

Évaluation de la performance des modèles climatiques régionaux du programme CORDEX-AFRIQUE sur le bassin versant du fleuve Sassandra à Buyo (Ouest de la Côte d'Ivoire)

[Evaluation of the performance of climate models from the CORDEX-AFRICA database on the watershed of the Sassandra River in Buyo (Western Côte d'Ivoire)]

DAOUDA Konaté¹, KOUADIO Zilé Alex¹, COULIBALY Zana Mohamed¹, and DJE Kouakou Bernard¹⁻²

¹Geoscience et environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

²Société d'Exploitation Aéroportuaire, Aéronautique et Maritime (SODEXAM), Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 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: Global and regional climate simulation results often do not accurately reflect changes in climate, hampering their direct applicability. Impact studies using high-resolution data received bias correction for climate variables. This study made it possible to choose and validate regional climate models from the CORDEX-Africa database in order to describe the future climate of the Sassandra River watershed in Buyo (western Côte d'Ivoire). The choice of models was made by the Taylor diagram method associated with the seasonal profile of the models and observations. Thus, the outputs of the selected models were corrected by the Distribution Mapping method (quantile mapping) using the CMhyd tool. At the end the potential future climate changes are assessed by analyzing the changes predicted by the models. The study reveals that the ICHEC, IPSL and NCC models have a good ability to simulate the climate of the basin. The climate simulation shows variations in climate parameters. The RCP 4.5 scenario forecasts rainfall fluctuations of -20.8% to +58.1% by 2030 and from -18.8% to +61.7% by 2050. The RCP 8.5 predict precipitation fluctuations of -19.4% to +43.8% by 2030 and -7.5% to +73.3% by 2050. All models include an increase in temperature under the two scenarios from +1.6 to +4.4°C for RCP 4.5 and from +2.1 to +5°C for RCP 8.5.

KEYWORDS: Climate model, CORDEX-Africa, Climate simulation, Sassandra watershed, Ivory Coast.

RESUME: Les résultats de la simulation du climat mondial et régional ne décrivent souvent pas bien les changements du climat, ce qui entrave leur applicabilité directe. Les études d'impact utilisant des données à grande résolution nécessitent une correction des biais des variables climatiques. Cette étude a permis de choisir et valider des modèles climatiques régionaux depuis la base de données CORDEX-Afrique afin de décrire le climat futur du bassin versant du fleuve Sassandra à Buyo (Ouest de la Côte d'Ivoire). Le choix des modèles a été fait par la méthode du diagramme de Taylor associé au profil saisonnier des modèles et des observations. Ainsi, les sorties des modèles retenus ont été corrigées par la méthode du Distribution Mapping (quantile mapping) à l'aide de l'outil CMhyd. À la fin les changements potentiels du climat futur sont évalués par l'analyse des changements prédites par les modèles. L'étude révèle que les modèles ICHEC, IPSL et NCC ont une bonne aptitude à simuler le climat du bassin. La simulation du climat montre des variations des paramètres climatiques. Le scénario RCP 4.5, prévoit des fluctuations de la pluviométrie de -20,8% à +58,1% à l'horizon 2030 et de -18,8% à +61,7% à l'horizon 2050. Le RCP 8.5 prévoit des fluctuations des précipitations de -19,4% à +43,8% à l'horizon 2030 et de -7,5% à +73,3% à l'horizon 2050. Tous les modèles prévoient une hausse de la température selon les deux scénarios de +1.6 à +4,4°C pour le RCP 4.5 et de +2,1 à +5°C pour le RCP 8.5.

MOTS-CLEFS: Modèle climatique, CORDEX-Afrique, Simulation climatique, Bassin versant Sassandra, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Depuis des décennies les questions de changement et de variabilité climatiques sont placées au centre des préoccupations scientifiques, en raison de leurs impacts immédiats et durables sur le milieu naturel et sur l'homme [1]. Les recherches effectuées ont pu mettre en évidence les sources des changements du climat. Les impacts du changement climatique sont rependus et sont principalement la résultante d'activités naturelles et anthropiques interdépendantes qui influencent les phénomènes naturels dans l'atmosphère et l'écologie océanique, présentant des conséquences diverses sur les conditions climatiques et leur répartition dans le monde [2]. Le climat global étant conditionné par de nombreux facteurs tels que la surface terrestre, les calottes glaciaires polaires et le soleil, entre autres, la création de bases de données exploitables permettant la simulation des conditions complexes du climat constitue une priorité [3]. De ce fait, les modèles climatiques jouent un rôle important dans les études sur le changement global.

Cependant, de nombreuses difficultés sont rencontrées par les modèles climatiques à simuler le climat à une résolution plus fine pour les applications locales [4]. Selon [5], la réduction d'échelle est une alternative pour évaluer la variabilité du climat au niveau local. Les recherches de [6] montrent que les sorties des modèles climatiques globaux présentent une résolution spatiale grossière qui entrave la capacité à les utiliser dans leur état brut. Par conséquent, la réduction d'échelle devient très importante dans la mesure où ces données atmosphériques et météorologiques pourraient être exploitées dans un format plus fin capable d'améliorer la qualité des simulations hydrologiques [3]. Malheureusement, très peu d'études de réduction d'échelle et de correction des biais sur le continent Africain existent malgré sa forte vulnérabilité au changement climatique mondial en raison de sa faible capacité d'adaptation et de sa résilience [7]. Également, peu d'informations relatives aux effets du changement climatique sur les ressources en eau dans les pays d'Afrique subsaharienne existent [8], bien qu'il y ait une augmentation significative des recherches sur la modélisation du changement climatique ces dernières années [9]. Les précédentes études sur le bassin ont concerné l'évaluation de la variabilité hydro climatique sur le bassin [10], l'impacts des changements climatiques sur le bassin [11], mais très peu études sur la correction de biais [12]. La situation géographique du bassin versant de Sassandra lui confère une position stratégique et importante dans l'économie de la Côte d'Ivoire car disposant de deux barrages de production de l'énergie hydroélectrique. C'est une zone de transition entre différents climats, traduisant ainsi une variabilité des précipitations (intensité et nombre de jour). Aussi, les questions relatives à la disponibilité et à la gestion de l'eau sont d'une importance capitale. La réponse à ces questions réside dans les mesures d'adaptation à prendre dans les décennies à venir pour faire face aux conséquences des changements climatiques. Il est dès lors, primordial pour les décideurs et gestionnaires de quantifier le devenir de la ressource en eau et de sa variabilité temporelle et spatiale. À cet effet, l'utilisation de modèles climatiques régionaux développés par les grands centres de recherche climatologiques serait nécessaire. Malheureusement, il existe beaucoup de contraintes quant au choix et la validation des modèles climatiques dans une zone quelconque. Ce travail se propose d'analyser les performances des modèles climatiques régionaux et de valider les plus performantes en utilisant la base de données du programme CORDEX-Afrique sur le bassin versant du fleuve Sassandra dans l'Ouest de la Côte d'Ivoire.

2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le fleuve Sassandra prend sa source dans la région de Beyla en Guinée (Figure 1) sous le nom de Feroudougouba. Son bassin versant couvre une superficie d'environ 75 000 km² à la mer [13]. La portion guinéenne du bassin a une superficie d'environ 8 000 km². La partie ivoirienne du bassin versant ayant pour exutoire le barrage hydroélectrique de Buyo a une superficie de 39 980 km². Elle est comprise entre les longitudes Ouest de coordonnées 6°50' et 8°20' et les latitudes Nord de coordonnées 6°15' et 9°50'.

