

# Analyse des tendances séculaires de l'évolution de la pluviosité dans les zones steppiques de l'Algérie

Hadjer Touahria <sup>(1)</sup>, Aziz Hirche <sup>(1)</sup>, Halima Slimani <sup>(1)</sup>, Tahar Ait Hammouda <sup>(2)</sup>, Youcef Oukil <sup>(3)</sup>, Mohamed Grandi <sup>(4)</sup>, Nacer Adi <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Faculté des Sciences Biologiques (USTHB/FSB), Laboratoire d'Écologie Végétale et Environnement, BP 295, El Alia Bab Ezzouar, Alger (Algérie).

E-mail : a.touahriahadjer@gmail.com

<sup>(2)</sup> Université Yahia Farès, Faculté des Sciences, 26000 Médéa (Algérie).

<sup>(3)</sup> École Nationale Supérieure Bouzaréah, Laboratoire de Géomatique, 93 Rue Ali Ramly, Bouzareah (Algérie).

<sup>(4)</sup> Université Saad Dahlab, Faculté de Biologie, Route de Soumaa, BP 270, 09000 Blida (Algérie).

Reçu le 8 octobre 2024, accepté le 21 aout 2025, mis en ligne le 16 décembre 2025.

Cet article est distribué suivant les termes et les conditions de la licence CC-BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>)

DOI : 10.25518/1780-4507.21720

**Description du sujet.** L'Afrique du Nord, notamment l'Algérie, représente l'une des régions les plus défavorisées en termes de ressources hydriques. Dans le contexte du réchauffement climatique, il est important de comprendre et de situer l'évolution séculaire de la pluviométrie dans les régions steppiques arides en raison des répercussions potentielles sur le bilan hydrique.

**Objectifs.** Cette étude vise à répondre aux trois objectifs de travail suivants : évaluer la fiabilité des données climatiques du *Climate Research Unit* (CRU, Université d'East Anglia) en les comparant avec celles de l'Office National de la Météorologie (ONM, Algérie), vérifier la présence d'une tendance à l'assèchement dans les régions steppiques ainsi que l'existence d'un gradient d'assèchement en fonction de la longitude.

**Méthode.** Cette étude examine des séries statistiques maillées du CRU portées à une résolution spatiale de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  (50 km x 50 km) remontant au début du vingtième siècle. Elles sont agrégées au niveau d'entités administratives, les wilayas, comprenant cinq stations dans la région occidentale, quatre stations dans la région Centre-Est ainsi que quatre stations distinctes dans la région orientale. Les données s'étendent de 1901 à 2021 et concernent 13 entités administratives provenant de l'ONM et du CRU. Les tendances ont été étudiées par les tests de Mann Kendall affinés par la méthode de Sen et le coefficient de corrélation paramétrique. Les ruptures d'homogénéité ont également été examinées.

**Résultats.** La plupart des stations algériennes du Centre et de l'Est ne montrent aucune tendance à l'assèchement à long terme. En revanche, une telle tendance est nettement observable dans la région occidentale et augmente au fil du temps selon un gradient longitudinal de l'est vers l'ouest, ce qui corrobore les résultats rapportés dans des études antérieures. Enfin, certaines stations, qui correspondent à des entités administratives, révèlent des ruptures d'homogénéité différenciées.

**Conclusions.** Les tendances de la pluviométrie sur le long terme montrent des dynamiques différentes d'une région à l'autre soulignant la nécessité d'une gestion efficace des ressources hydriques.

**Mots-clés.** Précipitation, changement climatique, désertification, biostatistique, Afrique du Nord.

## Analysis of secular trends in rainfall evolution in the steppe zones of Algeria

**Description of the subject.** North Africa, particularly Algeria, is one of the most disadvantaged regions in terms of water resources. In the context of climate change, it is crucial to understand and contextualize the long-term evolution of rainfall in arid steppe regions due to the potential repercussions on the water balance.

**Objectives.** This study aims to address the following three objectives: assess the reliability of climate data from the Climate Research Unit (CRU, University of East Anglia) by comparing them with data from the Algerian National Meteorological Office (ONM); investigate the presence of a drying trend in the steppe regions as well as determine whether a longitudinal gradient of increasing aridity exists, as suggested by previous studies.

**Method.** This study analyzes gridded statistical series from the CRU, with a spatial resolution of  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  (50 km x 50 km), dating back to the early 20<sup>th</sup> century. The data are aggregated at the level of administrative entities (wilayas), including five

stations in the western region, four in the Central-East, and four distinct stations in the eastern region. The datasets span from 1901 to 2021 and are sourced from both the ONM and the CRU. Trends were examined using the Mann-Kendall test refined by Sen's slope estimator, as well as the parametric correlation coefficient. Breaks in homogeneity were also analyzed.

**Results.** Most stations in Central and Eastern Algeria do not show any significant long-term drying trends. In contrast, such a trend is clearly observable in the western region and becomes more pronounced over time, following a longitudinal gradient from east to west. This confirms findings reported in previous studies. Additionally, some stations, corresponding to specific administrative entities, exhibit differentiated breaks in data homogeneity.

**Conclusions.** Long-term rainfall trends reveal differentiated dynamics across regions, highlighting the need for effective water resource management.

**Keywords.** Rain, climate change, drying, desertification, biostatistics, North Africa.

## 1. INTRODUCTION

Dans le contexte du réchauffement climatique, notamment en Afrique du Nord, l'analyse de l'évolution de la pluviométrie revêt une importance majeure. Les projections les plus récentes de l'IPCC (*Intergovernmental Panel of Climate Change*), indiquent que la région méditerranéenne connaîtra probablement une augmentation des températures couplée à une baisse significative de la pluviosité, entraînant une dégradation du climat et un déséquilibre accru du bilan hydrique (IPCC, 2022).

De ce fait, l'étude des tendances séculaires de la pluviométrie s'avère essentielle notamment en territoire steppique aride et semi-aride. La littérature scientifique disponible sur ce sujet demeure relativement confinée. Elle porte majoritairement sur la région du Nord-Ouest algérien et ne concerne qu'un nombre limité de stations. De plus, ces études couvrent souvent des périodes réduites et traitent majoritairement des données discontinues (Djellouli & Djebaili, 1984 ; Kadi, 1993 ; Hirche et al., 2007 ; Meddi & Meddi, 2009).

Peu d'études se sont concentrées sur les variations séculaires de la pluviosité en raison des difficultés d'accès aux données. Alors que certains travaux concluent à une relative stabilité sur des périodes spécifiques (Daget et al., 1992 ; Slimani et al., 2010), d'autres signalent au contraire une tendance à l'aridification dont l'intensité et la distribution spatiale varient selon les régions et les périodes analysées (Hirche et al., 2007 ; Meddi et al., 2009 ; Meddi & Meddi, 2009). Cependant, la plupart des auteurs relèvent une tendance à l'aridification du climat (Hirche et al., 2011 ; Eloussi et al., 2016 ; Eloussi et al., 2017 ; Belala et al., 2018). Cette hétérogénéité des résultats souligne la nécessité de réévaluer ces dynamiques à partir de sources de données plus complètes et sur des périodes d'observation suffisamment longues.

La compréhension de l'évolution de la pluviométrie constitue un enjeu fondamental pour mieux anticiper les défis agro-écologiques auxquels l'Afrique du Nord et l'Algérie en particulier seront confrontés. En effet, la dynamique de la végétation dans ces milieux

est fortement conditionnée par des facteurs tels que le surpâturage et les mises en culture (Nedjraoui & Bédrani, 2008 ; Hourizi et al., 2017). Lorsque l'aridification s'installe, elle peut agir comme un facteur aggravant, voire déclencheur, de la dégradation des terres. L'une des conséquences majeures de cette dégradation est l'intensification de l'érosion des sols, en particulier dans les régions où la végétation est clairsemée et les sols fragiles (Bouamrane & Abida, 2021 ; Omari et al., 2021).

Dans ce contexte, le réchauffement climatique vient accentuer les pressions existantes en augmentant les besoins en eau liés à l'évapotranspiration. Pour maintenir un bilan hydrique favorable, une augmentation des précipitations devient alors indispensable (Wassmann et al., 2018).

Dans le cadre de la présente étude, les données climatiques de longue durée issues d'une base de données de référence internationale, offrant une couverture spatio-temporelle suffisamment représentative, ont été mobilisées pour analyser l'évolution séculaire des précipitations dans les zones steppiques algériennes. Ce travail vise à répondre à trois hypothèses. La première concerne la comparabilité des données maillées et régionales du CRU avec celles des stations du réseau national météorologique et la convergence éventuelle des résultats qu'elles produisent. La deuxième hypothèse porte sur l'existence d'une baisse de la pluviométrie dans les zones steppiques. Enfin, la troisième consiste à vérifier si un gradient d'assèchement lié à la longitude peut être mis en évidence.

## 2. MÉTHODOLOGIE

### 2.1. Présentation de la zone d'étude et des sources de données

L'Algérie se situe en Afrique du Nord et représente le plus grand pays africain par sa superficie. Elle est délimitée au nord par la mer Méditerranée, à l'est par la Tunisie et la Libye, au sud par le Niger et le Mali

et à l'ouest par le Maroc, le Sahara occidental et la Mauritanie. La loi n° 19-12 du 11 décembre 2019, relative à l'organisation territoriale, découpe le pays en 58 wilayas, 44 wilayas déléguées et 1 541 communes (**Figure 1**) (JORADP, 2019).

Les données climatiques utilisées proviennent de deux sources dont la première est constituée par l'Office National de Météorologie (ONM) algérien qui fournit des données en provenance des différentes stations climatiques de son réseau.

