



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Papa Malick Ndiaye

Laboratoire Leïdi "Dynamique des Territoires et Développement", Université Gaston Berger (UGB), Saint Louis, Sénégal

Demba Gaye

Laboratoire de Géomatique et d'Environnement, Département de Géographie, Université Assane SECK de Ziguinchor, Sénégal

Seydou Alassane Sow

Laboratoire Leïdi "Dynamique des Territoires et Développement", Université Gaston Berger (UGB), Saint Louis, Sénégal

Submitted: 19 October 2020

Accepted: 19 November 2020

Published: 30 November 2020

Corresponding author:

Demba Gaye

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p105](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p105)

 Copyright 2020 Gaye et al.
Distributed under Creative Commons
BY-NC-ND 4.0 OPEN ACCES

Cite as:

Ndiaye P, Demba G, Seydou S (2020). Caractérisation Spatiotemporelle Et Analyse De La Tendance Des Températures Au Sénégal. *European Scientific Journal, ESJ*, 16 (33), 105.

<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p105>

Caractérisation Spatiotemporelle Et Analyse De La Tendance Des Températures Au Sénégal

Resume

La connaissance de la variation spatiotemporelle des températures et l'analyse de leur tendance constituent un aspect essentiel dans la compréhension des changements climatiques et le développement de stratégies d'adaptation et de mitigation. L'objectif de ce travail est de contribuer à la connaissance de l'évolution des températures au Sénégal. De façon spécifique, il s'agit d'abord, de faire une caractérisation spatiotemporelle des températures, ensuite, de déterminer les anomalies et enfin de détecter les tendances des températures au Sénégal. Pour ce faire, les données mensuelles de températures maximale et minimale de 20 stations synoptiques sont utilisées. La méthodologie adoptée consiste à cartographier les températures (maximale, minimale et moyenne) aux échelles mensuelle et annuelle, détecter les anomalies par l'application de l'indice de Lamb et d'analyser les tendances par le test de Mann Kendall et la pente de Sen. Les résultats montrent que les températures moyennes varient de 19°C à 35°C et les mois de mars et avril sont les plus chauds. Du point de vue spatial, plus on s'éloigne des côtes, plus les températures sont élevées. La détection des anomalies révèle une hausse de 0,68°C et 1,27°C des températures maximale et minimale sur la période 1960 - 2015. L'analyse de tendance montre une augmentation significative des températures maximale et minimale annuelles et saisonnières sur la période 1960 - 2015 sur la quasi-totalité du pays. Les résultats montrent aussi une augmentation plus vite des températures minimales que celles maximales. Il serait

donc important d'analyser la tendance des autres paramètres climatiques pour comprendre le pourquoi les températures minimales augmentent plus vite que celles maximales. Il serait intéressant aussi d'étudier les impacts de la hausse des températures sur les systèmes biophysiques et socioéconomiques du Sénégal.

Subject: Géographie physique

Mots clés : Caractérisation spatiotemporelle, Anomalies, Tendance, Températures, Test de Mann Kendall, Sénégal

Spatiotemporal characterization and temperature trend analysis in Senegal

Papa Malick Ndiaye,

Laboratoire Leïdi “Dynamique des Territoires et Développement”,
Université Gaston Berger (UGB), Saint Louis, Sénégal

Demba Gaye,

Laboratoire de Géomatique et d’Environnement, Département de
Géographie, Université Assane SECK de Ziguinchor, Sénégal

Seydou Alassane Sow,

Laboratoire Leïdi “Dynamique des Territoires et Développement”,
Université Gaston Berger (UGB), Saint Louis, Sénégal

DOI: [10.19044/esj.2020.v16n33p105](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p105)

Abstract

Knowledge of the spatiotemporal variation in temperatures and the analysis of their trend is an essential aspect in understanding climate change and developing adaptation and mitigation strategies. The objective of this work is to contribute to the knowledge of the evolution of temperatures in Senegal. Specifically, it is first of all to do a spatiotemporal characterization of temperatures, then to determine anomalies and finally to detect temperature trends in Senegal. For this, monthly data of maximum and minimum temperatures from 20 synoptic stations are used. The methodology adopted consists in mapping the temperatures (maximum, minimum and average) on monthly and annual scales, detecting anomalies by applying the Lamb index and analyzing the trends by the Mann Kendall test and the slope of Sen. The results show that average temperatures vary from 19 ° C to 35 ° C and the months of March and April are the hottest. From a spatial point of view, the further away from the coast the higher the temperatures. The detection of anomalies reveals an increase of 0.68 ° C and 1.27 ° C in maximum and minimum temperatures over the period 1960 - 2015. Trend analysis shows a significant increase in annual and seasonal maximum and minimum temperatures over the period 1960 – 2015 in almost the all country. period 1960 - 2015. The results also show a faster increase in minimum temperatures than maximum ones. It would therefore be important to analyze the trend of other climatic parameters to understand why minimum temperatures are increasing faster than maximum ones. It would also be interesting to study the

impacts of rising temperatures on Senegal's biophysical and socioeconomic systems.

