

Analyse de la variabilité des perturbations climatiques du bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré (Ouest de la Côte d'Ivoire)

[Analysis of climate disruption variability in the Sassandra River basin limited at Soubré (Western Côte d'Ivoire)]

*Kouao Armand Anoh¹, Zilé Alex Kouadio¹, Daouda Konaté², Kouakou Bernard Djè², Kouakou Hervé Kouassi¹,
Tanoh Jean-Jacques Koua¹, and Brou Dibi¹*

¹UFR Environnement, Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé,
Daloa, Côte d'Ivoire

²Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Like the West African countries, the Sassandra river basin limited at Soubré is facing the challenges of climate change. Seen anthropogenic activities have contributed to modifying the climate in a sustainable way, it is important to have as clear an idea as possible of possible climate changes. The main objective of this study is to characterize the variability of climate parameters in order to sustainably manage its impacts on basin development projects. So, the methodology adopted is divided into 2 steps: the characterization of climate variability and the characterization of climate change to 2030 and 2050 horizon. The results of climate variability showed a decrease in rainfall and an increase in temperatures. In terms of climate change, under scenario RCP4.5, minimum and maximum temperatures are projected to increase by 1.4°C to 1.8°C by 2030 and 2050. At the same horizons and under scenario RCP8.5, there is an average increase of 1.4°C to 2.4°C. In terms of annual rainfall, projections show an upward trend of 1% by 2030 and a downward trend of 1% by 2050 under the RCP4.5 scenario. The scenario RCP8.5 predicts an increase in precipitation with rates greater than 35% at both future horizons.

KEYWORDS: Climate variability, climate change, scenario RCP4.5, scenario RCP8.5, Sassandra river basin, Côte d'Ivoire.

RESUME: A l'instar des pays de l'Afrique de l'Ouest, le bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré fait face aux défis des changements climatiques. Vu que les activités anthropiques ont contribué à modifier le climat de façon durable, il convient d'avoir une idée aussi claire que possible des possibles modifications du climat. L'objectif principal de cette étude est de caractériser la variabilité des paramètres du climat afin de gérer de manière soutenable ses impacts sur les projets de développement du bassin. La méthodologie adoptée se décline 2 étapes: la caractérisation de la variabilité climatique et la caractérisation des changements climatiques aux horizons 2030 et 2050. Les résultats de la variabilité climatique ont montré une baisse des hauteurs de pluie et une augmentation des températures. Au niveau du changement climatique, sous le scénario RCP4.5, il est prévu une hausse des températures minimales et maximale de 1,4 °C à 1,8 °C aux horizons 2030 et 2050. Aux mêmes horizons et sous le scénario RCP8.5, on note une augmentation moyenne de 1,4 °C à 2,4 °C. Au niveau des précipitations annuelles, les projections donnent une tendance à la hausse de 1 % à l'horizon 2030 et une tendance à la baisse de 1% à l'horizon 2050 sous le scénario RCP4.5. Le scénario RCP8.5 prévoit une hausse des précipitations avec des taux supérieurs à 35 % aux deux horizons futurs.

MOTS-CLEFS: Variabilité climatique, changement climatique, scénario RCP4.5, scénario RCP8.5, bassin versant de Sassandra, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Les diverses répercussions immédiates et à long terme du climat sur l'homme et son milieu ont accentué l'attention de nombreux scientifiques et organisations dans le monde sur la nécessité de s'intéresser à ses fluctuations [1], [2]. Bien que

l’Afrique soit le continent le moins responsable de ces perturbations climatiques, elle est particulièrement vulnérable à ses conséquences. Ainsi, l’impact le plus significatif en Afrique de l’Ouest, a été la réduction des précipitations depuis les années 1960 [3], [4], [5], [6]. Cette péjoration pluviométrique à laquelle est confronté l’Afrique de l’Ouest et la Côte d’Ivoire en particulier affecte le développement de la quasi-totalité des secteurs de l’économie nationale, tributaires des ressources en eau [7]. De même, des études réalisées en Côte d’Ivoire par [3], [1], [8], [4], [9], [10], [11] aux échelles régionale et locale ont mis en exergue les impacts de la variabilité et du changement climatique sur les ressources en eau et les écosystèmes y afférant. Selon Kouassi [9], tous les bassins du pays présentent une vulnérabilité importante aux déficits pluviométriques. Le bassin versant du fleuve Sassandra n’est pas épargné. En effet, bénéficiant de la construction de deux barrages hydro-électriques (Buyo et Soubré), le bassin versant du fleuve Sassandra, connaît de fortes variations saisonnières des écoulements. Cette baisse des débits est consécutive à la baisse de la pluviométrie et à l’augmentation de la température [12]. À la péjoration des paramètres climatique, s’ajoute le couvert forestier du bassin qui a subi une régression [13], [14]. Cette étude se donne pour objectif de déterminer les différentes fluctuations du climat afin de gérer de manière soutenable ses impacts sur les projets de développement du bassin.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 DESCRIPTION DE LA ZONE D’ÉTUDE

Le bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré est situé à l’Ouest de la Côte d’Ivoire précisément entre 5°30’ et 9°55’ de latitude Nord et, 6°01’ et 8°55’ de longitude Ouest. Il prend sa source dans la région de Beyla en Guinée et draine une superficie de 62 670 km² dont 8 000 km² en territoire Guinéen (Figure 1). Le fleuve est long de 440 km et coule globalement dans la direction Nord-sud. Le bassin est balayé par trois régimes pluviométriques que sont le régime tropical de transition atténué, le climat équatorial de transition atténué et le régime de montagne. La configuration géographique allongée du bassin lui confère un relief peu contrasté composé de plateau et de massifs montagneux où des altitudes varient entre 200 et 1 180 m. Les formations géologiques du bassin versant du Sassandra regroupent deux grandes entités géologiques que sont les roches magmatiques et les roches métamorphiques. Le couvert végétal est dominé par une alternance de savane, de forêts (dense et décidue) et de zones agricoles.

