

Modélisation de la température et de la pluviométrie dans un contexte de changement climatique : cas de l'Afrique de l'Ouest

Koffi Eugene KOUAKOU¹, Zile Alex KOUADIO², Francis William KOUASSI²,
Tie Albert GOULA Bi² et Issiaka SAVANE²

¹ Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi), Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

² Université Nangui Abrogoua, Laboratoire de Géosciences et Environnement (LGE), 02 BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire

* Correspondance, courriel : kkoffieugene@yahoo.fr

Résumé

La modélisation du climat de l'Afrique de l'Ouest durant le 21^{ème} siècle a été effectuée dans l'optique d'évaluer les impacts du changement climatique sur l'évolution des précipitations et des températures et de permettre aux décideurs de prendre des mesures d'adaptation et d'atténuation afin de réduire la vulnérabilité de cette région face aux effets néfastes provoqués par ce phénomène. Le modèle régional RegCM3 a été utilisé à partir d'un maillage de 60 Km en différences finies du domaine d'étude compris entre 25°E – 25°W et 5°S – 25°N. Deux types de données ont été utilisés en entrée du modèle comme conditions initiales et conditions aux limites. Il s'agit des données climatiques (température, pression, humidité relative, vitesse du vent...) et physiographiques (occupation du sol, topographie).

Les résultats donnent selon les localités en Afrique de l'Ouest un accroissement de 0,4°C à 1,8°C de la température à l'horizon 2031-2040 et de 3,2°C à 5,8°C à l'horizon 2091-2100. Selon l'analyse, les précipitations pourraient baisser dans l'ensemble dans la zone et atteindre dans certaines localités 60%. Spécifiquement, les températures au Sahel connaîtraient des augmentations moyennes mensuelles et annuelles plus importantes que celles des régions du Golf de Guinée. Quant aux précipitations, elles subiraient une augmentation annuelle de 0,44% au Sahel contre une baisse de 3% dans le Golf de Guinée à l'horizon 2031-2040. A l'horizon 2091-2100, les précipitations diminueraient de 12,6% au Sahel et de 9,12% dans les régions du Golf de Guinée.

Mots-clés : *impacts, changement climatique, température, précipitations, Afrique de l'Ouest.*

Abstract

Modeling of temperature and rainfall in a changing climate: Case of West Africa

Modelling the climate of West Africa during the 21st century was carried out to assess the impacts of climate change on evolution of precipitations and temperatures. This study helps authorities to take decisions of adaptation and mitigation in order to reduce the vulnerability of this area in front of this phenomenon. The regional climate model RegCM3 was used by applying finished differences approach on the field localized between 25°E – 25°W and 5°S – 25°N with grids of 60 km. Two types of data were necessary in entry of

the model as initial and boundary conditions. They are the climate data (temperature, pressure, relative humidity, speed of the wind. . .) and physiographical (landuse, topography).

According to localities in West Africa, the results gives an increase of 0.4°C to 1.8°C for the temperature during 2031-2040 and of 3.2°C to 5.8°C during 2091-2100. Globally, precipitations could drop as a whole and reach in certain localities 60%. Specifically, temperatures in the Sahel would know monthly and annual average increases more significant than those of the areas of the Gulf of Guinea. For precipitations, they would increase annually of 0.44 % in the Sahel against a decrease of 3% in the Gulf of Guinea during 2031-2040. For the decade 2091-2100, precipitations could decrease of 12.6% in the Sahel and 9.12% in the areas of the Gulf of Guinea.

Keywords : impacts, climate change, temperature, precipitations, West Africa.

1. Introduction

Les changements climatiques sont devenus une grande menace quotidienne pour la planète en raison de leurs répercussions immédiates et durables sur le milieu naturel. Ils ont pour effets le réchauffement atmosphérique de l'ordre + 0,74°C entre 1906 et 2005 [1] , la réduction de la production agricole, la détérioration de la sécurité alimentaire, l'incidence accrue des inondations et de la sécheresse, la propagation des maladies et l'augmentation des risque de conflits dus à la raréfaction des terres et de l'eau et l'avancée des mers sur les continents suite à la fonte des calottes glaciaires [2].

Ces changements climatiques menacent également et directement la vie humaine. En effet, en été 2003 en Europe, le réchauffement climatique a provoqué la mort de près de 30000 personnes dont 14082 en France, 7000 en Allemagne, 4000 en Italie et 2045 en Grande Bretagne [3]. C'est dans ce contexte que depuis quelques décennies, les climats de l'Afrique en particulier ceux de l'Afrique de l'Ouest font objet d'études afin de prendre des mesures adéquates pour réduire ses nombreux impacts sur la vie des populations et leurs activités. Ainsi, trois types d'études sont régulièrement menés.

Le premier groupe de chercheurs [4 - 10] s'est attelé à l'étude de la variabilité climatique et de ses impacts sur les ressources en eau. Le second groupe de chercheurs portent leurs efforts à la compréhension des mécanismes à l'origine des variations climatiques [11-14]. Ces deux catégories de chercheurs sont arrivées à la conclusion que non seulement les variations climatiques comportent deux variantes dont l'une est la variabilité climatique d'origine naturelle et les changements climatiques d'origine anthropique.

