



ISSN: 0976-3376

Available Online at <http://www.journalajst.com>

ASIAN JOURNAL OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Asian Journal of Science and Technology
Vol. 15, Issue, 05, pp. 12999-13008, May, 2024

RESEARCH ARTICLE

EVALUATION OF THE RCA4 MODEL TO SIMULATE PAST TEMPERATURES AND PROJECTIONS UNDER THE RCP4.5 AND RCP8.5 SCENARIOS ON NIGER

Yacoubou Mahamadou*¹ and Moussa Mounkaila Saley²

¹Département de Didactique des Disciplines, Université André Salifou de Zinder, BP: 656, Zinder-Niger

²Département de Physique, Faculté des Sciences Techniques, Université Abdou Moumouni de Niamey, BP: 10662, Niamey-Niger

ARTICLE INFO

Article History:

Received 27th February, 2024

Received in revised form

09th March, 2024

Accepted 16th April, 2024

Published online 29th May, 2024

Keywords:

Réchauffement global, Températures, Niger, Scenario RCP.

ABSTRACT

Le Sahel fait partie des zones de la planète les plus vulnérables face au réchauffement global. Mais des modèles climatiques avec comme données d'entrée les trajectoires des gaz à effet de serre, permettent d'anticiper le changement futur du climat. Ainsi plusieurs scénarios d'émission des gaz à effet de serre sont utilisés pour réaliser des simulations d'évolution de certains paramètres climatiques comme température et précipitation. En ce qui est des températures des données ont été générées sur l'Afrique grâce au projet CORDEX à partir des simulations et des projections réalisées avec le modèle RCA4. Il s'agit d'évaluer à travers ce travail, la performance du modèle RCA4 à simuler et à projeter les températures sur le Niger sous les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 et d'identifier le scénario RCP le plus probable qui décrit l'évolution actuelle des températures sur Niger. L'étude est faite à travers une comparaison des sorties du modèle RCA4 selon les forçages CCCma, CSIRO, HadGEM2, ICHEC, MIROC et MPI aux données CRU et UDEL utilisées comme références. Les paramètres de comparaison tels que la distribution spatiale, la variabilité temporelle, le biais et le coefficient de corrélation montrent que le modèle est moins performant quand il s'agit des projections. Le modèle RCA4 projette un réchauffement moyen compris entre 0,8°C et 1,54°C sur la période 2006-2020 par rapport à la période 1951-1980. Cette analyse montre que le scénario RCP4.5 décrit mieux l'évolution actuelle des températures sur le Niger, et le réchauffement attendu d'ici 2100 pourrait être moins important que prévu du fait que le modèle surestime les températures projetées sur le Niger.

Citation: Yacoubou Mahamadou and Moussa Mounkaila Saley, 2024. "Evaluation of the RCA 4 model to simulate past temperatures and projections under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios on Niger", *Asian Journal of Science and Technology*, 15, (05), 12999-13008.

Copyright©2024, Yacoubou Mahamadou and Moussa Mounkaila Saley. 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.

INTRODUCTION

Le réchauffement climatique est une réalité (GIEC, 2020), mais il est contrasté suivant les régions du globe et avec pour conséquences l'augmentation des températures, la fonte des glaces, l'intensification des événements extrêmes tels que sécheresses et inondations. Les zones continentales qui sont les plus sensibles font objet au cours de ces dernières décennies à plusieurs études (AR5, 2013). Les résultats des travaux de certains auteurs montrent que suite au réchauffement global (Fontaine *et al.*, 2013; Moron *et al.*, 2016; Léauthaud *et al.* 2017), la température a effectivement augmenté au Sahel et cette augmentation est constatée depuis 1950. Le Niger est l'un des pays les plus chauds de l'Afrique de l'Ouest, mais ces températures sont généralement acceptables pendant la saison froide entre décembre et février où les températures varient entre 20°C et 25°C. Le reste de l'année la chaleur est torride et les valeurs maximales se situent autour de 40°C entre les mois de mai et juin. Les températures records voisinent les 48°C au sud et au nord du Niger, respectivement à Tillabéry et Bilma (Mahamadou *et al.*, 2018 p50). Avec le réchauffement global, les canicules de chaleur observées entre mai et juin au Niger vont s'intensifier et avec pour conséquences l'aggravation des maladies climato-sensibles comme la méningite, le stress hydrique et le stress thermique surtout chez les personnes âgées et les enfants. Pour comprendre et appréhender le réchauffement global et ses conséquences, des modèles climatiques ont été développés et ces modèles offrent la possibilité d'anticiper le

changement des paramètres climatiques tels que température et précipitation à travers des projections réalisées avec des modèles climatiques. Bien que les modèles présentent de façon générale des résultats différents et parfois même contradictoires sur un domaine, la concordance des modèles est très grande dans la simulations des températures sur le Niger (Mahamadou *et al.*, 2018). Sur la continent africain des données des températures ont été générées au cours de l'expérience CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) avec avec le modèle climatique régional RCA4 (Rossby Centre Regional Atmospheric Model, version 4). Si ces modèles se montrent performant à simuler les températures sur le Niger, qu'en est-il des projections ? C'est dans cette perspective que ce travail est abordé et consiste dans une première phase à évaluer sur le Niger les sorties du modèle climatique régional RCA4. Ce modèle est utilisé dans l'expérience CORDEX pour simuler les températures pour la période historique de 1981 à 2005. La première étape de cet travail consiste à évaluer la performance du modèle RCA4 à reproduire les températures du passé sur la période 1981-2005 à travers une comparaison des données de sortie du modèle RCA4 avec les données CRU (Climate Research Unit) et UDEL (University of Delaware) qui vont servir de référence. Dans la seconde étape une validation des projections des températures issues du modèle RCA4 sous les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (Representative Concentration Pathways: Moss *et al.*, 2010p752; van Vuuren *et al.*, 2011, p12) est faite sur le Niger pour la période 2006-2020 à travers aussi une comparaison avec les données de référence CRU (Mitchell *et al.*, 2005, Harris, 2014, p2) et UDEL (University of Delaware). Le résultat

attendu de ce travail est de mesurer la performance du modèle RCA4 à simuler sur le Niger les températures dans le passé et à réaliser les projections dans le futur. Il est attendu aussi de ce travail l'identification du scénario RCP qui correspond le mieux à l'évolution actuelle des températures sur le Niger.

DONNÉES ET MÉTHODOLOGIE

Présentation de la zone d'étude : Le Niger: Le Niger est un pays sahélien de l'Afrique de l'Ouest et enclavé entre les longitudes 0° 16' et 16° Est, et les latitudes 11°1' et 23°17' Nord. Il est caractérisé par une forte variabilité spatio-temporelle des paramètres climatiques, telles que précipitations et températures (CNEDD, 2020, p3)

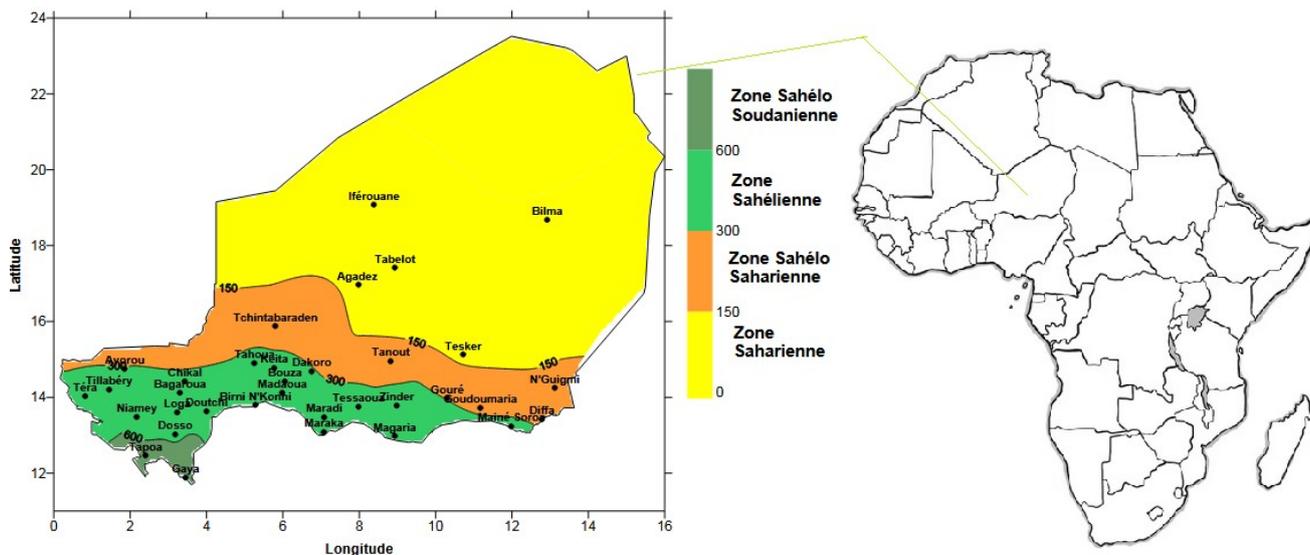


Figure 1. Zones climatiques du Niger (Source: Direction de la Météorologie Nationale, Pluviométrie annuelle moyenne sur la période 1975 – 2004, édition 2005)