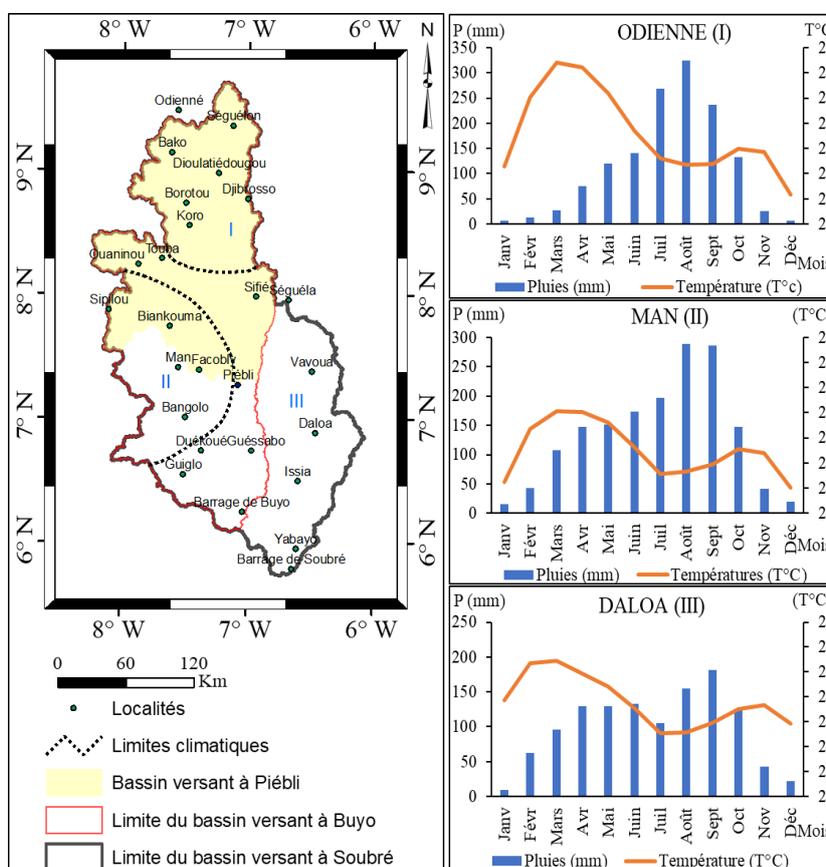


Fig. 1. Localisation du bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré

2.2 DONNÉES ET OUTILS UTILISÉS

Deux types de données ont été utilisés: les données d'observation ou données climatologiques (précipitations moyennes et températures minimale et maximale) et les données de sorties de modèles climatiques. Ces données d'observation sont au pas de temps mensuel et couvrent la période 1971-2010. Elles concernent cinq (05) stations dont trois postes synoptiques et deux postes pluviométriques qui sont spatialement bien réparties sur le bassin. À l'instar des données d'observation, les données de simulation et de projection couvrent respectivement les périodes 1981-2010 et 2021-2060. Elles ont été fournies par la quatrième version du modèle atmosphérique régional du Rossby Center (RCA4) en fonction des scénarii RCP4.5 et RCP8.5 du projet CMIP5. Les logiciels ArcGIS et R Studio sont les outils utilisés. ArcGIS pour réaliser les cartes et R Studio pour analyser et simuler les données statistiques descriptives des séries temporelles, moyennes, écartypes, indices, tendance, variances, régression simple et multiples, coefficient de corrélation, etc....

2.3 CARACTÉRISATION DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE

2.3.1 CALCUL DES PARAMÈTRES STATISTIQUES

La caractérisation des variations du climat récent observé est faite à travers le calcul des principaux paramètres statistiques (moyenne et écart type) des différentes composantes, à savoir les valeurs interannuelles, les valeurs annuelles et les valeurs mensuelles interannuelles. L'indice climatique est utilisé pour déterminer la variabilité décennale et annuelle du climat. Les méthodes des fréquences et des anomalies sont utilisées respectivement pour déterminer les séquences de sécheresse et la comparaison des normales 1981-2010 et 1971-2000. L'analyse des tendances climatiques est faite par simple régression linéaire et par calcul de la différence relative entre décades. La période observée est divisée en trois décennies. Ainsi, la précipitation moyenne de la première décennie est Pd1, la précipitation moyenne de la deuxième décennie est Pd2 et la précipitation moyenne de la troisième décennie est Pd3.

2.3.2 CALCUL DES INDICES CLIMATIQUES

Plusieurs indices tels que, l'indice de Nicholson (I), l'indice standardisé de précipitations (SPI), l'indice de pluviosité (IP) et l'Indice Standardisé de Précipitation et d'évapotranspiration (SPEI) sont proposés dans la littérature [15], [16], [17], [18] permettent d'analyser la variabilité climatique. Pour cette étude, c'est le SPEI qui est retenu. Cet indice s'avère robuste que les autres car il corrige les insuffisances des autres indices en prenant en compte à la fois les précipitations et l'évapotranspiration potentielle [18]. Aussi, permet-il d'analyser le processus de sécheresse sous-jacents [19]. Son calcul nécessite des données de précipitations et d'évapotranspiration potentielle (ETP) mensuelles. Les données d'ETP ont été calculées par la formule de Hargreaves and Samani [20]. Cette formule (Eq. 1) exprime l'ETP (mm) en fonction de la température et latitude.

$$ETP = 0,0023Ra (T_{mean} + 17,8) (T_{max} - T_{min})^{0,5} \quad (\text{Eq.1})$$

Où, Ra = équivalent en eau du rayonnement extraterrestre (mm jour⁻¹); T_{mean} = la température moyenne de l'air (°C); T_{max} = température maximale de l'air (°C); T_{min} = température minimale de l'air (°C).

Une fois l'ETP déterminé, Vicente-Serrano, Beguería [18] suggèrent pour le calcul des valeurs du SPEI, une distribution logistique à trois paramètres. Selon ces auteurs, la distribution la mieux ajustée de la série de bilans hydriques climatiques standardisés à toutes les échelles de temps est sélectionnée en utilisant le Test des critères de Kolmogorov-Smirnov. Basée sur cette distribution, l'équation 2 est définie.

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x+\gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (\text{Eq.2})$$

Où: α est le paramètre de forme, β est le paramètre d'échelle et γ est le paramètre d'origine.

Le SPEI (Eq. 3) peut être obtenu sous la forme des valeurs normalisées de $F(x)$ comme suit:

$$SPEI = w - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \quad (\text{Eq.3})$$

Où :

$$W = \sqrt{-2\ln (F(x))} \text{ pour } F(x) < 0,5 \text{ et } W = \sqrt{-2\ln (1 - F(x))} \text{ pour } F(x) > 0,5$$

Les paramètres C_0 , C_1 , C_2 , d_1 , d_2 , d_3 sont des constantes avec $C_0 = 2,51551$, $C_1 = 0,80285$, $C_2 = 0,01033$, $d_1 = 1,43279$, $d_2 = 0,18927$ et $d_3 = 0,00131$.

Ainsi, des valeurs positives de SPEI indiquent des conditions d'humidité supérieures à la moyenne, tandis que des valeurs négatives indiquent des conditions de sécheresse. Un événement de sécheresse est défini lorsque la valeur de SPEI est inférieure ou égale à (-1) au cours d'une certaine période.