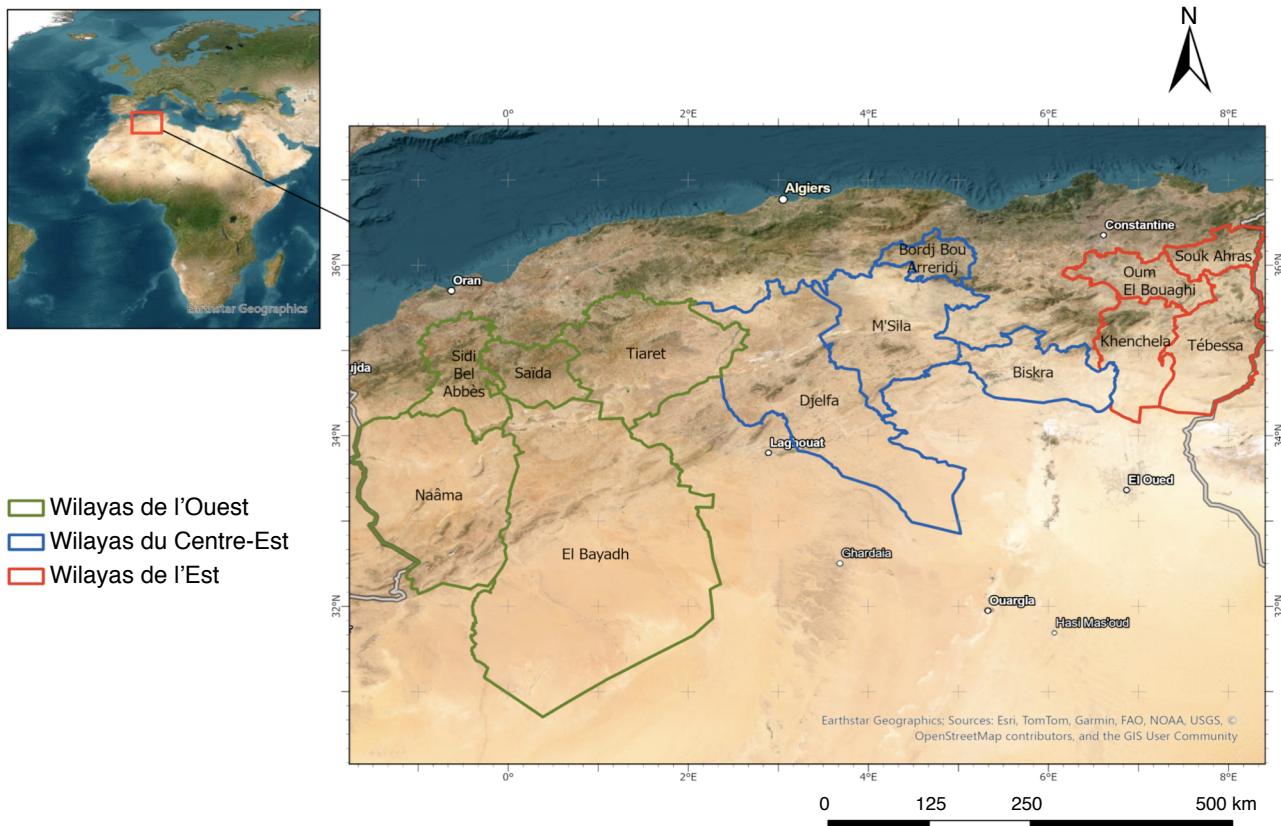
La deuxième est constituée par les données du *Climatic Research Unit* (CRU) de l'Université d'East Anglia (Royaume-Uni) qui est l'une des principales institutions concernées par l'étude des changements climatiques naturels et anthropiques. Le CRU rassemble les données en provenance de nombreuses sources à travers le monde (<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>). Ces données ont cependant été extraits dans cette étude à partir du site de la Banque Mondiale qui présente l'avantage d'un accès plus ergonomique. Le CRU fournit des ensembles de données historiques maillées dérivées de données d'observation, de données de température et de précipitations de qualité contrôlée ainsi que de données dérivées telles que les climatologies historiques mensuelles et à long terme. Les données issues du jeu de données du CRU sont largement reconnues comme point de référence dans

les recherches en climatologie (Harris et al., 2020). Elles sont restituées à une résolution spatiale de 0,5° x 0,5° (environ 50 km x 50 km).

Les données climatiques historiques, issues des observations, permettent aux utilisateurs de comprendre les contextes climatiques passés et actuels. Elles sont diffusées à partir de milliers de stations météorologiques dans le monde qui collectent en continu les mesures de la température et la pluviométrie. Les données fournies concernent les températures moyennes, minimales et maximales et les précipitations. Dans le cadre de cette étude, l'analyse a été limitée aux pluviométries.

Les données historiques relatives à la température et aux précipitations annuelles et saisonnières sont agrégées au niveau national et infranational pour chaque variable et sont facilement accessibles.

Dans le cadre de cette étude, les séries statistiques sont exceptionnellement longues, s'étendant de 1901 à 2021 (120 années) sans interruption, ce qui en fait tout leur intérêt. En outre, le nombre de stations est assez significatif (13) et surtout couvre une grande partie du territoire steppique (7 wilayas sur un total de 8). Les données utilisées dans cette étude représentent les plus grandes unités administratives au niveau infranational, appelées wilayas, des régions occidentale, orientale et Centre-Est. Les régions sont délimitées selon un découpage longitudinal qui correspond également



**Figure 1.** Représentation des wilayas concernées par l'étude — *Map of the wilayas concerned by the study*.

au découpage géographique communément accepté (**Tableau 1**). Enfin, il convient de rappeler que les données climatiques de l'ONM sont ponctuelles alors que celles du CRU sont maillées.

## 2.2. Comparaison ONM/CRU

Les données ponctuelles et stationnelles de l'ONM sont comparées aux données maillées du CRU. À l'échelle mondiale, les données climatiques proviennent généralement des organismes météorologiques nationaux qui s'appuient sur des stations météorologiques ponctuelles et constituent ainsi les données de référence. En Algérie, cet organisme de référence est l'Office National de la Météorologie (ONM). Les données maillées, quant à elles, proviennent d'un *provider* international de référence qui s'appuie partiellement sur le réseau national et dont les données sont rapportées à une échelle régionale. Il est donc important de vérifier la compatibilité et la comparabilité de ces deux sources de données. Bien que la comparaison entre ces dernières ne puisse par la nature même des données montrer des résultats identiques, l'objectif de cette étude est d'évaluer la présence d'évolutions similaires notamment en ce qui concerne la tendance pluviométrique (Nashwan et al., 2019 ; Schumacher et al., 2020).

La présence d'un nombre limité de stations (une par wilaya) rend le travail de comparaison plus aisé. Étant donné que les stations climatiques de l'ONM et les données du CRU n'ont pas la même période de référence, la première étape de cette comparaison consiste à identifier les périodes communes aux deux sources et comparer les paramètres statistiques

pour chacune d'elles (par exemple les totaux pluviométriques, les moyennes et les coefficients de variation).

Par ailleurs, les différences entre les moyennes et les coefficients de variation ont été calculées en pourcentage afin de réaliser une analyse comparative. Une régression linéaire a été établie entre les deux séries de données afin de vérifier l'existence d'une éventuelle relation statistique.

Le coefficient de corrélation de Pearson a été calculé afin de vérifier la convergence de l'évolution des deux types de données. Si le coefficient de corrélation obtenu est statistiquement significatif ( $p < 0,05$ ), les données du CRU seront considérées comme fiables par rapport aux données de référence de l'ONM et seront donc validées pour l'analyse à l'échelle locale.

Le coefficient de Pearson varie entre -1 et +1, plus  $r$  est proche de zéro, plus la relation linéaire est faible. Une valeur positive de  $r$  indique à son tour que les variables tendent à augmenter ensemble et inversement pour une valeur négative.

## 2.3. Tests de tendance

**Test de Mann Kendall (Mann, 1945).** Pour évaluer la tendance de la pluviométrie, le test de Mann Kendall a été utilisé en tenant compte de la saisonnalité. Le test de Mann-Kendall est un test statistique non paramétrique couramment utilisé pour analyser les tendances dans les séries temporelles, notamment dans les études climatiques. Il permet de détecter l'existence d'une tendance monotone — c'est-à-dire une évolution continue à la hausse ou à la baisse — sans supposer que les données suivent une distribution normale.

**Tableau 1.** Caractéristiques des stations étudiées — *Characteristics of the studied stations.*

Région	Intervalle de longitude	Station	Coordonnées géographiques	Période d'observation CRU	Période d'observation ONM
Région occidentale	de 1° à 1,6°	El Bayadh	33°40' N 1°00' E	1901-2021	1971-2010
		Naama	33°16' N 0°18' W		1992-2010
		Saida	34°52' N 0°09' E		1977-2010
		Sidi Bel Abbès	35°12' N 0°37' W		1985-2010
		Tiaret	35°21' N 1°28' E		1983-2010
Région du Centre-Est	de 1,6° à 6,5°	Djelfa	34°20' N 3°23' E		1971-2010
		Bordj Bou Arreridj	36°04' N 4°46' E		1979-2010
		Biskra	34°48' N 5°44' E		1936-2010
		M'sila	35°40' N 4°30' E		1977-2010
Région orientale	de 6,5° à 9°	Khenchela	35°28' N 7°05' E		1993-2010
		Oum El Bouaghi	35°52' N 7°07' E		1985-2010
		Souk Ahras	36°17' N 7°58' E		1986-2010
		Tebessa	35°25' N 8°07' E		1972-2010

Ce test présente l'avantage d'être robuste face aux valeurs aberrantes et aux distributions non normales. L'hypothèse nulle ( $H_0$ ) du test stipule qu'il n'existe pas de tendance significative dans la série étudiée. Le rejet de cette hypothèse indique la présence d'une tendance de la pluviométrie statistiquement significative positive ou négative.

Il est toutefois important de s'assurer que les données ne soient pas auto-corrélatées, biaisant ainsi les résultats du test. Dans le cas de cette étude, le test de Mann Kendall est basé sur le calcul de la mesure tau de Kendall d'association entre deux échantillons indépendants.

Le test de Mann-Kendall est complété par la pente de Sen (ou estimateur de Sen-Theil) qui permet de quantifier l'intensité de la tendance en estimant le taux de changement médian dans le temps et fournit une estimation robuste sur le taux de variation (contrairement à la régression linéaire).

Le seuil de significativité statistique est fixé à 5 % mais dans le cadre de cette étude, la statistique du test étant très élevée, le calcul exact de la  $p$ -valeur n'a pas pu être réalisé. Une approximation par la loi normale a été utilisée avec une correction de continuité. Tous les calculs statistiques ont été effectués sur le logiciel XLSTAT (XLSTAT version 2016, <https://www.xlstat.com/>).

**Régression linéaire par la méthode des moindres carrés.** Une régression par la méthode des moindres carrés a été appliquée pour estimer la relation entre la pluviométrie (variable dépendante) et le temps (variable indépendante). Cette approche paramétrique suppose la normalité des résidus et l'homoscédasticité, conditions qui ont été vérifiées avant interprétation.