Avec une superficie de 1.267.000 km², la plus grande partie du Niger situé au nord est caractéristique d'une zone saharienne occupée par le désert du Ténére qui compte parmi les déserts les plus célèbres du monde. Le Niger possède un climat de type tropical semi aride (PANA, 2006), la distribution spatiale des précipitations avec un gradient négatif du sud au nord subdivise le pays en quatre (4) zones climatiques (Figure 1):

- la zone sahélo-soudanienne limitée au nord par l'isohyète 600mm de pluie par an, c'est zone favorable à la production agricole et animale,
- la zone sahélienne limitée par les isohyètes 600mm et 300 mm qui favorable l'agro pastoralisme,
- la zone sahélo-saharienne limitée par les isohyètes 300mm et 150 mm qui propice à l'élevage transhumant,
- la zone saharienne limitée au sud par l'isohyète 150mm, dans cette zone y est pratiquée les cultures irriguées (PANA, 2006, p11).

Au Niger, pratiquement toute l'année il fait avec des températures qui fluctuent entre 25°C et 30°C. On distingue deux types de climats sur le Niger: un climat désertique sur la grande partie du Niger située au nord occupée par le désert, et un climat tropical sur la partie sud avec quatre saisons:

- La saison froide qui s'étale sur 3 mois de décembre à fin février, les températures nocturnes peuvent être inférieures à 10°C surtout au nord,
- La saison très chaude de mars à mai avec des températures diurnes qui peuvent dépasser 40°C,
- La saison chaude est pluvieuse qui s'étale sur 4 mois de juin à septembre avec une température moyenne de plus de 30°C,

- La saison moins chaude et courte de deux mois d'octobre à novembre avec des températures moyennes d'environ 35°C.

Les Données: Deux jeux de données de température à 2m du sol sont utilisées dans ce travail et proviennent du projet CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project) au cours de l'expérience des simulations de CORDEX sur l'Afrique (Nikiema *et al.*, 2016) avec une résolution spatiale de 0,44°x0,44°. Le premier jeu de données couvre la période passée 1951-2005 et le deuxième est une projection sous les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 sur la période 2006-2100. Toutes ces données sont générées par le modèle climatique régional RCA4 de SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute) (Strandberg *et al.*, 2014) forcé par six (6) modèles globaux climatiques: CCCma, CSIRO, HadGEM, ICHEC, MIROC et MPI.

Ces deux scénarios traduisent un réchauffement supplémentaire d'origine anthropique de la surface du globe respectivement de 4,5W/m² et 8,5W/m² (Moss *et al.*, 2010). Le scénario RCP4.5 traduit une anticipation de mesure d'atténuation à travers une réduction importante de l'émission des gaz à effet afin de permettre une stabilisation de leurs concentrations dans l'atmosphère mais sans arrêter le réchauffement en cours de la planète terre (Ly et Touné, 2019). Quant au scénario RCP8.5, il correspond à une anticipation de la croissance continue des émissions des gaz à effet de serre sans aucune mesure efficace d'atténuation. Les projections utilisées dans cette étude, couvrent la période 2006-2100. Les données utilisées comme références pour l'évaluation et la validation du modèle RCA4 sur le Niger sont CRU (Climate Research Unit, version 3.23; Harris *et al.* 2014) et UDEL (Willmott and Matsuura 1995) qui couvrent la période 1901-2020. Le choix de ces données est basé sur le fait que le réseau météorologique du Niger pour les mesures au sol est très limité par un nombre restreint de stations météorologiques dont les données ne sont pas facilement accessibles au public. En plus ce sont les seules données de référence en températures à notre disposition allant jusqu'à 2020.

La méthodologie: La première partie de ce travail consiste à évaluer sur le Niger la performance du modèle RCA4/MCG selon les différents MCG utilisés pour le forçage à simuler les températures sur la période passée de 1951-1980. Cette évaluation est faite à travers une comparaison des données issues du modèle RCA4 aux données de références CRU et UDEL. Les paramètres de comparaison sont:

- La distribution spatiale des températures moyennes sur le Niger pour la période 1951-1980,

- L'anomalie du modèle RCA4 par rapport aux références CRU et UDEL selon les différents forçages. L'anomalie est calculée à partir de la formule ci-dessous :

$$A = \bar{T}_h - \bar{O}_h$$

\bar{T}_h : Température moyenne simulée par le modèle pour la période historique 1951-1980.

\bar{O}_h : Température moyenne selon les données de référence CRU ou UDEL sur la période historique.

- Le biais entre le modèle et les données de référence qui est calculé par la formule :

$$Biais = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{M_i - O_i}{O_i}$$

M_i , O_i respectivement la moyenne du modèle et celle de l'observation pour l'année i .

- L'erreur quadratique moyenne calculée avec la formule ci-dessous :

$$EQM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_o^i - T_s^i)^2$$

T_o^i : Température annuelle observée pour l'année i .

T_s^i : Température annuelle simulée pour l'année i .

n : Nombre d'années.

- Les corrélations temporelles entre modèle RCA4/MCG et les références CRU et UDEL dans les distributions des moyennes mensuelles et moyennes annuelles des températures sur la période 1951-1980.

Le coefficient de corrélation est calculé à partir de la formule suivante:

$$R = \frac{covariance(M, O)}{\sigma_M \sigma_O}$$

Avec : $covariance(M, O) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_i - \hat{M})(O_i - \hat{O})$

\hat{M} : la normale climatologique du modèle et \hat{O} celle de l'observation

$\sigma_M = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_i - \hat{M})^2}$: écart-type du modèle

$\sigma_O = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - \hat{O})^2}$: écart-type de l'observation

La deuxième partie de ce travail consiste à la validation du modèle RCA4 sur la courte période 2006-2020, période limite de disponibilité des données de référence CRU ou UDEL. Cette validation est faite à travers une comparaison des données de projections issues du modèle (RCA4/MCG)_c aux données de références. Les paramètres de comparaison sont:

Le changement projeté par le modèle sur la période 2006-20120 qui est calculé à partir de la formule suivante:

$$C = \bar{T}_p - \bar{T}_h$$

\bar{T}_p : Température moyenne projetée pour la période 2006-2020.

\bar{T}_h : Température moyenne de la période historique 1951-1980

- Le coefficient de corrélation R

RÉSULTATS

Evaluation du modèle RCA4 sur le Niger à simuler les températures de la période passée 1951-1980

Distribution spatiale des températures moyennes selon les données de référence CRU, UDEL et les données issues du modèle pour la période 1951-1980

Les données de référence CRU et UDEL montrent que les températures sur le Niger se caractérisent par un gradient négatif lorsqu'on se déplace du sud vers le nord et ce gradient est plus marqué sur le nord avec plusieurs isothermes « dues à la présence au nord-est des hauts plateaux et au nord du 17° parallèle s'étend le massif de l'Air » (figure 2). Le modèle RCA4/MCG capte aussi cette distribution spatiale des températures mais avec des intensités différentes selon les différents forçages. Les deux données de référence CRU et UDEL montrent l'existence d'un hotspot sur l'extrême sud-ouest du Niger avec une intensité moyenne supérieure à 30°C, quant au modèle RCA4, il capte mal ce hotspot. Le modèle RCA4 à l'image des données CRU et UDEL capte bien cette partie montagneuse de l'Air située au nord qui possède les températures les plus basses du Niger. Selon les données de référence CRU et UDEL ces températures sont comprises entre 23°C et 24°C, tandis que le modèle RCA4 selon les différents forçages (CCCma, CSIRO, HadGEM2, ICHEC, MIROC, MPI) sous-estiment les températures entre 20°C et 22°C de cette zone montagneuse de l'Air.