Keywords: Spatiotemporal characterization, Anomalies, Trend, Temperatures, Mann Kendall test, Senegal

1. Introduction

Le changement climatique est un fait indéniable qui altère la distribution spatiotemporelle des ressources en eau affectant ainsi les systèmes sociaux, économiques et écologiques (Jun *et al.*, 2012). Ainsi, depuis plusieurs années, les spécialistes du climat n'ont cessé d'alerter sur les modes d'exploitation des ressources dont les conséquences sont néfastes aussi bien pour la nature que pour les activités humaines. L'utilisation des énergies fossiles, certaines pratiques agricoles et les dynamiques d'occupation du sol, la forte urbanisation ont engendré une augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ce changement climatique est engendré par une hausse des températures favorisant ainsi l'augmentation du niveau de la mer, la modification du cycle hydrologique, la fréquence des phénomènes extrêmes et l'apparition de certains types de maladies (Niang *et al.*, 2014 ; Sylla, 2016). Ces changements affectent tous les territoires à degrés divers. Ainsi, dans son cinquième rapport, le Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC, 2014) a noté que la température moyenne augmente plus vite en Afrique qu'à l'échelle du globe. Ainsi, l'Afrique de l'Ouest, en particulier, est l'une des régions du globe les plus touchées par le changement climatique en cours et projeté malgré sa faible contribution (Alies, 2018). Les prévisions du GIEC s'accordent sur une augmentation des températures annuelles de l'ordre de +1°C à +3°C d'ici 2050 et jusqu'à 4°C d'ici la fin du siècle. Cette augmentation des températures peut avoir beaucoup d'impacts sur les écosystèmes naturels, les activités économiques et sur la santé des populations (Chaouche *et al.*, 2010, Jun *et al.*, 2012 ; Tao *et al.*, 2015, Rahman *et al.*, 2018). La hausse des températures accroît la demande évaporative et le déficit de saturation de l'air et affecte, par conséquent, le développement des cultures (Amigues *et al.*, 2006). La santé des populations peut aussi être affectée par l'augmentation des températures. Les vagues de chaleur observées en Europe en Aout 2003 et qui ont occasionné environ 22 000 à 45 000 morts, constituent un exemple patent (Patz *et al.*, 2005).

Dès lors, il est important de connaître le comportement et la variation des températures afin de pouvoir prévenir certains phénomènes y afférents. L'étude de l'évolution des phénomènes climatiques se fait de différentes méthodes, mais celle la plus répandue dans la littérature est l'application des tests de tendance (Mahyou et Buhairi, 2010, Xin-e *et al.*, 2015, Stan *et al.* 2015, Peng *et al.*, 2017, Rahman, 2018). Le test le plus utilisé est celui de Man

Kendall (Mann, 1945 ; Kendall, 1975). Ce test a été recommandé par l'Organisation météorologique mondiale pour l'analyse de l'évolution des variables hydro-climatiques (OMM, 1994). Il est un test non-paramétrique parce qu'il ne se base pas sur un indice statistique et n'impose aucune distribution particulière aux données (Keltoum *et al.*, 2010). Le test de Mann Kendall est utilisé par plusieurs auteurs (Al Buhairi, 2010 ; Chaouchou *et al.*, 2010, Patz, 2012, Sharad et Kumar, 2012, Qi, 2017 ; Rahman, 2018) à travers le monde, pour analyser la tendance des variables climatiques : précipitation, température, évapotranspiration, etc.

Partant de ce constant et compte tenu des effets de la hausse de la température sur les systèmes physiques et socioéconomiques, il est important de mieux comprendre l'évolution des températures afin d'anticiper sur ses potentiels impacts et de développer des stratégies de résilience. L'objet de ce travail est de faire une caractérisation spatiotemporelle des températures et d'analyser leur tendance au Sénégal. De façon spécifique, il s'agit : (i) de faire une caractérisation spatiotemporelle des températures (moyenne, maximale et minimale), (ii) de déterminer les anomalies de température et (iii) d'analyser ses tendances sur la période 1960 - 2015.

2. Matériels et méthodes

2.1. Zone d'étude

Le Sénégal est un pays d'Afrique de l'Ouest situé en latitudes 12°30 et 16°30N et en longitude 11°30 et 17°30W (figure 1). La topographie est relativement basse avec un point culminant de 581 m au sud-est du pays. Il s'étend sur trois zones climatiques : la zone sahélienne au nord et au centre (Pmm < 500 mm), les zones nord-soudanienne et sud-soudanienne au sud (Pmm respectivement inférieure à 1000 mm et 1500 mm). Chacune des zones est composée de deux domaines de part et d'autre de l'isotherme 26,7° qui constitue la moyenne nationale : les domaines sahélien, nord-soudanien et sud-soudanien côtiers avec des températures inférieures à la moyenne et les domaines sahélien, nord-soudanien et sud-soudanien continentaux avec des températures supérieures à la moyenne. Au Sénégal, deux saisons inégalement réparties caractérisent le climat, une saison de pluie courte (maximum 3 mois au nord) à relativement courte (5 mois au sud) et une longue saison sèche soumise à la prédominance des flux d'Harmattan vent chaud et sec et parfois chargé de poussières, issu de l'Anticyclone maghrébin ou saharo-libyen.