Outre ces deux aspects, ils constatent que les changements climatiques provoqués par l'émission abusive de gaz à l'effet de serre (CO₂, NH₄, O₃...) par l'homme [1] dans l'atmosphère sont en train d'altérer l'environnement humain global. Face à l'ampleur des dégâts constatés par ce phénomène, un troisième groupe de chercheurs s'attèlent à modéliser les climats africains dans une perspective de prévision climatique pour le XXIème siècle [6, 9, 15-19]. Deux types de modèles climatiques sont utilisés sur le terrain par ces chercheurs. Il y a d'abord les modèles climatiques globaux déjà utilisés par [9, 15, 17-19].

Ces modèles bien qu'ils donnent des résultats satisfaisants demeurent dans un cadre global. Pour tenir compte des spécificités régionales dans les études de la modélisation climatique, certains auteurs utilisent des modèles climatiques régionaux [12, 15, 16, 19-21]. C'est donc dans le cadre de la modélisation du climat régional que s'inscrit cet article dont le but est de simuler le climat actuel et futur dans une perspective de changement climatique. Dans le présent article, les résultats relatifs à la température et aux précipitations sont présentés.

2. Matériel et méthodes

2-1. Description du modèle climatique régional RegCM3

Le modèle atmosphérique RegCM3 (Regional Climate Model version 3) est un modèle climatique régional qui a été mis en place par le groupe de physiciens de l'atmosphère et des climatologues du Centre International Abdul Salam pour la Physique Théorique (ICTP) [22-25]. C'est un modèle qui permet d'effectuer des simulations de climats sur des mailles de dimension variant entre 10 et 90 Km. Il dispose de plusieurs options pour paramétrer la convection des cumulus et les flux turbulents au-dessus de l'océan. Mais, celles utilisées dans cette étude sont le schéma de [26] pour la paramétrisation des flux turbulents de l'océan et de [27] pour la paramétrisation des précipitations convectives.

2-2. Description du logiciel de cartographie

Les cartes ont été réalisées grâce au logiciel de cartographie Ferret version 6.0 élaboré par le National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) et fonctionne sous Linux [28]. Il est utilisé par les océanographes et les météorologues comme un outil d'analyse des données spatialisées.

2-3. Données utilisées pour la simulation

Deux groupes de données ont été utilisés pour la mise en marche du modèle. Ce sont les données climatiques (température, précipitations, vitesse du vent, humidité relative...) et les données physiographiques (occupation du sol, topographie). Les données climatiques sont constituées de données de reanalyse météorologique utilisées comme conditions initiales au modèle. Il existe deux types :

- Les Températures à la Surface des Mers (TSM) du National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) et les paramètres climatiques (températures, précipitations, vitesses du vent, humidité relative) simulés par le modèle climatique global ECHAM5/MPI-OM sous le scénario d'émission A1B [29] ;
- Les données physiographiques qui servent de conditions aux limites du domaine modélisé et concernent les données de la topographie et d'occupation des sols. Elles sont produites respectivement par United States Geological Survey (USGS) and Global Land Cover Characterization (GLCC) [30].

Toute cette base de données a été obtenue par le biais de l'ICTP basé à Trieste (Italie).

Le scénario d'émission A1B fait partie de la famille de scénarios A1 décrivant un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide et la population mondiale atteindra son pic au milieu du siècle (environ 8,7 milliards) [31] pour décliner par la suite jusqu'à 7 milliards. Il prévoit une intensification des échanges, favorisant une croissance rapide basée sur les nouvelles technologies associant tous les types d'énergie. Les inégalités nord-sud se réduisent tandis que la courbe du CO₂ croît.

Cette modélisation climatique a été faite sur trois périodes de dix ans chacune. Il s'agit d'une première période de calage avec les données d'observation (1991-2000) et deux périodes de simulations (2031-2040) et (2091-2100).

Enfin, les données de températures et précipitations observées par l'Unité de Recherche Climatologique (CRU) ont servi à évaluer la performance du modèle en les comparant avec les températures et les précipitations simulées.

2-4. Zone d'application du modèle

Le domaine modélisé est l'Afrique de l'Ouest qui s'étend entre les longitudes 25°E et 25°W et les latitudes 5°S et 25°N centrée au point de coordonnées (0°, 15°N). Une discrétisation horizontale en différence finie s'est faite avec des mailles carrées de 60 km de côté. A cette discrétisation précédente, le modèle réalise une discrétisation verticale comprenant 23 niveaux de pressions entre la surface terrestre et la troposphère [24].

2-5. Étapes de fonctionnement du modèle

La simulation avec le modèle RegCM3 comprend trois grandes phases qui sont la phase de prétraitement, la phase de simulation et la phase de post-traitement. Le prétraitement consiste à préparer les données et les fichiers d'entrées. Le traitement représente la simulation proprement dite et le post-traitement est la phase de conversion des résultats binaires en des moyennes journalières ou mensuelles exploitables par le logiciel Ferret.