Corrélation entre modèles et données de référence CRU et UDEL par rapport à la distribution spatiale des températures:

La comparaison de la distribution spatiale des moyennes mensuelles et annuelles des températures entre le modèle et les données de référence CRU et UDEL est faite ici à travers le coefficient de corrélation en tout point de grille de la zone d'étude sur la période 1951-1980.

Les deux figures 3 et 4 montrent que les corrélations sont plus fortes entre le modèle RCA4 et les données CRU dans la représentation des moyennes mensuelles des températures sur le Niger. Cette corrélation suit un gradient positif du sud vers le nord à l'exception de l'extrême sud du Niger qui est situé dans la zone sahélo-soudanienne où le modèle se montre moins performant à simuler la distribution des moyennes mensuelles des températures avec des coefficients de corrélation R compris entre 0,55 et 0,7. La performance du modèle à reproduire la variabilité inter-mensuelle des températures sur le Niger est observée sur la partie nord qui est pratiquement désertique avec des coefficients de corrélation $R > 0,9$. La faiblesse du modèle sur le Niger se fait remarquer dans la distribution annuelle des températures avec une dispersion des coefficients de corrélation sur pratiquement tout le pays. Sur certaine partie du Niger et selon certains forçages, des très faibles coefficients de corrélations sont observés et aussi négatifs. Ces corrélations négatives sont observées surtout avec les forçages CSIRO, ICHEC et MPI. Les données de références CRU et UDEL sont comparées entre elles à travers le coefficient de corrélation dans la distribution temporelle des températures (figure 5). Les données de référence présentent un coefficient de corrélation $R > 0,9$ dans la distribution mensuelle des températures, mais des faibles corrélations (entre 0,1 et 0,5) sont observées dans la distribution annuelle des températures sur le Niger.

La moyenne d'ensembles des MCG utilisés pour le forçage de RCA4 présente des bons coefficients de corrélations avec les données CRU et UDEL dans la distribution mensuelle des températures et des faibles coefficients en ce qui concerne la distribution annuelle des températures. Et la corrélation est plus forte entre la moyenne d'ensemble et les données CRU. Ces faibles valeurs du coefficient de corrélation montrent que le modèle a du mal à reproduire la variabilité interannuelle des températures sur le Niger pour les points de grilles de la zone d'étude.

Anomalie du modèle à reproduire la distribution spatiale des températures sur le Niger par rapport aux données CRU et UDEL: Les anomalies du modèle RCA4 par rapport aux données de référence CRU et UDEL (figure 6) montrent que le modèle, selon les différents forçages, capte les températures de façon différente aux données CRU et UDEL.

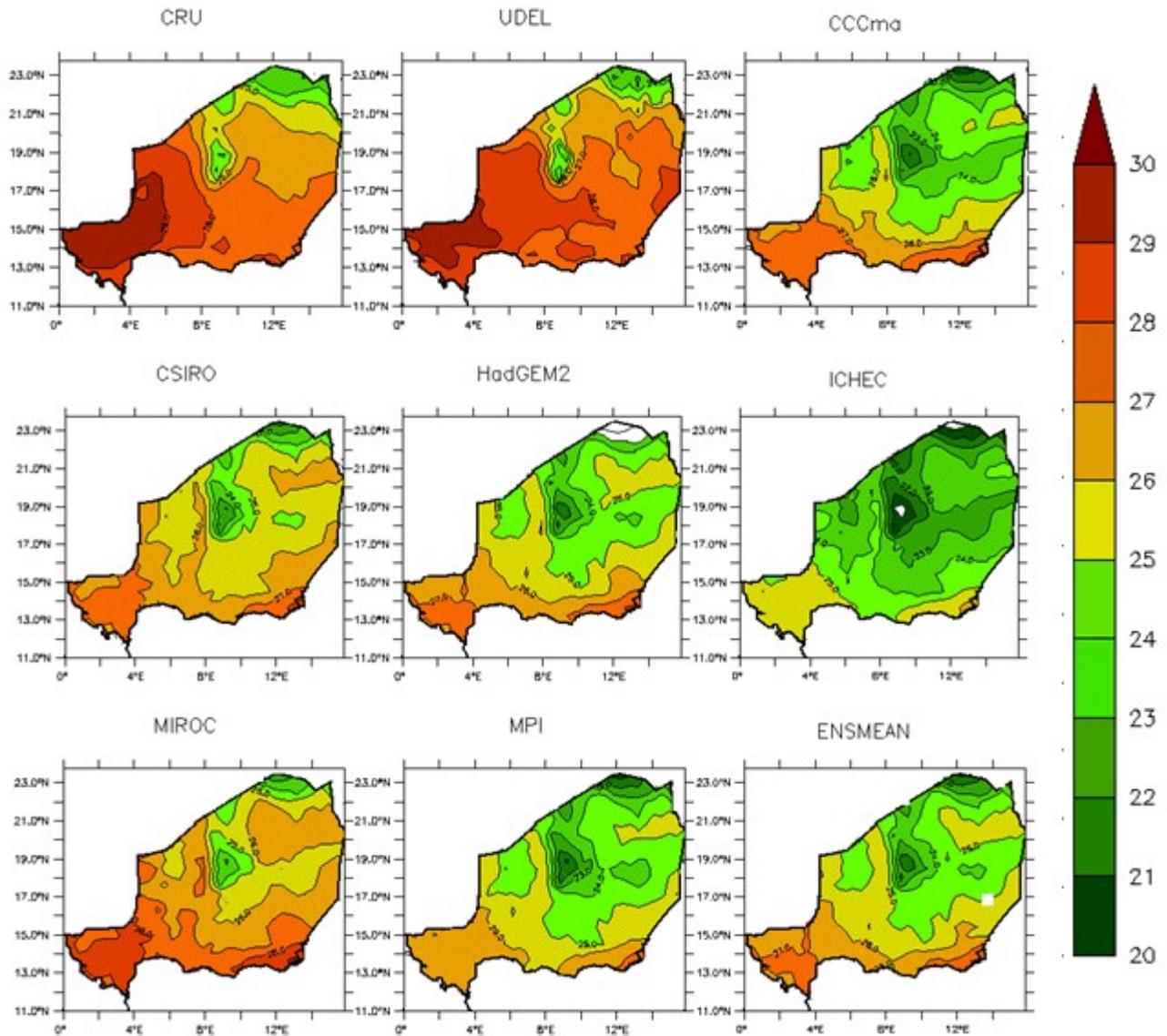


Figure 2. Distribution spatiale des températures sur le Niger selon les données CRU et les modèles pour la période passée de 1951 à 1980

Tableau 1. Comparaison du modèle RCA4 selon les différents forçages par rapport aux données de référence CRU et UDEL.

Modèle		CRU	UDEL	CCCma	CSIRO	HadGEM2	ICHEC	MIROC	MPI	ensmean
	Température moyenne sur la période d'étude (°C)	27,4	27,1	26	26	25	24	27	26	25
CRU	Distribution annuelle des températures	Biais (%) du modèle	-1,09	-6,4	-4,6	-6,26	-12,25	-1,85	-7,53	-6,45
		EQM	0,18	0,09	0,11	0,13	0,15	0,10	0,16	0,11
	Distribution mensuelle des températures	Biais (%) du modèle	-1,08	-7,5	-4,97	-6,74	-12,75	-1,92	-8,06	-6,63
		EQM	0,01	0,07	0,05	0,03	0,05	0,06	0,04	0,03
UDEL	Distribution annuelle des températures	Biais (%) du modèle		-6,51	-4,68	-6,34	-12,32	-1,95	-7,79	-6,51
		EQM		0,14	0,16	0,11	0,05	0,09	0,08	0,14
	Distribution mensuelle des températures	Biais (%) du modèle		-8,45	-6	-7,73	-13,66	-2,97	-9,03	-7,63
		EQM		0,08	0,05	0,03	0,06	0,05	0,05	0,04

Pour la plupart des forçages à l'exception de CSIRO et MIROC, le modèle présente une anomalie négative sur pratiquement tous les points de grilles de la zone d'étude. Cette anomalie négative est plus marquée sur la partie centrale du Niger qui correspond aux zones sahéniennes et sahélo-saharienne. Ces anomalies négatives montrent la faiblesse du modèle à sous-estimer la température dans la

distribution spatiale de ce paramètre climatique en tout point de l'espace du Niger où ces anomalies sont négatives.