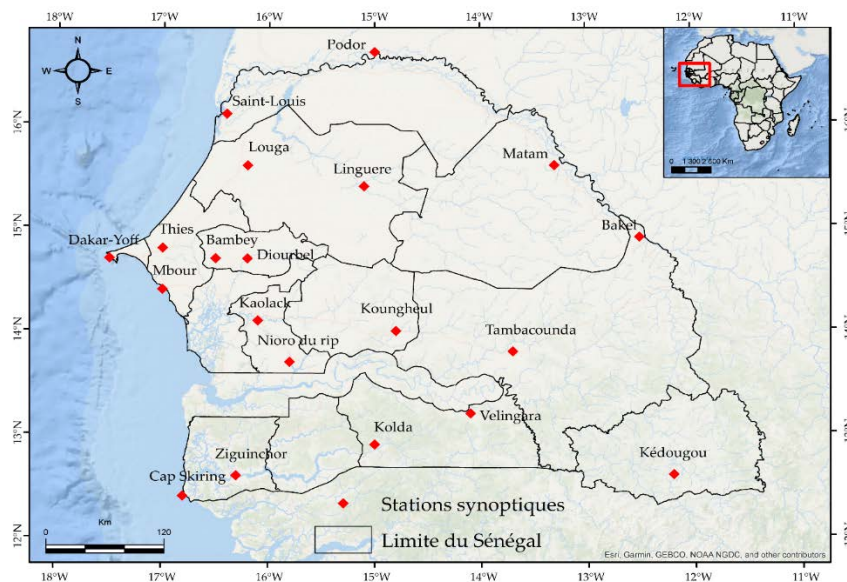


Figure 1 : Localisation du Sénégal et des stations synoptiques retenues pour l'étude
 Source : Ndiaye et al., 2020

2.2. Données utilisées

Les données utilisées dans le cadre de ce travail proviennent de la base de données de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et Météorologique (ANACIM) du Sénégal. Il s'agit des températures mensuelles de 20 stations réparties sur le territoire. Le choix de ces stations s'explique par la disponibilité des données sur la période retenue pour l'étude (1960 - 2015). En effet, seules les stations qui ont série supérieure ou égale à 30 ans sont maintenues pour l'étude (Tableau 1). Les quelques données manquantes de quelques stations ont été comblés par les valeurs des stations les plus proches.

Tableau 1. Principales caractéristiques des stations retenues

Stations	Longitude	Latitude	Période	Nombre d'années
Bambey	-16,5	14,7	1960 - 2015	56
Dakar-Yoff	-17,5	14,7	1960 - 2015	56
Diourbel	-16,2	14,7	1960 - 2015	56
Kaolack	-16,1	14,1	1960 - 2015	56
Kédougou	-12,2	12,6	1960 - 2015	56
Kolda	-15	12,9	1960 - 2015	56
Koungheul	-14,8	14	1960 - 2015	56
Louga	-16,2	15,6	1963 - 2015	53
Matam	-13,3	15,6	1960 - 2015	56
Mbour	-17	14,4	1960 - 2015	56
Podor	-15	16,7	1960 - 2015	56
Saint-Louis	-16,4	16,1	1960 - 2015	56
Tambacounda	-13,7	13,8	1960 - 2015	56

Ziguinchor	-16,3	12,6	1960 - 2015	56
Linguère	-15,1	15,4	1960 - 2015	56
Vélingara	-14,1	13,2	1984 - 2015	32
Nioro du rip	-15,8	13,7	1980 - 2015	36
Bakel	-12,5	14,9	1979 - 2015	37
Thiès	-17	14,8	1977 - 2015	39
Cap Skiring	-16,8	12,4	1978 - 2015	38

Source : Ndiaye et al., 2020

2.3. Méthodes

La méthodologie adoptée consiste à (i) caractériser les températures moyennes (mensuelle, saisonnière et annuelle), (ii) déterminer l'indice standardisé des températures (appelé aussi anomalies) et (iii) appliquer le test de Mann Kendall.

2.3.1. Caractérisation spatiotemporelle des températures

La caractérisation spatiotemporelle consiste à cartographier les températures et d'analyser leur variation à l'échelle mensuelle et annuelle. La technique d'interpolation de l'inverse des distances au carré (IDW en anglais) a été utilisée. Le choix de cette méthode se justifie par simplicité de mettre en œuvre et sa précision dans l'estimation spatiale des variables climatiques.

2.3.2. Détection de l'anomalies des températures

L'indice de Lamb (1982) a été utilisé pour analyser l'évolution des températures sur la période 1960 – 2015. Cet indice se base sur la moyenne de la période et l'écart-type pour définir les anomalies. Un indice positif/négative indique une augmentation/ baisse de la température. Cet indice de Lamb (1982) est fréquemment utilisé pour analyser la variabilité des phénomènes climatiques (Bodian, 2014, Faye *et al.*, 2019).