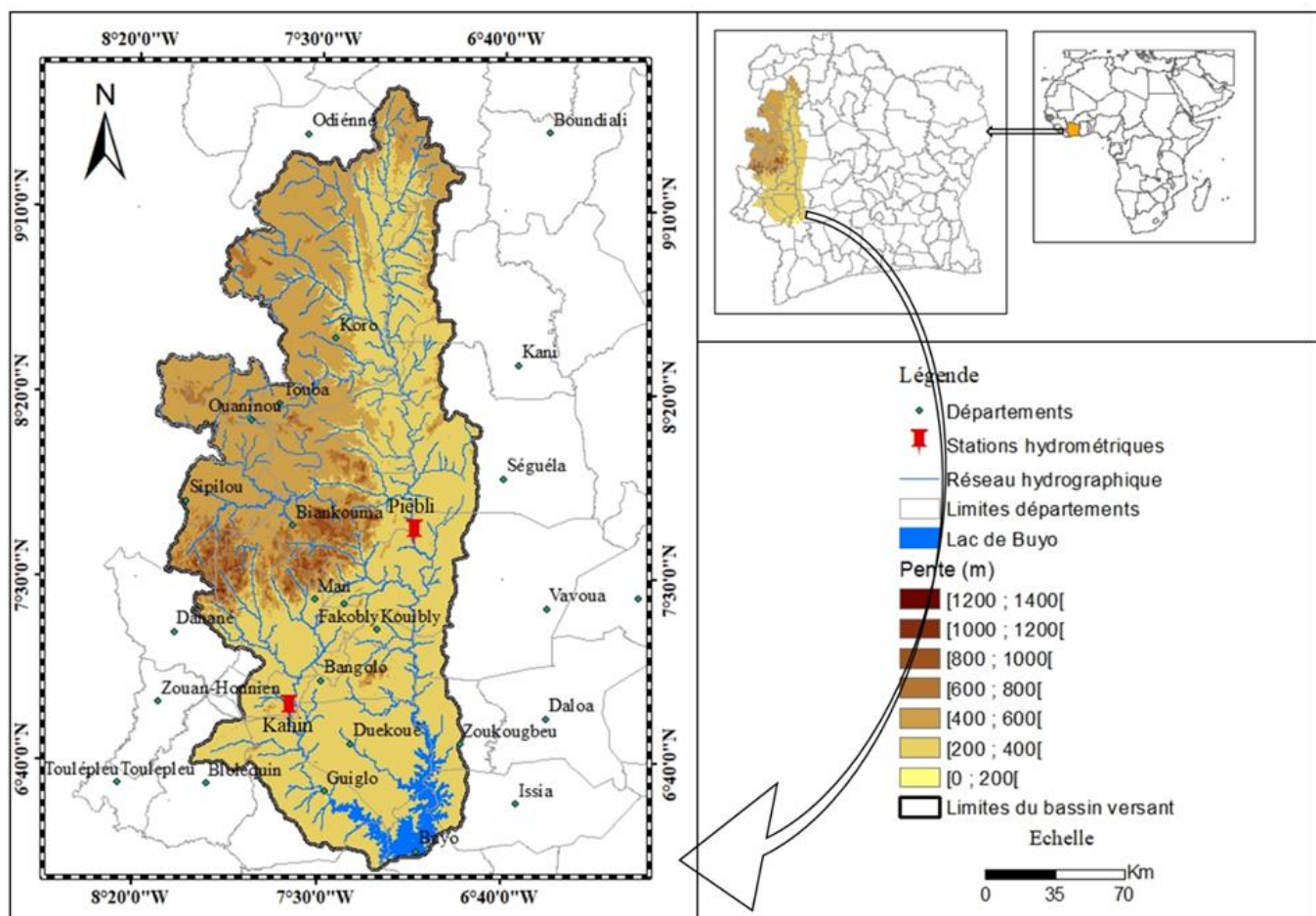


Fig. 1. Bassin versant du fleuve Sassandra à Buyo

Le bassin est parcouru par trois régimes climatiques (Figure 2): le climat tropical de transition atténué (I), le climat de montagne (II) et le climat équatorial de transition atténué (III). La température moyenne annuelle dans le sud du bassin de Sassandra est de 25° C, alors que dans le nord, elle est de 26°C. Les sols du bassin versant sont généralement accompagnés par le complexe de sols podzoliques rattachés à la basse Côte d'Ivoire [14]. L'ensemble du bassin est sur le socle ancien (formation du précambrien inférieur et moyen) et dispose de quelques pointements de dolérites et de basaltes datés du primaire [15]. Le relief du bassin est monotone résultant essentiellement de l'érosion des chaînes montagneuses ayant évoluées en pénéplaine. Les altitudes diminuent de manière graduelle de 500 m au nord à moins de 50 m au Sud [11]. La végétation du bassin peut être subdivisée en deux domaines caractérisés par des groupements végétaux particuliers répondant à des conditions écologiques différentes: le domaine soudanais et le domaine guinéen. Le domaine soudanais comprend des formations forestières et savaniques juxtaposés dans la haute Côte d'Ivoire. Du sud vers le nord, le domaine guinéen est couvert de savanes de basse côte, de forêt ombrophile, de forêt mésophile et de forêt montagnard [16]. Sur l'ensemble du bassin, au total douze barrages ayant différents usages ont été construits. Avant la mise en service du barrage hydro-électrique de Buyo en 1981, 74 % de la superficie de l'espace Buyo étaient couverts de forêts denses dont moins de 25 % étaient à peine effleurés par les activités humaines. Aujourd'hui, la forêt de la région de Buyo a perdu 90 % de ses ressources végétales et animales après la mise à l'eau du barrage hydro-électrique de Buyo.

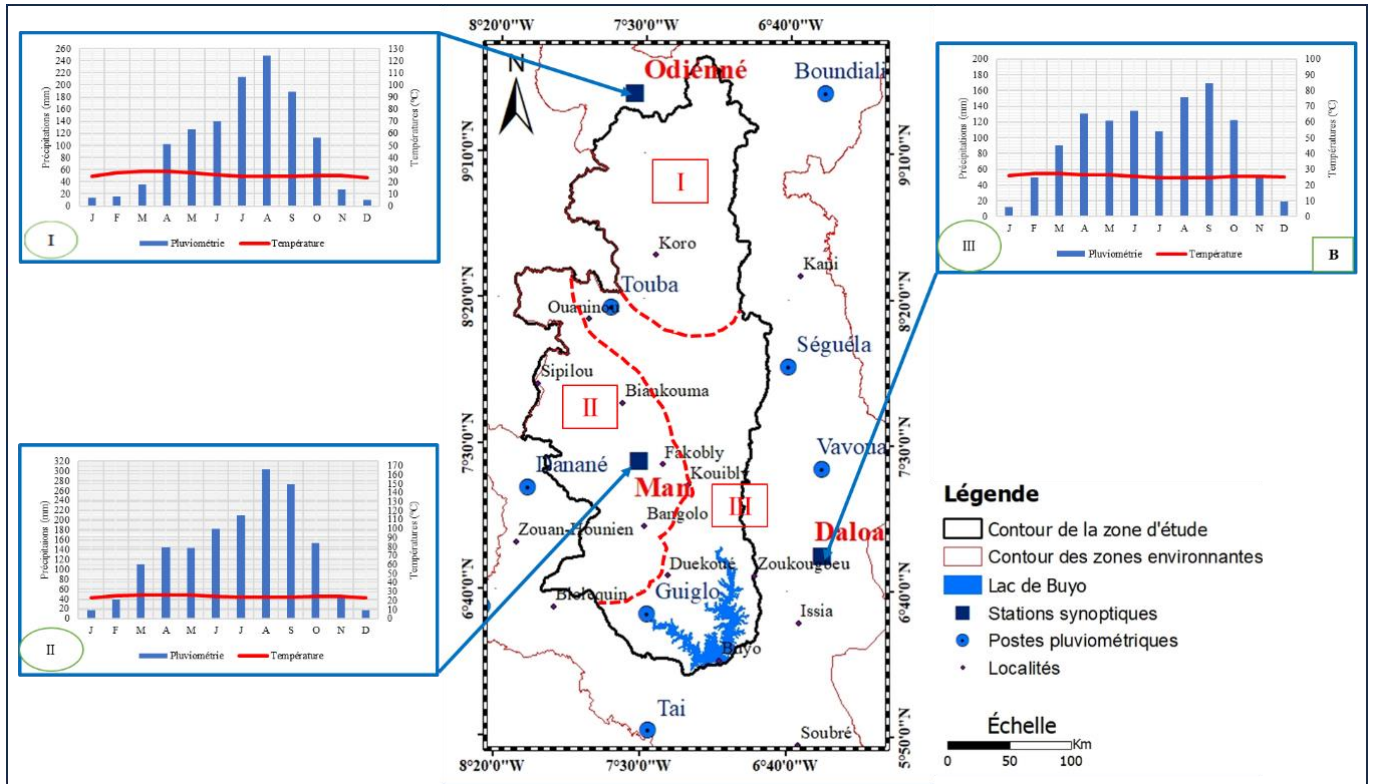


Fig. 2. Carte des zones climatiques du bassin versant du Sassandra à Buyo

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 MATÉRIEL

Le matériel utilisé se compose de logiciels, de données climatiques observées et de sorties de modèles climatiques régionaux au pas de temps journalier.

Les données observées de précipitations et de températures maximales et minimales, disponibles sur la période 1971-2020 proviennent des stations de Daloa, Man et Odienné acquises auprès de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Les données de sortie de modèles régionaux utilisées couvrent la période 1981-2005 et proviennent de la plateforme CORDEX. Le tableau I décrit les modèles et leurs pays d'appartenance.

Comme logiciel, l'outil CMHyd (Climat Model data for Hydrological modelling), est utilisé pour l'extraction et la correction des sorties de modèles climatiques.