Comparaison des modèles aux données de références sur la période historique 1951-1980: Le tableau 1 présente la comparaison des modèles aux données de référence CRU et UDEL à travers les paramètres tels que la température moyenne calculée sur la période

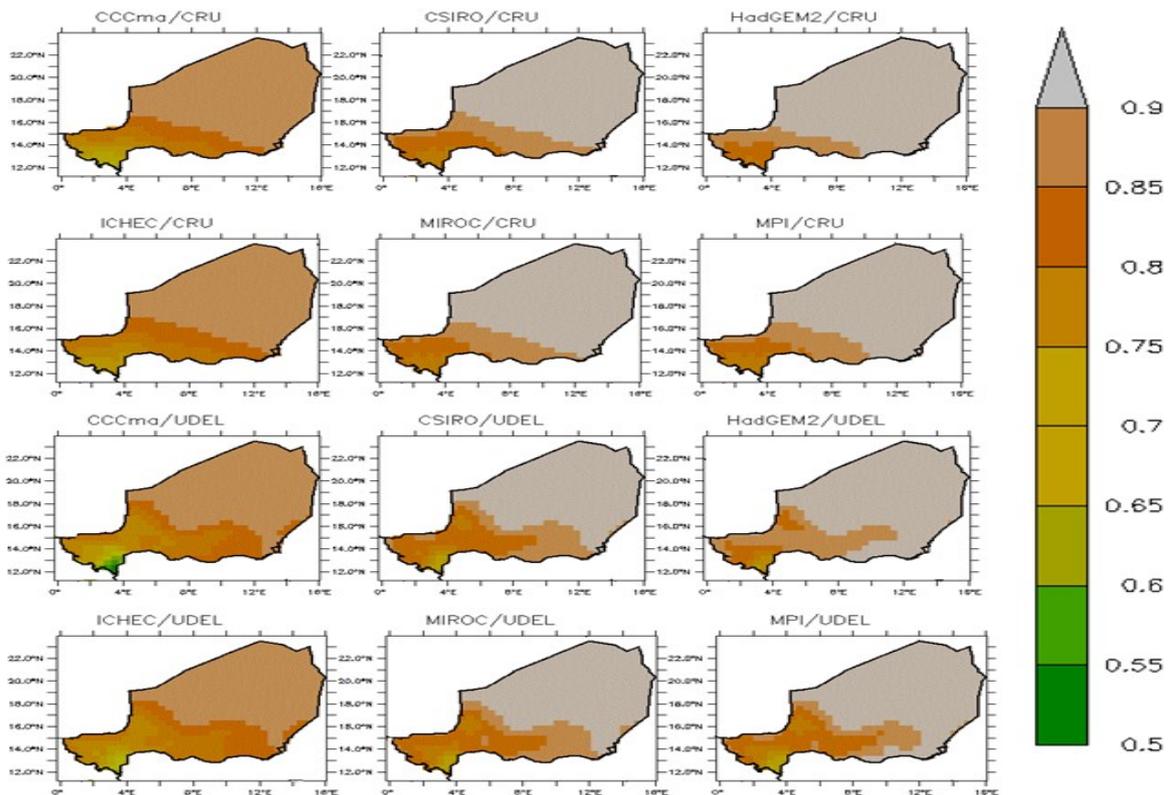


Figure 3. Corrélation entre le modèle RCA4/MCG et les données de référence CRU et UDEL dans la distribution des moyennes mensuelles des températures sur le Niger de la période 1951-1980

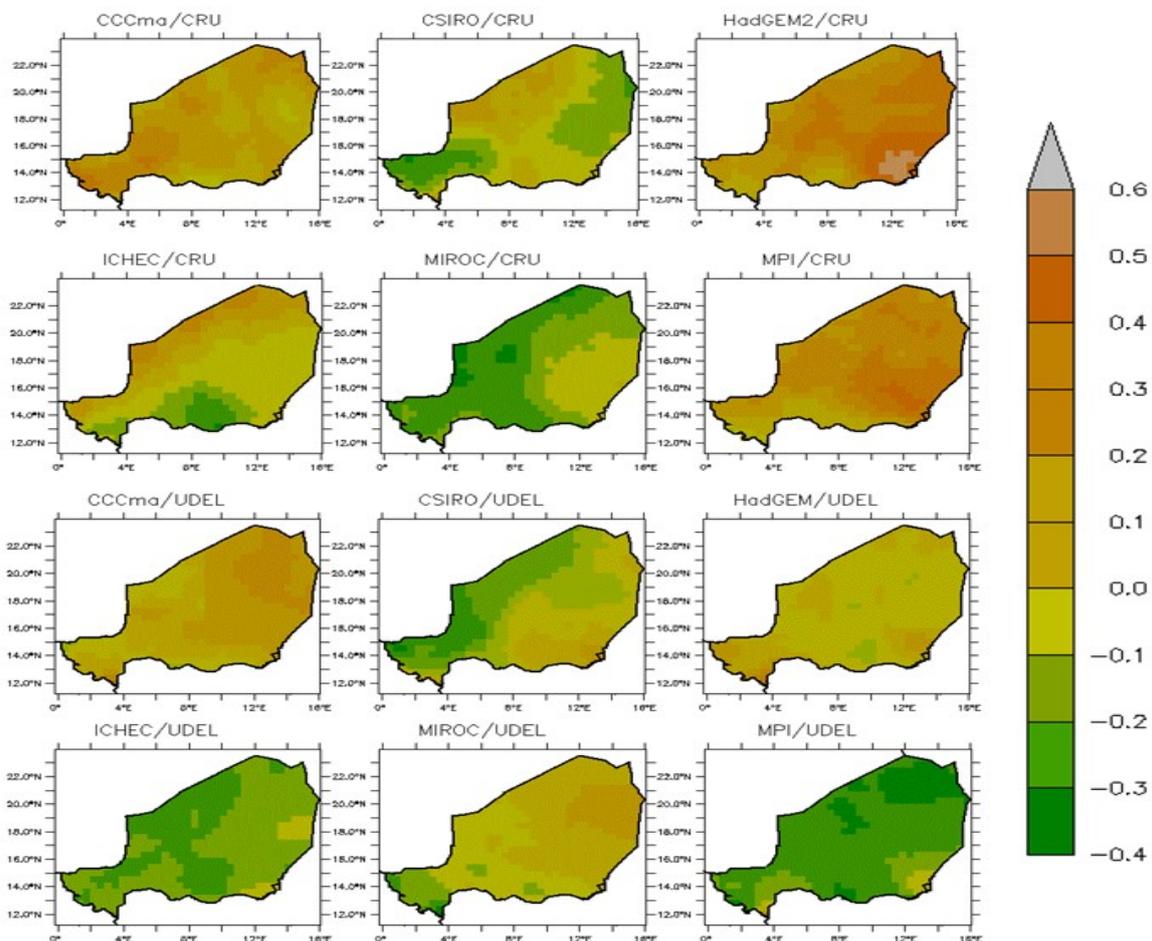


Figure 4. Corrélation entre le modèle RCA4/MCG et les données de référence CRU et UDEL dans la distribution des moyennes annuelles des températures sur le Niger de la période 1951-1980