#### 2.4. Rupture d'homogénéité

Dans le cadre des changements climatiques (IPCC, 2021 ; IPCC, 2023), il est pertinent d'observer l'évolution de la pluviométrie, de vérifier l'existence de ruptures d'homogénéité et d'identifier les dates de ces ruptures au cours de longues séries pluviométriques. Cette analyse contribue à mettre en évidence les tendances à long terme, elle permet d'améliorer la compréhension de la dynamique pluviométrique et d'affiner les modèles prédictifs, ce qui conduit à des prévisions climatiques plus fiables.

Les tests de Pettitt, Buishand et SNHT (*Standard Normal Homogeneity Test*) ont été utilisés sur les séries de la pluviométrie afin de détecter la présence ou l'absence de ruptures d'homogénéité pour toutes les wilayas prises en considération.

Ces trois tests reposent sur deux hypothèses:  $H_0$ , ou l'hypothèse nulle, stipule que la série de données est homogène et ne présente pas de rupture

d'homogénéité ;  $H_1$ , ou l'hypothèse alternative, stipule qu'il existe au moins une rupture d'homogénéité dans la série temporelle.

**La statistique de Buishand (Buishand, 1982).** Le test de rupture, comme celui de Buishand, couplé aux tests de tendance qui détectent plutôt une orientation générale, permet d'analyser plus finement l'évolution d'une série temporelle.

**Le test de Pettitt (Pettitt, 1979).** Les tests de rupture (test de Pettitt ou de Bai-Perron) identifient des points de changement soudain dans la structure des données. Ensemble, ils permettent de distinguer une tendance progressive d'un changement brutal et de vérifier si la tendance observée est continue ou liée à une discontinuité marquée. Ils sont essentiels pour interpréter correctement les dynamiques climatiques et, dans le cas de cette étude, pour situer les dates d'éventuelles ruptures d'homogénéité.

Lorsque la probabilité associée au test est inférieure au seuil de risque  $\alpha$  ( $p < 0,05$ ), l'hypothèse d'homogénéité  $H_0$  est rejetée, indiquant la présence d'une rupture au temps  $t$ .

**Le test SNHT (Alexandersson, 1986).** Le test SNHT (Alexandersson, 1986) fonctionne selon un principe similaire. Ce test examine chaque position potentielle de rupture en divisant la série en deux sous-séries et en calculant un indice statistique  $T(t)$ . Le point de rupture correspond à la valeur maximale de  $T(t)$ . Une valeur seuil est ensuite utilisée pour déterminer si la rupture mise en évidence est statistiquement significative.

### 3. RÉSULTATS

Les relations entre les données du CRU et de l'ONM au cours de périodes communes ont été examinées grâce aux paramètres statistiques pris en considération.

#### 3.1. Paramètres statistiques

**Taux pluviométriques et leurs variations par source de données.** Les statistiques montrent que les valeurs moyennes de la pluviométrie obtenues à l'échelle régionale sont généralement plus élevées relativement aux données stationnelles (ONM) prises comme référence. Dans les steppes occidentales, seule la station d'El Bayadh présente une pluviométrie issue du maillage CRU (177,59 mm) inférieure à celle observée à l'échelle régionale. Ce résultat est justifié par le fait que la partie méridionale de cette région, de nature présaharienne (200-100 mm), occupe la majeure partie de sa superficie et se situe à des altitudes plus basses (< 900-1 000 m) (**Tableau 2**), contrairement

aux autres stations établies à des altitudes plus élevées ( $> 900$ - $1000$  m). Il est important de noter que les écarts entre les moyennes restent hétérogènes, variant entre 10 et 25 %, à l'exception de la station d'El Bayadh qui se distingue par un écart nettement plus élevé, avoisinant 35 %.

Cependant, la variabilité mesurée au niveau stationnel est généralement plus élevée que celle calculée à l'échelle régionale (données CRU). Les coefficients de variation des données du CRU sont d'environ 20 %, tandis que ceux calculés à partir des données de l'ONM atteignent environ 30 %, à l'exception de la station de Sidi Bel Abbès (13,05 %). Cette dernière station est située plus au nord et bénéficie d'un climat plus humide, ce qui réduit les fluctuations de la pluviométrie et rend les variations plus stables. En revanche, sa partie méridionale, étant de superficie plus restreinte, présente un caractère steppique aride marqué par des variations pluviométriques plus fortes liées à la sécheresse du climat.

Les coefficients de variation présentent des écarts marqués entre les deux sources, variant selon les

stations de l'ordre d'un sixième à un tiers. Ce résultat indique que si les données agrégées sont pertinentes pour l'étude du bilan hydrique sur un bassin versant, elles restent mal adaptées à l'étude de la variabilité climatique interannuelle.

Dans l'Algérois, au centre des parcours steppiques, une variabilité plus marquée entre les stations est observée (**Tableau 3**). Bien que les données CRU présentent systématiquement des moyennes plus élevées, l'écart de pluviométrie annuelle est particulièrement important pour Bordj Bou Arreridj (53,94 %) et Biskra (45,49 %), alors qu'il reste négligeable pour Djelfa (0,74 %) ; à M'sila, il dépasse même le double. Dans la partie steppique orientale, la même tendance se confirme : la moyenne pluviométrique estimée par le CRU est généralement supérieure (de 2 à 122 %), à l'exception de Khencela où l'altitude (1 100 m), comme à El Bayadh, atténue cet écart (**Tableau 4**). Les différences y sont plus hétérogènes que dans la région occidentale ou centrale. L'altitude semble jouer un rôle : les écarts entre valeurs moyennes atteignent environ un tiers à Khencela

**Tableau 2.** Moyennes et variabilité de la pluviométrie à l'échelle stationnelle et régionale pour les steppes occidentales algériennes — *Averages and variability of rainfall at the station and regional scales for the western steppes in Algeria.*

Nature des données	El Bayadh	Naama	Saida	Sidi Bel Abbès	Tiaret
Stationnelles (ONM)					
Moyenne	265,92	240,712	344,68	319,83	344,61
Coefficient de variation	32,76	28,68	28,77	22,09	30,77
Période commune	1973-2010	1985-2010	1978-2010	1985-2010	1983-2010
Maillées (CRU)					
Moyenne	177,597	281,396	387,15	395,56	433,02
Coefficient de variation	21,54	18,37	20,53	19,20	18,47
Différence entre les moyennes (%)	33,21	-16,90	-12,32	-23,67	-25,65
Différence entre les coefficients de variation (%)	34,2	35,95	28,63	13,05	39,9

**Tableau 3.** Moyennes et variabilité de la pluviométrie à l'échelle stationnelle et régionale pour les steppes du centre algérien — *Averages and variability of rainfall at the station and regional scales for the steppes in Central Algeria.*

Nature des données	Bordj Bou Arreridj	Biskra	Djelfa	M'sila
Stationnelles (ONM)				
Moyenne	362,41	119,23	312,545	185,94
Coefficient de variation	23,72	42,79	26,74	34,83
Période commune	1979-2010	1936-2010	1971-2010	1977-2010
Maillées (CRU)				
Moyenne	557,93	173,47	310,23	413,56
Coefficient de variation	20,66	22,17	19,873	20,55
Différence entre les moyennes (%)	-53,94	-45,49	0,7406	-122,41
Différence entre les coefficients de variation (%)	12,88	48,18	25,69	40,98

et Oum El Bouaghi (35,21 % et 36,48 %), mais ne représentent qu'un sixième à Souk Ahras et restent négligeables à Tébessa. Les corrélations calculées à l'échelle stationnelle sont plus élevées (25-30 %) que celles obtenues avec les données CRU ( $\approx 20\%$ ). Enfin, la variabilité diffère fortement selon les stations, avec un minimum à Khenchela (14 %) et un maximum à Oum El Bouaghi (35,53 %), située dans une zone au caractère steppique plus marqué.

**Comparaison des deux sources de données.** La relation entre les données du CRU et les données des stations a ensuite été testée à l'aide du coefficient de corrélation. Les coefficients de corrélations sont modérés (Naama, Tiaret) à assez élevés (Saida, Sidi Bel Abbès) dans les steppes orientales, comme le montre le **tableau 5**. Les coefficients de corrélation sont moyens (Biskra, Djelfa) à faibles (M'sila) dans le centre (**Tableau 6**) et restent moyens dans les steppes orientales (**Tableau 7**).

Les *p*-valeurs montrent qu'il existe une relation significative entre les données des stations maillées (CRU) et celles des stations ponctuelles (ONM) puisque le coefficient de corrélation *r* diffère statistiquement de zéro. L'utilisation des données CRU pour étudier l'évolution de la pluviométrie apparaît donc pertinente et fiable. Cette cohérence avait d'ailleurs déjà été observée dans les analyses précédentes.

Il a été observé plus haut que les valeurs du CRU surestiment généralement les valeurs de l'ONM, toutefois cette surestimation n'est pas systématique et l'amplitude des différences n'est pas homogène. Des analyses de régression linéaire ont ensuite été réalisées afin de comparer les données du CRU à celles de l'ONM. Les résultats mettent en évidence des tendances de pluviométries convergentes entre les deux sources de données. Indépendamment de la période considérée, les pentes conservent le même

**Tableau 4.** Moyennes et variabilité de la pluviométrie à l'échelle stationnelle et régionale pour les steppes orientales algériennes — *Averages and variability of rainfall at the station and regional scales for the eastern steppes in Algeria.*

Nature des données	Khencela	Oum El Bouaghi	Souk Ahras	Tebessa
Stationnelles (ONM)				
Moyenne	473,12	370,42	676,43	367,79
Coefficient de variation	21,76	31,13	26,48	26,53
Période commune	1993-2010	1985-2010	1986-2010	1972-2010
Maillées (CRU)				
Moyenne	306,55	505,56	768,41	373,68
Coefficient de variation	18,71	20,068	20,46	21,22
Différence entre les moyennes (%)	35,21	-36,48	-13,6	-1,6
Différence entre les coefficients de variation (%)	14,04	35,55	22,75	20,02

**Tableau 5.** Relation entre les données régionales et stationnelles des steppes occidentales algériennes — *The relationship between regional and station data for the western steppes in Algeria.*

	El Bayadh	Naama	Saida	Sidi Bel Abbès	Tiaret
R	0,785	0,739	0,837	0,815	0,758
$H_0$	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée
Tendance	Identique	Identique	Identique	Identique	Identique

**Tableau 6.** Relation entre les données régionales et stationnelles des steppes centrales algériennes — *The relationship between regional and station data for the steppes in Central Algeria.*

	Bordj Bou Arreridj	Biskra	Djelfa	M'sila
R	0,811	0,755	0,778	0,777
$H_0$	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée
Tendance	Identique	Identique	Identique	Identique

**Tableau 7.** Relation entre les données régionales et stationnelles des steppes orientales algériennes — *The relationship between regional and stational data for the eastern steppes in Algeria.*

	<b>Khenchela</b>	<b>Oum El Bouaghi</b>	<b>Souk Ahras</b>	<b>Tebessa</b>
R	0,647	0,713	0,720	0,683
$H_0$	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée
Tendance	Identique	Identique	Identique	Identique

signe, traduisant soit une augmentation, soit une diminution des pluies au fil du temps.