2.3.3 MÉTHODE D/^{*}-ES FRÉQUENCES DES SÉQUENCES DE SÉCHERESSE

La fréquence cumulée (F) de sécheresse donne une idée sur l'occurrence des séquences sèches. Elle s'obtient en faisant le rapport de l'effectif cumulé des séquences sèches par l'effectif total.

2.3.4 MÉTHODE DES ANOMALIES

La méthode des anomalies permet d'apprécier la variation du climat. Le principe consiste en une comparaison des normales des séries observées de la période de référence 1981-2010 et les séries de la période 1971-2000 entre elles. Une anomalie peut être positive pour indiquer une élévation du paramètre dans le futur et négative pour indiquer l'inverse. L'anomalie dans le cas des précipitations est définie comme le rapport de la différence des précipitations mensuelles interannuelles relatives aux deux normales pluviométriques sur celle des séries de données de la normale précédente. Elle s'exprime en pourcentage et son expression est donnée par l'équation (4):

$$\rho P(\%) = \frac{P_{obs} - P_{hist}}{P_{hist}} \times 100 \quad (\text{Eq.4})$$

P_{obs} : précipitations de la période de référence (1981-2010) et P_{hist} : précipitations de la période (1971-2000).

Dans le cas des températures, l'anomalie est définie comme étant la différence en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$) entre les données historiques et celles représentant la période de référence (Eq. 5).

$$\delta T(^{\circ}\text{C}) = T_{obs}(^{\circ}\text{C}) - T_{hist}(^{\circ}\text{C}) \quad (\text{Eq.5})$$

Où: T_{obs} : température de la période de référence (1981-2010) et T_{hist} : température de la période (1971-2000).

2.4 CARACTÉRISATION DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AUX HORIZONS 2030 ET 2050

La méthodologie utilisée requiert d'abord d'évaluer la fiabilité des sorties du modèle, ensuite de corriger les données de sortie du modèle, d'évaluer la corrélation entre les données corrigées et observées et analyser les changements futurs aux horizons 2030 et 2050.

2.5 EVALUATION DE LA FIABILITÉ DES SORTIES DU MODÈLE CLIMATIQUE RÉGIONAL RCA4

La confiance dans la performance d'un modèle pour la production de scénarii climatiques futurs est élevée s'il est capable de reproduire correctement le climat présent. Ainsi, une comparaison est effectuée entre les données de pluie et de températures observées et simulées par le modèle. L'écart entre ces données observées et simulées constitue l'erreur commise par le modèle. Le calcul de l'erreur relative a été retenu comme critère numérique pour évaluer la performance du modèle RCA4. L'erreur relative (Er) permet donc de savoir si le modèle climatique surestime ou sous-estime les paramètres recherchés. Ce paramètre est estimé à travers l'équation 6.

$$Er = 100 \times \frac{(X_{cat} - X_{obs})}{X_{obs}} \quad (\text{Eq.6})$$

Avec: Er: erreur relative; Xcal: Valeur du paramètre calculée par le modèle; Xobs: Valeur du paramètre observée.

Si Er > 0 le modèle surestime le paramètre calculé;

Si Er < 0 le modèle sous-estime le paramètre calculé;

2.5.1 CORRECTION DES DONNÉES DE SORTIE DU MODÈLE

Les données de sortie du modèle climatique sont généralement biaisées. Ainsi, avant de les utiliser pour la modélisation climatique, elles doivent être corrigées. La correction des biais est possible à partir de la méthode delta. Cette approche est le plus souvent appliquée aux variables climatiques, telles que la pluie, la température et l'Évapotranspiration [21]. La méthode delta corrige des erreurs dites additives pour les températures (Eq. 7) et multiplicatives relatives aux précipitations (Eq. 8).

$$T_{scen,j,c} = T_{obs,j} + (T_{scen,m} - T_{ref,m,h}) \quad (\text{Eq.7})$$

$$P_{scen,j,c} = P_{obs,j} \times \left(\frac{P_{scen,m,f}}{P_{ref,m}} \right) \quad (\text{Eq.8})$$

Avec $T_{scen, j, c}$: température journalière corrigée; $T_{obs, j}$: température journalière observée; $T_{scen, m}$: température moyenne mensuelle interannuelle de la période considérée; $T_{scen, m, h}$: température moyenne mensuelle interannuelle de la période historique; $P_{scen, j, c}$: pluie journalière corrigée; $P_{obs, j}$: pluie journalière observée; $P_{scen, m, f}$: pluie moyenne mensuelle interannuelle sur la période future; $P_{ref, m}$: pluie moyenne mensuelle interannuelle sur la période de référence.

2.5.2 ÉVALUATION DE LA CORRÉLATION ENTRE LES DONNÉES CORRIGÉES ET OBSERVÉES

Le test de corrélation est utilisé pour évaluer la dépendance entre deux variables. La force d'association entre deux variables quantitatives est estimée par le coefficient de corrélation noté R . Le coefficient de corrélation R varie entre -1 à +1. S'il est supérieur en valeur absolue à 0,8; la corrélation entre les deux variables est significative. S'il est compris entre 0,5 et 0,8, la corrélation est modérée. Entre 0,2 et 0,5; elle est faible et très faible au-dessous. Un signe positif traduit une association « positive » et l'inverse; une association « négative ». L'hypothèse nécessaire à la validité de cette mesure est que la distribution de X et de Y soient conjointement normales (Eq. 9).

$$R = \frac{S_{XY}^2}{S_X \cdot S_Y} \quad (\text{Eq.9})$$

S_{XY}^2 est la covariance de X avec Y et S_X, S_Y sont les écart-types de chaque variable.

2.5.3 ANALYSE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'analyse du changement climatique futur s'appuie sur les méthodes des indices climatiques et celle des anomalies susmentionnées.

3 RÉSULTATS

3.1 ANALYSE DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE

L'analyse de l'indice standardisé des précipitations et de l'évapotranspiration (SPEI) aux différentes stations synoptiques considérées sur des échelles de temps de 12 et 24 mois (de 1981 à 2010) ont permis de mettre en évidence plusieurs alternances d'années sèches et humides sur l'ensemble du bassin (Figure 2). L'observation de la fréquence des épisodes de sécheresse montre qu'elle est différente d'une zone à une autre. Ainsi, le régime tropical de transition atténué (Odienné) semble être le plus affecté par les séquences de sécheresse (50 %) pendant que les autres régimes (équatorial de transition atténué (Daloa) et de montagne (Man)) apparaissent moins affectés avec respectivement des fréquences de 47 % et 43 %.