Tableau 1. Caractéristiques des modèles CORDEX-Afrique utilisés

Modèles	Institut	Pays
RCA4 (CCCma-CanAM4)	CCCma	Canada
RCA4 (CNRM-CM5)	CNRM	Français
RCA4 (CSIRO-QCCCE)	CSIRO-QCCCE	USA
RCA4 (ICHEC-EC-EARTH)	ICHEC	Irlande
RCA4 (IPSL-IPSL-CM5A-MR)	IPSL	Français
RCA4 (MIROC-MIROC5)	MIROC	Japon
RCA4 (MOHC-HadGEM2-ES)	MOHC	Brésil
RCA4 (MPI-M-MPI-ESM-LR)	MPI-M	Allemagne
RCA4 (NCC-NorESM1-M)	NCC	Norvège
RCA4 (NOAA-GFDL-ESM2M)	NOAA-GFDL	USA

3.2 MÉTHODES

3.2.1 CHOIX DES MODÈLES CLIMATIQUES

DIAGRAMME DE TAYLOR

L'étape initiale de l'utilisation des modèles climatiques pour l'évaluation des impacts du changement climatique est de vérifier leur aptitude à reproduire le climat de la zone d'étude [17]. À cet effet, le diagramme de Taylor est utilisé. C'est un digramme bidimensionnel qui permet de déterminer le lien entre les données observées et simulées à partir de trois paramètres statistiques: la corrélation (R), l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et l'écart type. Le digramme de Taylor fournit un résumé statistique concis des relations entre les données simulées par les modèles et celles observées en termes de:

- Leur corrélation (R) qui permet de déterminer le pouvoir de prédiction des modèles en comparant les valeurs prédites et celles observées;

$$R = \frac{Cov(O_i, S_i)}{\delta O_i \times \delta S_i} \quad (1)$$

Avec $Cov(,)$: covariance des valeurs observées et simulées;

δO_i et δS_i : écarts types des valeurs observées et simulées.

- Leur Root Mean Square Error (RMSE). Le RMSE permet de quantifier la différence entre la simulation et l'observation;

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{N}} \quad (2)$$

Avec S_i et O_i correspondant respectivement aux valeurs simulées et observées de la variable;

N désigne le nombre de couple de données à comparer.

- Et de leur erreur absolue moyen ou AAE (Average Absolut Error);

$$AAE = \frac{\sum_{i=1}^n |S_i - O_i|}{N} \quad (3)$$

Avec S_i et O_i désignant respectivement les valeurs simulées et observées de la variable;

N désigne le nombre de couple de données à comparer.

Les résultats des simulations sont considérés comme fiables lorsque le R est proche de 1, le RMSE et l'AAE ayant des valeurs faibles (avoisante zéro). En d'autres termes, plus R est élevé, RMSE et le rapport des écarts types entre le modèle et l'observation sont faibles, plus le modèle reproduit mieux le régime saisonnier du paramètre climatique.

COMPARAISON DES RÉGIMES SAISONNIERS DE TEMPÉRATURES ET DE PRÉCIPITATIONS OBSERVÉS ET CEUX DES SORTIES DES MODÈLES

Le régime saisonnier de la température moyenne et des précipitations est représenté sur la période 1981-2005. Pour chaque paramètre, le même graphique est représenté portant sur le régime saisonnier des 10 modèles climatiques régionaux et celui de l'observation dans l'optique de choisir celui qui reproduit au mieux la variabilité saisonnière de l'observation.

3.2.2 CORRECTION DES SORTIES DE MODÈLES

Les données de sortie de modèle climatique sont généralement biaisées. Ainsi, avant de les utiliser, elles sont corrigées. Ces données ont été corrigées à l'aide de l'outil CMhyd. Cet outil dispose de huit méthodes de correction de biais différentes, notamment la méthode du linear scaling (multiplicative and additive), la méthode du delta change correction (multiplicative and additive), la méthode du precipitation local intensity scaling, la méthode du power transformation of precipitation, la méthode du variance scaling of temperature, et la méthode du distribution mapping of precipitation and temperature.

Pour cette étude, la méthode de distribution mapping of precipitation and temperature a été utilisée. [18] ont noté la cartographie de distribution comme étant la plus performante après avoir utilisé cinq méthodes de correction des biais. Cette méthode de correction de biais corrige la fonction de distribution des valeurs simulées pour se conformer à la fonction de distribution observée [19]. L'occurrence de la distribution des précipitations et de la température a été décalée à l'aide de la fonction de transfert des données simulées de la MCR basé sur la valeur moyenne mensuelle [18]. Pour les événements de précipitations, la distribution Gamma développée par [20] avec des paramètres de forme de "α" et "β" ont été retenus comme étant plus appropriés. La distribution Gamma a été utilisée dans plusieurs études [21] et s'est avéré plus adapté aux études d'analyse des précipitations. Le modèle peut être représenté mathématiquement par:

$$f_Y(x|\alpha, \beta) = x^{\alpha-1} \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-\frac{x}{\beta}}; \quad (4)$$

où Γ est la fonction Gamma; et α et β sont respectivement les paramètres de forme et d'échelle. La distribution gaussienne avec le paramètre "μ" et paramètre d'échelle "σ" s'est avéré être le meilleur ajustement pour les événements de température. Ceci a été confirmé par plusieurs études en utilisant la distribution [22].

3.2.3 ESTIMATION DES CHANGEMENTS FUTURS

Pour mieux comprendre les changements futurs du climat, la quantification des variations futures du cumul annuel des précipitations et des températures moyennes annuelles a été faite au niveau de chaque station et cela pour les deux scénarii de changement climatique (RCP 4.5 et RCP 8.5). Les déviations du cumul annuel des précipitations ont été standardisées par rapport à la moyenne de la période de contrôle (1981-2005) et sont exprimées en pourcentage pour la pluviométrie et en degrés Celsius pour la température. La formule appliquée est la suivante:

Pour la pluviométrie:

$$\text{Déviation}_i = \frac{\text{Cum}_i - \text{Cum}_{\text{CTRL}}}{\text{Cum}_{\text{CTRL}}} * 100 \quad (5)$$

Avec Cum_i: cumul annuel des précipitations de l'année i;

Cum_{CTRL}: cumul annuel moyen des précipitations sur la période de contrôle (1981-2005).

Pour les températures moyennes annuelles, la formule suivante a été appliquée:

$$\text{Déviation}_i = T_{\text{moy } i} - T_{\text{moy CTRL}} \quad (6)$$

Avec T_{moy i}: température moyenne annuelle de l'année i;

Ces déviations représentent la diminution ou l'augmentation relative des précipitations ou des températures annuelles pour le futur (horizon 2030 et 2050) comparées à la période de référence 1981-2005.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 RÉSULTATS

4.1.1 CHOIX DES MODÈLES

- **Diagramme de Taylor**

La comparaison statistique de la distribution intra-saisonnière du cumul des précipitations simulées par les modèles aux observations à la station d'Odiénné montre une très grande variabilité (Figure 3). Néanmoins, les modèles climatiques IPSL et NCC ont montré une corrélation (R) d'au moins de 0,98 avec les observations et un écart type de 1,1. Au niveau de la station de Daloa les modèles climatiques ICHEC et NCC ont une corrélation (R) supérieure à 0,96 avec les précipitations observées et une erreur absolue de simulation de moins de 1,2 par rapport aux observations. Pour la station de Man, les modèles climatiques IPSL et NCC ont montré les meilleures performances à simuler les précipitations. Le coefficient de corrélation est égal à 0,96. Les deux modèles présentent une erreur absolue de simulation de moins de 0,5 par rapport aux précipitations observées.

Concernant les températures (Figure 4), à Odiénné, tous les 10 modèles sont assez bien corrélés avec les observations ($0,7 \leq R \leq 0,99$). Les modèles NCC, et ICHEC ont montré les plus fortes corrélations avec les températures observées avec $R > 0,97$. De plus, ces MCRs présentent un écart type compris entre 0,7 à 0,85 par rapport aux observations. En outre, pour les températures à Daloa, les 10 modèles sont assez bien corrélés aux observations avec R supérieure à 0,79 néanmoins, une forte déviation est observée par rapport aux observations (écart type $\geq 0,89$). À la station de Man, les modèles ne sont assez bien corrélés avec les températures observées ($0,1 \leq R \leq 0,85$) mais présentent un bon écart type entre les températures simulées et observées. On note un écart-type compris entre 0,5 et 1,2