En revanche, l'amplitude de ces pentes varie selon les périodes, ce qui explique les différences observées dans les quantités annuelles, stationnelles et régionales de précipitations. La période la plus fréquemment retenue, entre 1983 et 2010, indique généralement une augmentation de la pluviométrie aussi bien pour les steppes occidentales (**Figure 2**), centrales (**Figure 3**) qu'orientales (**Figure 4**). La station de Souk Ahras indique la même tendance positive mais se singularise par des totaux pluviométriques très différents.

### 3.2. Test de tendances

**Stations de l'Ouest.** Les résultats du test indiquent une tendance soit à la baisse, cas le plus fréquent, soit à la stabilité. L'analyse des résultats des tendances pluviométriques de l'Oranais révèle que la plupart des régions montrent l'existence d'une tendance liée à l'assèchement ( $p < 0,05$ ) (**Tableau 8**).

Les graphiques établis (**Figure 5**) confirment visuellement la tendance à l'aridification des wilayas de l'Ouest algérien. Seule El Bayadh se démarque avec un seuil faiblement significatif ( $p = 0,061$ ) et une pente de Sen négative. Pour les autres wilayas, les analyses confirment toutes la présence d'une baisse progressive des précipitations.

En outre, la présence d'une période sèche ressort nettement entre le début des années 1980 et le début

des années 2000. La première période correspond au début de l'accélération du processus de dégradation qui a eu d'immenses répercussions sur l'état des parcours steppiques, alors que la seconde a considérablement accentué l'effet de cette dégradation.

Hormis la station de Tiaret, la reprise d'une période humide depuis les années 2000 n'a toujours pas permis d'atteindre les niveaux de pluviométrie précédant les années 1980, notamment le début des années 1970. Enfin, les années 2019, 2020 et 2021 se sont avérées globalement sèches, ce qui a également aggravé l'état des parcours steppiques.

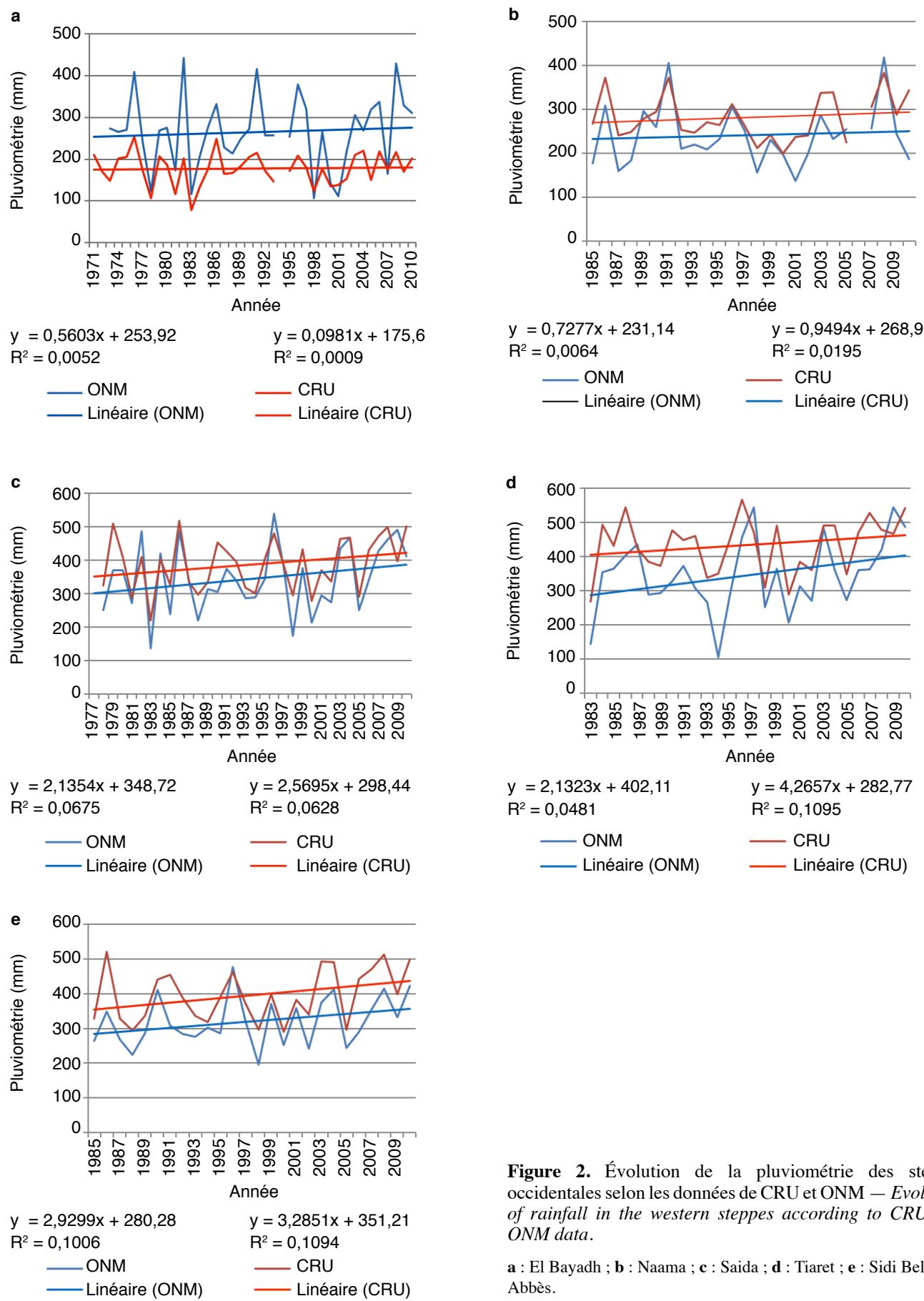
**Stations du Centre.** Les wilayas du Centre algérois étudiées ne montrent pas de tendance à l'assèchement (**Tableau 9**). Cependant, hormis la station de Biskra avec une  $p$ -valeur de 0,322, les autres régions montrent des  $p$ -valeurs assez proches de la valeur seuil avec 0,067 pour Bordj Bou Arreridj et 0,071 pour M'sila. Les graphes (**Figure 6**) montrent d'ailleurs une légère tendance à l'assèchement qui reste statistiquement non significative.

Les pentes de Sen sont également négatives et proches de celles obtenues par régression linéaire, ce qui confirme une tendance générale à la baisse de la pluviométrie au fil des années.

**Stations de l'Est.** Les  $p$ -valeurs, comprises entre 0,4 et 0,8, confirment l'hypothèse nulle, indiquant l'absence de tendance significative (**Tableau 10**). En revanche,

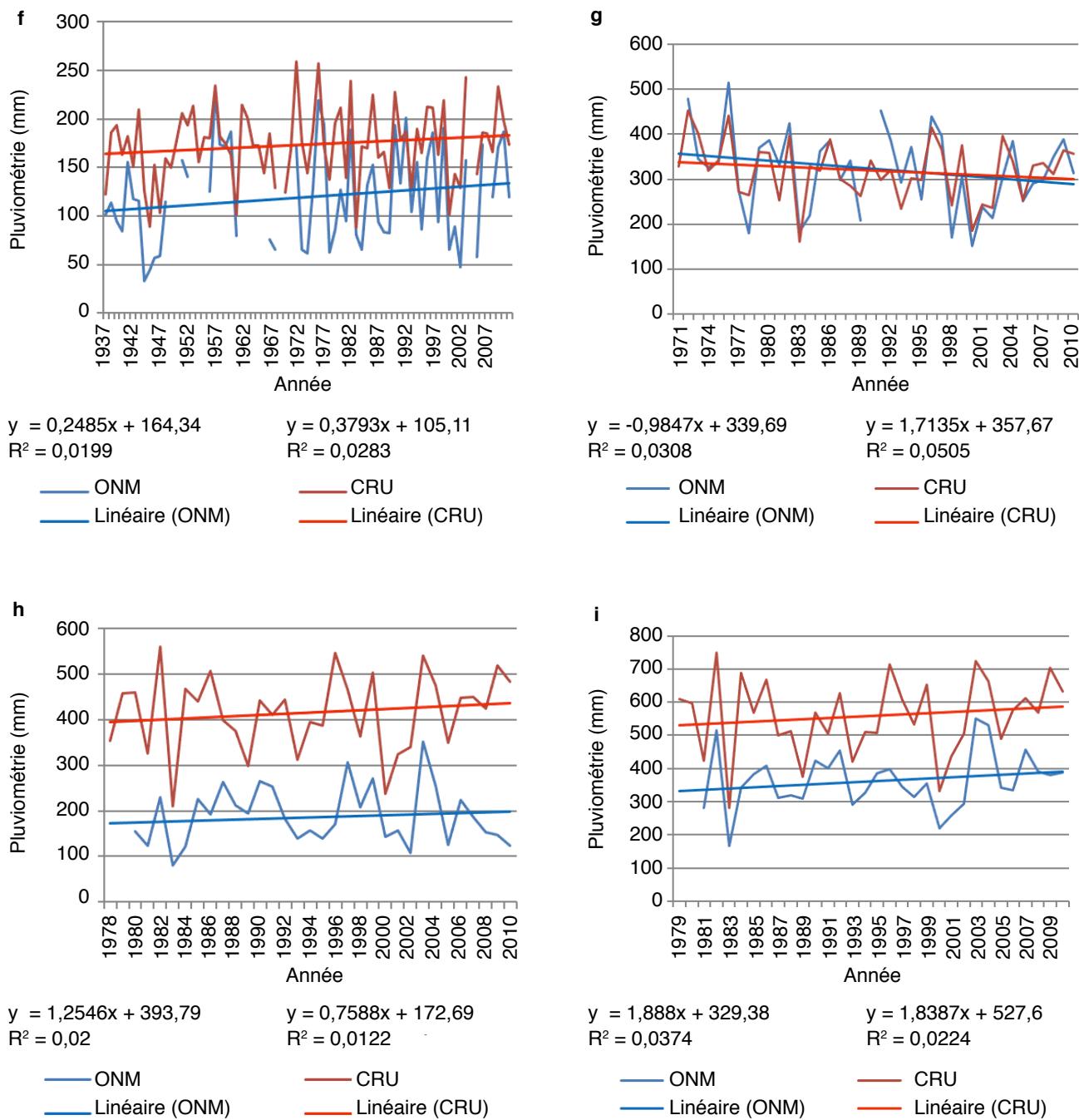
**Tableau 8.** Tendance centenaire de la pluviométrie dans quelques stations de l'Oranais — *Centennial trend in rainfall at some stations in the Oran region.*