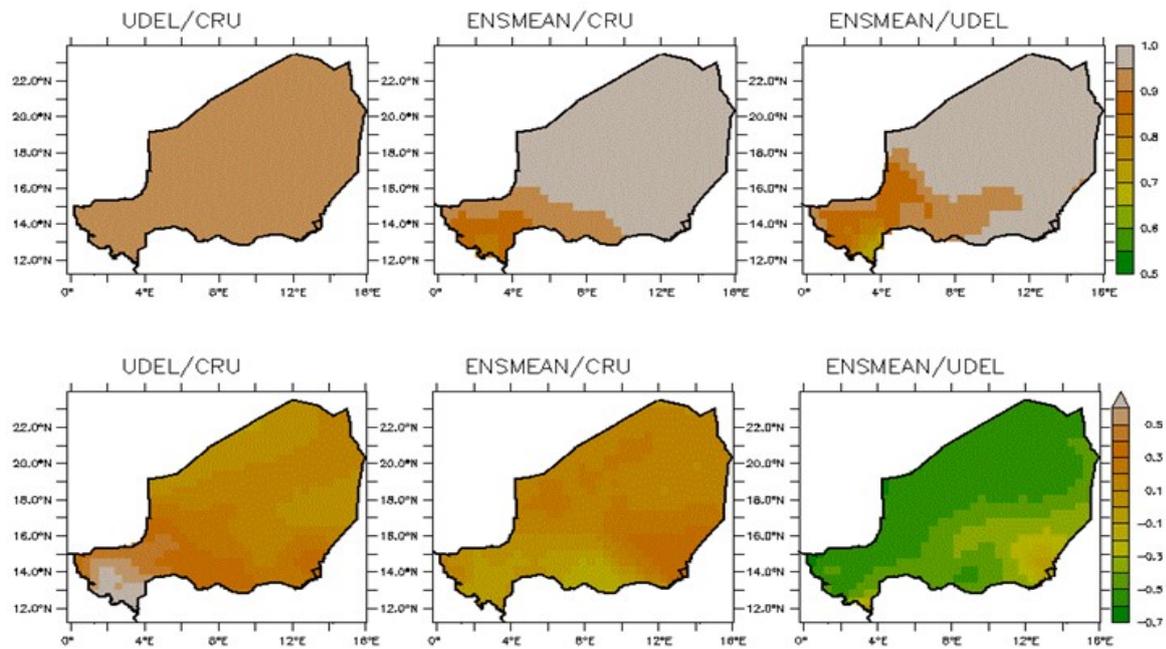


Figure 5. Corrélation des moyennes mensuelles (en haut) et des moyennes annuelles (en bas) des températures sur le Niger de la période 1951-1980 entre les données de référence CRU et UDEL et entre la moyenne d'ensemble modèles et les données de référence.

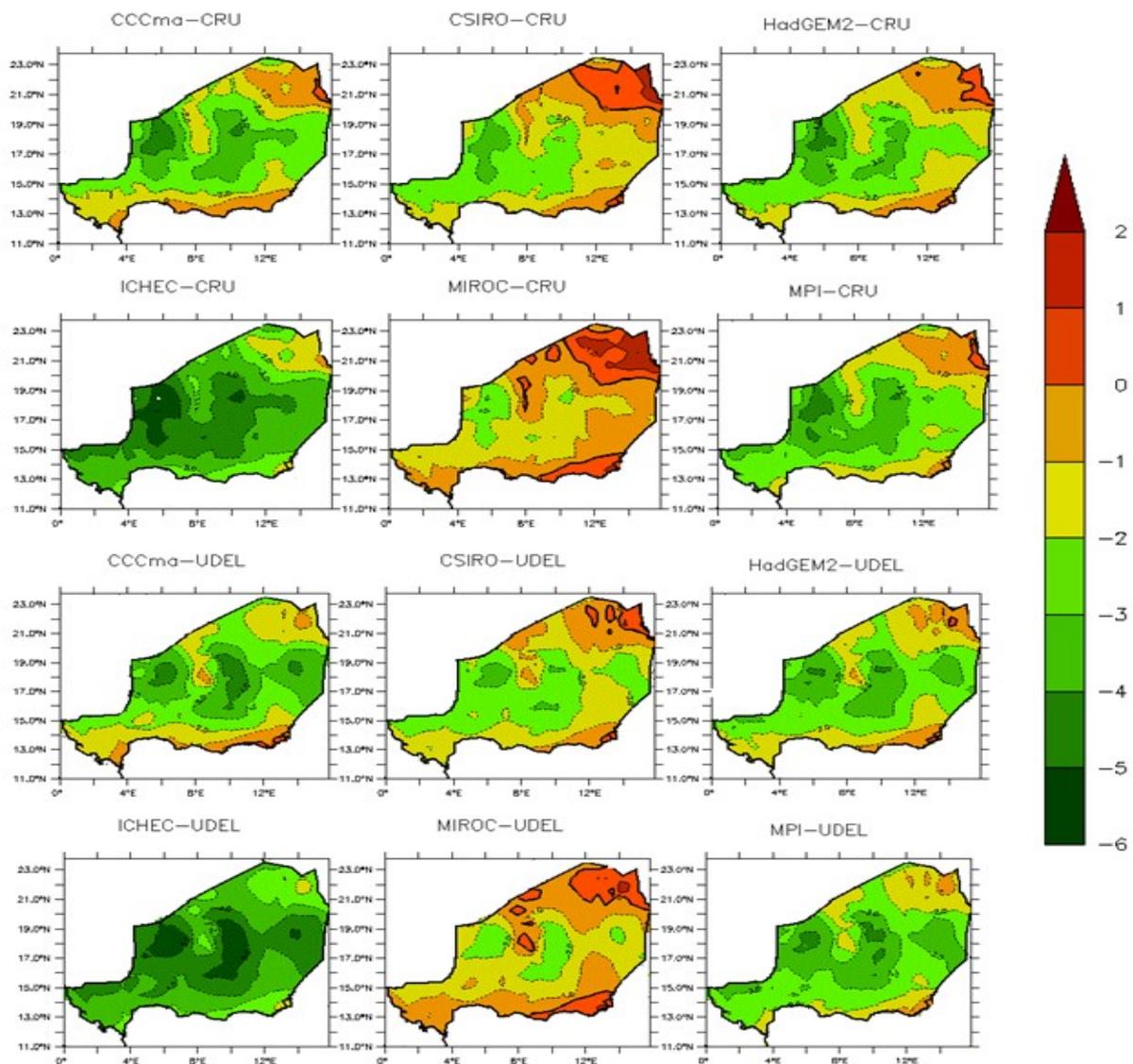


Figure 6. Anomalie des modèles par rapport aux données de référence CRU et UDEL dans la distribution spatiale des températures moyennes sur le Niger

historique 1951-1980, le biais et l'erreur quadratique moyenne (EQM). Les données UDEL présentent par rapport aux données CRU des faibles valeurs -1,09%, 0,18% et 0,01% respectivement du biais et des erreurs quadratiques moyennes dans les distributions annuelle et mensuelle des températures sur le Niger. Le modèle RCA4 selon les forçages (CCCma, CSIRO, HadGEM2, ICHEC, MIROC et MPI) présente des faibles valeurs mais négatives du biais (de -12,75% à -1,85%) par rapport aux données de référence CRU et UDEL, ceci traduit la faiblesse du modèle à sous estimer les températures sur le Niger pour la période historique 1951-1980. Le modèle RCA4 présente aussi des faibles valeurs des EQM dans la distribution temporelle des températures sur le Niger, mais ces EQM sont encore plus faibles dans la distribution mensuelle des températures. Le modèle RCA4 forcé par la moyenne d'ensemble des MCG ne se montre pas plus performant que les MCG pris séparément, mais présente aussi des faibles valeurs pour le biais et l'erreur quadratique moyenne. Il ressort de cette analyse que le modèle RCA4, selon les différents forçages reproduit avec moins d'intensité la distribution spatiale des températures sur le Niger et ceci traduit le biais négatif du modèle par rapport aux données de référence CRU et UDEL. Le MRC RCA4 se montre plus performant à simuler la distribution spatiale des températures sur la partie nord du Niger qui est pratiquement désertique. En effet l'aspect uniforme du sol avec peu de végétation et des eaux surfaces permet au modèle de mieux simuler les températures sur cette partie du Niger (Mahamadou *et al.*, 2018 p :51).

CRU: Les données d'observation CRU à travers la figure 7 montrent que le Niger à l'instar des autres régions de la planète, a connu un réchauffement sur la période 2006-2020 par rapport à la période 1951-1980. Cette augmentation annuelle des températures sur le Niger au cours de cette période 2006-2020 varie de 0,4°C à 1,5°C. Les années les plus chaudes sont 2006 ; 2009, 2010, 2011 et 2016. Mais au cours de cette période, la courbe de tendance (en noire) montre une faible diminution du réchauffement sur le Niger avec une moyenne de -0,032°C par an.