3. Résultats

3-1. Évaluation de la performance du modèle

3-1-1. Comparaison des températures simulées (RegCM3) avec celles observées (CRU)

La performance du modèle du RegCM3 est évaluée par comparaison des températures moyennes saisonnières simulées par le modèle et celles observées par le CRU en Afrique de l'Ouest (*Figure 1*). Il apparaît que le modèle surestime, en fonction de la saison, les valeurs de températures calculées par rapport à celles observées. Cette tendance à la surestimation est beaucoup marquée en zone désertique contrairement aux régions forestières. Par exemple, en mai, le modèle surestime les températures dans la fenêtre formée par le Nord du Sénégal et du Mali, le Sud de la Mauritanie et sur l'ensemble du Niger. A la période de juillet à septembre, l'extrême nord de la région modélisée présente des températures calculées élevées par rapport à celles observées.

Dans le Golfe de Guinée, les valeurs faibles de température simulées s'observent à la frontière Guinée - Libéria et au centre du Nigéria qui sont des zones montagneuses. La période d'octobre à décembre est marquée par des températures calculées nettement plus faibles au niveau des côtes par rapport aux valeurs observées. Cependant, le modèle donne des résultats globalement satisfaisants. Les pourcentages d'erreurs relatives commises par le modèle dans l'estimation des températures en zone sahélienne et guinéenne sont consignés dans le *Tableau 1*. L'observation des valeurs montre que durant l'année, le modèle surestime les températures au Sahel à raison de 0,41% à 13,50 % à l'exception du mois d'août où la température est sous-estimée de 0,54%.

Par contre, dans la région du Golfe de Guinée, il y a une nette différence entre les erreurs commises par le modèle au cours des mois pluvieux et les mois secs. En effet, au cours des mois humides de mai à octobre, le modèle sous estime les températures de 1,74% à 3,35% et pendant les mois secs, il surestime les températures de 1,82% à 10,26%. Annuellement, le modèle surestime les températures de 2,53% au Sahel et de 2,17% Golfe de Guinée.

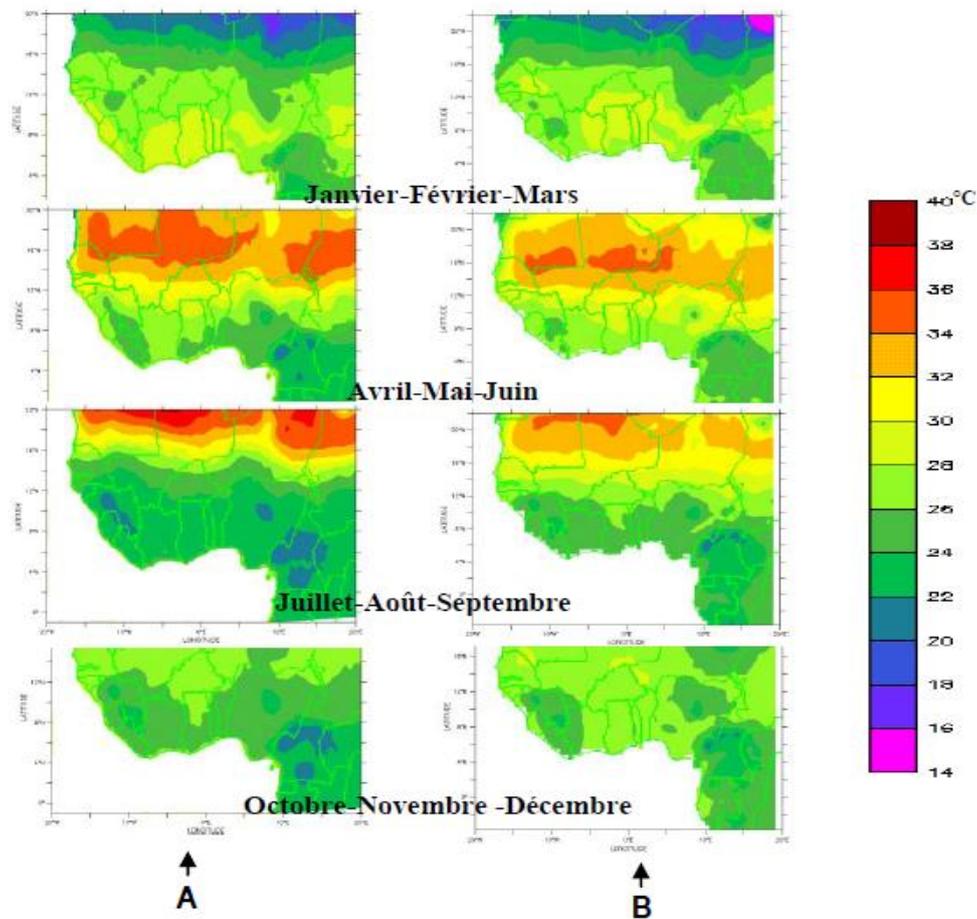


Figure 1 : *Comparaison des températures saisonnières simulées (A) et observées (B) en Afrique de l'Ouest sur la période 1991-2000*

3-1-2. Comparaison des pluies simulées (RegCM3) et observées (CRU)

