



## Variabilité de la température dans le bassin hydraulique d'Oum Er Rbia (Maroc), durant la période (1990-2020) : Étude des anomalies et des tendances

### Temperature variability in the hydraulic basin of Oum Er Rbia (Morocco), during the period (1990-2020): Study of anomalies and trends

Meriem HAMID et Mohamed EL GHACHI

Laboratoire Dynamique des Paysages, Risques et Patrimoine, Université Sultane Moulay Slimane, FLSH- Beni Mellal

*This is an open access article under the [CC BY-NC-ND](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) license.*



**Résumé :** Le cinquième rapport du GIEC a fait la constatation, qu'il est certain que les températures mondiales ont augmenté au cours du 20<sup>ème</sup> siècle. Au Maroc, plusieurs études ont révélé que le pays, suite à sa situation géographique, subit les impacts du réchauffement climatique depuis plusieurs décennies. Les études ont principalement porté sur l'évolution des précipitations et la récurrence des sécheresses. Néanmoins, les variations de la température restent moins abordées, surtout au niveau des grandes échelles spatiales. Le présent article vise à étudier la variabilité des températures moyennes annuelles dans le grand bassin hydraulique d'Oum Er Rbia, en se penchant exactement sur leurs tendances et leurs anomalies, ainsi que sur leurs impacts. A partir des données de température moyenne mensuelle de dix stations dispersées sur l'ensemble du bassin, cette étude, basée sur une analyse statistique, utilisant le coefficient de variation, l'indice d'anomalie de la température et le test de tendance de Mann Kendall, a révélé que la variabilité marque l'évolution des moyennes annuelles de la température durant la période (1990-2020), avec une tendance générale à la hausse. Les résultats obtenus ont également montré que cette augmentation de la température a engendré des impacts négatifs sur les ressources en eau et l'agriculture.

**Mots clés :** Variabilité; Température annuelle; Anomalie; Tendance; Bassin hydraulique d'Oum Er Rbia.

**Abstract:** The fifth report of the IPCC made the observation that it is certain that global temperatures have increased during the 20th century. In Morocco, several studies have revealed that the country, due to its geographical location, has been suffering the impacts of global warming for several decades. The studies have mainly focused on the evolution of rainfall and the recurrence of droughts. Nevertheless, temperature variations remain less addressed, especially at large spatial scales. This paper aims to study the variability of annual mean temperatures in the large hydraulic basin of Oum Er Rbia, focusing on their trends and anomalies, and their impacts. From the monthly average temperature data of ten stations scattered throughout the basin, this study, based on statistical

---

analysis, using the coefficient of variation, the temperature anomaly index and the Mann Kendall trend test, revealed that variability marks the evolution of annual average temperatures during the period (1990-2020), with a general upward trend. The results also showed that this increase in temperature has caused negative impacts on water resources and agriculture.

**Keywords:** Variability; Annual temperature; Anomaly; Trend; Oum Er Rbia river basin.

**Digital Object Identifier (DOI):** <https://doi.org/10.5281/zenodo.7842585>

---

## 1 Introduction

Dans le contexte du changement global, affectant notre planète, le cinquième rapport du GIEC a fait la constatation qu'il est certain que les températures ont augmenté au cours du vingtième siècle. Le rythme de cette augmentation a connu, depuis 1970, une accélération considérable (GIEC, 2021). Selon les projections, la zone méditerranéenne enregistre, au cours de ce siècle, une hausse de la température moyenne annuelle plus marquée que la moyenne de la planète. Les impacts de ce réchauffement inédit sont multiples et divers, et se ressent plus dans les régions vulnérables, particulièrement au niveau de l'environnemental et de l'activité socio-économique de la population (Bourque, 2000).

