à la moyenne. La ligne rouge représente la tendance estimée à l'aide de la pente Sen.

3. Indice de pluviosité (IPM)

La méthode révèle une tendance globale sèche, avec deux séquences relativement humides (1990-1989 [inversé, à corriger], et 2000-2001), interrompues par une longue période de sécheresse de 19 années consécutives (2004–2020) (Fig. 4).

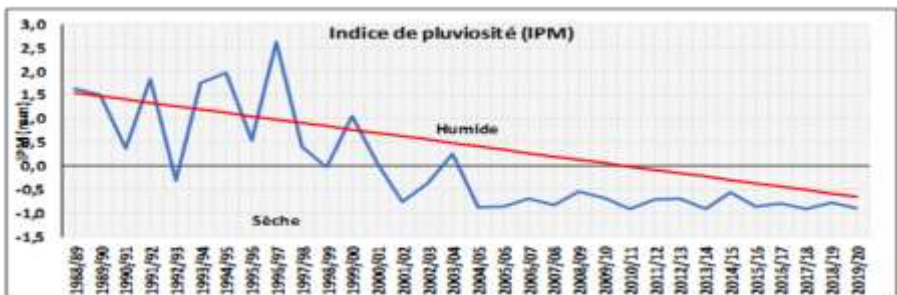


Fig.4. Variabilité de la sécheresse météorologique à Béchar, durant la période 1989-2020. Résultats de l'analyse par la méthode de l'indice de pluviosité. La ligne rouge représente la tendance estimée à l'aide de la pente Sen.

4. Indice du nombre d'écarts-types

Sur la base du critère P_m , $P_m - \sigma$ et $P_m - 2\sigma$, 22 années sont classées comme modérément sèches, confirmant la persistance du déficit pluviométrique (fig. 5).

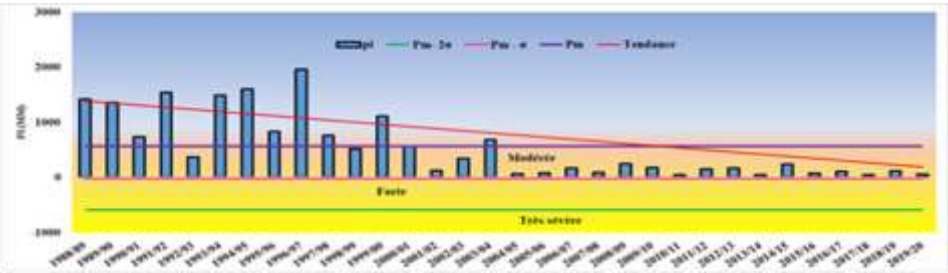


Fig.5. Variabilité de la sécheresse météorologique à Béchar, durant la période 1989-2020. Résultats de l'analyse par la méthode du nombre de l'écart-type. La ligne rouge représente la tendance estimée à l'aide de la pente Sen.

5. Indice de précipitation standardisé (SPI) et analyse fréquentielle

Les résultats mettent en évidence :

SPI : 5 années modérément humides, 3 très humides, et 5 modérément sèches.

Analyse fréquentielle : 6 années humides, 5 très humides, 7 sèches, et 4 très sèches.

Cela illustre une variabilité interannuelle marquée (Fig. 6).

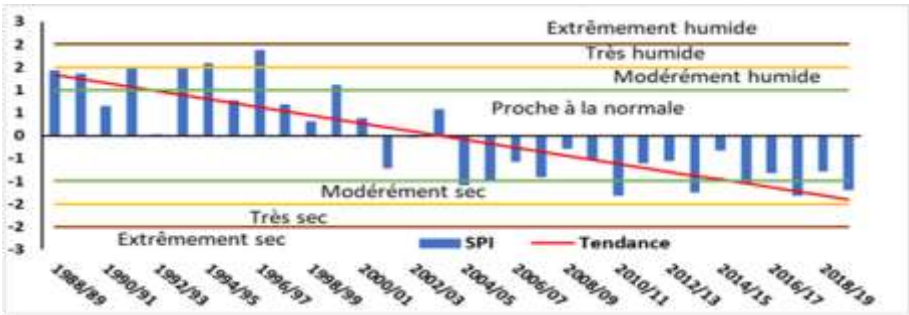


Fig.6. Variabilité de la sécheresse météorologique à Béchar, durant la période (1989-2020). Résultats de l'analyse par l'indice de précipitations normalisé. Un événement de sécheresse commence lorsque le SPI est continuellement négatif et atteint une intensité de -1,0 ou moins, tandis que l'événement se termine lorsque le SPI devient positif.