Changements projetés par le modèle RCA4 sur le Niger pour la période 2006-2020 sous le scénario RCP 4.5

Sous les scénarios RCP4.5 (figure 8) et RCP8.5 (figure 9) le modèle RCA4 projette une augmentation des températures sur le Niger pour la période 2006-2020 mais avec des amplitudes différentes. Avec le scénario RCP4.5, le modèle RCA4 capte les années 2009, 2010 et 2011 comme les années les plus chaudes de la période 2006-2020. L'augmentation des températures selon les différents forçages varie de 0,25°C à 2,1°C (figure 8). Parmi les six forçages, seul le forçage CCCma permet au modèle RCA4 de reproduire la diminution du réchauffement sur le Niger comme observée avec les données CRU à partir de 2011. Avec les forçages ICHEC et MIROC, le modèle RCA4 projette un réchauffement en moyenne constant sur la période 2006-2020.

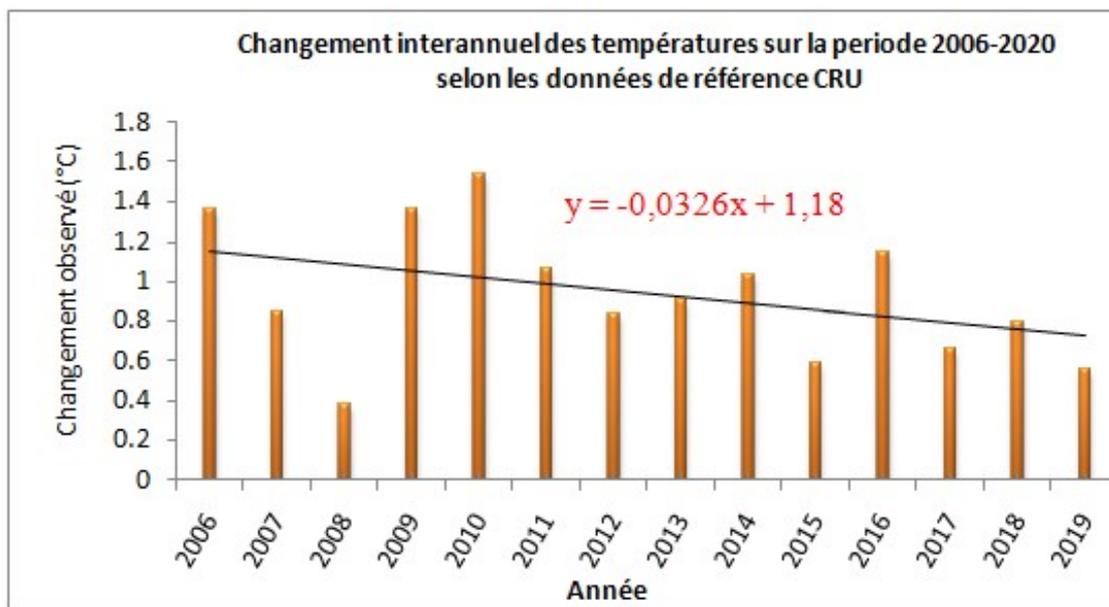


Figure 7. Variabilité interannuelle du changement des températures observé et projeté par les modèles sur la période 2006-2019 par rapport à la période 1951-1980 sous le scénario RCP4.5

Quant à la distribution temporelle, le modèle RCA4 capte mieux la distribution mensuelle qu'annuelle des températures sur le Niger. La moyenne d'ensemble des MCG ne rend pas le modèle RCA4 plus performant que lorsqu'il est forcé par des MCG pris isolément. Enfin les données issues du modèle RCA4 corrélaient mieux avec les données CRU qu'avec UDEL et selon Mitchell *et al.*, (2005), les données CRU constituent l'une des sources de données rétrospectives les plus fiables sur la région du Sahel et par conséquent ces données CRU sont utilisées par la suite pour la validation des projections issues du modèle RCA4 sur le Niger pour la période 2006-2020. Le choix de cette période est du à la limite des données CRU utilisées dans cette étude.

Validation des projections des températures issues du modèle RCA4 sur le Niger pour la période 2006-2020

Changement des températures observé sur la période 2006-2020 au Niger par rapport à la période 1951-1980 avec les données

Et avec les autres forçages (CSIRO, HadGEM2, MPI), le modèle RCA4 projette une augmentation croissante des températures sur le Niger au cours de la période 2006-2020. Donc les résultats du modèle RCA4 avec les cinq forçages (CSIRO, HadGEM2, ICHEC, MIROC et MPI) à simuler l'évolution du réchauffement sur le Niger sont en contradiction avec les données de référence CRU prises comme données d'observation à défaut des mesures au sol. Sous le scénario RCP8.5 (figure 9), le modèle RCA4 projette une augmentation croissante des températures sur le Niger pour la période 2006-2020 et avec tous les forçages. Le réchauffement attendu sous le scénario RCP8.5 est plus important que celui prévu par le RCP4.5, ce qui est logique. En effet l'augmentation peut dépasser 2°C sur certaines années (2010, 2015, 2017, 2018) selon certains forçages.

Comparaison du modèle aux données de référence sur la période 2006-2020: Le tableau 2 donne la comparaison des projections du modèle RCA4 aux données de référence CRU à travers trois indices:

le changement moyenne de la température observé sur la période 2006-2020 par rapport à la période 1951-1980, l'anomalie moyenne du modèle à projeter le changement, et le coefficient de corrélation entre le modèle et les données de référence CRU.

Le modèle RCA4 reproduit bien cette augmentation des températures sur le Niger mais qui varie d'un forçage à un autre. Ainsi sous le scénario RCP4.5 cette augmentation est comprise entre 0,85°C et 1,38°C et sous le scénario RCP8.5 entre 0,80°C et 1,54°C, l'écart

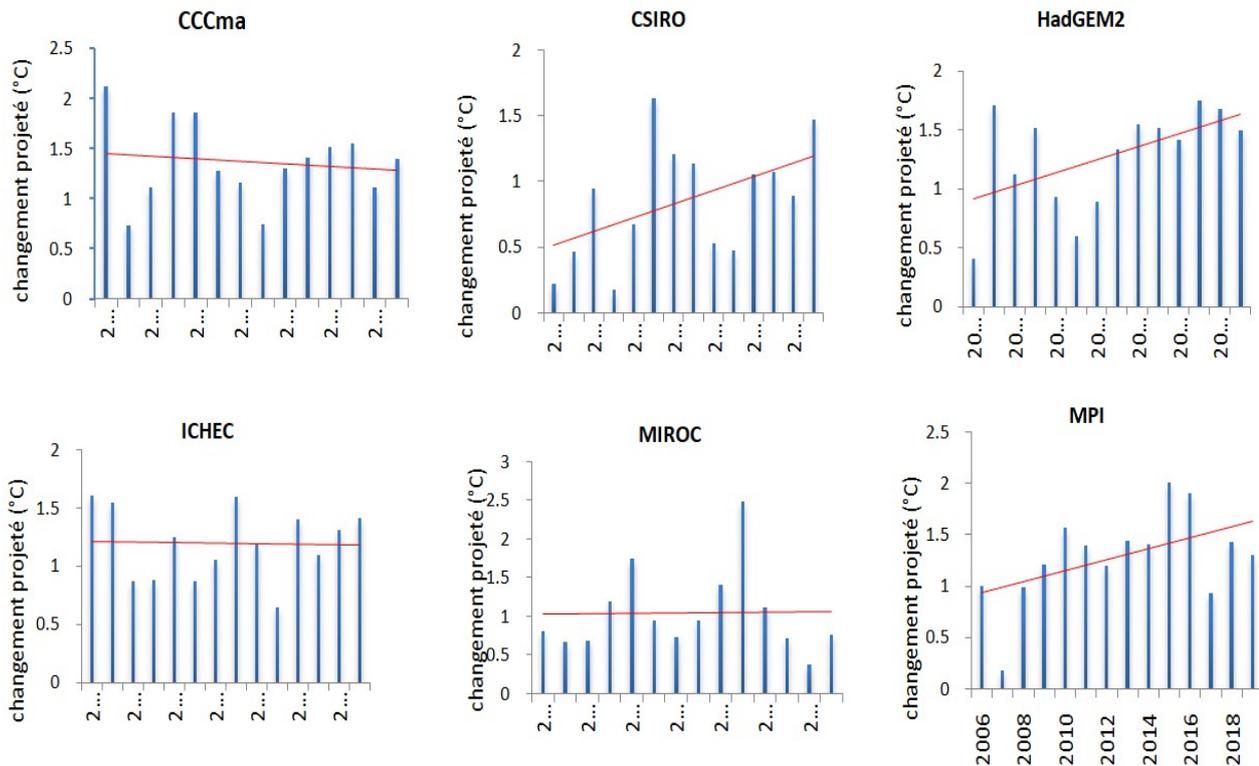


Figure 8. Changement des températures projeté par le modèle RCA4 sous le scénario RCP4.5 sur le Niger pour la période 2006-2020