Situé à l'extrême nord-ouest du continent africain, le Maroc se caractérise par une situation géographiquement intermédiaire, entre, les systèmes dépressionnaires tempérés et l'anticyclone subtropical des Açores qui conditionne l'occurrence d'événements météorologiques (Sinan et Belhouji, 2016). Son climat est généralement de type semi-aride, à une forte influence méditerranéenne (Zamrane, 2018). Cette position met le pays à l'exposition de nombreux risques et défis liés au réchauffement climatique (Hamouddy et al, 2022). Les études abordant ce sujet, focalisent souvent son intérêt sur la variabilité de régime pluviométrique et la récurrence des épisodes de sécheresse. Du fait que les précipitations constituent le moteur de la productivité au Pays, dont l'économie repose en grande partie sur l'activité agricole. Néanmoins, la variabilité de la température reste moins étudiée. La majorité des recherches réalisées, dans ce sens, sont menées au niveau des bassins à petite échelle spatiale ou au niveau du pays entier. Ce constat nous amène alors, à s'intéresser à la variabilité de la température moyenne annuelle dans le bassin hydraulique d'Oum Er Rbia (OER), constituant une unité hydrologique à une superficie importante, et dont le développement socioéconomique dépend fortement aux variations de la température. Il s'agit exactement d'une recherche ambitionnant d'étudier la variabilité des températures moyennes annuelles, pendant la période 1990-2020, à travers l'étude de leurs tendances et leurs anomalies, et les impacts qui en résultent.

## 2 Matériel et méthodes

### 2.1 Cadre géographique de zone d'étude

Le bassin hydraulique d'Oum-Er-Rbia (OER) se situe au centre du Maroc atlantique, entre 31° et 33° de latitude Nord et entre 5° et 8° de longitude Ouest. Sa superficie est de 48070 km<sup>2</sup>, soit 7% de la superficie totale du Maroc. Il se compose du bassin versant d'Oum Er Rbia, couvrant plus de 70% de la superficie totale du bassin, et des bassins côtiers atlantiques situés à la partie Sud-Ouest.

Le bassin hydraulique d'OER se caractérise par une structure topographique hétérogène. Les hautes montagnes d'Atlas, couvrent sa partie amont, avec des sommets qui atteignent jusqu'à 3000m d'altitude (Jbel Tisli'n Warg, 3170m). Les plaines et les plateaux dominent sur le reste du bassin, avec des altitudes variant entre 900m (plateau Central) et moins de 100m (Plaine de Doukkala). Le climat au bassin est de type aride à semi-aride. Néanmoins l'immense étendue du bassin a contribué à une variété de nuances climatiques : il est arrosé dans les hautes reliefs, modéré dans les zones côtières et aride à semi-aride dans le reste du bassin. Au niveau hydrologique, le bassin est connu par sa richesse en ressources en eau. Qu'il s'agisse des ressources souterraines et des ressources superficielles. Le réseau hydrographique est assez dense, surtout sur la rive gauche d'Oued Oum Er Rbia, le principal cours d'eau du bassin.