Après avoir testé la performance du modèle avec les températures, il apparaît nécessaire d'en faire autant pour les pluies. C'est dans cette optique que la distribution spatiale des pluies mensuelles simulées par RegCM3 est comparée à celles observées sur quatre mois pluvieux de l'Afrique de l'Ouest de la période 1991-2000 (Figure 2). Il apparaît que le modèle surestime davantage les pluies simulées par rapport à celles observées. En effet, les pluies simulées qui ont les mêmes valeurs que les pluies observées occupent des positions latitudinales supérieures à celles issues des observations. Au-delà de 18°N, les observations donnent une absence de pluie alors que le modèle simule plus de 3 mm de pluies en juin et en juillet. Ces anomalies s'observent également dans le Centre du Cameroun en Afrique centrale. Par ailleurs, le modèle sous-estime les pluies mensuelles sur les côtes du Libéria, mais simule bien la dynamique spatiale des pluies mensuelles suivant le gradient continental Sud- Nord.

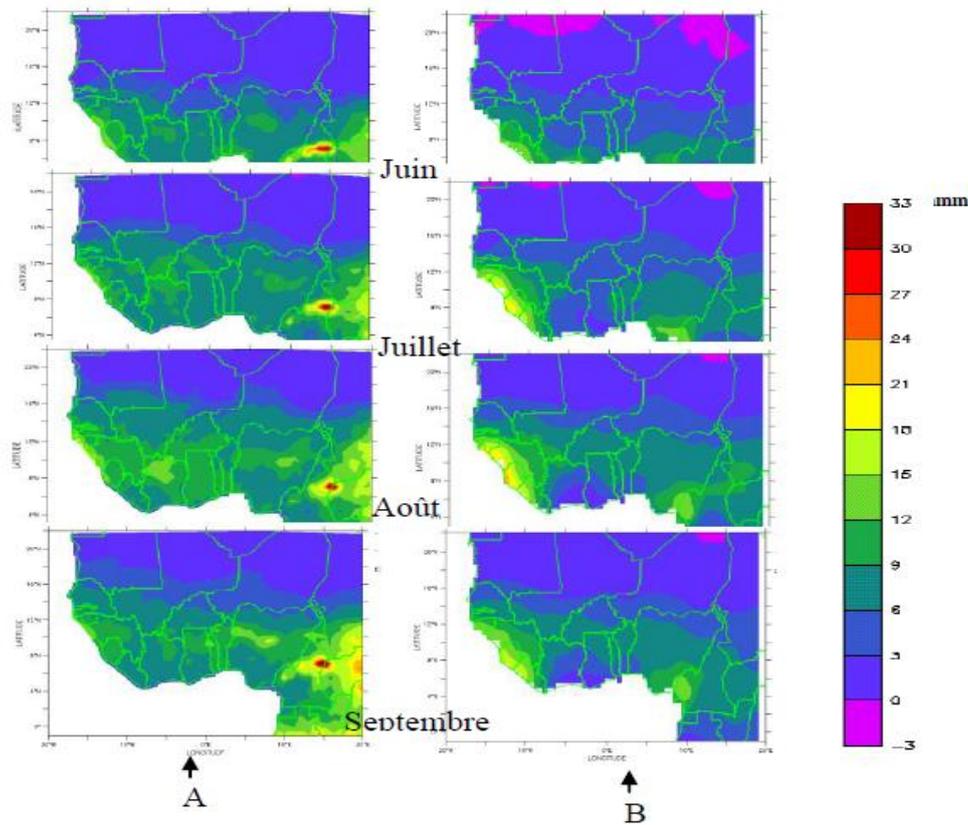


Figure 2 : Comparaison des pluies mensuelles simulées (A) et observées (B) des mois pluvieux en Afrique de l'Ouest sur la période 1991-2000

3-1-3. Détermination des erreurs relatives commises par le modèle dans l'estimation des pluies et des températures annuelles

Il est important de comparer quantitativement les erreurs relatives commises par le modèle RegCM3 lors de l'estimation des températures et des pluies annuelles (**Tableau 1**) en vue d'apprécier le degré de fiabilité du modèle. Cette comparaison concerne pluies et les températures des régions du Sahel et du Golfe de Guinée. L'observation du tableau montre que le modèle surestime en moyenne les températures de 1,7°C au Sahel et de 0,3°C dans le Golfe de Guinée par rapport aux valeurs observées CRU, ce qui donne des erreurs relatives de 6% et 0,9%. Contrairement aux températures, le modèle surestime fortement les précipitations annuelles. En effet, au Sahel, le modèle simule les précipitations annuelles avec 48,9% d'erreur relative contre 8,5% dans le Golfe de Guinée.