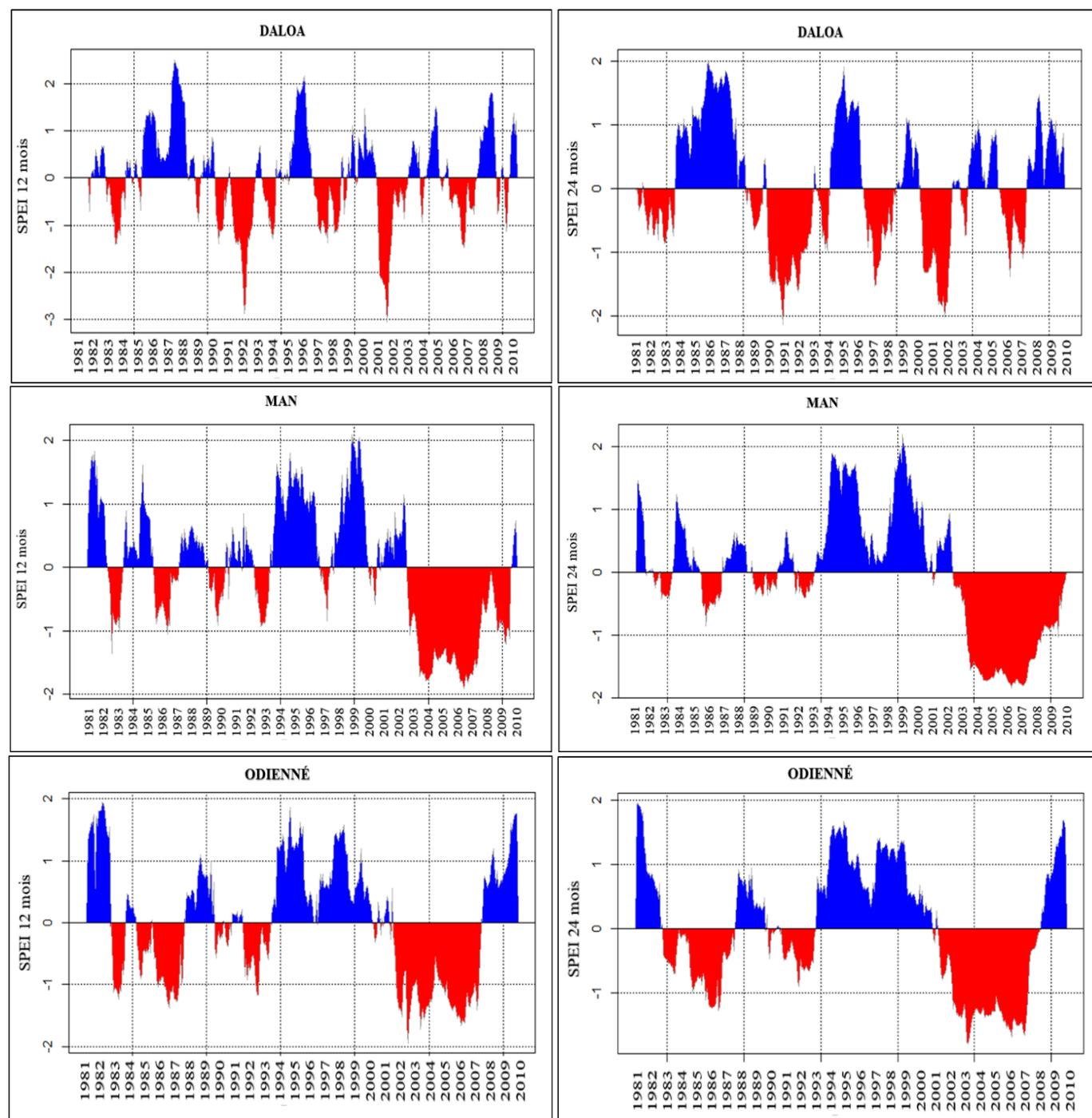


Fig. 2. Évolution temporelle des valeurs SPEI sur le bassin duassandra à Soubré

3.2 ANALYSE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE AUX HORIZONS 2030 ET 2050

3.2.1 FIABILITÉ DES PRÉCIPITATIONS ET TEMPÉRATURES ISSUES DU MODÈLE CLIMATIQUE RCA4

Les différents tests statistiques appliqués sur les données provenant du modèle climatique régional (MCR) RCA4 ont permis de montrer l'efficacité du modèle. Malgré de légères divergences d'allures au niveau des mois de juillet à septembre (Figure 3), le modèle a parfaitement reproduit la tendance de pluies observées. En effet, les courbes des valeurs observées et simulées présentent une bonne corrélation ($R^2 = 0,99$).

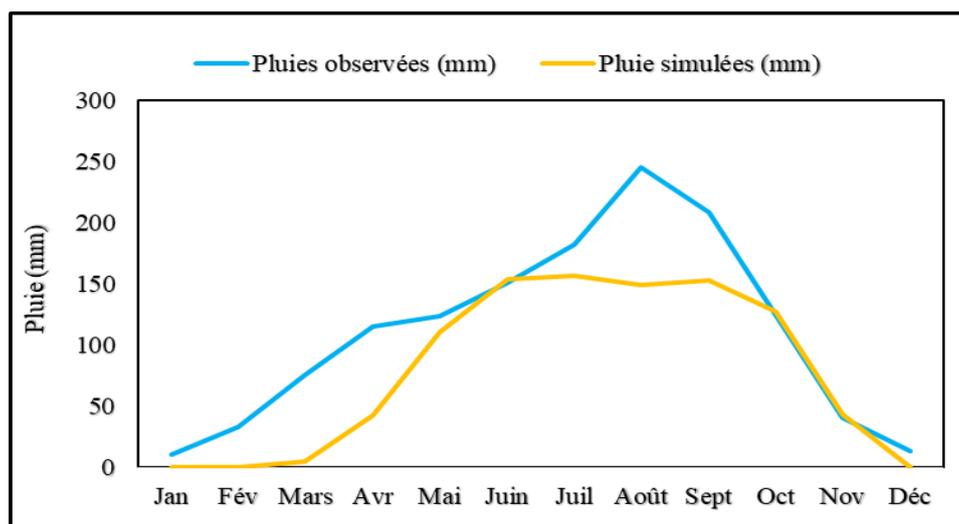


Fig. 3. Courbe comparative des précipitations moyennes mensuelles observées et simulées sur la période 1981-2010

Au niveau des températures (Figure 4), le modèle RCA4 a aussi fidèlement représenté la tendance des données observées. Cela s'est d'ailleurs traduit par de significatives corrélations entre les températures minimales ($R^2 = 0,89$) et maximales ($R^2 = 0,71$) observées et simulées.