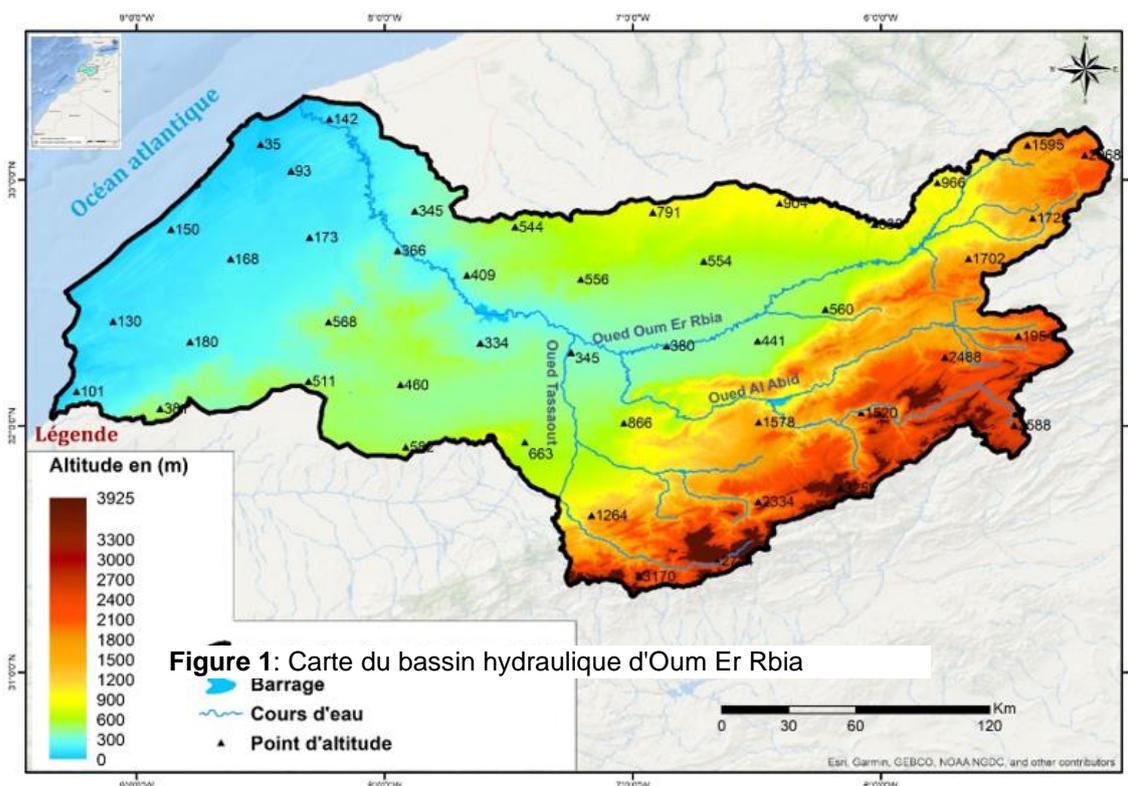


Figure 1: Carte du bassin hydraulique d'Oum Er Rbia

Le territoire du bassin abrite une population importante, et des activités économiques variées. En fait, la richesse du bassin en ressources en eau a contribué à l'implantation des aménagements hydrauliques diverses, qui ont joué un rôle déterminant dans le développement des activités économiques, notamment l'agriculture, à travers des canaux de transfert d'eau, qui ont permis d'aménager six périmètres irrigués au sein du bassin.

## 2.2 Méthodologie

Les indices permettant d'étudier la variabilité de la température sont divers et nombreux. La détermination des indices convenables reste une tâche délicate, conditionnée par les objectifs visés, la longueur de la chronique étudiée, les spécificités de la zone d'étude et la pertinence des résultats. En prenant en considération tous ses éléments, cette étude a opté pour les indices suivants :

### 2.2.1. Moyenne (X) et Coefficient de variation (CV) :

La moyenne et le coefficient de variation sont utilisées pour estimer la tendance des températures saisonnières.

Les moyennes utilisées dans cette étude sont calculées comme suit :

$$X = \frac{\sum_{t=1}^n (X_t)}{N}$$

- X : Moyenne de l'élément considéré ;
- $x_i$  : Valeur de l'élément considéré;
- N : Nombre total des éléments considérés

Le coefficient de variation est une mesure relative de la dispersion des données autour de la moyenne. Ils se calcule comme le ratio de l'écart-type rapporté à la moyenne, et s'exprime en pourcentage.

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} * 100$$

Avec  $\sigma$  : Ecart type et  $\mu$  : moyenne de la température saisonnière durant la période étudiée.

### 2.2.2. Test de Mann Kendall

Pour déceler la tendance de la température saisonnière, le test de Mann Kendall a été employé. Il s'agit d'un test statistique non paramétrique, permettant à détecter si une tendance est identifiable dans une série temporelle. La robustesse du test a été validée par plusieurs essais de comparaison (YUE et WANG, 2004 et LUBES-NIEL et al., 1998). Pour ce test, évaluant la stationnarité de la chronique, l'hypothèse nulle  $H_0$  renvoie à l'absence de tendance. En revanche, l'hypothèse alternative correspond à l'existence de tendance, qu'elle soit négative ou positive.

Soient  $x_1, x_2, \dots, x_n$  une série de données où  $x_j$  est la donnée correspondante au temps  $t_j$ . La statistique de Mann-Kendall est définie comme suit (équation 4) :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{signe} (x_i - x_j)$$

n : la longueur de la série

$$\text{D'où} \quad \text{sign} (x_i - x_j) = \begin{cases} 1, & \text{si } (x_i - x_j) > 0, \\ 0, & \text{si } (x_i - x_j) = 0, \\ -1, & \text{si } (x_i - x_j) < 0. \end{cases}$$

En supposant que les données sont indépendantes et identiquement distribuées, KENDALL (1975) donne  $E(S) = 0$  et

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(t_i-1)(2t_i+5) \right]$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{si } S > 0 \\ 0, & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

Si l'échantillon contient dix données ou plus, la loi de la statistique de test Z ci-dessous sera approchée par une gaussienne centrée réduite. L'hypothèse nulle H0 (absence de tendance) est rejetée lorsque le degré de signification ou la valeur propre (p-value) est supérieure à 5 % (Croiset et Lopez, 2014).