Tableau 1 : Détermination des erreurs relatives sur les précipitations et les températures moyennes annuelles estimées par le modèle RegCM3

	Températures (°C)			Précipitations (mm)		
	Simulées (T _s)	Observées (T _o)	erreurs T _s - T _o	Simulée (P _s)	Observées (P _o)	Erreurs P _s - P _o
Sahel	29,8	28,1	1,7 (6,0%)	725,7	487,2	131,8 (48,9%)
Golfe de Guinée	27,3	27,1	0,3 (0,9%)	1687	1555,3	238,5 (8,5%)

3-2. Projection des conditions climatiques de l'Afrique de l'ouest

3-2-1. Evolution des températures mensuelles au Sahel et dans le Golfe de Guinée

Les variations mensuelles de température qui pourraient survenir aux horizons 2031-2040 et 2091-2100 au Sahel et dans le Golfe de Guinée par comparaison à la période 1991-2000, ont été déterminées (**Figure 3**). Il apparaît que les températures mensuelles pourraient plus augmenter au Sahel que dans le Golfe de Guinée au cours de ces horizons avec quelques spécificités selon le mois. A l'horizon 2031-2040, les températures au Sahel pourraient connaître un accroissement mensuel de 0,3°C en novembre à 1,8°C en janvier à l'exception du mois de février où une légère baisse de 0,2°C est attendue. Annuellement, l'accroissement est de 1°C.

Dans le Golfe de Guinée, la hausse des températures reste faible et varie de 0,4°C en mai à 0,9°C en décembre et en janvier avec une valeur moyenne annuelle de 0,7°C.

A l'horizon 2091-2100, le réchauffement climatique s'amplifie et devient quatre fois supérieure à celle observée à l'horizon 2031-2040. Ainsi, au Sahel, les augmentations de température oscillent entre 3,7°C en février et 5,6°C en juin avec une moyenne annuelle de 4,7°C. Dans la région du Golfe de Guinée, les variations sont légèrement moins élevées qu'au Sahel mais demeurent tout de même importantes. Les températures moyennes mensuelles attendues pourraient varier entre 2,8°C en septembre - octobre et 4,7°C en avril avec une moyenne annuelle de 3,6°C.

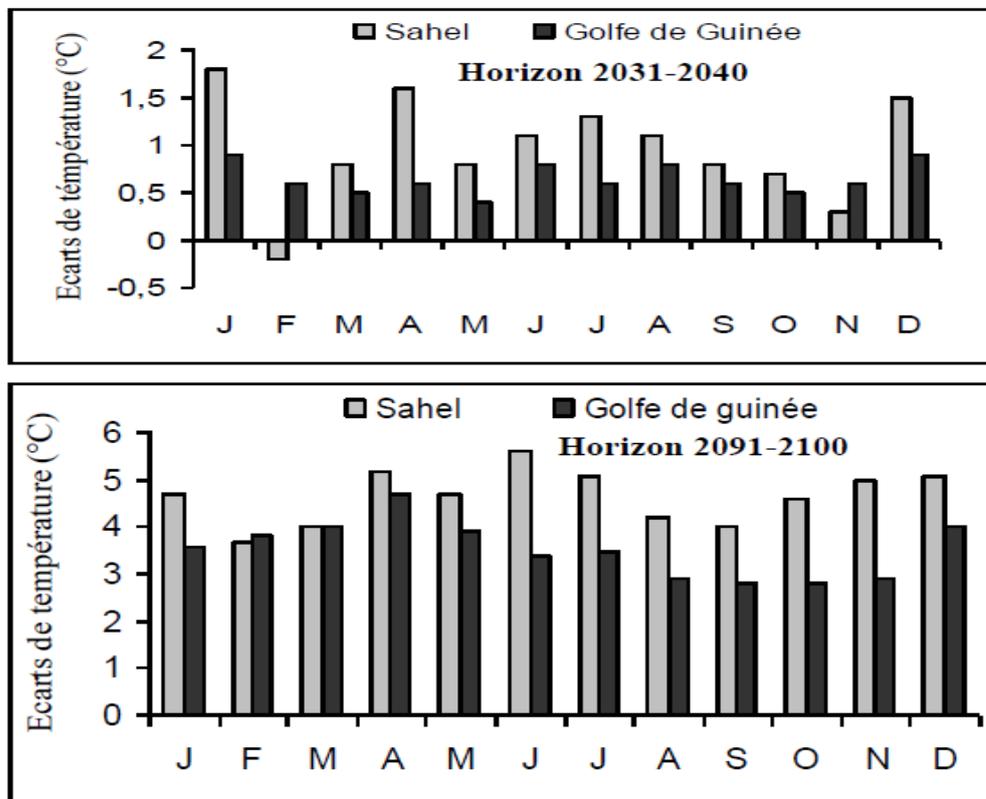


Figure 3 : Évolution des accroissements mensuels des températures au Sahel et dans le Golfe de Guinée pour les périodes 2031-2040 et 2091-2100 par rapport à celle de 1991-2000

3-2-2. Evolution spatiale des températures annuelles en Afrique de l'ouest

Les accroissements de températures annuelles attendues en Afrique de l'Ouest au cours des horizons 2031-2040 et 2091-2100 ne sont pas homogènes mais se présentent plutôt sous forme de bandes dont les valeurs augmentent des côtes maritimes vers l'intérieur des terres (*Figure 4*).