	<b>El Bayadh</b>	<b>Naama</b>	<b>Saida</b>	<b>Sidi Bel Abbès</b>
Tau de Kendall	-0,115	-0,192	-0,201	-0,215
S	-836	-1 392	-1 460	-1 564
Var(S)	199 246,65	199 246,66	199 246,66	199 246,66
$p$ -valeur (bilatérale)	0,061	0,002	0,001	0
Alpha	0,05	0,05	0,05	0,05
$H_0$	Acceptée	Rejetée	Rejetée	Rejetée
Pente de Sen	-0,212	-0,633	-0,874	-0,937
Intervalle de confiance de la pente de Sen	]-0,316 ;-0,112 [	]-0,812 ;-0,480 [	]-1,071 ;-0,649 [	]-1,179 ;-0,735 [
Pente des moindres carrés	0,261	-0,722	-0,902	-1,069



**Figure 2.** Évolution de la pluviométrie des steppes occidentales selon les données de CRU et ONM — *Evolution of rainfall in the western steppes according to CRU and ONM data.*

**a** : El Bayadh ; **b** : Naama ; **c** : Saida ; **d** : Tiaret ; **e** : Sidi Bel Abbès.



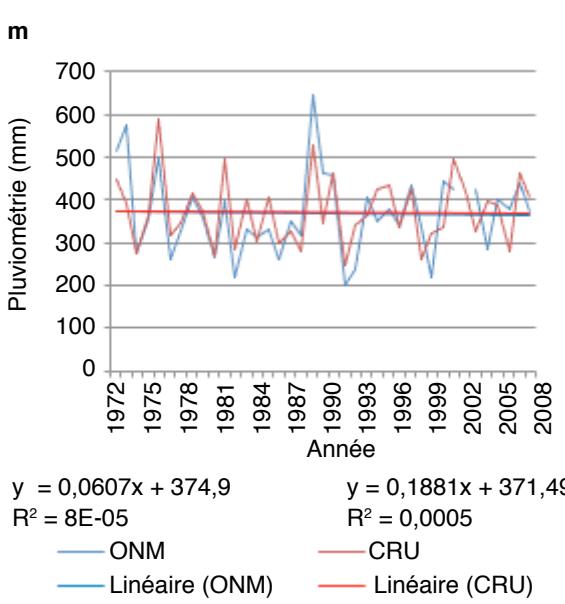
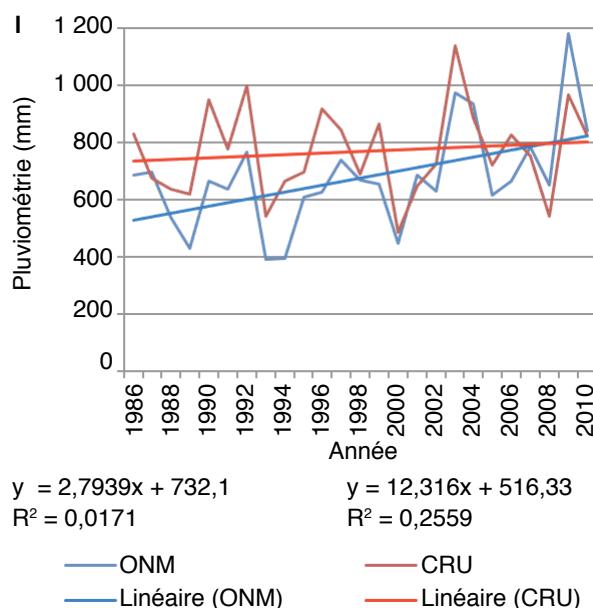
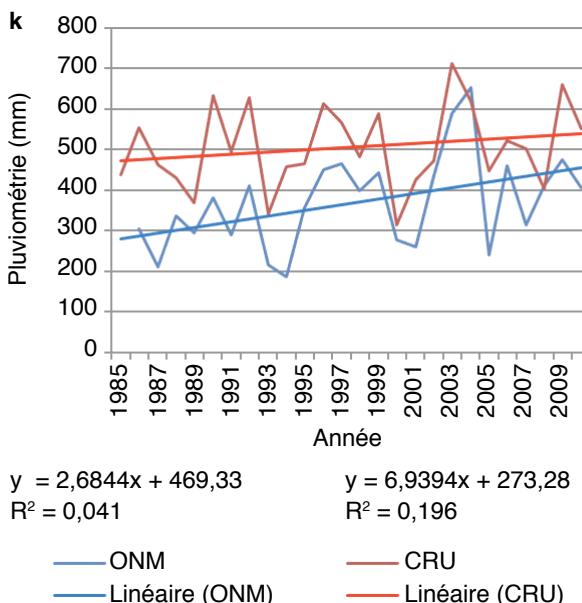
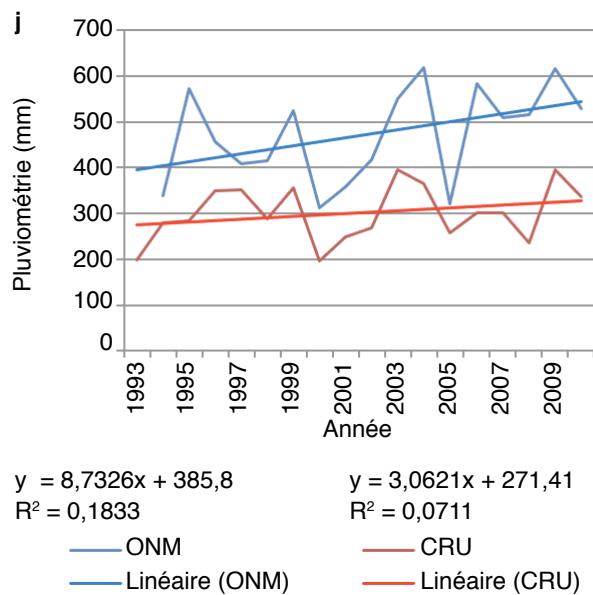
**Figure 3.** Évolution de la pluviométrie des steppes centrales selon les données de CRU et ONM — *Evolution of rainfall in the central steppes according to CRU and ONM data.*

f : Biskra ; g : Djelfa ; h : M'sila ; i : Bordj Bou Arreridj.

les pentes de Sen se présentent négatives, ce qui suggère une diminution globale des pluviométries, bien que cette baisse ne soit pas statistiquement significative. Cette tendance pourrait être interprétée comme un signal d'assèchement, sans toutefois permettre de le conclure avec certitude. Cependant, les pentes de Sen et celles obtenues par la régression paramétrique

montrent des valeurs assez divergentes traduisant une possible autocorrélation.

Les mêmes périodes sèches des années 1981-1985 et du début des années 2000, dans une moindre mesure, ressortent. De même que précédemment, les années 2019 à 2021 apparaissent comme étant relativement sèches.



**Figure 4.** Évolution de la pluviométrie des steppes orientales selon les données de CRU et ONM — *Evolution of rainfall in the eastern steppes using CRU and ONM data.*