### 2.2.3. Anomalie standardisée (AS)

Anomalie standardisée constitue un indicateur pertinent de la variabilité interannuelle. Elle permet d'exprimer l'anomalie de la température et identifier son exceptionnalité. L'AS se calcule en divisant l'anomalie par l'écart type de la normale

## 2.3 Données

La base de données utilisée dans cette étude provient de deux sources principales : l'agence du bassin hydraulique d'Oum Er Rbia (ABHOER) et la direction nationale de la météorologie (DMN). Il s'agit des données de la température mensuelle, de dix stations dispersées sur l'ensemble du bassin (Tableau 1), représentant les différentes unités topographiques et aussi les différentes nuances climatiques marquant le climat dans le bassin hydraulique d'OER. La période étudiée s'étale du mois de Décembre 1989 jusqu'à Novembre 2020.

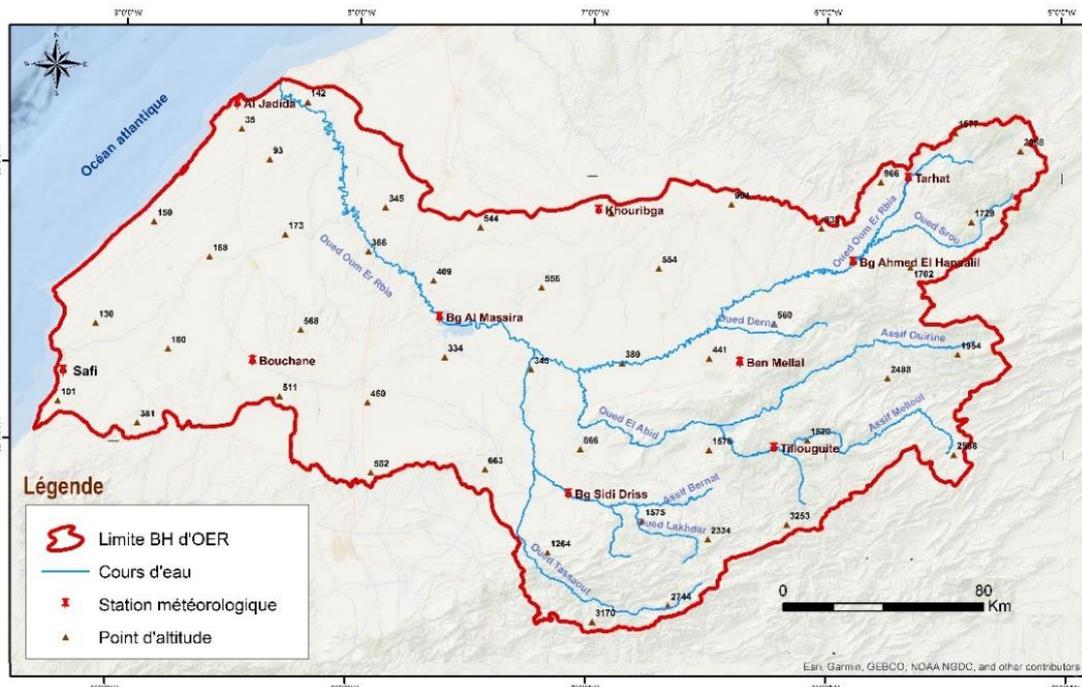


Figure 2: Localisation des stations climatiques

### 3 Résultats et discussion

#### 3.1 Variations interannuelles de la température

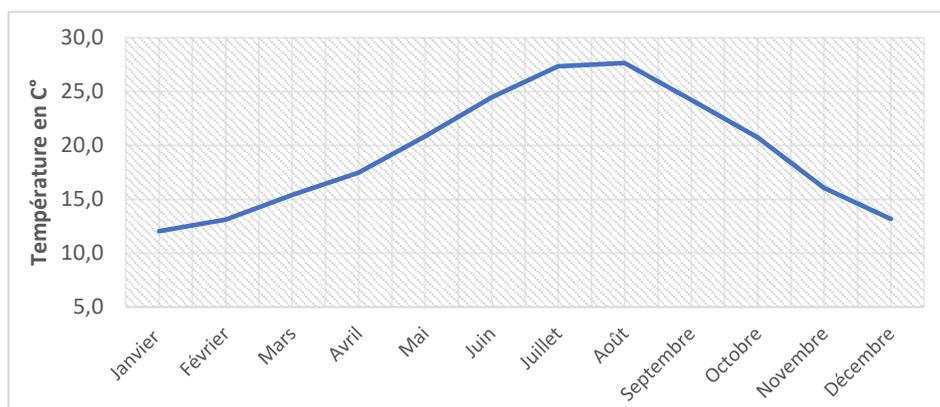
Les températures moyennes annuelles calculées au niveau de chaque station sont bien contrastées. Les valeurs obtenues, indiquées dans le tableau 1, montrent que les températures sont assez élevées aux stations situées à l'intérieur du bassin, et relativement douces aux stations localisées dans les zones côtières et montagneuses. Cette variabilité spatiale est due généralement aux effets de l'altitude et l'influence marine, qui adoucissent la température dans les zones montagneuses et côtières. Cependant, la continentalité, contribue à l'augmentation de la température en s'éloignant du littoral.