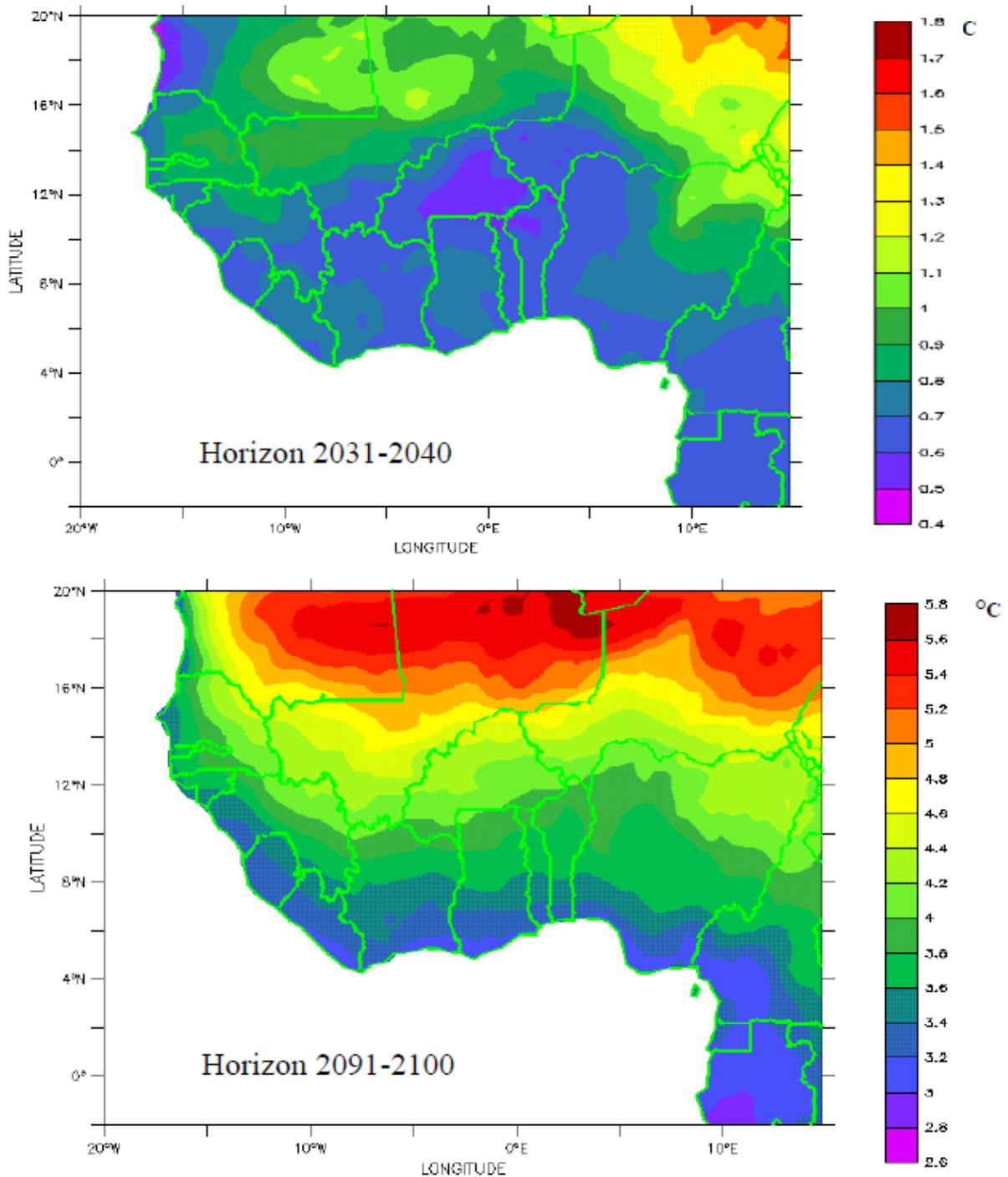


Figure 4 : Cartographie des variations annuelles de températures en Afrique de l'Ouest aux horizons 2031-2040 et 2091-2100

Ainsi, les variations de température pour la période 2031-2040 sont de 0,6°C à 1,8°C suivant les régions. Les accroissements d'amplitude supérieure à 1°C sont situés au Sahel notamment dans le Sud- Ouest de la Mauritanie, le Nord du Mali jusqu'à l'extrême Nord du Niger et du Nigéria. Les régions situées en bordure de l'océan atlantique pourraient être soumises à des augmentations de 0,5°C à 0,8°C.

Par contre, à l'horizon 2091-2100, il apparaît une nette stratification en bande horizontale des variations de températures annuelles. Ce paramètre pourrait connaître une augmentation de 3,2°C au niveau des côtes maritimes à près de 5°C au-delà de 15,5°N. Il fera particulièrement plus chaud sur la moitié Nord du Mali, du Niger et le Sud de la Mauritanie avec des augmentations supérieures à 5°C.

3-2-3. Evolution des pluies mensuelles au Sahel

Les variations de pluies mensuelles et interannuelles au sahel aux horizons 2031-2040 et 2091-2100 par rapport aux valeurs observées de la période 1991-2000, ont été calculées (Tableau 2) et montrent que contrairement à la température dont les évolutions futures sont à la hausse, les précipitations connaissent des évolutions très variables en fonction de la zone géographique. C'est ainsi qu'au Sahel, une légère augmentation de 0,44% des précipitations annuelles à l'horizon 2031-2040 est prévue contre un déficit pluviométrique de 12,6% à l'horizon 2091-2100. A ces variations annuelles, s'ajoutent aussi celles relatives aux mois. En effet, à l'horizon 2031-2040, l'essentiel des mois pluvieux mai, juin, juillet et septembre présentent une légère diminution des pluies respectivement de 1,71 mm, 10,5 mm, 6,7 mm et 4,3 mm ; ce qui représente également 57,1%, 2,9%, 12%, 4,8% et 4,3% dans le même ordre. Par contre, certains mois de la saison sèche comme ceux de la période d'octobre à janvier, mars et avril connaîtraient une augmentation des pluies de 0,41 mm à 13,05 mm.