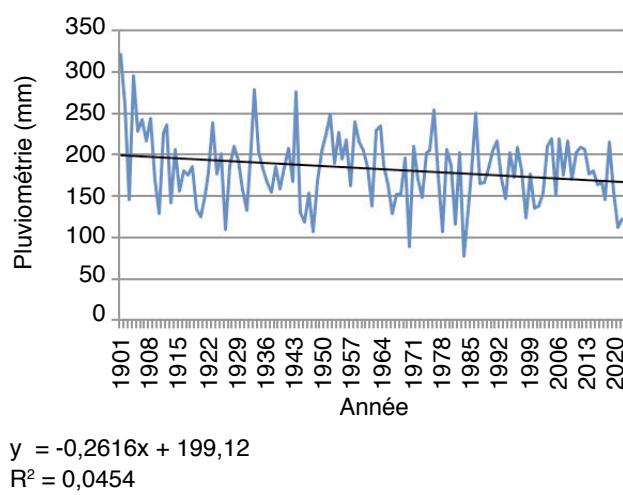
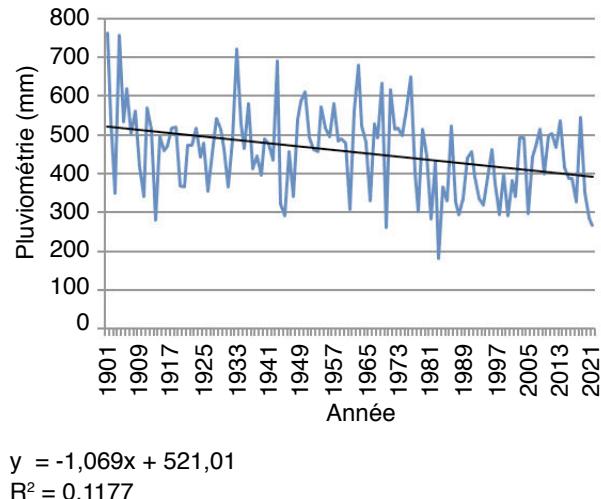
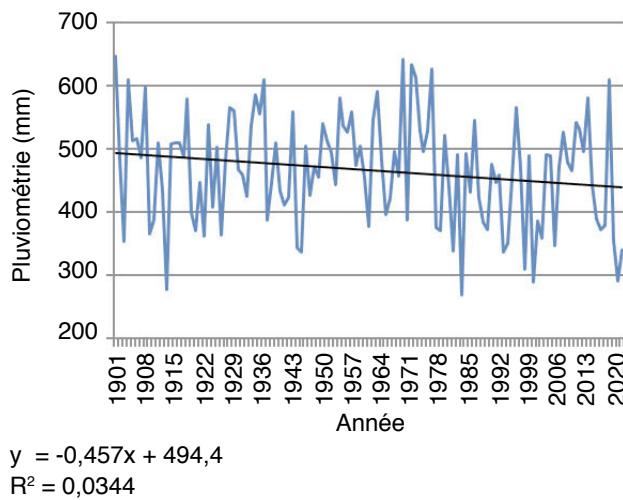
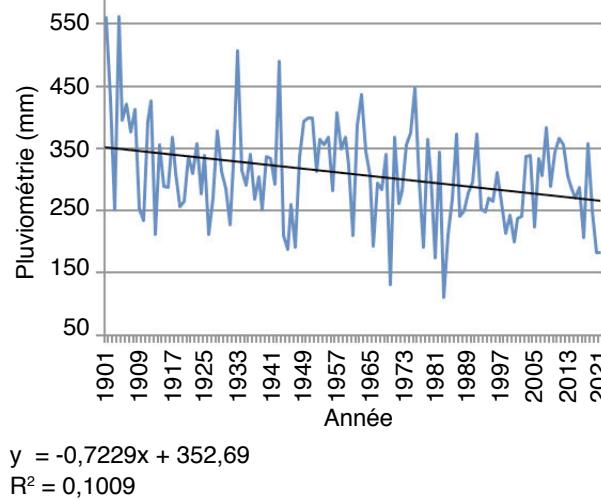
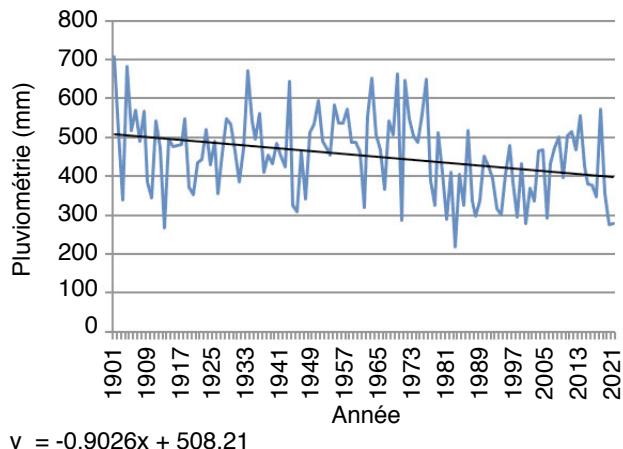
j : Khenchela ; k : Oum El Bouaghi ; l : Souk Ahras ; m : Tebessa.

La **figure 7** montre l'évolution de la pluviométrie dans l'Est algérien.

**Rupture d'homogénéité.** Pour les régions Centre et Est, aucune rupture n'a été détectée dans les séries de données et les stations sont homogènes sur la période étudiée. De plus, aucune tendance significative de variation de la pluviométrie n'a été observée, y compris dans les projections futures.

Quant à la région occidentale, pour le test de Pettitt et de Buishand, les années de rupture sont concordantes (**Tableau 11**), elles font ressortir l'année 1976 pour l'ensemble des stations.

Concernant le test du SNHT, El Bayadh et Naama montrent l'absence d'homogénéité et une rupture d'homogénéité est décelée durant l'année 1908, due probablement aux limites du test aux valeurs extrêmes.

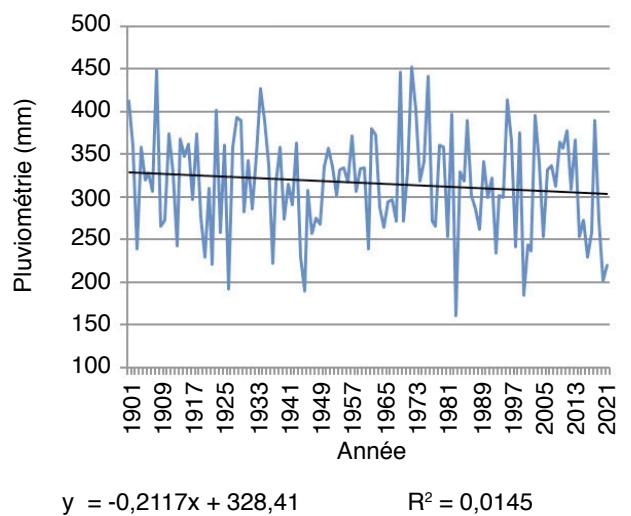
**El Bayadh****Sidi Bel Abbès****Tiaret****Naama****Saida**

**Figure 5.** Évolution de la pluviométrie dans quelques stations de l'Ouest de l'Algérie — *Evolution of rainfall in some stations in western Algeria*.

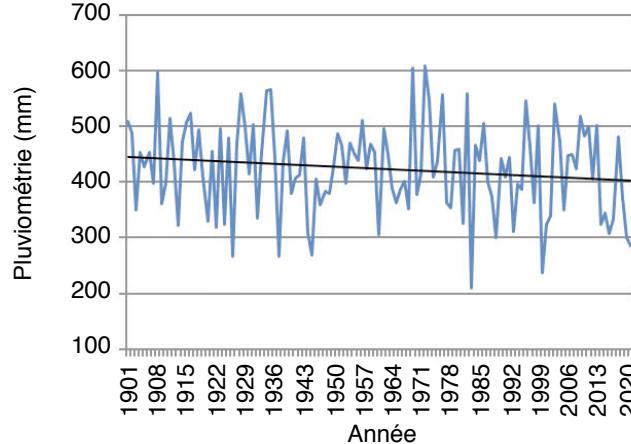
**Tableau 9.** Tendance centenaire de la pluviométrie dans quelques stations de l'Algérois — *Centennial trend in rainfall in some stations of Algiers.*

	Bordj Bou Arrerridj	Biskra	Djelfa	M'sila
Tau de Kendall	-0,113	-0,061	-0,084	-0,111
S	-820	-443	-612	-808
Var(S)	199 246,66	199 245,66	199 246,66	199 246,66
p-valeur (bilatérale)	0,067	0,322	0,171	0,071
alpha	0,05	0,05	0,05	0,05
$H_0$	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Acceptée
Pente de Sen	-0,603	-0,109	-0,241	-0,412
Intervalle de confiance de la pente de Sen	]-0,809; -0,332[	]-0,198 ; -0,024[	]-0,386; -0,084[	]-0,596 ; -0,229[
Pente moindres carrés	-0,483	-0,073	-0,211	-0,365

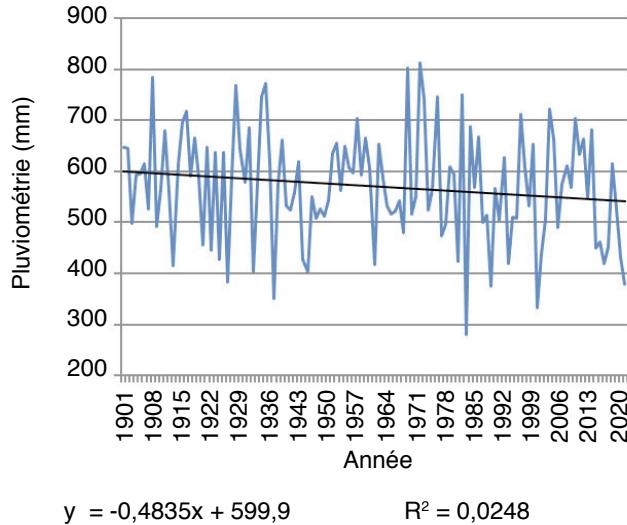
**Djelfa**



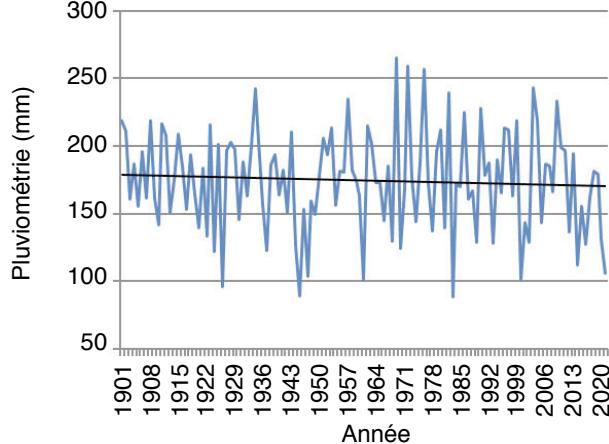
**M'sila**



**Bordj Bou Arrerridj**



**Biskra**



**Figure 6.** Évolution de la pluviométrie dans quelques stations du Centre-Est de l'Algérie — *Evolution of rainfall in several stations in central-eastern Algeria.*

**Tableau 10.** Tendance centenaire de la pluviométrie dans quelques stations du Constantinois — *Centennial trend in rainfall in some stations of Constantine.*

	<b>Khenchela</b>	<b>Oum El Bouaghi</b>	<b>Souk Ahras</b>	<b>Tebessa</b>
Tau de Kendall	-0,014	-0,044	-0,023	0,017
S	-103	-320	-164	122
Var(S)	199245,67	199246,67	199246,67	199246,67
<i>p</i> -valeur (bilatérale)	0,819	0,475	0,715	0,786
alpha	0,05	0,05	0,05	0,05
$H_0$	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Acceptée
Pente de Sen	-0,041	-0,212	-0,139	-0,454
Intervalle de confiance de la pente de Sen	]-0,171 ; 0,093 [	]-0,385 ; 0,022 [	]-0,448 ; 0,164 [	]-0,674 ; -0,272 [
Pente des moindres carrés	0,013	-0,096	-0,044	0,095

**Tableau 11.** Années de rupture d'homogénéité des séries de la pluviométrie — *Years of break in the homogeneity of rainfall series*

<b>Région occidentale</b>	<b>Test de Pettitt</b>	<b>Test SNHT</b>	<b>Test Buishand</b>
El Bayadh	1964	1908	1964
Naama	1976	1908	1964
Saida	1976	1976	1976
Sidi Bel Abbès	1976	1976	1976
Tiaret	1976	1976	1976

#### 4. DISCUSSION

La première partie de ce travail a consisté à évaluer la compatibilité des tendances des données fournies par les stations climatiques du réseau national de l'ONM avec celles fournies au niveau régional par le CRU. La période de chevauchement entre les deux types de données en dépassant les 20 années d'observation (75 ans pour la station de Biskra) offre une base solide pour effectuer des comparaisons fiables.