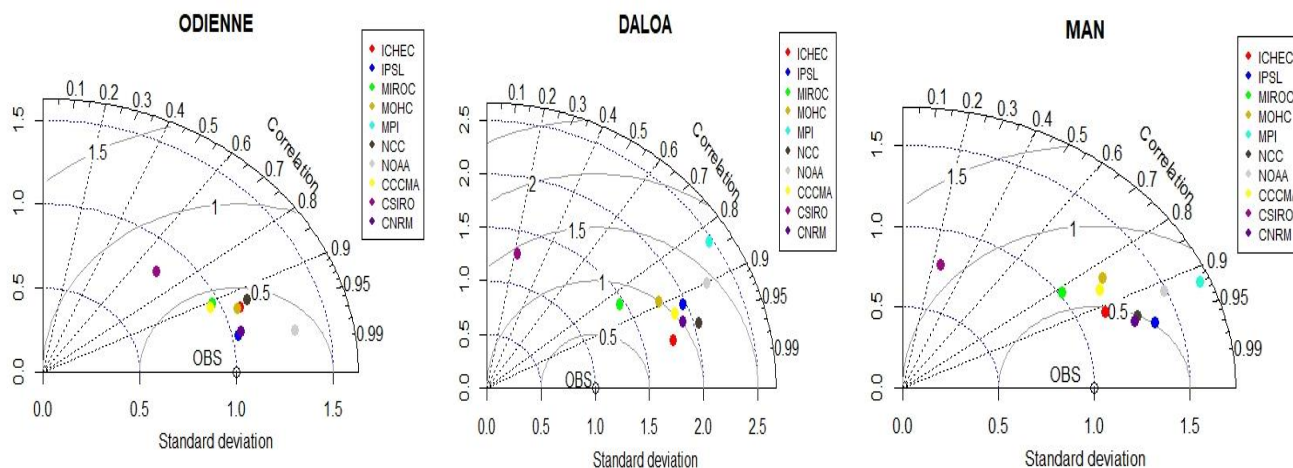


Fig. 3. Diagramme de Taylor des séries mensuelles de la pluviométrie

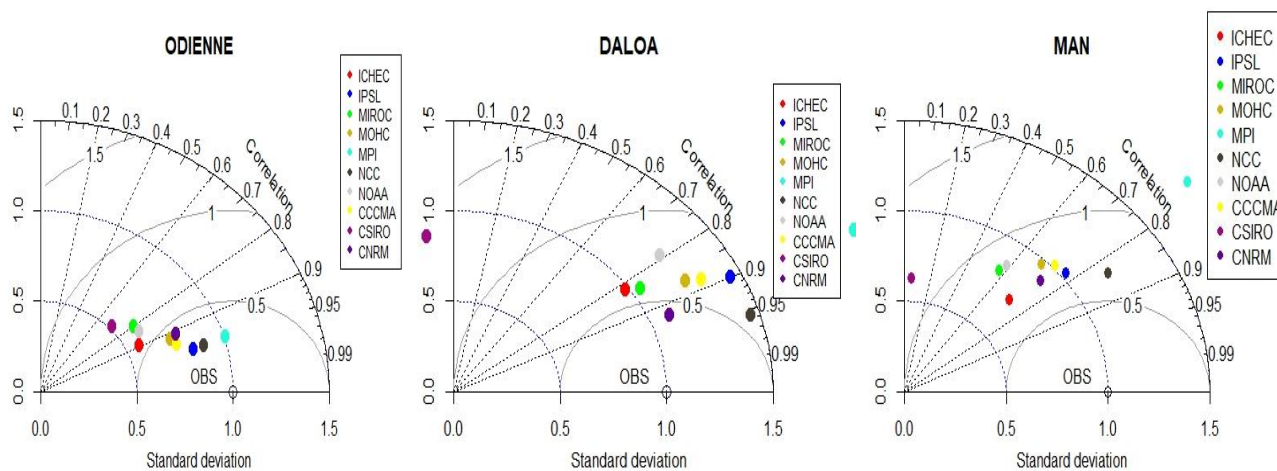


Fig. 4. Diagramme de Taylor des séries mensuelles des températures

• Cycle saisonnier des précipitations et des températures

L'étude du cycle saisonnier des précipitations (Figures 5) montre que le régime pluviométrique est mieux représenté à Odiénné et à Man par les modèles NCC, IPSL, même s'ils surestiment les précipitations. Les modèles NCC et ICHEC représentent mieux la pluviométrie de Daloa.

La figure 6 indique que tous les modèles reproduisent assez bien le régime saisonnier de la température dans les stations du bassin versant comparés à l'observation.

De l'analyse de cette figure, il est constaté que les modèles simulent bien la tendance des observations même s'il y a des biais. Seuls les modèles IPSL et NCC s'approchent le plus des températures moyennes mensuelles observées à Odiénné et à Man. Par ailleurs, à Daloa se sont les modèles ICHEC et NCC qui simulent bien le cycle saisonnier.

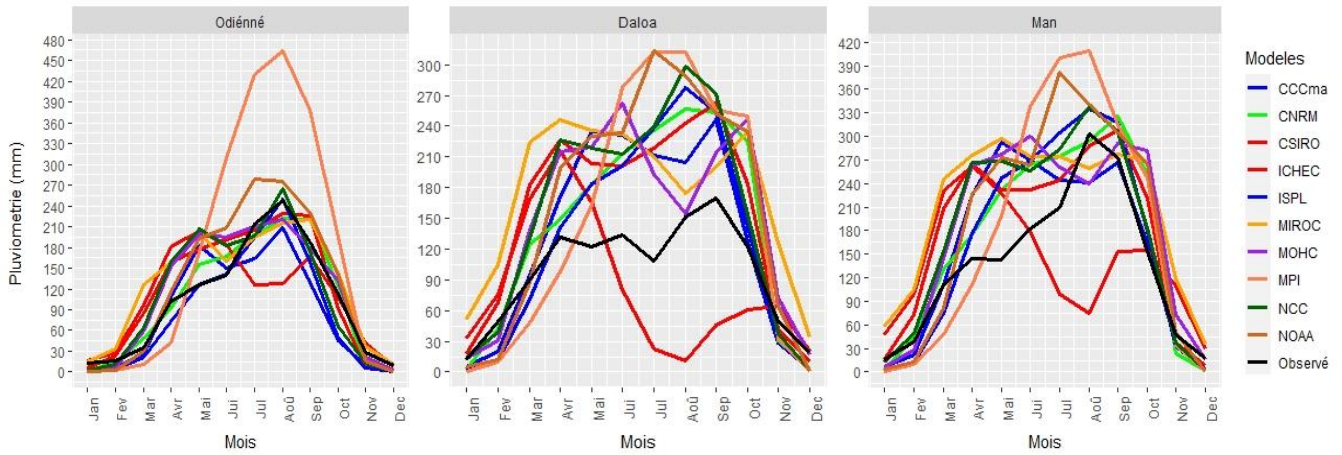


Fig. 5. Cycle saisonnier des précipitations moyennes mensuelles des 10 RCMs

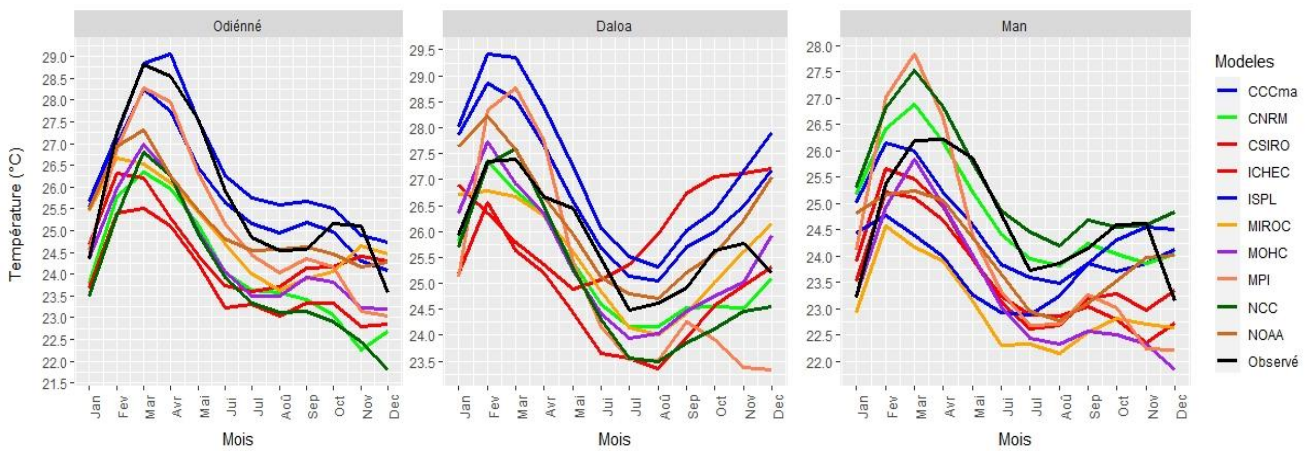


Fig. 6. Cycle saisonnier des températures moyennes mensuelles des 10 RCMs

4.1.2 PARAMÉTRAGE DES MODÈLES

Une fois les modèles choisis, il est procédé au calcul des déviations entre les paramètres de la période de contrôle (1981-2005) et les paramètres simulés du futur pour les deux scénarii. Cette déviation exprimée permet d’apprécier l’évolution de la température et de la pluie dans le futur par rapport à la période de contrôle.

- Précipitations

Au niveau des précipitations, le régime saisonnier (Figures 7) confirme que les modèles IPSL et NCC reproduisent mieux le climat d’Odiénné et de Man même si des biais des précipitations sont observés au niveau de ces modèles. À Daloa, les modèles ICHEC et NCC reproduisent mieux le cycle saisonnier de pluie. Il faut tout de même remarquer des écarts (surestimation).