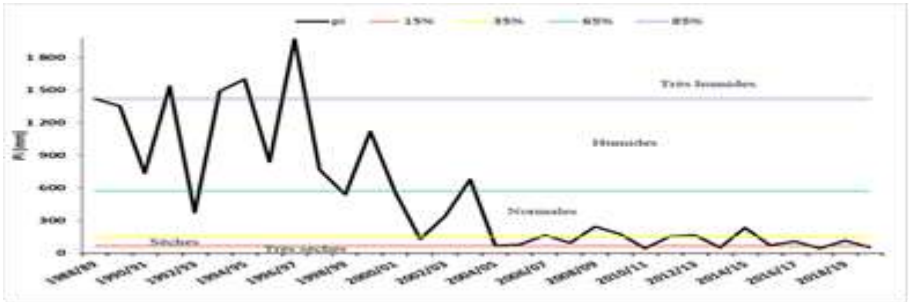


Fig.7. Variabilité de la sécheresse météorologique à Béchar, durant la période (1989-2020). Résultats de l'analyse par la méthode fréquentielle.

6. Comparaison des indices

Tous les indices montrent que le nombre d'années sèches dépasse celui des années humides, confirmant une tendance à l'aridification (Tableau 2).

Tableau 2. Comparaison entre les années sèches et humides.

Indice	Années sèches	Années humides
Indice de pluviosité	20	12
Indice écart à la moyenne	20	12
Indice écart-type	21	11
SPI	16	13
Analyse fréquentielle	11	11

7. Test de tendance

Tous les indices présentent des tendances négatives significatives, confirmées par le test de Mann-Kendall modifié et la pente de Sen (Tbleau 3).

Tbleau 3. Analyse de la tendance de la sécheresse par rapport aux cinq indices, à l'aide du test modifié de Mann-Kendal, et l'ampleur des tendances à l'aide de la pente de Sen pour la période de 1989 à 2020.

Indice	Z MK	p-value	Pente Sen	Tendance
SPI	-4,816	0,000	-0,088	Oui
IPM	-4,816	0,000	-0,071	Oui
EM	-4,816	0,000	-38,557	Oui
NET	-4,816	0,000	-38,557	Oui
AF	-4,816	0,000	-38,557	Oui

8. Durée et fréquence de la sécheresse

Le SPI montre que 10 % des précipitations sont inférieures à 78 mm, valeur seuil associée à SPI = -1. Ainsi, **une année sur dix** connaît un déficit hydrique sévère (fig.8).

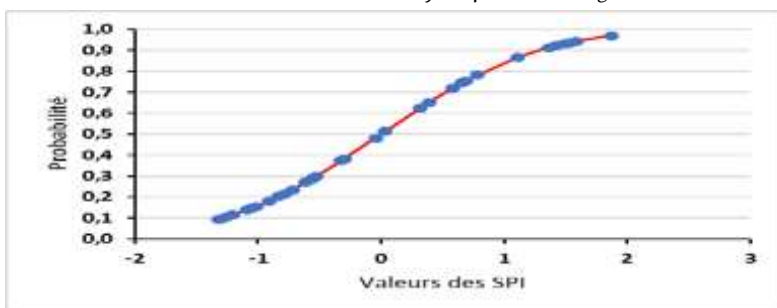


Fig.8. Courbes de probabilité cumulative de SPI.

4- Discussion

Cette étude avait pour objectif d'analyser la variabilité de la sécheresse météorologique dans la région de Béchar durant la période 1989–2020, en évaluant ses impacts environnementaux, notamment sur les ressources en eau et les écosystèmes vulnérables. L'approche adoptée, fondée sur des données climatiques de longue durée et l'utilisation de techniques géospatiales, visait à identifier les tendances en cours et à localiser les zones les plus exposées à la sécheresse.

Les résultats obtenus révèlent une intensification progressive des épisodes de sécheresse, marqués par leur récurrence et leur sévérité. Plusieurs indices climatiques (SPI, EM, Ipm, écart-type, fréquence) appliqués à la station de Béchar ont confirmé cette dynamique, mettant en évidence un risque croissant pour les systèmes naturels et les ressources hydriques locales.