Les résultats obtenus sont globalement satisfaisants et cohérents : les tendances issues des deux sources de données concordent car elles sont calculées sur de longues séries temporelles, moins sensibles aux dates de début et de fin de la période considérée (IPCC, 2014). Quelques stations montrent de légères divergences (El Bayadh, Sidi Bel Abbès, M'sila et Khenchela), probablement liées aux caractéristiques géographiques locales, comme l'altitude et le bioclimat susceptibles d'influencer les mesures.

Par ailleurs, la variabilité observée à l'échelle des stations apparaît généralement plus marquée que celle issue des données régionales du CRU. Cet écart peut s'expliquer par l'effet du maillage spatial propre aux données du CRU qui tend à atténuer les fluctuations

locales, produisant ainsi des valeurs moyennes plus lissées.

Les droites de régression confirment des tendances similaires entre les données du CRU et celles de l'ONM, malgré quelques différences d'amplitude.

Ces constats rejoignent ceux de Bouznad et al. (2020) qui trouvent des tendances de pluviométrie positives dans 11 stations climatiques de la région des hauts plateaux algériens entre 1985 et 2015. L'utilisation des données du CRU apparaît ainsi pertinente pour identifier les tendances climatiques régionales tout en restant prudent quant à leur emploi pour analyser la variabilité interannuelle et, dans une moindre mesure, l'amplitude de la variation au niveau local.

En outre, l'étude des tendances climatiques n'est pertinente que sur des périodes d'observation suffisamment longues.

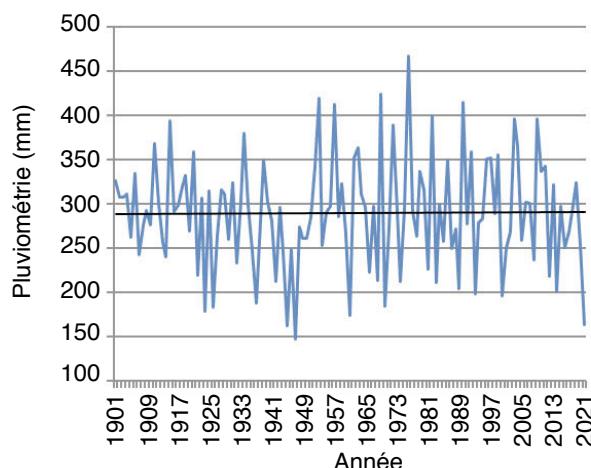
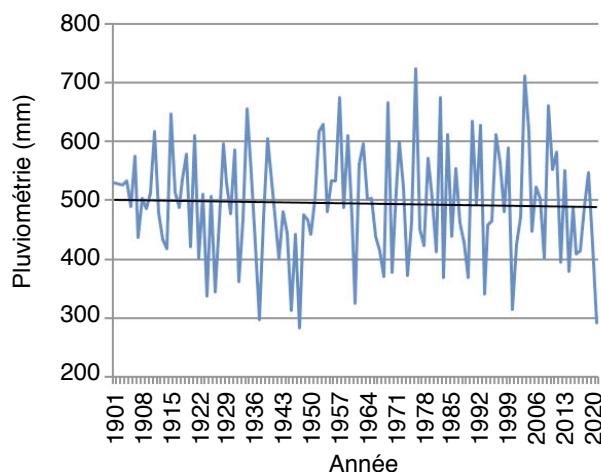
Les études de tendances réalisées montrent que les stations occidentales, hormis El Bayadh, présentent une tendance à l'assèchement à la différence des stations du Centre et de l'Est.

Les travaux antérieurs portant sur l'évolution des pluviométries mettent en évidence des résultats globalement convergents, malgré certaines disparités régionales et temporelles.

Daget et al. (1992) ont conclu que, sur les cent dernières années (avant 1990), la pluviométrie en territoire steppique ne semblait pas présenter de signes manifestes de dégradation. D'autres études, plus récentes, rejoignent les conclusions de ce travail concernant la station d'El Bayadh (Slimani et al., 2010).

D'autres contributions nuancent ces résultats en soulignant que la région occidentale connaît une augmentation de l'aridité (Hirche et al., 2007 ; Meddi & Meddi, 2009 ; Meddi et al., 2009), rejoignant ainsi les résultats obtenus dans ce travail.

Certaines années se singularisent par des écarts significatifs par rapport aux conditions moyennes.

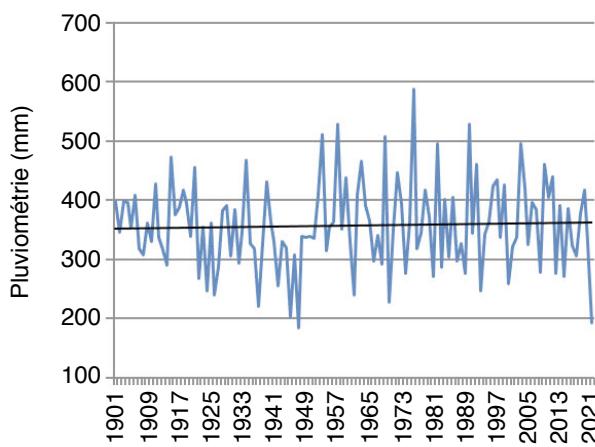
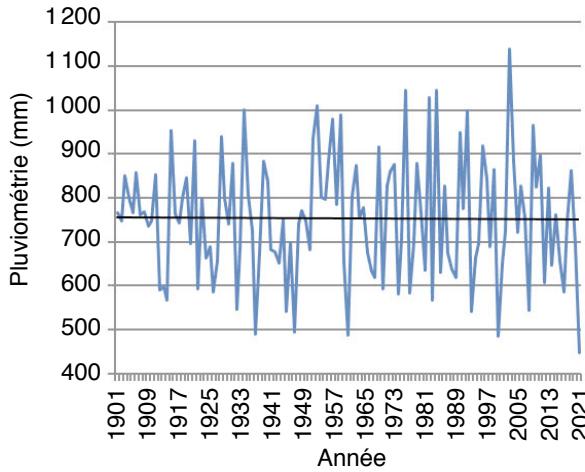
**Khenchela****Oum El Bouaghi**

**Figure 7.** Évolution de la pluviométrie dans quelques stations de l'Est algérien — *Evolution of rainfall in some stations in eastern Algeria.*

Nouaceur et al. (2013) et Mrad et al. (2020) soulignent qu'après une période relativement sèche au début des années 2000, l'année 2004 a été particulièrement neigeuse, tandis que 2008 a été exceptionnellement humide.

En outre, l'analyse des tendances pluviométriques révèle la présence d'un gradient d'assèchement qui s'accentue d'Est en Ouest, les régions occidentales étant les plus affectées.

Ces résultats sont corroborés par plusieurs auteurs (Belala et al., 2018 ; Merniz et al., 2019). L'analyse

**Tebessa****Souk Ahras**

des tendances pluviométriques dans les principales wilayas algériennes montre qu'aucune wilaya de l'Est ne présente de tendance à l'assèchement. Ces résultats rejoignent les conclusions de Hirche et al. (2007), Belala et al. (2018) et Bessaklia et al. (2018) qui ont mis en évidence une augmentation de l'agressivité des pluies. Par ailleurs, Beldjazia & Alatou (2016) soulignent une forte variabilité pluviométrique à l'Est. La région du Centre ne présente pas de tendance notable à l'assèchement, à l'exception de la wilaya de Biskra où celle-ci demeure statistiquement non significative.

À l'inverse, les wilayas occidentales affichent majoritairement une tendance à l'assèchement ou à la diminution des précipitations, comme rapporté dans d'autres études (Meddi & Hubert, 2003 ; Taibi et al., 2017 ; Benzater et al., 2019 ; Taïbi et al., 2019 ; Achour et al., 2020).

La tendance est clairement marquée dans les régions de Naama, Saïda et Sidi Bel Abbès où les *p*-valeurs sont nettement inférieures à 0,05 (0,002 ; 0,001 et 0,0001 respectivement). Elle apparaît plus modérée dans la région de Tiaret, dont la *p*-valeur, bien que significative (0,043), traduit une intensité moindre. L'unique station ne montrant pas de tendance à l'assèchement est El Bayadh, comme déjà souligné par Slimani et al. (2010). Cette singularité pourrait s'expliquer par la position de cette wilaya dont la partie méridionale, à caractère présaharien, est soumise à un climat relativement stable (Hirche et al., 2007 ; Belala et al., 2018).

L'analyse des résultats révèle que les stations du Centre ne montrent pas d'aridification bien que les *p*-valeurs des wilayas de Bordj Bou Arrerridj et M'sila se situent près du seuil de significativité (0,067; 0,071).

De même, les pentes de Sen ou établies par la méthode des moindres carrés sont toutes négatives, traduisant une tendance légère à l'assèchement, toutefois statistiquement non significative.

Dans l'ensemble, les résultats suggèrent un gradient croissant de tendance à l'assèchement en direction de la région occidentale. Ces résultats rejoignent en partie les résultats obtenus par d'autres auteurs (Hirche et al., 2007 ; Hirche, 2011 ; Belala et al., 2018), bien que ces études reposent sur un nombre limité de stations, tant dans le temps que dans l'espace.

Il est important de préciser que ces résultats indiquent que la région la plus sujette à une aridification marquée est la région occidentale, déjà confrontée à un déficit hydrique chronique.

La région du Centre présente des signes précurseurs d'un processus d'aridification, bien que les résultats restent à ce jour statistiquement non significatifs. La région orientale semble pour le moment relativement épargnée, même si les graphes montrent une tendance négative non significative sur le plan statistique.