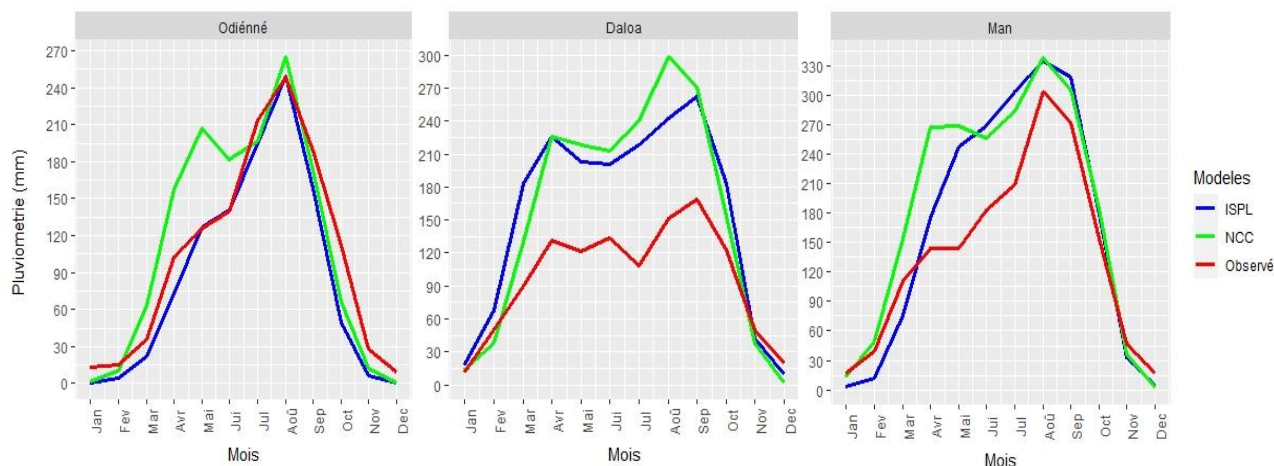


Fig. 7. Cycle saisonnier des précipitations moyennes mensuelles des modèles retenus et de l'observée

• **Températures**

Au niveau des températures (Figure 8), les deux modèles détectent bien les pics au cours de l'année, mais sont décalés d'un mois par rapport à l'observation au niveau de chaque station et avec tous les modèles.

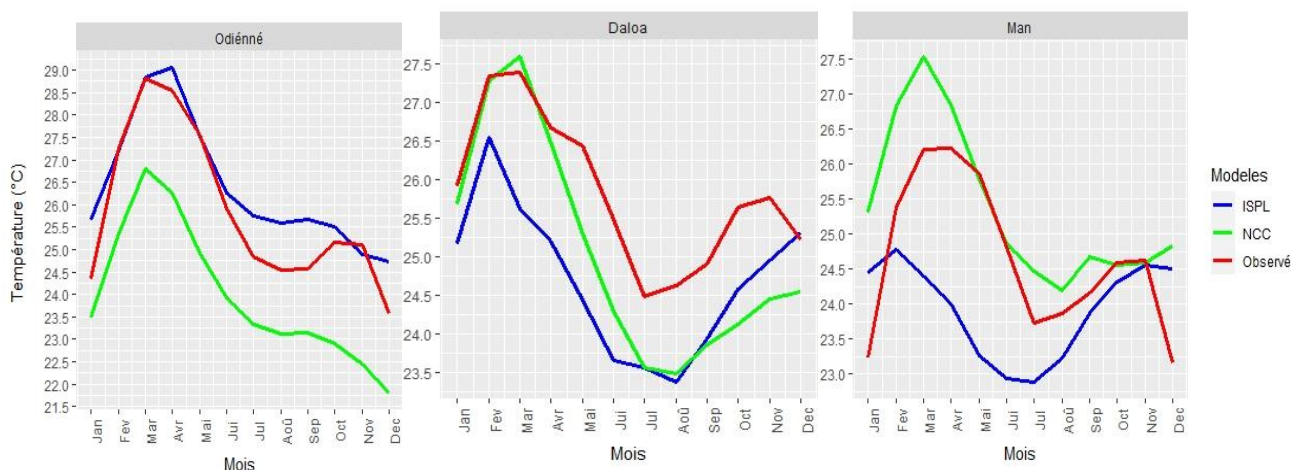


Fig. 8. Cycle saisonnier des températures moyennes mensuelles des modèles retenus et de l'observée

L'analyse croisée du cycle saisonnier et du diagramme de Taylor des différents paramètres a permis de retenir les modèles contenus dans le tableau II.

Tableau 2. MCRs choisis au niveau de chaque zone climatique

Stations	MCRs Choisis	Types de stations
Daloa	ICHEC, NCC	Synoptique
Man	IPSL, NCC	Synoptique
Odiénné	IPSL, NCC	Synoptique

4.1.3 CORRECTION DES SORTIES DES MODÈLES CLIMATIQUES

Les figures 9 et 10 ont montré qu'après l'application de la correction du biais par la méthode de distribution mapping of precipitation and temperature, les écarts dans les modèles ont été efficacement atténués. La correction du biais de

cartographie de distribution a pu améliorer de manière significative les sorties des pluies, des températures maximales et minimales. Cependant, de légers écarts dans les données entre valeurs corrigées et observées sont apercevables.

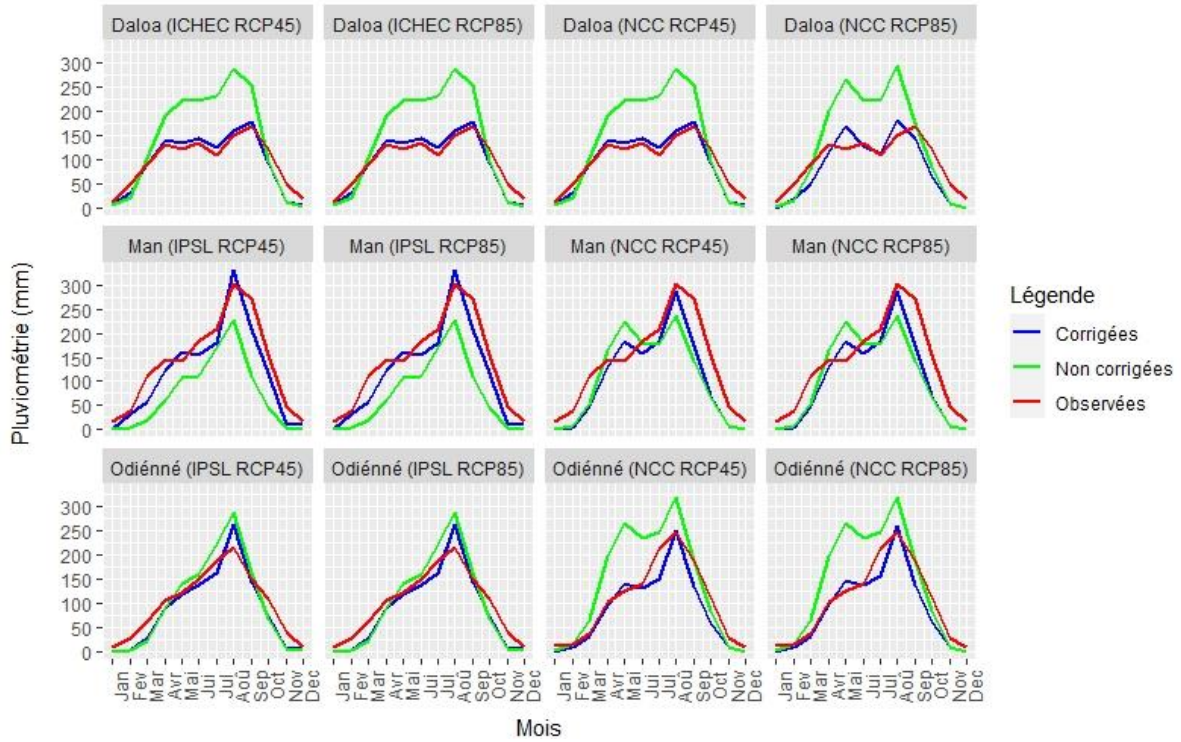


Fig. 9. Sorties de pluie corrigées par la méthode du Distribution Mapping (quantile mapping)