Par ailleurs, l'horizon 2091-2100 est plus affecté par les effets du changement climatique. En effet, les mois de la saison des pluies (avril à septembre) sont marqués par une diminution des hauteurs de pluie de 7,6 mm en septembre à 29 mm en mai (soit une diminution allant de 4,7% à 49%). Dans le même temps, les précipitations connaîtraient de légères augmentations au cours du premier trimestre de l'année alors que pendant les mois d'octobre et de novembre, des augmentations de 10 mm de pluies sont prévues.

Tableau 2 : Évolution des pluies mensuelles au Sahel aux horizons 2031-2040 et 2091-2100

<i>Écarts pluviométriques entre [1991~2000] et [2031~2040]</i>													
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	M.A
(mm)	1,4	-0,2	3,4	5,8	-1,7	-11	-6,7	3,6	-7	13	1,7	0,4	3,2
(%)	3475	-57	123	24,4	-2,9	-12	-4,8	1,9	-4,3	22,4	43,6	512,5	0,44
<i>Écarts pluviométriques entre [1991~2000] et [2091~2100]</i>													
(mm)	0,09	0,27	0,42	-15,6	-29	-35	-10,9	-16,6	-7,69	12,5	10,4	-0,04	-91,2
(%)	215	77,4	14,9	-66	-49	-40	-7,9	-8,7	-4,7	21,6	263	-45	-12,6

3-2-4. Evolution des pluies mensuelles dans le Golfe de Guinée

Les taux de variations moyens et les écarts des pluies aux horizons 2031-2040 et 2091-2100 sont calculés relativement à la période de référence 1991-2000 dans les régions du Golfe de Guinée (*Tableau 3*).

Il apparaît que la pluviométrie pourrait diminuer annuellement et les déficits pluviométriques moyens sont de 3% pour l'horizon 2031-2040 et de 9,12% de 2091-2100. De plus, au niveau du cycle pluviométrique de l'horizon 2031-2040, les mois de la saison des pluies de mai à septembre deviennent moins pluvieux avec des déficits allant de 11% à près de 28% tandis que ceux de la saison sèche (décembre, janvier- avril) connaissent une augmentation des précipitations.

A l'horizon 2091-2100, le déficit pluviométrique s'étend sur l'essentiel des mois et le dernier trimestre de l'année pourrait devenir la véritable saison des pluies avec des augmentations allant de 11% à 36,6%.

Tableau 3 : Evolution des pluies mensuelles dans le Golfe de Guinée à l'horizon 2031-2040

Ecartes pluviométriques entre [1991~2000] et [2031~2040]													
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne an
(mm)	-0,12	2,0	26,6	3,5	-27,7	-21	-11	-24,5	-12,7	9,9	-6,5	3,6	-57,6
(%)	-1	5,5	15,1	1,1	-10,4	-8,8	-4,8	-9,9	-5,4	4,4	-7,9	24,5	-3
Ecartes pluviométriques entre [1991~2000] et [2091~2100]													
(mm)	-8,7	-8,3	-62	-125	-25	0,04	3,9	-47,8	-9,6	55,0	32,6	1,6	-194
(%)	-74,5	-24	-42	-41,5	-8,5	0,02	1,6	-17,6	-3,8	25,5	36,6	14,1	-9,12

3-2-5. Evolution spatiale des pluies annuelles en Afrique de l'ouest

Les répartitions spatiales des déficits ou excédents de précipitations qui pourraient survenir en Afrique de l'Ouest à l'horizon 2031-2040 et 2091-2100 par rapport à celui de 1991-2000 ont été déterminées (*Figure 5*). Elles montrent que les changements pluviométriques ne sont pas homogènes c'est à dire qu'elles présentent une forte variabilité sur les régions. En effet, les variations spatiales et temporelles moyennes annuelles montrent qu'au cours de l'horizon 2031-2040, les précipitations de l'Afrique de l'Ouest pourraient varier de -30% à +40%. La diminution affecte aussi bien les régimes typiquement bimodaux du Golfe de Guinée que les régimes uni-modaux de la région du Sahel.

Mais quelques particularités peuvent être observées concernant la partie centrale de l'Afrique de l'ouest formée par l'Est du Mali, le Burkina, le Sud du Niger et le Nord du Nigéria où la pluviométrie annuelle pourrait accroître de 10% à 40%. Outre ces pays, la pluviométrie dans le reste des pays va diminuer de 10% à 30%. Les pays concernés par cette baisse de précipitations sont la majeure partie des pays en bordure de l'océan Atlantique mais aussi, le Mali et le Niger. Cependant, le Sénégal, la Mauritanie, le Mali et le Nord du Niger sont plus affectés par le changement climatique avec des déficits pluviométriques allant de 20% à 30%.