L'analyse des cinq indices de sécheresse utilisés a permis de croiser les résultats afin de renforcer leur robustesse. Le SPI et l'indice de fréquence ont permis de distinguer les années humides, normales et sèches, tandis que les écarts-types ont apporté une lecture plus fine de la gravité des épisodes secs. L'ensemble de ces indicateurs converge vers un constat alarmant : la sécheresse à Béchar n'est pas un phénomène ponctuel, mais tend à devenir structurelle, avec des épisodes sévères se répétant à des intervalles de plus en plus courts.

Les tests statistiques de Mann-Kendall et de Sen ont confirmé une tendance significative vers l'aridification, avec des précipitations annuelles de plus en plus faibles. La probabilité d'enregistrer un cumul annuel inférieur à 78 mm tous les dix ans est désormais tangible, ce qui a des implications majeures sur la disponibilité de l'eau et la résilience des écosystèmes.

Ces résultats corroborent les travaux de Améri et al. (2023), qui ont mis en évidence la persistance de sécheresses dans la région. Ils prolongent également les observations faites par Achite et al. (2021), Oubadi et al. (2024), Oubadi et Faci (2024) et Bouabdelli et al. (2021), (bien que ces dernières concernent surtout le nord du pays. Contrairement à ces études localisées sur des zones méditerranéennes ou subhumides, notre travail apporte un éclairage original sur les dynamiques climatiques dans une région saharienne. Cette contribution remplit ainsi une lacune dans la littérature sur la sécheresse dans le sud-ouest algérien.

Scientifiquement, cette étude apporte une meilleure compréhension des dynamiques spatio-temporelles de la sécheresse dans les zones arides, en s'appuyant sur des indicateurs croisés et une méthodologie reproductible. Sur le plan pratique, elle fournit des outils d'aide à la décision pour anticiper les risques climatiques et orienter les stratégies d'adaptation, notamment dans la gestion des ressources en eau, l'agriculture oasienne, ou la préservation des écosystèmes steppiques.

En résumé, cette étude met en lumière l'aggravation des conditions de sécheresse dans la région de Béchar entre 1989 et 2020. En combinant des indices climatiques classiques à une analyse temporelle rigoureuse, elle révèle une tendance inquiétante à l'aridification, avec des impacts potentiels majeurs sur les ressources en eau et les écosystèmes fragiles. Elle contribue à la

compréhension des risques climatiques dans les milieux arides et propose des pistes concrètes pour renforcer la résilience des territoires sahariens face à la variabilité climatique.

5- Conclusions

L'analyse menée sur la région de Béchar entre 1989 et 2020 met en évidence une accentuation de la sécheresse météorologique, traduite par une diminution notable des précipitations et une fréquence accrue des années sèches. Les différents indices climatiques utilisés (SPI, écart à la moyenne, indice de Martonne, etc.) convergent vers le même constat : une tendance à l'aridification qui affecte durablement les écosystèmes, les ressources en eau et les systèmes agricoles. Ces résultats répondent pleinement aux objectifs de cette étude, qui visait à évaluer la variabilité de la sécheresse et à en cerner les impacts environnementaux dans une région saharienne vulnérable.

Sur le plan scientifique, ce travail contribue à enrichir les connaissances sur la dynamique de la sécheresse dans les zones arides, notamment dans un contexte saharien peu étudié. Il met en lumière l'intérêt d'une approche multi-indicielle et géospatiale pour comprendre les processus d'aridification à l'échelle locale. En pratique, les résultats offrent des éléments d'aide à la décision pour la gestion durable des ressources naturelles, la planification de l'agriculture irriguée, et l'élaboration de politiques d'adaptation au changement climatique.

Cette étude n'est toutefois pas exempte de limites. L'analyse repose sur les données d'une seule station météorologique, ce qui restreint la portée spatiale des résultats. De plus, certaines variables climatiques clés telles que la température ou l'évapotranspiration n'ont pas été intégrées, ce qui pourrait affiner davantage la compréhension du phénomène. Ces limites ouvrent des perspectives pour des travaux futurs plus complets et multidimensionnels.