La variabilité interannuelle, qui est un caractère intrinsèque du climat au Maroc, marque également les moyennes des températures moyennes annuelles dans le bassin d'OER. Ce constat se conforme également avec les résultats obtenus par (Lagrini, 2019). Selon les résultats de l'écart type et du coefficient de variation, indiqués dans le tableau 1, la variabilité interannuelle de la température, dans le bassin d'Oum Er Rbia est assez faible. Elle se ressent plus dans stations, se trouvant à l'intérieure du bassin ou l'effet de la continentalité est important.

**Tableau 1:** Caractéristiques des stations climatiques et paramètres statistiques de la température annuelles

Stations	X	Y	Z (m)	T(C°)	E-type	CV (%)
Tillouguit	422684	158733	1603	16.8	0.63	3.74
Taghat	476192	266933	880	18.2	0.61	3.35
Brg Al Hansali	454197	233217	670	20	1.27	6.38
Khouribga	353046	254051	770	19.2	0.69	3.58
Brg Sidi Driss	338948	192433	334	19.5	0.93	4.79
Beni Mellal	409165	193045	532	20.7	1.06	5.14
Brg Al Massira	289700	211173	260	22.8	1.10	4.83
Bouchane	215230	193800	274	19.6	0.94	4.82
Al jadida	143333	198640	81	18.2	0.43	2.36
Safi	209186	296874	28	18.8	0.33	1.77

L'analyse des variations mensuelles de la température, mentionnées dans la figure 3, montre que les moyennes sont aussi bien contrastées au sein de l'année. Des faibles valeurs marquent les mois Décembre, Janvier et Février, qui correspond à la saison d'Hiver. Les températures élevées caractérisent les mois de Juin, Juillet et Aout. En revanche, les autres mois, appartenant aux saisons du printemps et de l'Automne, enregistrent des moyennes mensuelles relativement douces. Ces variations intra-annuelles sont liées aux effets de la nuance Méditerranéenne, régnant dans une grande partie du Maroc, et qui se caractérise généralement par l'occurrence de quatre saisons bien contrastées, avec un Eté chaud et sec, et un Hiver humide et doux.