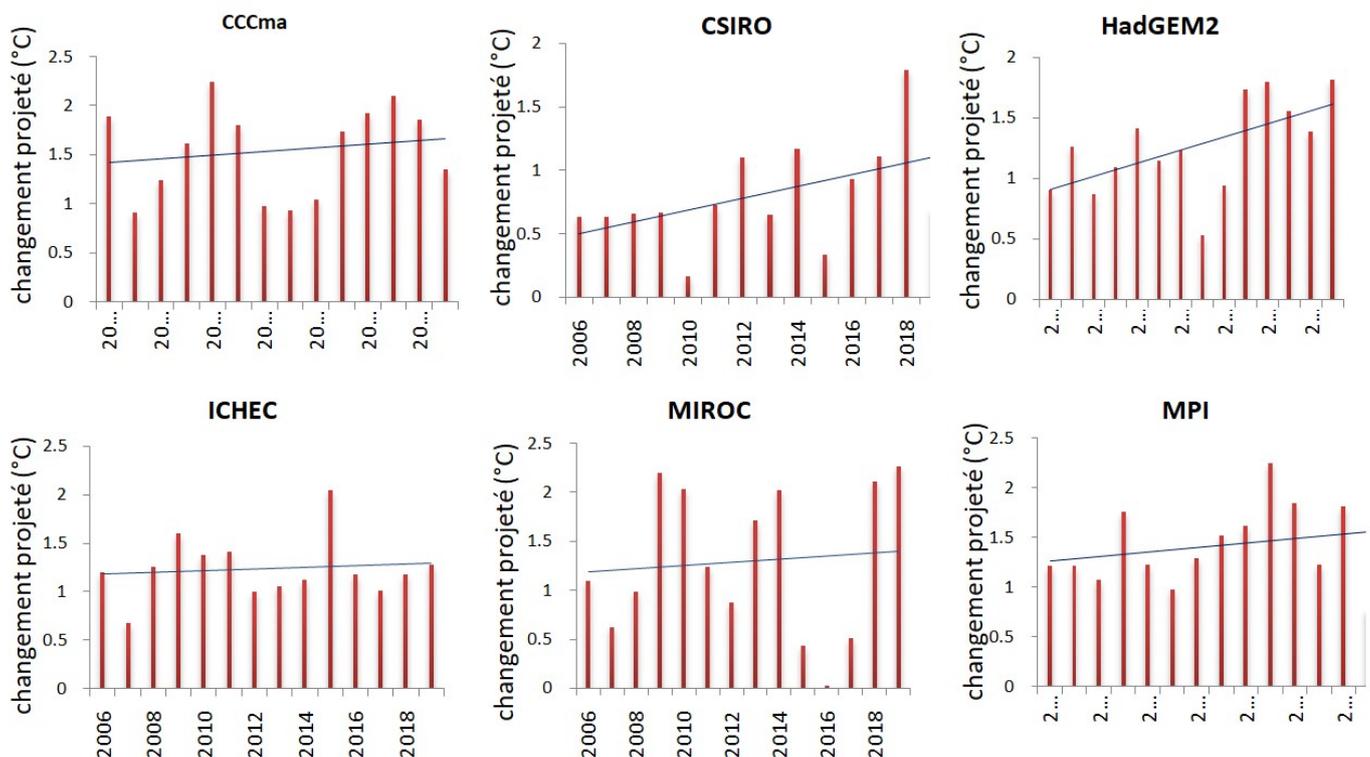


Figure 9. Changement des températures projeté par le modèle RCA4 sous le scénario RCP8.5 sur le Niger pour la période 2006-2020

Tableau 2. Comparaison des projections aux données de référence sur la période 2006-2014

		CRU	CCCma	CSIRO	HadGEM2	ICHEC	MIROC	MPI
RCP4.5	Changement moyenne (°C)	0,94	1,38	0,85	1,28	1,19	1,04	1,28
	Anomalie moyenne (°C)		0,43	-0,08	0,34	0,26	0,11	0,34
	Coefficient de corrélation R		0,58	-0,40	0,41	0,26	0,11	0,35
RCP8.5	Changement moyenne (°C)		1,54	0,80	1,26	1,24	1,29	1,41
	Anomalie moyenne (°C)		0,61	-0,13	0,33	0,30	0,93	0,47
	Coefficient de corrélation R		0,38	-0,23	-0,18	0,05	0,25	0,09
Ecart entre les deux scénarios (RCP8.5 – RCP4.5)			0,16	- 0,05	- 0,02	0,05	0,25	0,13

entre les deux scénarios n'est pas très significatif et il varie entre 0,02 et 0,25 selon les forçages. Les anomalies moyennes du modèle à reproduire le changement comme observé avec les données CRU sont comprises entre -0,08°C et 0,43°C pour le scénario RCP4.5 et entre -0,13°C et 0,93°C. Les écarts entre les changements sous les deux scénarios montrent qu'avec les forçages CCCma, ICHEC, MIROC et MPI, le modèle RCA4 prévoit plus de réchauffement sous le scénario RCP8.5 et par contre avec les forçages CSIRO et HadGEM2 on a un résultat contraire.

DISCUSSION

Le réchauffement global qui va persister au cours des siècles à venir, est dû aux émissions anthropiques des gaz à effet serre depuis l'époque préindustrielle (GIEC, 2019, P:5). Les données CRU montrent que le Niger qui est l'un des pays les plus chauds du Sahel n'est pas épargné par ce réchauffement global, donc le Niger deviendra encore un pays plus chaud. Sur la période 2006-2020, les années 2006, 2009, 2010 et 2011 ont été particulièrement très chaudes avec une augmentation comprise entre 1,1°C et 1,6°C par rapport à la période 1951-1980. Ces données CRU utilisées pour la validation du modèle RCA4 à projeter les températures sur le Niger, montrent que l'année 2010 est l'année la plus chaude de la période 2006-2020. En effet, selon la direction nationale de la météorologie du Niger, l'année 2010 est l'une des années les plus chaudes du début de 21° S (Katiellou *et al.*, 2014). Grâce à la performance des modèles de CORDEX à simuler les températures sur le Niger (Mahamadou *et al.*, 2018), le modèle RCA4 sous les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, projette bien un réchauffement du Niger par rapport à la période 1951-1980 mais avec des amplitudes différentes selon les MCG (CCCma, CSIRO, HadGEM2, ICHEC, MIROC et MPI) utilisés pour le forçage. Et ce changement projeté par le modèle RCA4 peut dépasser +2°C surtout avec le scénario RCP8.5. D'après les données CRU (Figure 7) le réchauffement au Niger a connu une légère diminution à partir de l'année de 2010. Mais cette baisse ne peut être liée à une diminution de la concentration des gaz à effet de serre d'origine anthropique, responsables du réchauffement global, mais plus tôt à « la variabilité naturelle du climat planétaire, aux fluctuations des courants océaniques, aux éruptions volcaniques, et au rayonnement solaire » (site 1). Les résultats du modèle RCA4 forcé par ICHEC ou MIROC sous le scénario RCP4.5, qui décrit un réchauffement constant (Figure 8) sur la période 2006-2020 corroborent le constat fait, qui dénote que la hausse des températures à l'échelle planétaire est moins claire à partir 1998, cet état de fait renforce les climato sceptiques à démentir l'idée du réchauffement anthropique de la surface de la planète terre (Bastien *et al.*, 2017). Contrairement aux données CRU, avec tous les forçages sous le scénario RCP8.5 et tous les forçages à l'exception de CCCma sous le scénario RCP4.5, le modèle RCA4 ne prévoit pas la diminution du réchauffement sur le Niger à partir 2011. Cette contradiction constatée entre le modèle et les données CRU est sûrement due à la faiblesse du modèle à prendre en compte des paramètres astronomiques de la terre et du soleil ou même la variation des aérosols à effet refroidissant dans l'atmosphère. En effet les activités volcaniques qui introduisent d'énormes quantités de poussières dans l'atmosphère ou la diminution de l'activité solaire peuvent provoquer un effet de refroidissement de la température du globe (Yves, 2003).