2.3.3. Détection de tendance des températures

Pour analyser la tendance des températures, le test de Mann Kendall a été utilisé. Ce test a été introduit par Mann (1968) puis étendu par Kendall (1975) d'où l'appellation de test de Mann Kendall (Azizzadeh *et al.*, 2015). Il est utilisé pour détecter les tendances dans les séries de données hydro-climatiques (Hamed et Rao, 1998). L'avantage de ce test est qu'il n'est pas nécessaire que les données suivent une quelconque distribution (Chu *et al.*, 2017). Le test est basé sur deux hypothèses : hypothèse nulle (notée H0) qui suppose que le test est stationnaire, pas de tendance et l'hypothèse alternative (H1) qui rejette H0 et indique l'existence d'une tendance. Le S statistique de Mann Kendall est donné par la formule suivante :

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

Où x_i est la valeur de la variable au temps i et x_j est la valeur de la variable j , n est la longueur de la série et $\text{sign}()$ est une fonction qui se calcule de la façon suivante :

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1 & \text{si } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{si } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{si } (x_i - x_j) < 0 \end{cases}$$

Une tendance croissante ou décroissante est donnée par le signe de la valeur Z (positif ou négatif) et le Z est obtenu à partir de la variance de S qui s'obtient par cette formule :

$$\text{Var}(s) = n(n-1)(2n+5)/18$$

Pour $n > 10$, Z suit approximativement une distribution normale et peut être calculé comme suit :

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

La tendance obtenue est mesurée en fonction de son niveau de signification i.e. la probabilité associée au rejet ou non de l'hypothèse nulle. Dans cette étude, les seuils de significations retenus sont : 0,05 et 0,01. Par exemple, un niveau de signification du test de 0,01 indique qu'il ait une probabilité 1 % d'erreur de rejeter l'hypothèse nulle (H_0) alors qu'elle est vraie. Si une tendance est notée dans la série de données, son ampleur peut être déterminée par la pente de tendance (noté β). La méthode de Sen (1968) est généralement utilisée pour estimer la pente de la tendance.

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{x_i - x_j}{i - j} \right) \quad \forall i < j$$

Où x_i et x_j sont les valeurs des données aux temps i et j , respectivement. Une valeur de β positive indique une tendance à la hausse et valeur négative une tendance à la baisse (Azizzadeh et Javan, 2015, Djaman *et al.*, 2018). La pente de Sen (1968) exprime l'amplitude de la tendance par unité de temps considérée ($^{\circ}\text{C}/\text{an}$ pour cette étude).

3. Résultats

3.1. Variation spatiotemporelle des températures moyennes mensuelles et annuelles au Sénégal

Les valeurs mensuelles et annuelles de chaque station sont utilisées pour montrer la variation spatiotemporelle des températures moyennes à l'échelle du pays. Ainsi, la figure 1 montre que les températures moyennes varient de 19°C à plus de 35°C .

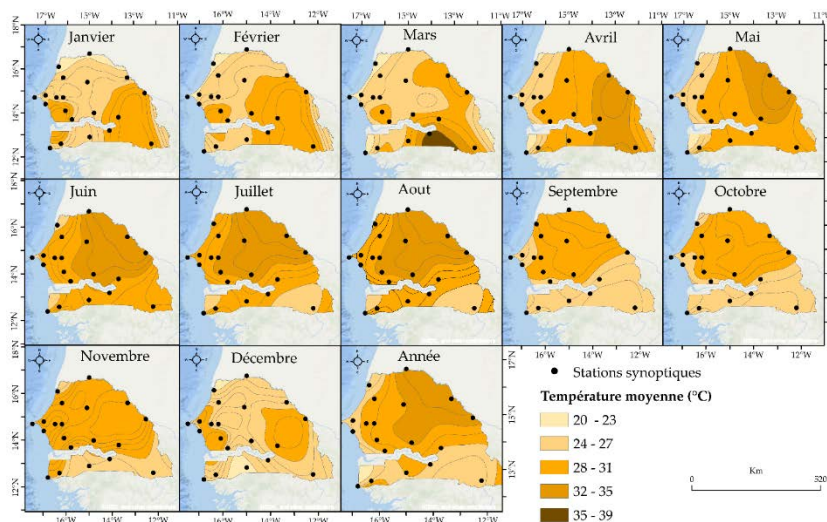


Figure 2. Répartition spatiale des températures moyennes au Sénégal aux échelles mensuelles et annuelles sur la période 1960-2015
 Source : Ndiaye et al., 2020

Les valeurs mensuelles montrent que les mois les plus chauds sont ceux de mars et avril et les plus froids correspondent aux mois de décembre et janvier. Les mois de juin, juillet et août enregistrent des valeurs records dépassant les 35 °C pour certaines stations. À l'échelle annuelle, les températures s'échelonnent entre 21 et moins de 35°C sur l'étendue du territoire national. Du point de vue spatial, les valeurs de température les plus faibles sont enregistrées aux stations situées en zones côtières (Dakar 21 à 27 °C, Saint-Louis 20 à 31 °C). Cette baisse des températures s'explique par l'influence des flux d'alizé maritimes issus de l'anticyclone des Açores qui entraînent un adoucissement des températures en raison de l'augmentation de l'humidité atmosphérique. Les régions intérieures, ne bénéficiant pas de l'influence maritime, sont plutôt soumises aux effets de la continentalité et enregistrent ainsi des températures élevées. Les régions situées à l'Est et au Centre du pays présentent les valeurs les plus élevées à toutes les échelles temporelles (mois, saison et année).

3.2. Anomalies des températures maximales et minimales

L'évolution des anomalies de température au Sénégal sur la période 1960-2015 est montrée à la figure 2. L'analyse de cette figure a permis d'identifier trois principales périodes : (i) 1960-1975, (ii) 1976-1998 et (iii) 1999-2015.