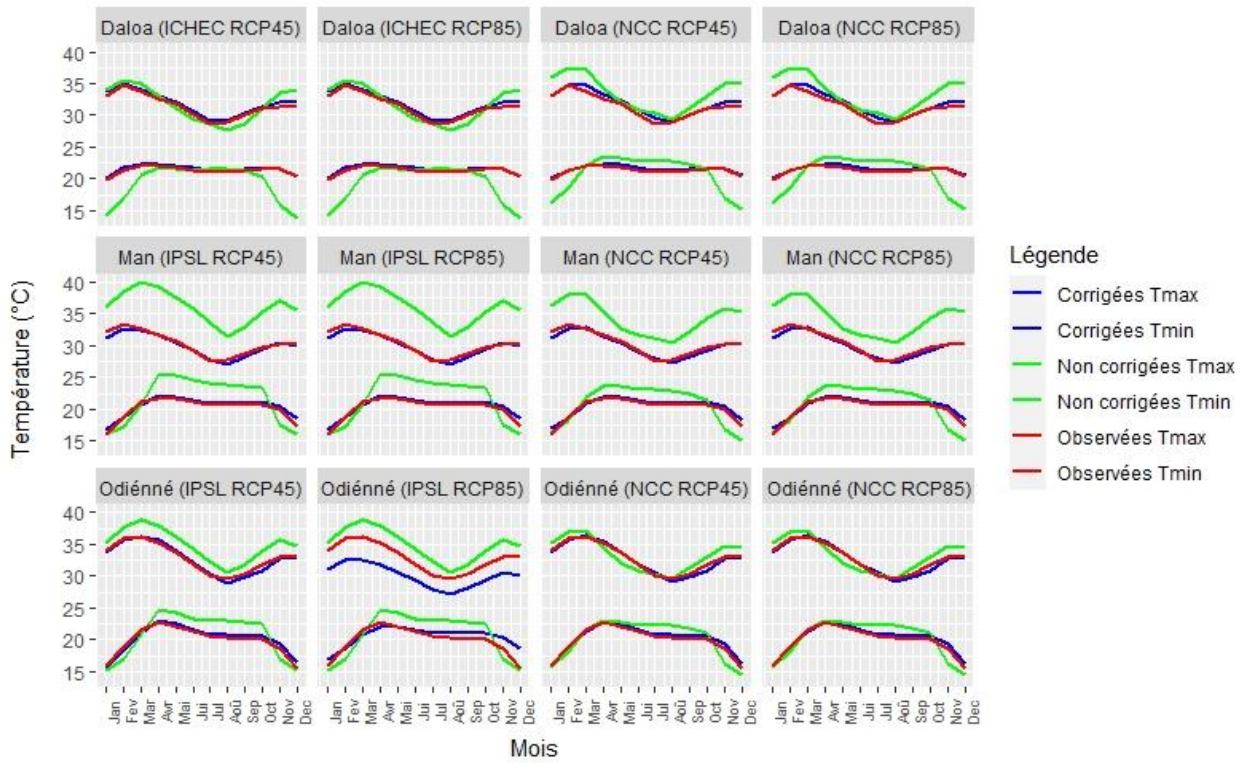


Fig. 10. Sorties des températures corrigées par la méthode du Distribution Mapping (quantile mapping)

4.1.4 ANALYSE DES CHANGEMENTS FUTURS

4.1.4.1 SELON LE SCÉNARIO RCP 4.5

▪ Précipitations (Figure 11)

À la station de Daloa, les modèles ICHEC prévoit une baisse de 2,4%, par contre, me modèle NCC prévoit une hausse de 4,2% à l'horizon 2030. À l'horizon 2050, ces modèles prévoient des hausses de 4.6% pour le modèle ICHEC et de 12% pour le modèle NCC.

À la station de Man, les modèles IPSL et NCC prévoient respectivement des baisses de 20,8% et de 11% à l'horizon 2030. À l'horizon 2050, ces modèles prévoient des baisses de 18,8% et de 11,4%.

À la station de Odiénné, le modèle IPSL prévoit une hausse de 40,5% alors que le modèle NCC prévoit une hausse de 59,1% à l'horizon 2030. À l'horizon 2050, c'est une hausse de 36,3% qui sera observée par le modèle IPSL et une hausse de 61,7% par le modèle NCC.

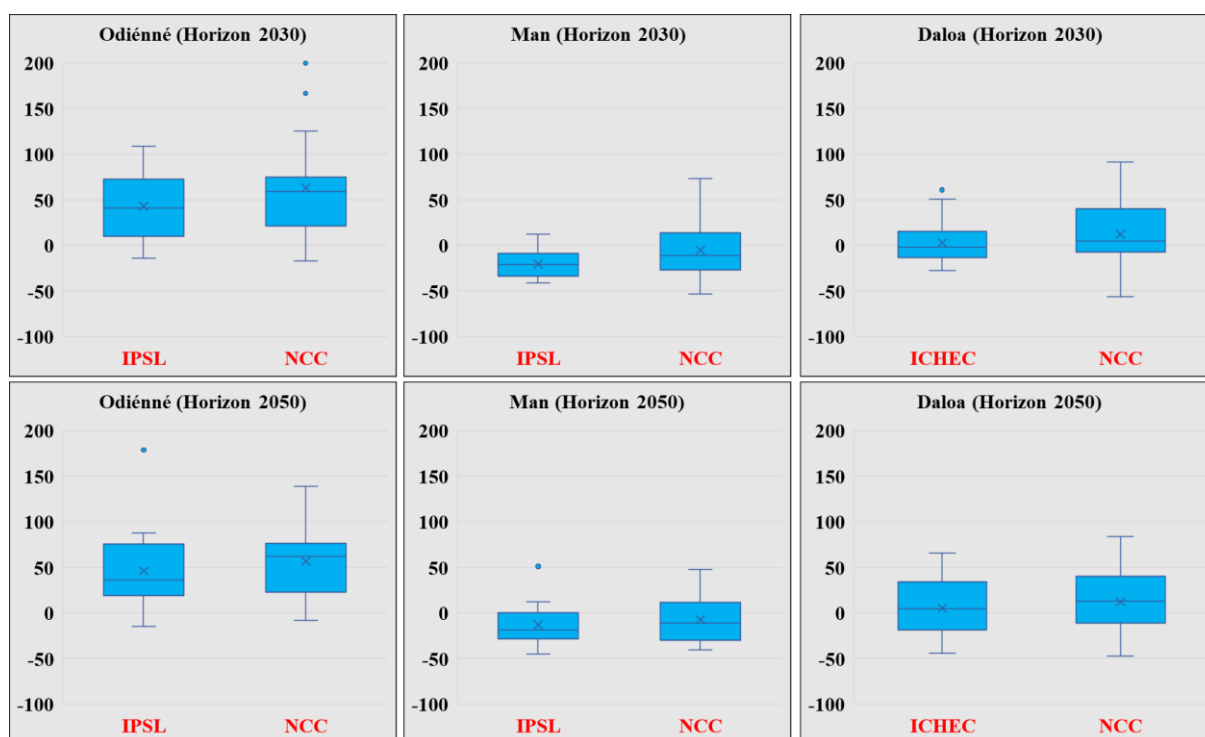


Fig. 11. Variation du cumul annuel des précipitations

▪ Températures (Figure 12)

À la station de Daloa, les modèles ICHEC et NCC prévoient respectivement des hausses de 3°C et de 3,7°C à l'horizon 2030. À l'horizon 2050, ces modèles prévoient des hausses de 3,7°C et de 4,4°C.

À la station de Man, les modèles IPSL et NCC prévoient respectivement des hausses de 1,6°C et de 3,1°C à l'horizon 2030. À l'horizon 2050, ces modèles prévoient des hausses de 2,3°C et de 3,6°C.

À la station de Odiénné, les modèles IPSL et NCC prévoient respectivement des hausses de 2°C et de 2,7°C à l'horizon 2030. À l'horizon 2050, ces modèles prévoient des hausses de 2,6°C et de 3,2°C.

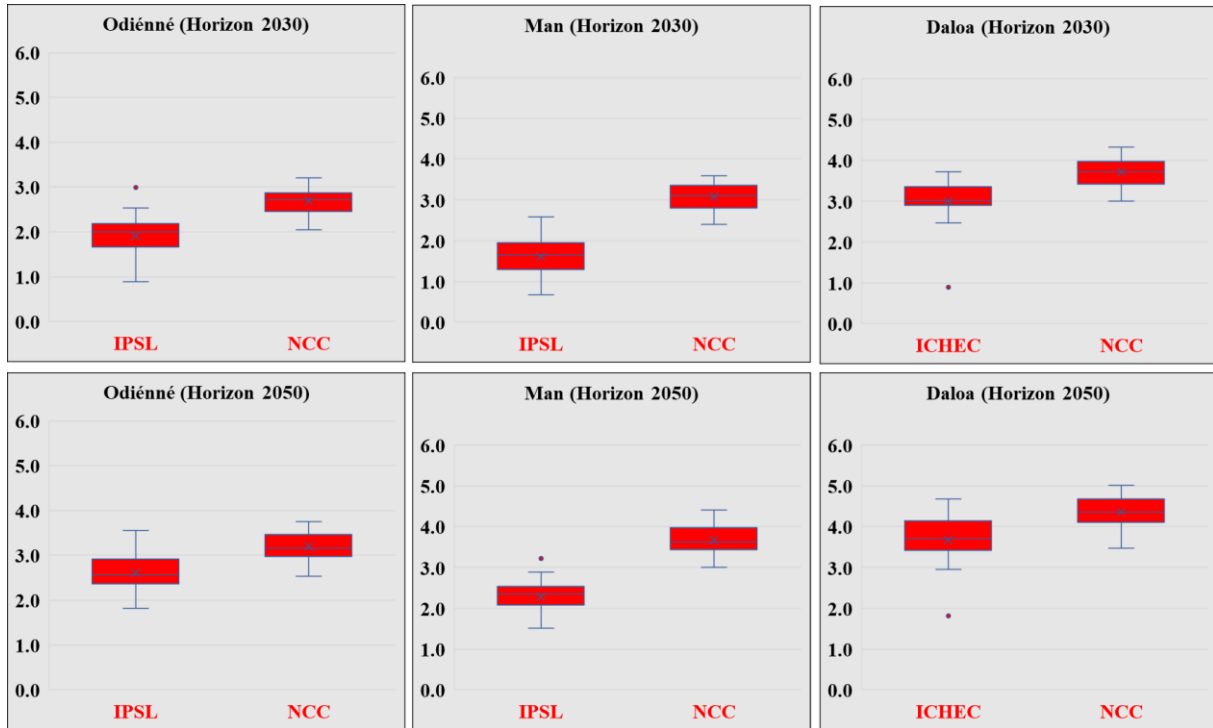


Fig. 12. Variation des températures moyennes annuelles

4.1.4.2 SELON LE SCÉNARIO RCP 8.5

▪ Précipitations (Figure 13)

À la station de Daloa, tous les deux modèles sont unanimes sur les hausses de précipitations. Les deux modèles ICHEC et NCC prévoient respectivement des hausses de 4,2% et de 1,4% à l’horizon 2030. À l’horizon 2050, ces modèles prévoient des hausses de 17.2% et de 36,9%.