**Figure 3:** Variations mensuelles de la température dans le bassin d'Oum Er Rbia durant la période (1990-2020)

### 3.2 Tendances de la température

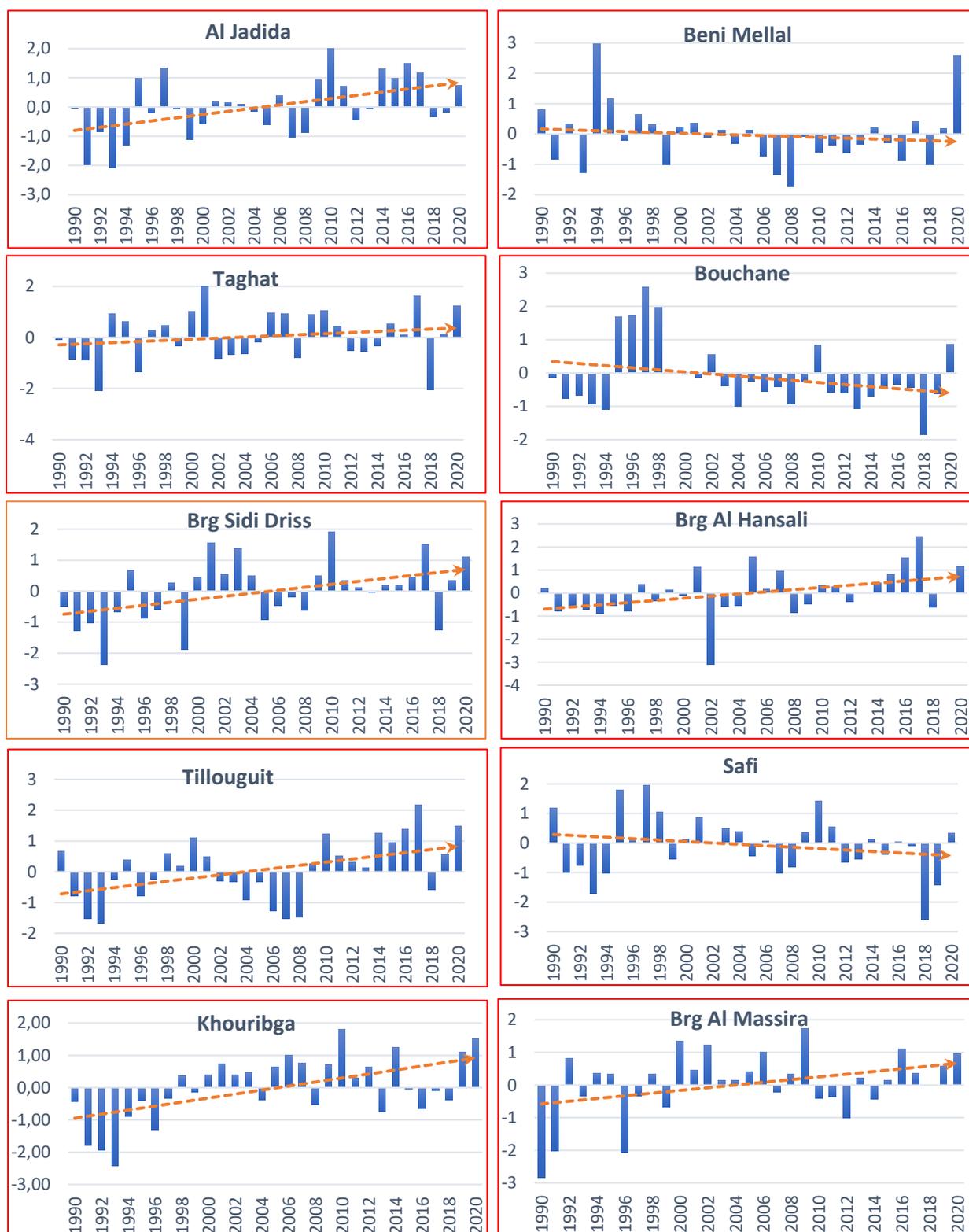
Les résultats obtenus, d'après l'application du test de Mann Kendall (tableau 2), montrent que les températures moyennes annuelles tendent généralement vers la hausse dans la majorité des stations retenues. L'augmentation est significative, avec un seuil de confiance de 95%, pour cinq stations : Al Jadida, barrage Sidi Driss, Khouribga, Barrage Al Hansali et Tillouguit. Les stations de Barrage Al Masssira et Taghat ont également enregistré une hausse de la température, mais elle n'est pas assez significative. La répartition spatiale des stations, concernées par l'augmentation de la température, révèle que cette augmentation a affecté, durant la période (1990-2020) l'ensemble du territoire du bassin d'Oum Er Rbia, mais avec des degrés différents.