Il serait pertinent d'élargir cette recherche à l'échelle régionale en mobilisant d'autres sources de données, notamment satellitaires, et en intégrant les impacts socio-économiques de la sécheresse sur les populations locales. L'intégration d'indicateurs agroclimatiques et hydrologiques permettrait également d'avoir une lecture plus globale du stress hydrique. Cette étude s'inscrit ainsi dans une réflexion plus large sur la résilience des territoires arides face aux aléas climatiques et contribue à poser les bases d'une stratégie d'adaptation mieux informée.

Face aux défis croissants du changement climatique dans le Sahara algérien, cette contribution constitue un pas important vers une meilleure compréhension et gestion des sécheresses. Elle invite à renforcer la recherche interdisciplinaire et la coopération entre chercheurs, décideurs et acteurs locaux pour anticiper les crises futures et préserver la durabilité des ressources dans ces milieux extrêmes.

**

La bibliographie

1. Ameri, S., Mekkaoui, A., Belkendil, A. et al. Dams and water use in arid zones: drought, balance sheet, siltation, and outlook case of the Djorf Torba dam (southwest, Bechar, Algeria). *Arab J Geosci* 16, 155 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12517-022-11152-9>
2. Achite, M., Wałęga, A., Toubal, A. K., Mansour, H., & Krakauer, N. (2021). Spatiotemporal characteristics and trends of meteorological droughts in the Wadi Mina Basin, Northwest Algeria. *Water*, 13(21), 3103. <https://doi.org/10.3390/w13213103>
3. ANBT, 2023. Agence Nationale des barrages et des Transferts.
4. Aghrab, A. (2005). Une méthodologie pour caractériser le climat et la sécheresse d'une région. France, Le Manuscrit, 51 p.
5. Alkhalidi, A., Assaf, M. N., Alkaylani, H., Halaweh, G., & Salcedo, F. P. (2023). Integrated innovative technique to assess and priorities risks associated with drought: Impacts, measures/strategies, and actions, global study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 94, 103800. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103800>
6. Alouini, A., Bergaoui, M. (2001). Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique ; cas du bassin versant de Siliana en Tunisie. *Sécheresse*, 4 (12), 205-213.
7. Bouabdelli, S. (2021). Caractérisation spatio-temporelle et prévision de la sécheresse dans le Nord de l'Algérie (Doctoral dissertation). ENSH Blida. Algerie.
8. Cooley D., 2013. Return periods and return levels under climate change. *Extremes in a changing climate*, 97-114. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4479-0_4
9. Denidina, B. E. N. L. A. B. I. O. D., & Abderrahmane, M. E. D. J. E. R. A. B. (2014). Étude de la sécheresse climatique dans les steppes sud-oranaises et algéroises à l'aide de l'indice standardisé de précipitations. *Revue Agro-Ecologie*, 2, 58.
10. Djellouli, F., Bouanani, A., & Baba-Hamed, K. (2020). Caractérisation de la sécheresse et du comportement hydrologique au niveau du bassin versant de l'oued Louza (Algérie occidentale). *Tech. Sci. Méthodes*, 6, 23-34. <https://doi.org/10.1051/tsm/202006023>
11. Doukpolo, B. (2007). Variabilité et tendances pluviométriques dans le Nord-Ouest de la Centrafrique : Enjeux environnementaux (DEA thesis in Geography). University of Abomey-Calavi, Benin, 73 p.
12. El Hafyani, M., Essahlaoui, N., Essahlaoui, A., Mohajane, M., & Van Rompaey, A. (2023). Generation of climate change scenarios for rainfall and temperature using SDSM in a Mediterranean environment: a case study of Boufakrane river watershed, Morocco. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s43994-023-00052-7>
13. GIEC, 2023 : Changement climatique 2023 : Rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [équipe de rédaction principale, H. Lee et J. Romero (éd.)]. GIEC, Genève, Suisse, pp. 35-115, <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