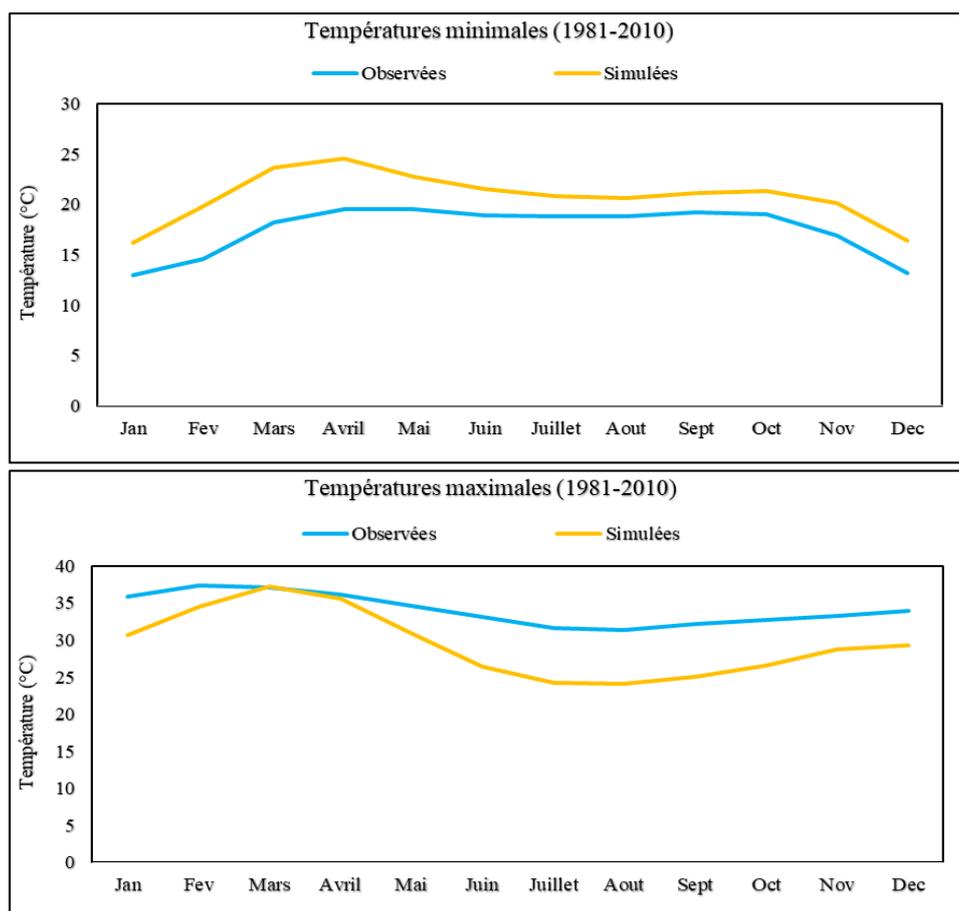


Fig. 4. Courbe comparative des moyennes mensuelles des températures minimales et maximales observées et simulées sur la période 1981-2010

3.2.2 ANALYSE DE LA VARIABILITÉ SAISONNIÈRE

La simulation du climat futur selon le scénario RCP4.5 (réaliste) montre une hausse des précipitations de 1 % (soit 8 mm) sur la période 2021-2040 et une baisse de 1 % (de 7 à 14 mm) sur la période 2041-2060 du bassin (Figure 5). Contrairement au scénario RCP4.5, le scénario RCP8.5 (pessimiste) prédit une hausse des précipitations avec un taux supérieur à 35 % (soit 497 mm) sur les deux horizons (2030 et 2050).

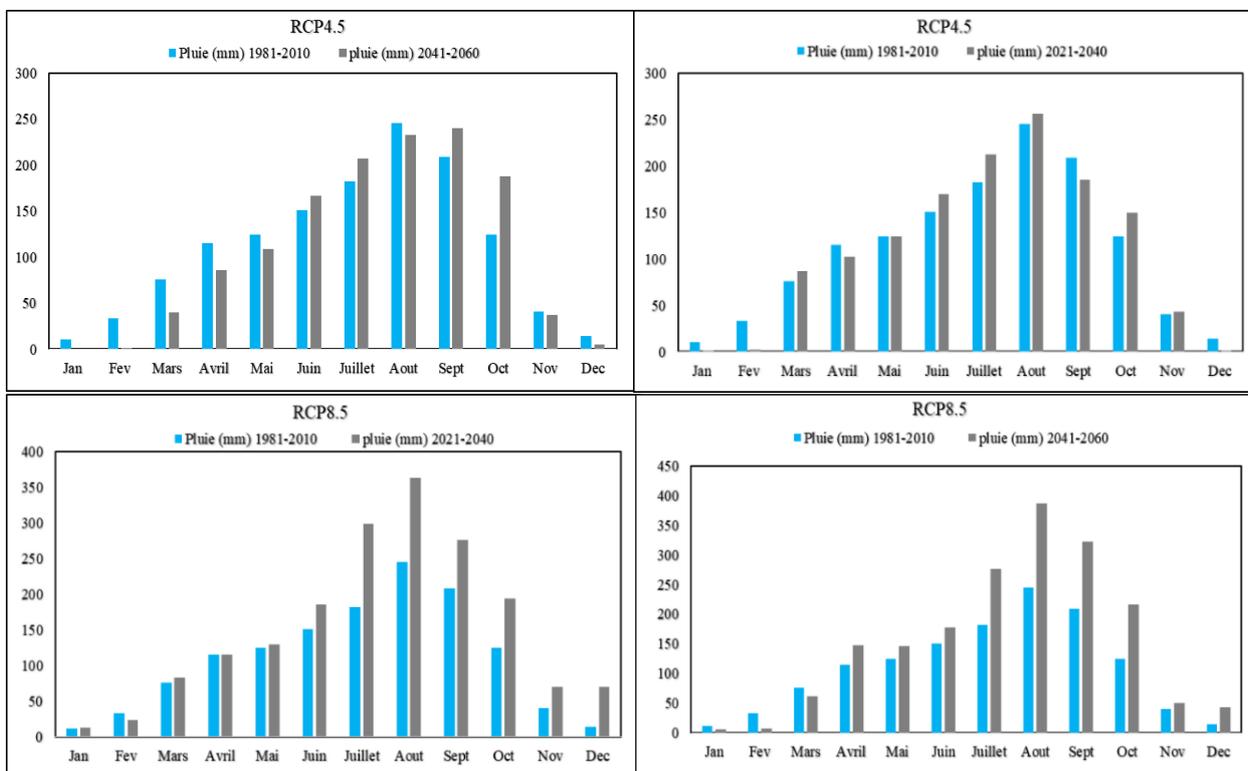


Fig. 5. Variation des précipitations moyennes mensuelles interannuelles observées et simulées

Au niveau des températures, les deux scénarii s'accordent sur une augmentation des températures (et 7). Le scénario d'émission RCP4.5 prévoit une augmentation des températures minimales de 1,4 °C et 1,8 °C respectivement à l'horizon 2030 et 2050. Cette augmentation a été également observée avec le scénario d'émission RCP8.5 qui met en évidence une hausse des températures minimales de 1,4 °C et 2,6 °C respectivement aux horizons 2030 et 2050 sur la zone d'étude.