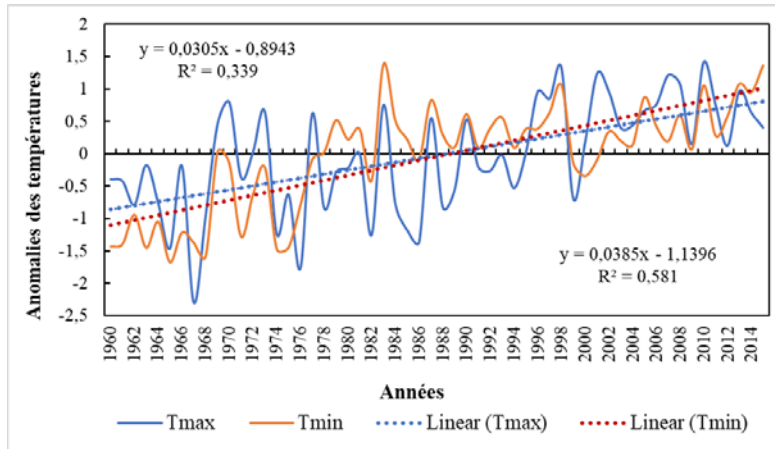


Figure 3. Évolution des anomalies des températures (max et min) au Sénégal sur la période 1960-2015

Source : Ndiaye et al., 2020).

La première période est majoritairement dominée par une baisse des températures maximales et minimales qui présentent des valeurs moyennes de 34,7 et 20,2 °C. La deuxième période se caractérise par une alternance de baisse et de hausse des températures. La moyenne des Tmax et Tmin durant cette période est respectivement 34,8 et 21,3 °C soit une hausse de 0,14 et 1,07 °C par rapport à la période précédente. La dernière période de la série montre quasiment une hausse des Tmax et Tmin qui présentent des valeurs de 35,4 et 21,5 °C. Une hausse de 0,54 et 0,17 °C est donc notée par rapport à la période 1976-1998. Par rapport à la première période, une augmentation des températures maximales de 0,68 °C et de 1,24 °C pour celles minimales a été identifiée. Ces valeurs montrent globalement que les températures minimales augmentent plus vite que celles maximales. La figure 2 corrobore ce propos en montrant un coefficient de détermination de 0,58 pour Tmin et de 0,33 pour Tmax.

3.2.1. Tendence des moyennes annuelles des températures maximales et minimales

Les valeurs de Z du test de Mann Kendall a permis de faire la cartographie de la tendance des températures maximales et minimales à l'échelle du pays. Une valeur de Z positive indique une tendance à la hausse à un certain niveau de signification (0,01, 0,05) et une valeur négative montre une tendance à la baisse. Ainsi, la figure 3 montre globalement une tendance à la hausse des températures annuelles.

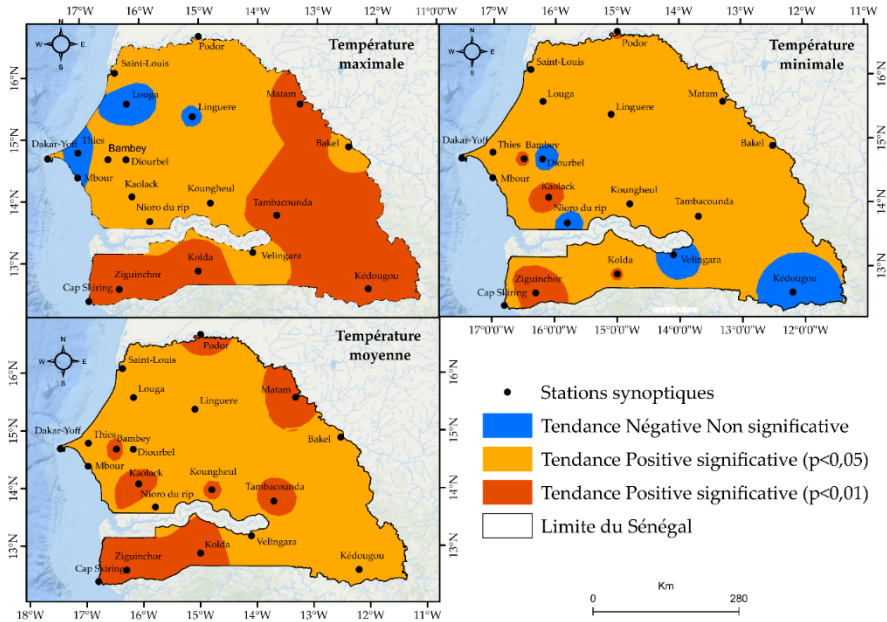


Figure 4. Tendance des températures maximales et minimales sur la période 1960-2015 au Sénégal.

Source : Ndiaye et al., 2020

Une tendance négative non significative est seulement notée dans quelques stations : Thiès, Louga, Linguère pour la température maximale et Bambey, Nioro du Rip, Vélingara et Kédougou pour la température minimale. Pour toutes les autres stations, les températures augmentent de façon significative. Toutes les valeurs de Z dépassent 1,96 ($p < 0,05$) pour certaines stations et 2,58 ($p < 0,1$) pour d'autres. La tendance à la hausse des températures maximales est plus significative que celles minimales. Les températures moyennes augmentent de façon très significative sur l'ensemble du territoire national.