**Tableau 2:** Résultats du Test de Mann Kendall

STATION	Période	Valeur S	Mann Kendall (Z)	hypothèse nulle (H0)	Type de tendance
				5%+= 1.96	
Al Jadida	1990-2020	143.0	2.44	Rejetée	Hausse
Bouchane	1990-2020	-89.0	-1.53	Acceptée	Pas de tendance
Brg Al Masssira	1990-2020	72.0	1.24	Acceptée	Pas de tendance
Brg Sidi Driss	1990-2020	123.0	2.31	Rejetée	Hausse
Beni Mellal	1990-2020	-82.0	-1.41	Acceptée	Pas de tendance
Khouribga	1990-2020	175.0	2.99	Rejetée	Hausse
Brg Al Hanssali	1990-2020	152.0	2.6	Rejetée	Hausse
Taghat	1990-2020	85.0	1.46	Acceptée	Pas de tendance
Tillouguit	1990-2020	143.0	2.48	Rejetée	Hausse
Safi	1990-2020	-51	-0.88	Acceptée	Pas de Tendance

### 3.3 Anomalies de la température

L'analyse des moyennes annuelles de la température standardisée par rapport à la normale, pendant la période étudiée, a montré que l'évolution des moyennes annuelles de la température se caractérise par une alternance entre des séquences relativement chaudes et d'autres relativement froides.



**Figure 4:** Anomalies des températures moyennes annuelles (1990-2020)

Dès l'année 2010, une tendance à la hausse, marquée par une récurrence remarquable des années chaudes, s'est enregistré dans la majorité des stations. Cette tendance à la hausse, obtenues via le calcul des anomalies standardisées, se

conforme avec les résultats du test de Mann Kendall. Selon l'ensemble des résultats obtenus dans cette étude, on peut conclure que le bassin hydraulique d'Oum Er Rbia connaît ces dernières décennies une augmentation considérable de la température. Cette augmentation se conforme avec la tendance observée au niveau national et mondial, et qui est confirmée par plusieurs études et rapports (Ouattab (2019) et GIEC (2014, 2021)

### **3.4 Impacts de la variabilité de la température moyenne annuelle**

L'intérêt que revêt l'étude de la variabilité des températures moyenne annuelle, dans le bassin hydraulique d'OER, est due essentiellement aux conséquences qui en résultent. En fait, le bassin d'OER est connu par l'agriculture, qui est considérée déjà un secteur vulnérable face aux variations climatiques. L'augmentation de la température enregistrée, ces dernières années, a contribué à l'augmentation de l'évapotranspiration. La demande en eau par le secteur agricole augmente. Mais elle se heurte à une diminution importante des apports pluviométriques, à cause de la sécheresse qui sévit ces dernières années au Maroc. L'augmentation de la température impacte négativement alors, l'agriculture, en contribuant à la diminution des rendements agricoles. L'augmentation de la température enregistrée, a impacté également la ressource en eau superficielle. L'évaporation au niveau des cours d'eau, des canaux de transfert d'eau et des retenues des barrages a connu une augmentation considérable (ABHOER, 2021). La diminution des débits et la réduction de volume des retenues des barrages ont marqué alors, l'hydrologie du bassin, en engendrant une situation de stress hydrique très inquiétante (ABHOER, 2022). Certes, l'augmentation de la température n'est pas le seul facteur qui a engendré la diminution de la ressource en eau dans le bassin d'OER, mais son apport reste considérable. Ce constat doit appeler le pays à revoir sa stratégie dans le domaine de transfert d'eau, en réfléchissant à la construction des canaux de transfert couverts ou souterrains, permettant de réduire le taux d'évaporation, en s'inspirant du patrimoine hydrologique hérité dans les régions de sud, où le climat est aride et les ressources en eau sont très limitées. L'intervention de l'état doit également se diriger vers le secteur agricole, en promouvant les cultures nécessitant moins d'eau, au lieu des cultures demandant beaucoup d'eau.