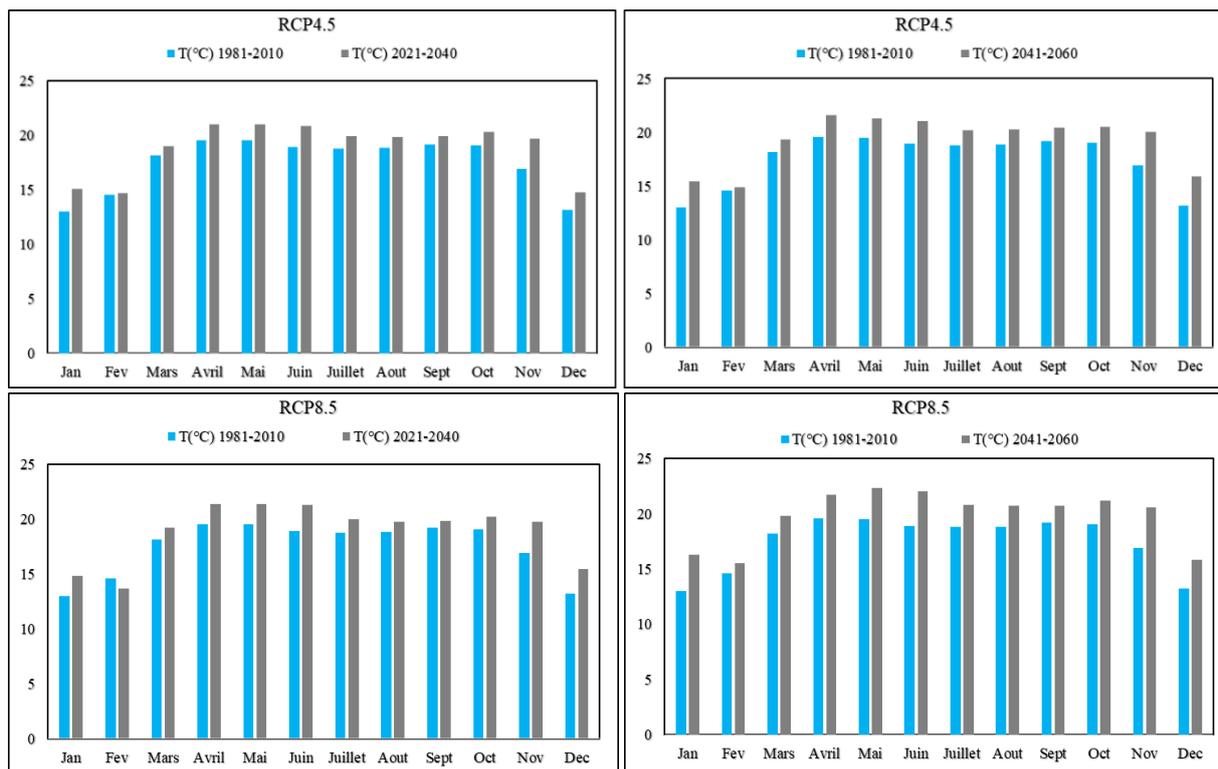


Fig. 6. Variation des températures minimales moyenne mensuelle interannuelles observées et simulées

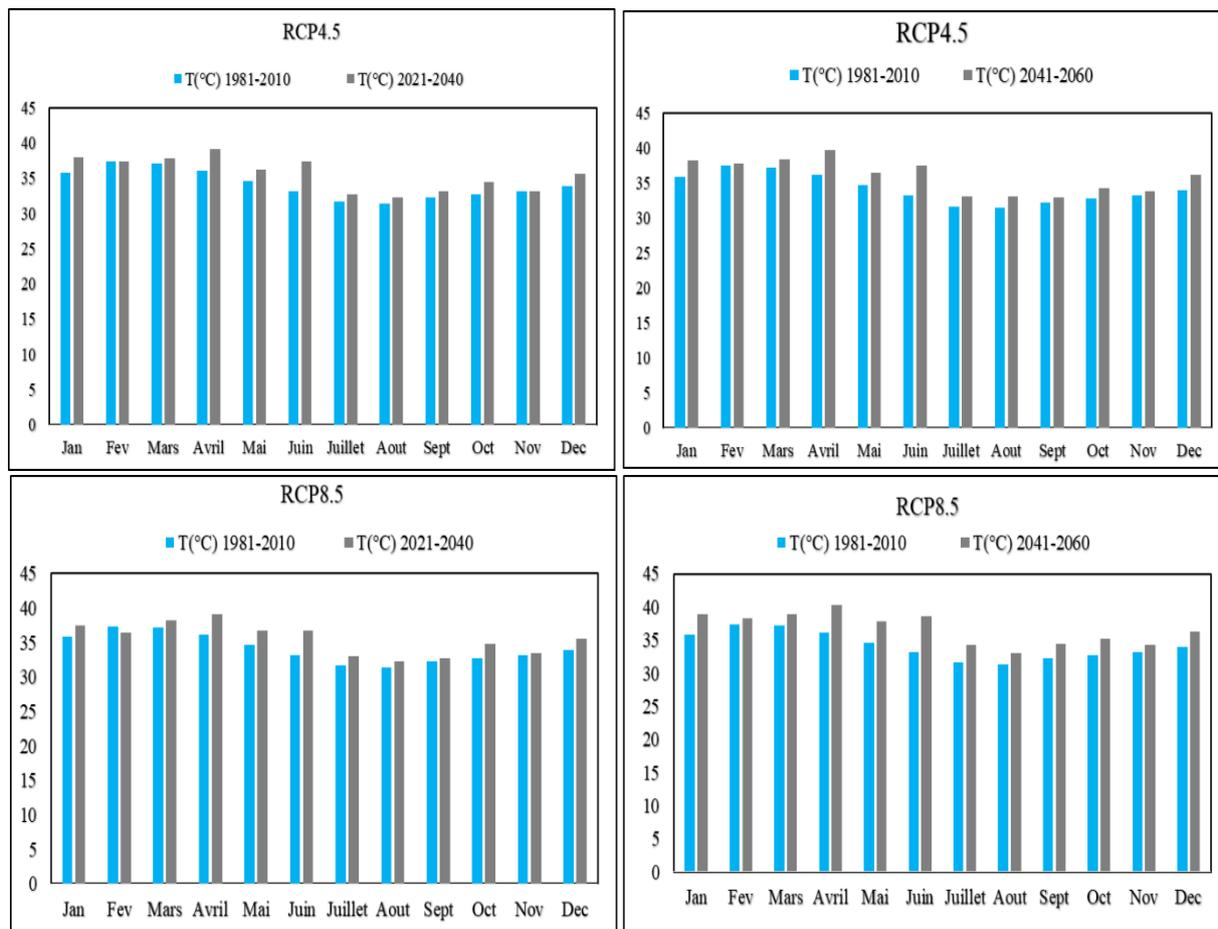


Fig. 7. Variation des températures maximales moyenne mensuelle interannuelles observées et simulées