L'amplitude de ces tendances observées à l'échelle annuelle est déterminée par la pente de Sen (figure 4). Ainsi, globalement, les valeurs de pente positive confirment l'augmentation des Tmax et Tmin à l'échelle annuelle. Seules les stations de Louga, Thiès (pour Tmax) et Diourbel (pour Tmin) montrent des valeurs négatives de la pente. Les valeurs de pente des Tmin sont supérieures à celles des Tmax pour la quasi-totalité des stations. Ce qui confirme que l'augmentation des températures minimales est plus significative que celles maximales.

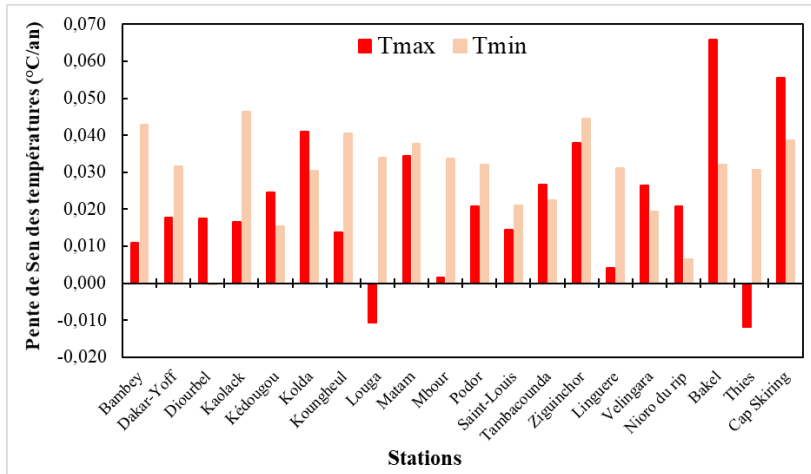


Figure 5. Pente de Sen des Tmax et Tmin à l'échelle annuelle au Sénégal
 Source : Ndiaye et al., 2020

3.3. Tendances des températures à l'échelle saisonnière

En se basant sur la variation pluviométrique du Sénégal et le gradient des températures, trois saisons ont été identifiées : saison sèche chaude (SSC), saison sèche froide (SSF) et saison des pluies (SP). La figure 5 montre la répartition spatiale des tendances des températures maximales et minimales à l'échelle saisonnière. Ainsi, à l'image des tendances observées à l'échelle annuelle, les températures (max et min) augmentent de façon significative à l'échelle saisonnière.

Durant la saison sèche chaude (mars, avril et mai), seule la station de Louga montre une tendance à la baisse non significative pour les températures maximales. Les températures minimales montrent une tendance positive significative dans l'ensemble des stations. Les valeurs de Z du test de Mann Kendall varient de -1,57 à 4,25 pour les températures maximales et de 0,34 à 5,88 pour celles minimales. Les valeurs maximales sont observées aux stations de Ziguinchor et Kédougou et celles minimales aux stations côtières de Saint-Louis, Dakar-Yoff et Mbour. Pendant la saison sèche froide (Décembre-Février), la tendance à la hausse des températures reste significative, mais les valeurs de Z sont légèrement amorties variant de -1,57 à 4,89 pour les températures maximales et de 1,27 à 5,41 pour celles minimales. La saison des pluies présente des valeurs de Z supérieures à celles de la période sèche. Les valeurs de Z des températures maximales varient de -2,08 à 6,14 et celles des températures minimales de -1,38 à 6,62. La tendance à la hausse des températures est plus significative durant la saison des pluies. Cela pourrait être expliqué par les pics de chaleur notés surtout durant les mois de juin et de juillet généralement plus chauds. Pour toutes les saisons, la tendance positive des températures minimales est plus significative. Les mêmes tendances se

confirment et les valeurs de pente les plus élevées sont obtenues par les températures minimales.

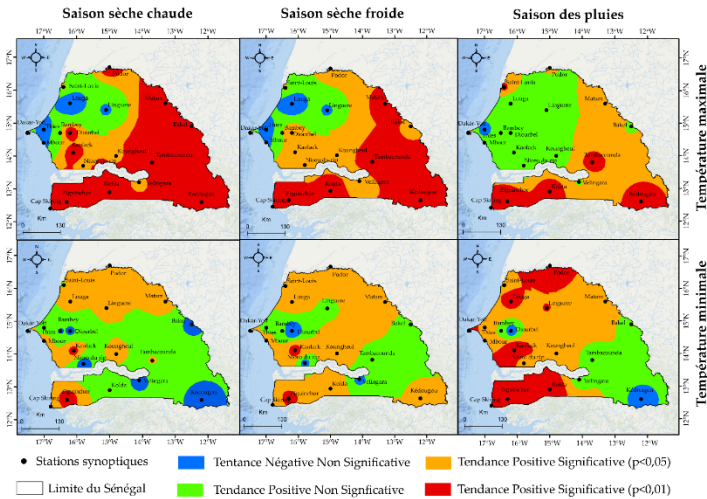


Figure 6. Tendance des températures maximales et minimales à l'échelle saisonnière au Sénégal