## **4 Conclusion**

Le but de ce travail est de fournir un résumé de tendances et d'anomalies climatiques marquant l'évolution des températures moyennes annuelles dans le bassin hydraulique d'OER, au cours des trois dernières décennies. Les données utilisées concernent les températures moyennes mensuelles de dix stations, dispersées sur l'ensemble du bassin, et représentent les différentes nuances climatiques marquant le climat sur son territoire. Les résultats des indices appliqués, montrent que la variabilité marque l'évolution des moyennes annuelles de la température durant la période 1990-2020. Cette variabilité est caractérisée par une alternance des séquences d'anomalies négatives et positives. A partir 2010, une tendance générale à la hausse a été enregistrée dans la majorité des stations retenues. Cette tendance est compatible également, à la tendance de la température au niveau national et ainsi mondiale. Les impacts qui en résultent sont divers. Ils sont plus ressentis sur la ressource en eau et l'activité agricole, du fait de leur forte vulnérabilité vis-à-vis les variations climatiques.

## REFERENCES

- [1] Benassi M., 2008, Drought and climate change in Morocco. Analysis of precipitation field and water supply, Options Méditerranéennes, Series A, No. 80, International Conference Drought Management: Scientific and Technological Innovations, Zaragoza (Spain). Pg 83-86
- [2] Bourque A., 2000, Les changements climatiques et leurs impacts, Electronic magazine Sciences de l'environnement, Vol 1 No 2, Pg 17, URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/4042>
- [3] Croiset et Lopez, 2014, Outil d'analyse statistique des séries temporelles d'évolution de la qualité des eaux souterraines, Manuel d'utilisation, BRGM/RP-63066-FR, Pg 64 :
- [4] Dijon R., 1969. Etude hydrogéologique et inventaire des ressources en eau de la vallée du Souss. Editions du service géologique du Maroc, Pg. 21
- [5] EL Ajhar L., 2018, Evolution de la pluviométrie de 1960 à 2015 au Maroc, International Journal of Research Science & Management, ISSN: 2349-5197, Pg 47-56
- [6] IPCC, 2007, Impacts adaptation and vulnerability, Summary for policymakers, Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, URL: <http://www.ipcc.ch>
- [7] IPCC, 2014, Climate Change 2014: Mitigation of climate change, URL: <http://www.ipcc.ch>
- [8] IPCC, 2022, Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability, the Working Group II contribution, URL: <http://www.ipcc.ch>
- [9] Hammoudy W. et all, 2022, Impact du changement climatique sur les extrêmes de températures au Maroc. 35ème colloque annuel de l'Association Internationale de Climatologie : Le changement climatique, les risques et l'adaptation, Toulouse, France. 6 p.
- [10] Lagrini KH. et all, 2019, Contribution à la Caractérisation du Climat Marocain, European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X / 1450-202X, Vol 154, No 3 , Pg.413 -428, URL : <http://www.europeanjournalofscientificresearch.com>
- [11] Lubes-Niel H. et all, (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., Pg 383-408.
- [12] Quadem Z. et all, 2019, Climate variability and their impact on the spatio-temporal organization of precipitation. Case of the Oueds Mikkès and Fez catchments. Morocco, Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence, Vol 3 Issue 4, Pg 253-260, URL: <http://revues.imist.ma/?journal=ewash-ti>
- [13] Quattab M. et all, 2019, Evolution des températures observées et projections futures -région de Casablanca-Settat (Maroc). XXXIIème Colloque International de l'AIC : Le Changement Climatique, la variabilité et les risques climatiques, Thessaloniki, Grèce. Pg 33-38
- [14] Sebbar A. et all, (2011), Etude de la variabilité du régime pluviométrique au Maroc septentrional (1935-2004). Sécheresse, 22, Pg 139-148.
- [15] Sebbar A., 2013. Etude de la variabilité et de l'évolution de la pluviométrie au Maroc (1935-2005) : Réactualisation de la carte des précipitations (Doctoral thesis, University Hassan II, Faculty. Sci. Ben M'sik, Casablanca), Pg 187
- [16] Sinan M. et Bilhouji A., 2016, Impact du changement climatique sur le climat et les ressources en eau du Maroc aux horizons 2020, 2050 et 2080 et mesures d'adaptation, La Houille Blanche, Vol 102, Pg 32-39
- [17] YUE S. et WNG C.(2004). The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. Water Resour. Manag, Pg 201-218.
- [18] [www.abhoer.ma](http://www.abhoer.ma)