La comparaison des changements de températures sous les deux scénarios sur la période 2006-2020 montre que l'écart entre les deux scénarios n'est pas si important, en effet les trajectoires des deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 coïncide sur cette période (Moss *et al.*, 2010). A travers un biais négatif (Tableau 1) le modèle RCA4 présente une faiblesse à simuler les températures pour la période historique 1951-1980. Et à travers un biais positif (Tableau 2) et des faibles coefficients de corrélation entre le modèle RCA4 et les données CRU, il ressort une faible performance du modèle RCA4 à projeter les températures sur le Niger. Mais les coefficients de corrélations sont plus meilleurs entre les projections sous le scénario RCP4.5 et les données CRU. Ces résultats montrent que les prévisions du changement des températures sur le Niger ne sont pas robustes et ceci montre bien que la modélisation climatique en Afrique de l'Ouest reste toujours un défi. En effet il manque beaucoup de précision dans la modélisation des processus physiques qui jouent un rôle important dans le système climatique de l'Afrique de l'Ouest (Françoise *et al.*, 2015). Et aussi le réchauffement futur dépendra des sources d'émission et des puits naturels des gaz à effet de serre dont on n'a pas la connaissance parfaite. En fin ces résultats montrent que le scénario RCP4.5 décrit mieux l'évolution actuelle des températures sur le Niger et par conséquent le réchauffement attendu d'ici 2100 sous le scénario RCP8.5 pourrait ne pas être constaté.

CONCLUSION

Cette étude a pour objectif d'évaluer la performance du modèle RCA4 à simuler les températures passées (1951-1980) et de valider les projections des températures sur le Niger pour la période 2006-2024 sous les scénarios RCP4.5 et RCP8.5. L'évaluation est faite à travers une comparaison entre les données des simulations du modèle et les données de références CRU et UDEL. Comparativement à CRU et UDEL le modèle capte la distribution spatiale des températures sur le Niger mais avec moins d'intensité car le modèle présente une anomalie négative sur la majeure partie du Niger. Le modèle se montre très performant à simuler les températures sur la partie nord du Niger qui est pratiquement désertique. Pour ce qui est de la distribution temporelle des températures, le modèle RCA4 reproduit mieux la variabilité inter-mensuelle que la variabilité interannuelle des températures. La comparaison des données CRU et UDEL montre une forte similitude mais les données UDEL sous-estiment légèrement les températures du Niger par rapport aux données CRU. La comparaison entre le modèle RCA4 aux deux données de référence montre que le MRC RCA4 corrèle mieux avec CRU et par conséquent les données CRU sont utilisées pour la validation du modèle à projeter les températures sur le Niger. Cette validation est faite à travers une comparaison des paramètres tels que la distribution temporelle des températures sur la période 2006-2020, l'anomalie entre les données de projections et les données de référence CRU et les coefficients de corrélation. Le modèle capte l'augmentation des températures sur le Niger comme observée avec les données CRU mais avec beaucoup plus d'intensité. Les données CRU à travers la distribution interannuelle des températures montrent que l'augmentation des températures sur le Niger à partir de 2010, connaît une légère baisse que le modèle RCA4 n'arrive pas à capter avec tous les forçages sauf avec CCCma. Les faibles coefficients de corrélation entre le modèle RCA4 et les données CRU et la faiblesse du modèle à

prendre en charge certains aspects astronomiques pouvant provoquer une brusque variation de la température de la planète rendent incertaines les projections de températures sur le Niger ou sur le Sahel qui est l'un des points les plus chauds du changement climatique pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 (Differbaugh et Giorgi, 2012). Sous le scénario RCP4.5, les sorties du modèle RCA4 s'apparentent beaucoup aux observations des données CRU sur la période 2006-2020, donc ce scénario décrit mieux le changement des températures au Niger sous l'effet du réchauffement global.

REFERENCES

- AR5 2013. 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 [sous la direction de Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique.
- Bastien, A, Alice, B, François, G, Jean, J. 2017. Rapport d'étude n°2 – Données scientifiques et scénarios climatiques. P:85
- CNEDD, 2020. Rapport de l'actualisation de l'évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation (v&a) aux changements climatiques dans le secteur de l'agriculture au Niger. p :104
- Differbaugh, Noah S., Giorgi, Filippo, "Climate change hotspots in the CMIP5 global climate
- Fontaine, B., S. Janicot, and P.-A. Monerie, 2013. Recent changes in air temperature, heatwaves occurrences, and atmospheric circulation in Northern Africa. *J. Geophys. Res.-Atmospheres*, 118, 8536–8552.
- Françoise, G ; *et al.*, 2015. *Chapitre 1. Le réchauffement climatique observé depuis 1950 au Sahel In: Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest* [en ligne]. Marseille: IRD Éditions, 2015 (généré le 08 avril 2024). Disponible sur Internet: <<http://books.openedition.org/irdeditions/8929>>. ISBN: 978-2-7099-2147-3. DOI: <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.8929>.
- GIEC, 2019. Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté
- GIEC, 2020. Climate change and land. An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Summary for policymakers. Édité. Intergouvernemental Panel on Climate Change, 36 p.
- Leauthaud C.B and coauthors, 2017. A 60-year reconstructed high-resolution local meteorological data set in Central Sahel (1950–2009): evaluation, analysis and application to land surface modelling. *Int. J. Climatol.* 37, 2699–2718
- Ly M., Touné N, 2019. Appui à la formulation concertée de la SPN2A pour la République du Niger : Elaboration des projections climatiques désagrégées pour le Niger. Ministère de l'Environnement, de la Salubrité Urbaine et du Développement Durable. Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage. Conseil National de l'Environnement pour un Développement Durable. Haut-Commissariat à l'Initiative 3N. AFD. Facilité Adapt'Action. Niamey, Niger. Baastel - BRL - ONFI. Bruxelles, Belgique.
- Mahamadou Y, Mounkaila S.M, Fode M, 2018. Analyse multimodèle régional de climat des régimes de précipitations et de températures au Niger. *La Météorologie*, 2018, 101, p. 50-61 10.4267/2042/67430
- Mitchell et Jones, 2005. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Int. J. Climatology*, 25, 693 – 712, Doi: 10.1002/joc.1181
- Moron V, Oueslati B, B. Pohl, S. Rome, and S. Janicot, 2016. Trends of mean temperatures and warm extremes in northern tropical Africa (1961-2014) from observed and PPCA-reconstructed time series. *J. Geophys. Res.-Atmospheres*, 121, 5298–5319.
- Moss *et al* 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment, *Nature*, Vol 463, doi:10.1038/nature08823 model ensemble", *Climatic Change*, 114(3), 813-822, 2012.
- Nikiema P. M, Mouhamadou Bamba Sylla. M B, Kehinde Ogunjobi. K, Kebe. I, Gibba. P et Giorgi. F, 2016. Multi-model CMIP5 and CORDEX simulations of historical summertime temperature and precipitation variabilities over West Africa. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY Int. J. Climatol.* (2016) *Published online in Wiley Online Library* (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.4856
- Rapport N°1, ANADIA Niger, 2014. Caractérisation climatique de la région de Tillabéry. Katiellou Gaptia Lawan Maurizio Bacci Moussa Mouhaimini. p :33 Site 1 : www.google.com/search?q=variabilités+naturelles+des+températures+du+globe&client=firefox
- Strandberg, G., Barring, L., Hansson, U., Jansson, C., Jones, C., Kjellström, E. & Ullerstig, A. 2014. CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4. *Reports Meteorology and Climatology*, 116, SMHI, SE-60176 Norrköping, Sverige
- Van Vuuren D.P., Edmonds J., Kainuma M., Riahi K., Thomson A., Hibbard K., Hurtt G.C., Kram T., Krey V., Lamarque J.-F., Masui T., Meinshausen M., Nakicenovic N., Smith S.J., Rose S.K., 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Clim. Change*, 109, 5-31.
- Willmott C.J and Matsuura K. 1995. Smart interpolation of annually averaged air temperature in the United States. *Meteorological Applications* 34, 2577-2586.
- Yves Fouquart. 2003. Influence anthropique et variations naturelles In : *Le climat de la terre* [en ligne]. Villeneuve d'Ascq : Presses universitaires du Septentrion, 2003 (généré le 03 avril 2024). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/septentrion/52816>>. ISBN: 978-2-7574-2238-0. DOI : <https://doi.org/10.4000/books.septentrion.52816>.