Source : Ndiaye et al., 2020

4. Discussion

L'objectif de ce travail est de faire une caractérisation spatiotemporelle des températures et d'analyser leur tendance au Sénégal sur la période 1960 - 2015. Les résultats montrent qu'entre la période 1960 - 1975 et celle 1998 - 2015, les Tmax ont augmenté de 0,68 °C et les Tmin de 1,24 °C, soit une hausse moyenne de 0,96 °C. Les tendances révèlent globalement que les températures minimales augmentent plus vite que celles maximales. Ces résultats sont en phase avec ceux obtenus par Easterling *et al.*, (1997). Selon ces auteurs, à l'échelle du globe, les températures minimales augmentent plus vite que celles maximales. Des résultats similaires ont été obtenus en Afrique de l'Ouest par Ly (2013) et au Congo Brazzaville par Samba et Nganga, (2014). Un réchauffement plus rapide des températures minimales a été également observé à Abidjan et Niamey par Ringard *et al.*, (2014). L'étude de Faye et Sané (2015) corroborent les résultats de cette étude car en utilisant la station de Ziguinchor, ils ont avancé que durant la période 1960-2012, le réchauffement des températures minimales semble plus important que celui des températures maximales. Le réchauffement plus vite des températures minimales est une réponse climatique des émissions anthropiques (Ringard *et al.*, 2014). En effet, la forte concentration des gaz à effet de serre et des aérosols dans l'atmosphère entraîne une réduction de la radiation solaire à la surface de la terre. Ce qui se traduit par une diminution des températures maximales et une hausse de celles minimales.

Les résultats de cette étude sont également en phase avec ceux d'USAID (2012) selon lesquels depuis 1975 le Sénégal a connu une hausse moyenne des températures de 0,9 °C. Sagna *et al.*, (2015) ont également confirmé que les projections du GIEC sur la hausse des températures au Sénégal sont nettes. Cette idée se confirme dans cette étude par l'application du test de Mann Kendall et la pente de Sen qui indiquent une hausse significative des températures maximales et minimales à toutes les échelles temporelles et pour la quasi-totalité des stations. Cette étude a aussi révélé que les températures minimales augmentent plus vite que celles maximales. Ce qui montre qu'il est nécessaire d'étudier la tendance des autres paramètres climatiques (radiation solaire, humidité relative, vitesse du vent et évapotranspiration) pour mieux expliciter les raisons de la décroissance des températures minimales à l'échelle du pays.

5. Conclusion

L'objet de cet article est de contribuer à la connaissance de la variabilité spatiotemporelle des températures au Sénégal sur la période 1960-2015. Les données de vingt stations réparties à l'échelle du pays ont été utilisées. Après une caractérisation des températures moyennes aux différentes échelles (mensuelle, saisonnière et annuelle) et une détermination des anomalies de température, le test de Mann Kendall a été utilisé pour déterminer la tendance des températures.

Les résultats obtenus montrent les températures augmentent au fur et à mesure que l'on progresse dans les régions intérieures. L'influence marine et le fort degré hygrométrique favorisent une baisse des températures dans les zones côtières. L'analyse des anomalies révèle que les températures maximales augmentent de 0,68 °C et celles minimales de 1,24 °C. Cette hausse des températures est confirmée par le test de Mann Kendall qui indique un réchauffement significatif à toutes les échelles temporelles et pour la quasi-totalité des stations. Il ressort également de cette étude que les températures minimales augmentent plus vite que celle maximales.

Les résultats de cette étude peuvent aider à mieux comprendre la tendance des températures observées à l'échelle du pays. D'autant plus que l'augmentation des températures affecte tous les systèmes physiques et socioéconomiques, leur analyse plus fine (échelle journalière) permettrait de mieux prendre en compte ce paramètre climatique dans les recherches scientifiques et dans les politiques de développement. Il serait également important d'étudier les impacts de la hausse des températures sur les systèmes biophysiques et socioéconomiques du Sénégal.

References:

1. Ghasemi A.R. (2015), « Changes and trends in maximum, minimum and mean temperature series in Iran », *Atmospheric Science Letters*, 16, pp. 366-372.
2. Amigues J.P., Debaeke B., Seguin F., Tardieu A. (2006), *Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau, Expertise scientifique collective*, synthèse du rapport, INRA (France), 72p.
3. Allies A. (2018), *Estimation de l'évapotranspiration par télédétection spatiale en Afrique de l'Ouest : vers une meilleure connaissance de cette variable clé pour la région*, Université Montpellier, 431p.
4. Bodian A. 2014, « Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest) », *Physio-Géo*, Vol.8, p. 297-312. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.4243>
5. Mohammadreza A., Khadije J. (2015), « Analyzing trends in reference evapotranspiration in northwest part of Iran 2 », *Journal of Ecological Engineering*, 16, pp. 1-12.
6. Easterling D.R., Horton B., Jones P.D, Peterson T.C., Karl T.R., Parker D.E., Salinger M.J., Razuvayev V., Plummer N., Jamason P., Folland C.K. (1997), « Maximum and Minimum Temperature Trends for the Globe », *Science*, 277, 5324, pp. 364-364.
7. Faye C. Sané T. (2015), « Le changement climatique dans le bassin versant de la Casamance : évolution et tendances du climat, impacts sur les ressources en eau et stratégies d'adaptation », in Descroix et al. (2015), *Eaux et sociétés face au changement climatique dans le bassin de la Casamance*, pp. 95-114.
8. Samba G., Nganga D. (2014), « Minimum and Maximum Temperature Trends in Congo-Brazzaville: 1932-2010 », *Atmospheric and Climate Sciences*, 4, pp. 404-430.
9. Pachauri R.K., Meyer L.A. (2014), *Changements climatiques 2014*, Rapport de synthèse, Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC, Genève, Suisse, 161 p.
10. Faye Ch., Ba D. D., Sécou O. D. 2019, « L'anomalie de la température minimale et maximale dans la partie sud-est du Sénégal », *Journal de la Recherche Scientifique* de l'université DE LOMÉ, vol. 21, pp. 1- 23.
11. Patz J.A., Campbell-Lendrum D., Holloway T., Foley J.A., (2005), « Impact of regional climate change on human health », *Nature*, 438, pp. 310-317.
12. Chaouche K., Neppel L., Dieulin C., Pujol N., Ladouche B., Martin E, Salas D., Caballero Y. (2010), « Analyses of precipitation,

- temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change », *Surface geosciences (Hydrology–hydrogeology)*, 342, pp. 234-243.
13. Kendall M.G. (1975), “Rank Correlation Methods”; *Griffin*, London, 202p.
 14. Al Buhairi M.H. (2010), « Analysis of Monthly, Seasonal and Annual Air Temperature Variability and Trends in Taiz City Republic of Yemen », *Journal of Environmental Protection*, 1, pp. 401-409.
 15. Mann, H.B. (1945), « Nonparametric test against trend », *Econometrica* , 13, pp. 245-259.
 16. Rahman M.A., Yunsheng L., Sultana N., Ongoma V. (2018), « Analysis of reference evapotranspiration (ET₀) trends under climate change in Bangladesh using observed and CMIP5 data sets », *Meteorology and Atmospheric Physics*, pp. 1-17.
 17. Sylla M.B., Nikiema P.M., Gibba P., Kebe I., Klutse N.A.B. (2016), « Climate Change over West Africa: Recent Trends and Future Projections », in *Adaptation to Climate Change and Variability in Rural West Africa*, pp. 25-40.
 18. Ly M., Traoré S.B., Alhassane A., Sarr B. (2013), « Evolution of some observed climate extremes in the West African Sahel », *Weather and Climate Extremes*, 1, pp.19-25.
 19. Niang I., Ruppel O.C., Abdrabo M.A., Essel A., Lennard C., Padgham J., Urquhart P. (2014), « Africa », in Barros V.R., Field C.B., Dokken D.J., Mastrandrea M.D., Mach K.J., Bilir T.E., Chatterjee M., Ebi K.L., Estrada Y.O., Genova R.C., Girma B., Kissel E.S., Levy A.N., Maccracken S., Mastrandrea P.R., White L.L., *Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1199-1265.
 20. Sagna P., Ndiaye O., Diop C., Diongue Niang A., Sambou P.C. (2015), « Les variations récentes du climat constatées au Sénégal sont-elles en phase avec les descriptions données par les scénarios du GIEC ? », *Pollution Atmosphérique*, 227, 17p.
 21. Qi P., Zhang G., Xu Y.J., Wu Y., Gao Z., (2017), « Spatiotemporal Changes of Reference Evapotranspiration in the Highest-Latitude Region of China », *Water (MDPI)*, pp.1-17.
 22. Ringard J., Dieppois B., Rome S., Dje K.B., Konaté D., Katiellou G.L., Lazoumar R.H., Bouzou-Moussa I., Konaré A., Diawara A., Ochou A.D., Assamoi P., Camara M., Diongue A., Descroix L., Diedhiou A., (2014), « Évolution des pics de températures en Afrique de l’ouest :

- étude comparative entre Abidjan et Niamey », *27e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, "Système et Interactions"*, Dijon, France, 27, pp. 1-7.
23. Chu R., Li M., Shen S., Towfiqul Islam A.R.M.D., Cao W, Tao S., Gao P. (2017), « *Changes in Reference Evapotranspiration and Its Contributing Factors in Jiangsu, a Major Economic and Agricultural Province of Eastern China* », *Water*, 9, pp. 2-21.
 24. Sen P.K. (1968), « Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau », *J. Am. Stat. Assoc*, 63, pp. 1379-1389.
 25. Sharad K.J., Vijay K, (2012), « Trend analysis of rainfall and temperature data for India », *CURRENT SCIENCE*, 102, 1, 10, pp. 37-49.
 26. Fall S., Niyogi D., Semazzi F.H.M. (2006), « Analysis of Mean Climate Conditions in Senegal (1971–98) », *Earth Interactions*, 10, pp. 1-40.
 27. Stan F.I., Zaharia L., Neculau G., Ioana-Toroimac G., (2015), « Variabilité spatiale et temporelle de l'évaporation dans la plaine roumaine », *XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Liège, pp. 1-6.
 28. Tao X.E., Chen H., Xu C.Y., Hou Y.K., Jie M.X., (2015), « Analysis and prediction of reference evapotranspiration with climate change in Xiangjiang River China », *Water Science and Engineering*, 8, 4, pp. 273-281.
 29. United States Agency for International Development, (2012), "A Climate Trend Analysis of Senegal", USGS (science for a changing world), Famine Early Warning Systems Network-Informing Climate Change Adaptation Series, 4p.
 30. Wen J., Wang X., Guo M., Xu X. (2012), « Impact of Climate Change on Reference Crop Evapotranspiration in Chuxiong City, Yunnan Province », *Procedia Earth and Planetary Science*, 5, pp. 113-119.