À la station de Man, les modèles IPSL et NCC prévoient respectivement des baisses de 19,4% et de 13,2% à l’horizon 2030. À l’horizon 2050, ces modèles ne sont pas unanimes sur la hausse ou la baisse des précipitations. En effet, le modèle IPSL prévoit une baisse de 7,5% par contre, le modèle NCC prévoit une hausse de 17%.

À la station de Odienné, les deux modèles ne sont pas unanimes sur les précipitations attendues à l’horizon 2030. Le modèle IPSL prévoit une hausse de 43,8% alors que le modèle NCC prévoit une baisse de 17,4%. À l’horizon 2050, c’est une hausse de 53,5% qui sera observée par le modèle IPSL et une hausse de 73,3% par le modèle NCC.

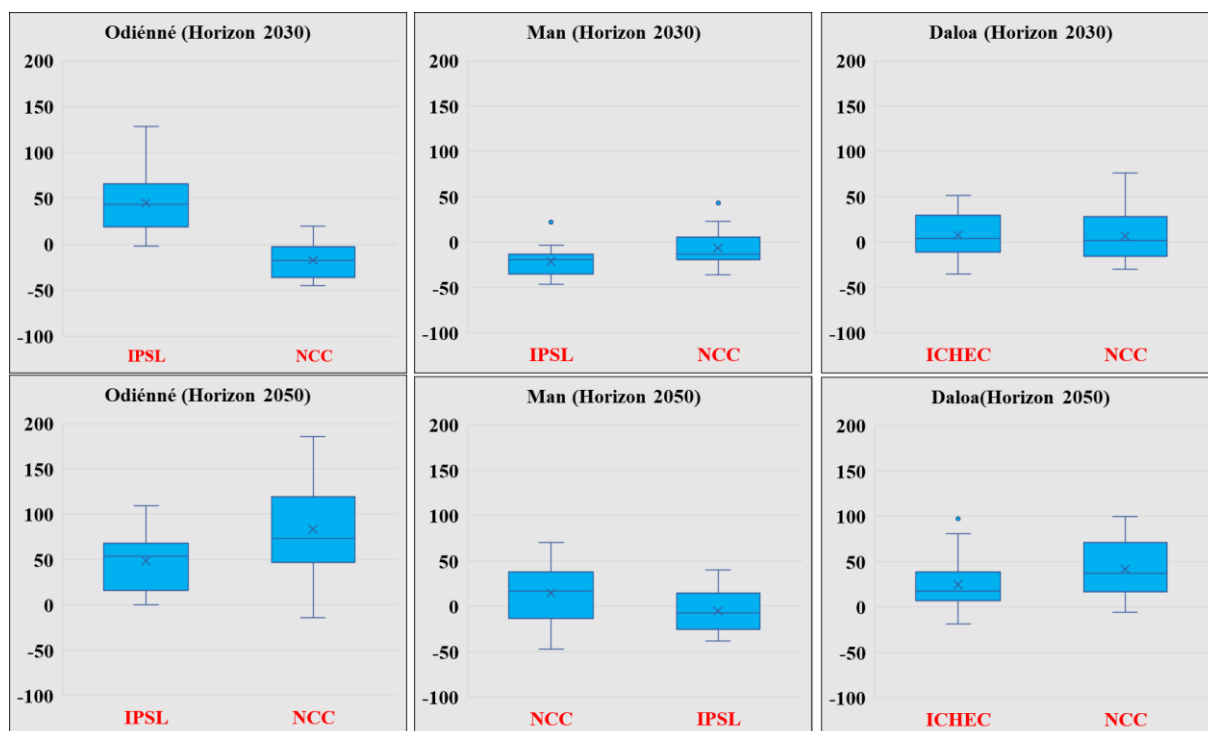


Fig. 13. Variation du cumul annuel des précipitations

▪ **Températures (Figure14)**

À la station de Daloa, les modèles ICHEC et NCC prévoient respectivement des hausses de 3,4°C et de 4,6°C à l'horizon 2030. À l'horizon 2050, ces modèles prévoient des hausses de 4,4°C et de 5°C.

À la station de Man, les modèles IPSL et NCC prévoient respectivement des hausses de 1,8°C et de 3,7°C à l'horizon 2030. À l'horizon 2050, ces modèles prévoient des hausses de 4,1°C et de 3,2°C.

À la station de Odiénné, les modèles IPSL et NCC prévoient respectivement des hausses de 2,1°C et de 2,2°C à l'horizon 2030. À l'horizon 2050, ces modèles prévoient des hausses de 3,3°C et de 4°C.

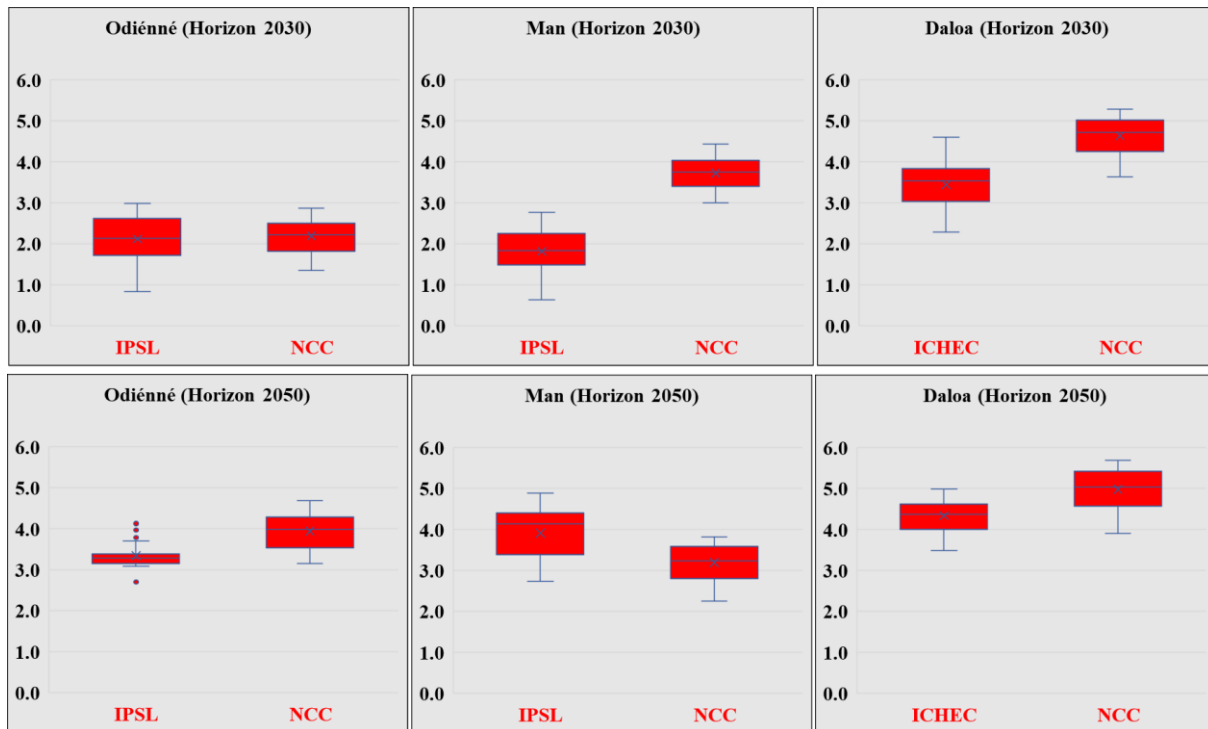


Fig. 14. Variation des températures moyennes annuelles

5 DISCUSSION

La méthode de correction des biais a permis d'éliminer les erreurs des modèles lors des simulations. Des incertitudes ont été observées. De telles incertitudes ont déjà été observées dans d'autres études comme celles de [18] dans le cas de la méthode de correction du biais de puissance a amélioré les statistiques de variabilité alors qu'elle s'est avérée mal ajuster la probabilité, et en même temps, la méthode de correction du biais de mise à l'échelle linéaire a pu éliminer efficacement le biais dans les précipitations moyennes [18]. Par conséquent, toutes les autres méthodes de correction du biais telles que la méthode du precipitation local intensity scaling, la méthode du power transformation of precipitation et la méthode Distribution Mapping (quantile mapping) ont montré leurs avantages respectifs, mais également des incertitudes dans la correction du biais des séries chronologiques de précipitations et de températures. Néanmoins, les résultats de cette étude ont montré la nécessité d'appliquer une correction de biais aux ensembles de données brutes des MCR avant de les déployer pour toute évaluation de l'impact du changement climatique. Pour l'application d'une correction de biais pour des études dans le domaine de l'hydrologie, [23] ont montré que la méthode du Distribution Mapping (quantile mapping) surpasse la méthode du precipitation local intensity scaling et la méthode du linear scaling (multiplicative and additive). Elle est de ce fait, la plus appropriée pour l'évaluation de l'impact du changement climatique sur l'hydrologie du bassin versant. Également, pour quantifier les impacts du changement climatique sur la dynamique des débits, [18] ont montré que la méthode du Distribution Mapping (quantile mapping) et la méthode du variance scaling of temperature fonctionneraient mieux dans les statistiques basées sur la fréquence pour la température par rapport à la méthode du linear scaling. Ils ont noté, cependant, que la méthode du variance scaling of temperature fonctionnerait mieux que la méthode du Distribution Mapping pour les statistiques basées sur des séries chronologiques pour la température.