14. Hayes, M. (1996). Drought Indices. National Drought Mitigation Center. Available at: <http://enso.unl.edu/ndmc>. [Accessed 24 November 2020].
15. Hoegh-Guldberg O., Jacob D., Taylor M. 2020. The human imperative of stabilizing global climate change at 1.5°C. Science 365, eaaw6974 <https://doi.org/10.1126/science.aaw6974>
16. Jouilil, I., Bitar, K., Salama, H., Amraoui, I., Mokssit, A., Tahiri, M. (2013). Sècheresse météorologique au bassin hydraulique Oum Er Rbia durant les dernières décennies. Larhyss Journal, 12, 109-127.
17. Kendall MG (1975) Rank correlation methods, 4th edn. Charles Griffin, London
18. Koudamilo, O., Vissin, E. W., Dipama, J. M. (2017) Caractérisation des risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bétérou au Bénin (Afrique de l'ouest). European Scientific Journal, 13 (15), 101-118. DOI: <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n15p101>
19. Lakhdari, F. (2014). L'agriculture Saharienne, hier, aujourd'hui et demain ? Conférence – Salon de la recherche. Oran.
20. Lourenço, L. e Lopes, N. C. (2004). Incêndios Florestais, consequência e razão de ser de novas Mudanças Globais, GeolNova, Lisboa, n.º 9, "Ambiente e Mudanças Globais", 45-64.
21. Lubes-Niel H., J.M. Masson, J.L. Paturel et E. Servat (1998). Variabilité climatique et statistique. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. J. Water Sci., 11, 383-408.
22. Luo, C., Ding, W., Zhang, C., & Yang, X. (2023). Exploiting multiple hydrologic forecasts to inform real-time reservoir operation for drought mitigation. Journal of Hydrology, 618, 129232. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129232>
23. Mann, H. B., (1945). Nonparametric tests against trend. Econometrica, 13 (3), 245–259. DOI: <https://doi.org/10.2307/1907187>
24. McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration of time scales. In: Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim CA, USA, 179-186.
25. OFFICE NATIONAL DE LA MÉTÉOROLOGIE (2020). Résumés annuels du temps en Algérie. ONM, Alger, 112 p.
26. OMM - ORGANISATION MÉTÉOROLOGIQUE MONDIALE (1966). Climatic change, by World Meteorological Organization, working group of the Commission for Climatology, 195, TP 100, Tech. Note n.º 79 : 78 p.
27. Oubadi M., Hamou A., Faci M., Farhi Y. (2020). Impacts des canicules sur les contraintes environnementales dans la région de Béchar. Journal Algérien des Régions Arides, 14 : 80-101. URL : <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/102/14/1/110312>
28. Oubadi, M., Hamou, A., & Tedim, F. (2021). The rising temperature trend and elongation of the warm period in summer in the Algerian South-West, 1951-2010. Acta Geographica Lodziensia III (2021).203-211. URL: <https://doi.org/10.26485/AGL/2021/111/13>

29. Oubadi, M., Faci, M. & Pham, Q.B. Drought and aridity trends on the Algerian steppe. *Theor Appl Climatol* 155, 1541–1551 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04865-2>
30. Oubadi M, Faci M (2024) Spatio-Temporal changes of aridity in the Province of Naâma (Western Algeria). *Ann Arid Zone* 63(3) :41–49. <http://dx.doi.org/10.56093/aaz.v63i3.147766>
31. Paturel, J. E. and Servat, E. (1996). Procédure d'identification de ruptures dans les séries hydrologiques ; modification du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest non sahélienne. IAHS Publication, 238, 99–110. URL : <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010009805>
32. Qiu, J., Shen, Z., & Xie, H. (2023). Drought impacts on hydrology and water quality under climate change. *Science of The Total Environment*, 858, 159854. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159854>
33. Savari, M., Damaneh, HE et Damaneh, HE (2023). L'effet du capital social sur l'atténuation des impacts de la sécheresse et l'amélioration de l'habitabilité des ménages ruraux iraniens. *Journal international sur la réduction des risques de catastrophes*, 89, 103630. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103630>
34. Roy, P., Pal, S. C., Chakraborty, R., Chowdhuri, I., Saha, A., & Shit, M. (2023). Effects of climate change and sea-level rise on coastal habitat: Vulnerability assessment, adaptation strategies and policy recommendations. *Journal of Environmental Management*, 330, 117187. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117187>
35. Sen, P.K., 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *J. Am. Stat. Assoc.* 63, 1379–1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
36. Tate, E. L., & Gustard, A. (2000). Drought definition : a hydrological perspective. In *Drought and drought mitigation in Europe* (pp. 23–48). Dordrecht : Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9472-1_3
37. Yue S. et C. Wang (2004). The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water Resour. Manag.*, 18, 201–218