4 DISCUSSION

La caractérisation des séries chronologiques sur le bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré a révélé des variations notables du climat qui ont eu lieu sur la période 1981-2010. Ces variations se déclinent en une diminution des hauteurs annuelles des précipitations et une augmentation des températures. Les précipitations ont diminué de 7 % de la décennie (1981-1990) à la décennie (1991-2000) et de 13 % jusqu'à la décennie (2001-2010). Le déficit pluviométrique du bassin versant de Sassandra à Soubré est du même ordre de grandeur que ceux trouvés par Goula, Savané [4] sur les bassins du N'zi (13 %) et du N'zo (14 %). Toutefois, il est moins important que ceux de la zone soudano-sahélienne rapportés par Bamba, Diabate [22] et Paturel, Servat [23]. Au niveau des températures moyennes annuelles, l'analyse des tendances a montré une hausse de celles-ci avec une augmentation moyenne de 0,6 °C sur les 30 années d'observation. Elle est donc passée de 25,3 °C en 1981 à 25,9 °C en 2010. Des augmentations de température similaires ont été constatées dans les bassins de la Comoé et de Sassandra par [24], [25], [26]. Cette hausse des températures moyennes pourrait être causée par les émissions mondiales de gaz à effet de serre d'origine anthropique. La hausse des températures du bassin versant de Sassandra à Soubré est du même ordre de grandeur que ceux trouvés par [27], [28] en Afrique. En outre, l'analyse de l'indice standardisé des précipitations et de l'évapotranspiration (SPEI) a montré que le régime de montagne est le moins affecté par cette variabilité climatique. La faible amplitude des séquences de sécheresse du climat de montagne a été rapportée par Moron [29]. Selon ce chercheur, la présence de relief peut avoir un impact significatif sur les facteurs climatiques d'échelle régionale et globale d'une zone. Outre cet auteur, ces résultats ont une très grande similitude avec la plupart des études menées en Afrique de l'Ouest en générale et en Côte d'Ivoire en particulier par [3], [30], [31], [14], [32], [25], [33], [6], [11], [34]. Ces différentes variations du climat sont aussi en accord avec le rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat [35] à l'intention des décideurs. Malgré de significatives corrélations entre les valeurs observées et simulées, le modèle a montré des limites. Ainsi, les erreurs de sorties du modèle RCA4 sur les données de pluie et de température simulées ont été évaluées sur la période de référence (1981-2010). Les faiblesses du modèle sont à la fois qualitatives et quantitatives. Les faiblesses et incertitudes d'ordre qualitatif du modèle se traduisent par les biais dans les séries de données projetées par rapport aux données observées. Concernant les aspects d'ordre quantitatif, elles concernent les écarts entre les données simulées et observées. En effet, le modèle surestime les températures minimales de 3,3°C et sous-estime les températures maximales de -4,7 °C. Les précipitations quant à elles sont aussi sous-estimées par le modèle (-29 %). Ces faibles incertitudes sur les températures s'expliquent par le fait qu'en absence de relief fortement accidenté, les températures ont une variabilité spatiale relativement homogène [25]. Selon Noblet, Faye [36], les modèles climatiques ne convergent pas tous sur les tendances futures des précipitations en Afrique de l'Ouest. Ainsi, le taux de variation des quantités de pluie est fonction des différents « futurs possibles » et dépend des hypothèses relatives aux scénarii d'émissions [25]. En outre, les précipitations restent la variable climatique la plus difficile à projeter, surtout dans le contexte Ouest-africain caractérisé par de fortes variabilités intra et interannuelles. Il y aura toujours des ambiguïtés dans l'acceptabilité des résultats du futur, particulièrement lorsque ces derniers sont basés sur des variables incertaines [37].

5 CONCLUSION

L'étude des tendances des données climatiques révèle des changements dans son ensemble. La tendance pluviométrique du bassin versant du fleuve Sassandra est à la baisse dans son ensemble. Le déficit pluviométrique (13 %) est accompagné d'une hausse des températures favorisant ainsi une expansion de la sécheresse sur l'ensemble du bassin du fleuve Sassandra à Soubré depuis les années 1971. Des trois régions climatiques du bassin, le climat tropical de transition (région d'Odienné) semble être le plus touché par cette variabilité climatique avec un taux de variation moyen des précipitations de -8 % et une augmentation des températures de 0,4 °C par an. On note également une alternance de périodes sèches et humides. Les périodes les plus humides se situent entre 1981 et 2000 avec une intensité modérée. Les années 2001 à 2010 sont quant à elles marquées par une sécheresse sévère sur tout le bassin avec des indices pluviométriques inférieurs à -1,99 par endroit. Les périodes sèches ont par ordre décroissant, une fréquence d'occurrence plus élevée en climat tropical de transition (région d'Odienné), en climat équatorial atténué (région de Daloa) et en climat de montagne (région de Man). La simulation du climat futur a été faite avec le modèle RCA4 à travers les scénarii d'émission des GES RCP4.5 (optimiste) et RCP8.5 (pessimiste). Les précipitations annuelles ont montré des tendances à la hausse de 1 % et à la baisse de 1 % respectivement pour les périodes 2021-2040 et 2041-2060 pour le scénario RCP4.5. Le scénario RCP8.5 prévoit une hausse des précipitations avec des taux supérieurs à 35 % sur les deux horizons futurs (2030 et 2050). Ces deux scénarii ont montré une hausse des températures sur la période 2021-2060.