Concernant les projections futures, d'un point de vue général, le bassin versant du fleuve Sassandra connaîtra des perturbations dans le futur qui se traduiront par des variations à la hausse et à la baisse des précipitations et par la hausse des températures. Des études récentes menées sur les projections climatiques ont montré que l'Afrique de l'Ouest va connaître une hausse importante des températures associée à une forte variabilité des précipitations [24]. Ces changements climatiques pourraient entraîner des conséquences néfastes sur l'environnement telles que les inondations ou la sécheresse [25]. Se référant aux variations moyennes de températures prévues par les différents modèles, il est constaté que la zone d'étude enregistrera aux horizons 2030 et 2050, d'importants changements thermiques qui dépasseront ceux qu'elle a connus par le passé. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) qui projette une augmentation de la température globale entre 1,4°C et 5,8°C d'ici la fin du siècle si la concentration du CO₂ double dans l'atmosphère, avec des conséquences sur l'environnement [2].

6 CONCLUSION

Cette étude a permis de choisir et de valider des modèles climatiques régionaux provenant de la base de données CORDEX-Afrique sur le bassin versant du fleuve Sassandra à Buyo en Côte d'Ivoire, d'une part, et d'estimer les changements du climat futur, d'autre part. Le choix des MCRs a montré que les modèles ICHEC, IPSL et NCC ont de bonnes performances (simulent bien le climat de la zone d'étude) mais avec des biais significatifs.

La simulation du climat futur par les modèles a montré des variations des paramètres climatiques. En effet, selon le scénario RCP 4.5, la pluviométrie pourrait connaître des fluctuations de -20,8% à +58,1% à l'horizon 2030 et de -18,8% à +61,7% à l'horizon 2050. Selon le scénario RCP 8.5, les MCRs prédisent les mêmes conditions que celles prévues par le RCP4.5. Ainsi, le RCP prévoit des fluctuations des précipitations de -19,4% à +43,8% à l'horizon 2030 et de -7,5% à +73,3% à l'horizon 2050. Tous les modèles prévoient une hausse de la température selon les deux scénarios de +1,6 à +4,4°C pour le RCP 4.5 et de +2,1 à +5°C pour le RCP 8.5.

REFERENCES

- [1] Kouassi A.M., Kouamé K.F., Koffi Y.B., Dje K.B., Paturel J.E. & Oulare S. (2010). Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. *Cybergéo: European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, 513, 29 p.
- [2] Guivarch C. & Cassen C. (2015). L'atténuation du changement climatique: retour sur le 5e rapport du Giec. *La Météorologie*, 2015 (88): 97–105.
- [3] Scouart Yeboah K.A., Akpoti K., Kobo-bah A.T., Ofosu E.A., Siabi E.K., Mortey E.M. & Okyereh S.A. (2022). Assessing climate change projections in the Volta Basin using the CORDEX-Africa climate simulations and statistical bias-correction. *Environmental Challenges*, 6: 18p.
- [4] Le Roux R., Katurji M., Zawar-Reza P., Quénol H. & Sturman A. (2018). Comparison of statistical and dynamical downscaling results from the WRF model. *Environmental Modelling & Software*, 100: 67–73.
- [5] Li Z., Zheng F.-L., Liu W.-Z. & Jiang D.-J. (2012). Spatially downscaling GCMs outputs to project changes in extreme precipitation and temperature events on the Loess Plateau of China during the 21st Century. *Global and Planetary Change*, 82: 65–73.
- [6] Grenier P. (2018). Two types of physical inconsistency to avoid with univariate quantile mapping: A case study over North America concerning relative humidity and its parent variables. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 57 (2): 347–364.
- [7] Souvignet M., Gaese H., Ribbe L., Kretschmer N. & Oyarzún R. (2010). Statistical downscaling of precipitation and temperature in north-central Chile: an assessment of possible climate change impacts in an arid Andean watershed. *Hydrological Sciences Journal—Journal des Sciences Hydrologiques*, 55 (1): 41–57.
- [8] Kundzewicz Z.W., Mata L.J., Arnell N.W., Döll P., Jimenez B., Miller K., Oki T., Şen Z. & Shiklomanov I. (2008). The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hydrological sciences journal*, 53 (1): 3–10.
- [9] Di Baldassarre G., Elshamy M., van Griensven A., Soliman E., Kigobe M., Ndomba P., Mutemi J., Mutua F., Moges S., Xuan Y., Solomatine D. & Uhlenbrook S. (2011). Future hydrology and climate in the River Nile basin: a review. *Hydrological Sciences Journal*, 56 (2): 199–211.
- [10] Anoh K.A., Kouadio Z.A., Konaté D., Djè K.B., Kouassi K.H., Koua T.J.-J. & Dibi B. (2021). Analyse de la variabilité des perturbations climatiques du bassin versant du fleuve Sassandra à Soubré (Ouest de la Côte d'Ivoire). 54 (2): 90-101.
- [11] Ardoin-Bardin S., Dezetter A., Servat E. & Mahé G. (2005). Évaluation des impacts du changement climatique. In: Regional hydrological impacts of climatic change: proceedings of the International Symposium on Regional Hydrological Impacts of Climatic Variability and Change with an Emphasis on Less Developed Countries (S6): held during the Seventh Scientific Assembly of the International Association of Hydrological Sciences (IAHS) at Foz do Iguauço [sic], Brazil, 3-9 April, 2005, IAHS, 194p.
- [12] Coulibaly N., Coulibaly T., Mpakama Z. & Savané I. (2018). The Impact of Climate Change on Water Resource Availability in a Trans-Boundary Basin in West Africa: The Case of Sassandra. *Hydrology*, 5 (1): 12.
- [13] Girard G., Sircoulon J. & Touchebeuf P. (1971). Aperçu sur les régimes hydrologiques. *Milieu naturel de la Côte d'Ivoire, Mémoire ORSTOM*, 50: 109-155.
- [14] Perraud A. (1971). Les sols. Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. *Mémoire ORSTOM*, 50: 157-263.
- [15] Camus H. (1969). Hydrologie du bassin du Sassandra (note préliminaire). 5 (69): 79.

- [16] Konan B. (1990). Modélisation hydrologique et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant du Sassandra à Soubré. Thèse (ph. D) 3eme cycle en Science et Gestion de l'Environnement, Université Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 182p. - Recherche Google.
- [17] Taylor K.E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of geophysical research: atmospheres*, 106 (D7): 7183-7192.
- [18] Zhang B., Shrestha N.K., Daggupati P., Rudra R., Shukla R., Kaur B. & Hou J. (2018). Quantifying the impacts of climate change on streamflow dynamics of two major rivers of the Northern Lake Erie Basin in Canada. *Sustainability*, 10 (8): 2897.
- [19] Teutschbein C. & Seibert J. (2012). Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of hydrology*, 456: 12–29.
- [20] Thom H.C. (1958). A note on the gamma distribution. *Monthly weather review*, 86 (4): 117-122.
- [21] Ines A.V. & Hansen J.W. (2006). Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies. *Agricultural and forest meteorology*, 138 (1-4): 44–53.
- [22] Bisht D.S., Mohite A.R., Jena P.P., Khatun A., Chatterjee C., Raghuwanshi N.S., Singh R. & Sahoo B. (2020). Impact of climate change on streamflow regime of a large Indian river basin using a novel monthly hybrid bias correction technique and a conceptual modeling framework. *Journal of Hydrology*, 590: 125448.
- [23] Willkofer F., Schmid F.-J., Komischke H., Korck J., Braun M. & Ludwig R. (2018). The impact of bias correcting regional climate model results on hydrological indicators for Bavarian catchments. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 19: 25-41.
- [24] Kouamé A.N., AMANI M.K., Gnaboa R., Traoré K.S. & Houenou P.V. (2014). Analyse de phénomènes hydrologiques dans un bassin versant urbanisé: cas de la ville de Yamoussoukro (centre de la Côte d'Ivoire). *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (54): 135-154.
- [25] 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. *Adaptation to climate change and variability in rural West Africa*,: 25-40.