L'analyse des ruptures d'homogénéité au sein des séries pluviométriques du siècle écoulé met en évidence une variabilité dans la région occidentale, suggérant une diminution progressive des précipitations. L'année 1976 apparaît comme l'année de rupture la plus récurrente, soulignant la précocité des changements climatiques dans l'Ouest algérien. Ces modifications pourraient avoir des répercussions significatives, voire catastrophiques, sur les systèmes de pâturage et les écosystèmes locaux, menaçant ainsi les ressources en eau et la pérennité des activités agricoles dans cette région.

## 5. CONCLUSIONS

Cette étude a permis d'avoir une meilleure connaissance des tendances pluviométriques en Algérie, conformément aux objectifs fixés.

Le premier objectif visait à s'assurer de la concordance entre deux sources de données différentes : d'une part, celles du fournisseur mondial CRU, disposant d'une longue série chronologique de données et d'autre part, celles de l'Office National Météorologique (ONM) local, plus limitées dans le temps et présentant des lacunes. Les résultats ont montré une évolution comparable des précipitations sur la période de chevauchement, validant ainsi la fiabilité des deux bases de données.

Le deuxième objectif portait sur l'évolution des pluviométries à l'échelle du siècle. Les tendances observées dans les principales wilayas algériennes indiquent que la plupart des régions du Centre et de l'Est ne présentent aucune dynamique d'assèchement significative, contrairement aux régions occidentales, qui affichent de manière générale une diminution progressive des précipitations.

Concernant le troisième axe de recherche, relatif à l'existence d'un gradient d'assèchement, les résultats confirment effectivement que celui-ci touche les régions occidentales et s'accentue en direction de l'ouest. L'avenir de l'Algérie occidentale s'annonce difficile et la multiplication de mesures palliatives comme la construction de barrages, y compris souterrains, de retenues collinaires et de tous les ouvrages de collecte et de stockage de l'eau ainsi que le développement de stations de dessalement devrait être encouragée.

## Bibliographie

Achour K. et al., 2020. Spatio-temporal analysis and forecasting of drought in the plains of northwestern Algeria using the standardized precipitation index. *J. Earth Syst. Sci.*, **129**, 1-22, doi/10.1111/jac.12124

Aidoud A., Floc'h E. & Houérou H.-N., 2006. Les steppes arides du nord de l'Afrique. *Sécheresse*, **17**(1-2), 19-30.

Alexandersson H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol.*, **6**(6), 661-675, doi.org/10.1002/joc.3370060607

Amghar F., Langlois E., Forey E. & Margerie P., 2016. La mise en défens et la plantation fourragère : deux modes de restauration pour améliorer la végétation, la fertilité et l'état de la surface du sol dans les parcours arides algériens. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **20**, 386-396, doi.org/10.25518/1780-4507.12576

Belala F. et al., 2018. Rainfall patterns of Algerian steppes and the impacts on natural vegetation in the 20<sup>th</sup> century. *J. Arid Land*, **10**(4), 561-573, doi.org/10.1007/s40333-018-0095-x

Beldjazia A. & Alatou D., 2016. Precipitation variability on the massif Forest of Mahouna (North Eastern-Algeria) from 1986 to 2010. *Int. J. Manage. Sci. Business Res.*, **5**(3).

Benzater B. et al., 2019. Spatio-temporal trends in daily maximum rainfall in northwestern Algeria (Macta watershed case, Algeria). *Arabian J. Geosci.*, **12**, 1-18, doi.org/10.1007/s12517-019-4488-8

Bessaklia H. et al., 2018. Spatial variability of concentration and aggressiveness of precipitation in North-East of Algeria. *J. Water Land Dev.*, **36**(1), 3-15, doi.org/10.2478/jwld-2018-0001

Bouamrane A. & Abida H., 2021. Water erosion hazard distribution under a semi-arid climate condition: case of Mellah watershed, north-eastern Algeria. *Geoderma*, **403**, 115381, doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115381

Bouznad I.E. et al., 2020. Trend analysis and spatiotemporal prediction of precipitation, temperature, and evapotranspiration values using the ARIMA models: case of the Algerian highlands. *Arabian J. Geosci.*, **13**(24), 1281, doi.org/10.1007/s12517-020-06330-6

Buishand T.A., 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *J. Hydrol.*, **58**(1-2), 11-27, doi.org/10.1016/0022-1694(82)90066-X

Daget P. et al., 1992. Le climat méditerranéen change-t-il ? La sécheresse à Alger au cours des cent dernières années. In : Roten M., éd. *Actes du colloque Climat urbain et qualité de l'air, 11-13 septembre 1991, Fribourg, Suisse*. Dijon, France : Association Internationale de Climatologie, Vol. 4, 187-196.

Djellouli Y. & Djebaili S., 1984. Synthèse sur les relations flore-climat en zone aride. Cas de la wilaya de Saïda. *Bull. Soc. Bot. France*, **131**(2-4), 249-264.

Elouissi A., Şen Z. & Habi M., 2016. Algerian rainfall innovative trend analysis and its implications to Macta watershed. *Arabian J. Geosci.*, **9**(4), 303, doi.org/10.1007/s12517-016-2325-x

Elouissi A. et al., 2017. Climate change impact on rainfall spatio-temporal variability (Macta watershed case, Algeria). *Arabian J. Geosci.*, **10**(22), 496, doi.org/10.1007/s12517-017-3264-x.

Grandi M. et al., 2017. Land degradation and sand dynamics in a steppe region (Nâama, south-western Algeria). *Span. J. Soil Sci.*, **7**(3), 164-178, doi.org/10.3232/SJSS.2017.V7.N3.02

Harris I. et al., 2020. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Sci. Data*, **7**(1), doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3

Hirche A., Boughani A. & Salamani M., 2007. Évolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides algériennes. *Sécheresse*, **18**(4), 314-320.

Hirche A. et al., 2011. Landscape changes of desertification in arid areas: the case of south-west Algeria. *Environ. Monit. Assess.*, **179**(1-4), 403-420, doi.org/10.1007/s10661-010-1744-5

Hirche A. et al., 2015. Three decades of ecological monitoring in Algerian arid rangelands. *Environ. Res. J.*, **9**(3), 351.

Hourizi R., Hirche A., Djellouli Y. & Nedjraoui D., 2017. Changements spatio-temporels des paysages steppiques d'Algérie. Cas de la région de Méchérié. *Rev. Écol. Terre Vie*, **72**(1), 33-47, doi.org/10.3406/revec.2017.1870

IPCC, 2014. *Climate change 2014: synthesis report*. Geneva, Switzerland: IPCC, 1059-1072.

IPCC, 2021. *Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, UK; New York, NY, USA: Cambridge University Press, doi.org/10.1017/9781009157896

IPCC, 2022. *Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, UK; New York, NY, USA: Cambridge University Press, doi.org/10.1017/9781009325844

IPCC, 2023. *AR6 synthesis report: climate change 2023*. Geneva, Switzerland: IPCC, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>, (10/11/25).

JORADP, 2019. Loi no 19-12 du 11 décembre 2019 relative à l'organisation territoriale du pays. *J. Officiel Algérien*, **2019-078**, 18 décembre 2019, 12-...

Kadi M., 1993. Some aspects of the drought in North Africa and in the Mediterranean basin. In: *Subtropical climates and their evolution: from space-based observation to modelling*. Toulouse, France : Cepadues-Éditions, 171-198.

Kadi-Hanifi H., 2003. Diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie. *Sécheresse*, **14**(3), 169-179.

Kendall M.G., 1975. *Rank correlation methods*. 4<sup>th</sup> ed. London: Griffin.

Mann H.-B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, **13**, 245-259, doi.org/10.2307/1907187

Meddi M. & Hubert P., 2003. *Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie*. IAHS publication, 229-235.

Meddi H. & Meddi M., 2009. Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, **20**(1), 57-65, doi.org/10.1684/sec.2009.0169

Meddi M., Talia A. & Martin C., 2009. Évolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur le bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie). *Physio-Géo*, **3**, 61-84, doi.org/10.4000/physio-geo.686

Merniz N., Tahar A. & Benmehaia A.M., 2019. Statistical assessment of rainfall variability and trends in northeastern Algeria. *J. Water Land Dev.*, **40**(1), 87-96, doi.org/10.2478/jwld-2019-0009

Mrad D., Dairi S., Boukhari S. & Djebbar Y., 2020. Applied multivariate analysis on annual rainfall in the northeast of Algeria. *J. Water Climate Change*, **11**(4), 1165-1176, doi.org/10.2166/wcc.2019.272

Nashwan M.S., Shahid S. & Wang X., 2019. Uncertainty in estimated trends using gridded rainfall data: a case study of Bangladesh. *Water*, **11**(2), 349, doi.org/10.3390/w11020349

Nedjraoui D. & Bédrani S., 2008. La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. *Vertigo*, **8**(1), 1-15, doi.org/10.4000/vertigo.5375

Nouaceur Z., Laignel B. & Turki I., 2013. Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien ? *Physio-Géo*, **7**, 307-323, doi.org/10.4000/physio-geo.3686

Omari B. et al., 2021. Contribution of phytoecological data to spatialize soil erosion: application of the RUSLE model in the Algerian atlas. *Int. Soil Water Conserv. Res.*, **9**(4), 502-519, doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.05.004

Pettitt A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Stat.*, **28**(2), 126, doi.org/10.2307/2346729

Schumacher V. et al., 2020. Comparison between observations and gridded data sets over complex terrain in the Chilean andes: precipitation and temperature. *Int. J. Climatol.*, **40**(12), 5266-5288, doi.org/10.1002/joc.6518

Slimani H., Aidoud A. & Rozé F., 2010. 30 years of protection and monitoring of a steppic rangeland undergoing desertification. *J. Arid Environ.*, **74**(6), 685-691, doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.10.015

Taïbi S., Meddi M., Mahé G. & Assani A., 2017. Relationships between atmospheric circulation indices and rainfall in Northern Algeria and comparison of observed and RCM-generated rainfall. *Theor. Appl. Climatol.*, **127**(1-2), 241-257, doi.org/10.1007/s00704-015-1626-4

Taïbi S., Meddi M. & Mahé G., 2019. Seasonal rainfall variability in the southern Mediterranean border: observations, regional model simulations and future climate projections. *Atmósfera*, **32**(1), 39-54, doi.org/10.20937/ATM.2019.32.01.04

Wassmann R. et al., 2018. Why increased extreme precipitation under climate change negatively affects water security. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **22**(11), 5935-5946, doi.org/10.5194/hess-22-5935-2018

(43 réf.)