REFERENCES

- [1] Ardoin BS. Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne: Université Montpellier II (France), 2004.
- [2] Sighomnou D. Analyse et redéfinition des régimes climatiques et hydrologiques du Cameroun: perspectives d'évolution des ressources en eau: Université de Yaoundé 1, Cameroun, 2004.
- [3] Adja MG. Étude de l'état hydrique saisonnier du bassin versant de la Bagoé dans un contexte de variabilité climatique. Départements de Boundiali et Tengréla (milieux soudano-sahéliens au nord-ouest de la Côte d'Ivoire): Thèse unique, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2009.
- [4] Goula BTA, Savané I, Konan B, Fadika V, Kouadio GB, "Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'zo et N'zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide)," *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 7, no. 1, pp. 1-12, 2006.
- [5] Kouadio ZA. Dynamique de l'occupation du sol et comportement hydrologique. Cas des bassins versants côtiers de l'Agnéby et du Boubo: Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 2011.
- [6] Savané I, Coulibaly KM, Gioan P, "Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man," *Science et changements planétaires/Sécheresse*, vol. 12, no. 4, pp. 231-237, 2002.
- [7] Anoh KA. Apport d'un SIG et du modèle agrohydrologique SWAT dans la gestion durable des ressources en eaux du bassin versant du lac de Taabo (Centre de la Côte d'Ivoire): Université Felix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 2014.
- [8] Bigot S, Brou YT, Oszwald J, Diedhiou A, "Facteurs de la variabilité climatique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales.," *Revue Sciences et Changements Planétaires/ Sécheresse*, vol. 16, no. 1, pp. 5-13, 2005.
- [9] Kouassi AM. Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire: Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2007.
- [10] Ouédraogo M. Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante: normes hydrologiques et modélisation régionale: Université de Montpellier II, France, 2001.
- [11] Yao AB. Evaluation des potentialités en eau du bassin versant de la Lobo en vue d'une gestion rationnelle (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire): Thèse Unique de Doctorat, Université Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 2015.
- [12] Djè KB. Programme national changement climatique (PNCC). Document de stratégie du programme national changement climatique (2015-2020). 2014. p. 71.
- [13] Brou T, "Variabilité climatique, déforestation et dynamique agrodémographique en Côte d'Ivoire," *Sécheresse*, vol. 21, no. 4, pp. 327-329, 2010.
- [14] Brou YT. Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire [PhD]: Université des Sciences et Techniques de Lille, France, 2005.
- [15] Bergaoui M, Alouini AWS, "Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique: cas du bassin versant de Siliana en Tunisie," *Science et changements planétaires/ Sécheresse*, vol. 12, no. 4, pp. 205-213, 2002.
- [16] McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 January. California, USA: Boston; 1993. p. 179-183.
- [17] Nicholson SE, Kim J, Hoopingarner J. Atlas of African rainfall and its interannual variability: Department of Meteorology, the Florida State University, USA, 1988.
- [18] Vicente-Serrano SM, Beguería S, López-Moreno JI, "A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index," *Journal of climate*, vol. 23, no. 7, pp. 1696-1718, 2010.
- [19] Himayoun D, Roshni T, "Spatio-temporal variation of drought characteristics, water resource availability and the relation of drought with large scale climate indices: A case study of Jhelum basin, India," *Quaternary International*, vol. 525, pp. 140-150, 2019.
- [20] Hargreaves GH, Samani ZA, "Reference crop evapotranspiration from temperature," *Applied engineering in agriculture*, vol. 1, no. 2, pp. 96-99, 1985.
- [21] Mora DE, Campozano L, Cisneros F, Wyseure G, Willems P, "Climate changes of hydrometeorological and hydrological extremes in the Paute basin, Ecuadorean Andes," *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 18, no. 2, pp. 631-648, 2014.
- [22] Bamba F, Diabate M, Mahé G, Diarra M, "Bilans hydrologiques pour des affluents majeurs du fleuve Niger: le Bani, le Sankarani, le Tinkisso et le Milo," *Doc Tech Hydrol l'UNESCO*, vol. 16, pp. 65-82, 1997.
- [23] Patuere JE, Servat E, Delattre MO, Lubes-Niel H, "Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique," *Hydrological Sciences Journal*, vol. 43, no. 6, pp. 937-946, 1998.
- [24] Coulibaly N, Coulibaly TJH, Mpakama Z, Savané I, "The impact of climate change on water resource availability in a trans-boundary basin in West Africa: The case of Sassandra," *Hydrology*, vol. 5, no. 1, pp. 1-13, 2018.

- [25] Kouakou KE. Impacts de la variabilité climatique et du changement climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest: Cas du bassin versant de la Comoé: Thèse de l'Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2011.
- [26] Yéo WE. Effects of climate change and human activities on water resources in the Comoe river basin (West Africa). Université Abomey-Cavali cotonou (Republic of Benin), 2017.
- [27] Collins JM, "Temperature variability over Africa," *Journal of climate*, vol. 24, no. 14, pp. 3649-3666, 2011.
- [28] Hoffman MT, Cramer MD, Gillson L, Wallace M, "Pan evaporation and wind run decline in the Cape Floristic Region of South Africa (1974–2005): implications for vegetation responses to climate change," *Climatic Change*, vol. 109, no. 3-4, pp. 437-452, 2011.
- [29] Moron V, "Régionalisation et évolution des précipitations tropicales annuelles (1946-1992)," *Science et changements planétaires/Sécheresse*, vol. 7, no. 1, pp. 25-32, 1996.
- [30] Ahoussi KE, Koffi YB, Kouassi AM, Soro G, Biemi J, "Étude hydrochimique et microbiologique des eaux de source de l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire: Cas du village de Mangouin-Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman)," *Journal of Applied Biosciences*, vol. 63, pp. 4703–4719, 2013.
- [31] Ake GE. Impacts de la variabilité climatique et des pressions anthropiques sur les ressources hydriques de la région de Bonoua (Sud-est de la Côte d'Ivoire): Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2010.
- [32] Goula BTA, Kouadio ZA, Kouakou KE, N'goh YA, N'doume C, Savane I, "Simulation du comportement hydrologique du bassin versant de l'Agneby en Côte d'Ivoire," *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, vol. 13, 2009.
- [33] Kouakou KE, Goula BTA, Savané I, "Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau de surface en zone tropicale humide: Cas du bassin versant transfrontalier de la Comoé (Côte d'Ivoire - Burkina Faso)," *European Journal of Scientific Research*, vol. 16, no. 1, pp. 31-43, 2007.
- [34] Yao AB, Goula BTA, Kouadio ZA, Kouakou KE, Kane A, Sambou S, "Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide: cas du bassin versant de la Lobo au centre-ouest de la Côte d'Ivoire," *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, vol. 19, pp. 136-157, 2012.
- [35] De Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al. Résumé à l'intention des décideurs, *Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. In: GIEC Rds, editor. Genève, Suisse 2013.
- [36] Noblet M, Faye A, Camara I, Seck A, Sadio M, Bah A. Etat des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques pour les secteurs des ressources en eau, de l'agriculture et de la zone côtière au Sénégal. Report produced under the project "Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne". Berlin, Germany 2018. p. 76.
- [37] Mishra VN, Rai PK, Mohan K, "Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using remote sensing: a case study of Muzaffarpur (Bihar), India," *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic", SASA*, vol. 64, no. 1, pp. 111-127, 2014.