A l'horizon 2091-2100, la pluviométrie générale de l'Afrique de l'Ouest baisse sans configuration spatiale claire. En outre, l'étude des variations pluviométriques annuelles révèle un certain nombre de particularités régionales indiquant qu'il est difficile d'établir des conclusions valables pour l'ensemble de la sous-région. Toutefois, les effets du changement climatique sur l'Afrique de l'Ouest sont plus accentués. En effet, les déficits pourraient atteindre les 60% et les pays tels que le Mali, le Sénégal, la Mauritanie et le Niger seraient particulièrement touchés par ces fortes baisses pluviométriques.

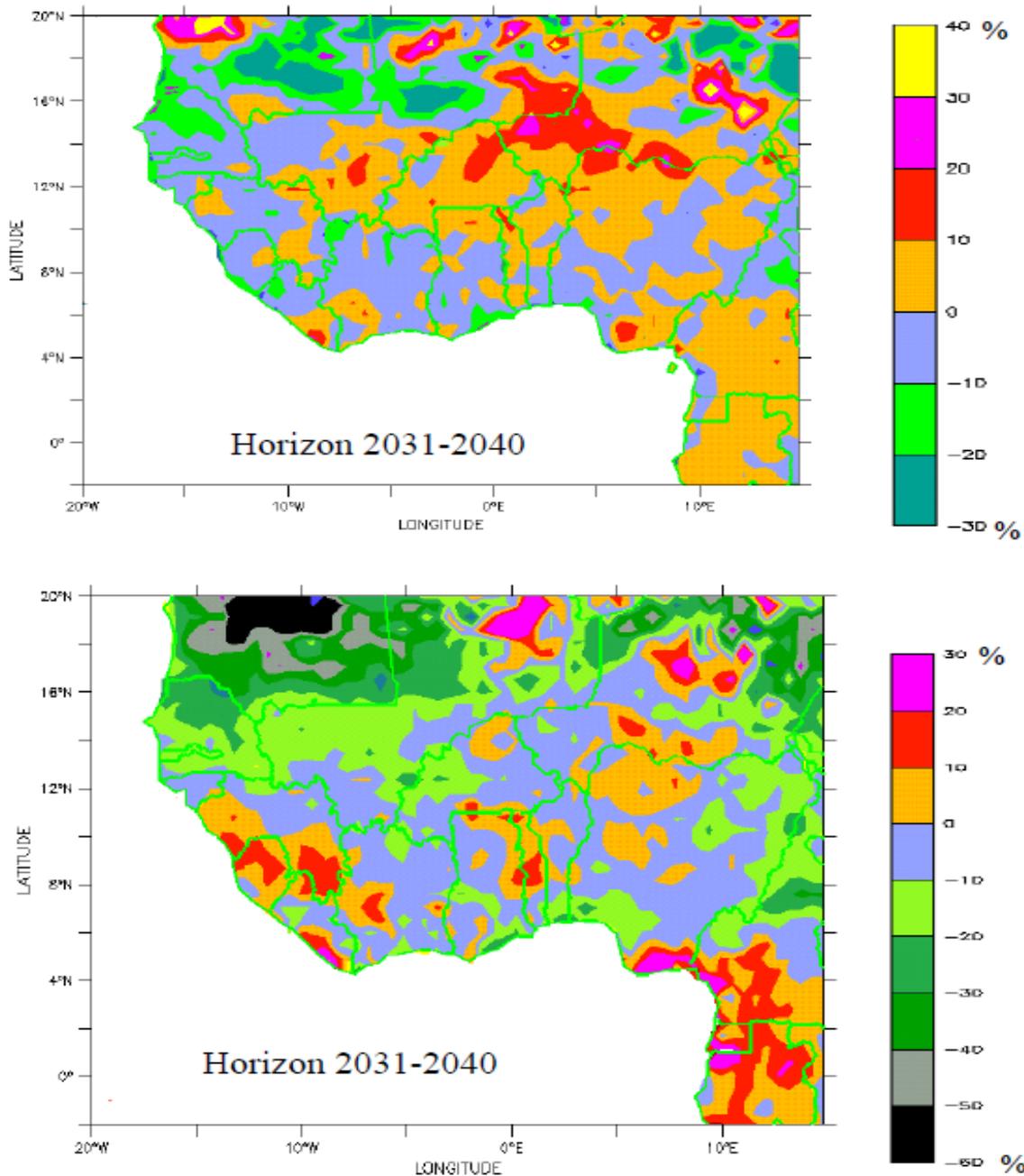


Figure 5 : *Cartographie des variations annuelles des pluies en Afrique de l'Ouest aux horizons 2031-2040 et 2091-2100*

4. Discussion

4-1. Evaluation de la performance du modèle RegCM3

Il a été constaté au cours de la validation des résultats du modèle avec le climat actuel que le modèle RegCM3 surestime les paramètres climatiques en Afrique de l'Ouest dans la majorité des cas. Les erreurs relatives moyennes annuelles calculées sur cette zone sont très faibles. Au Sahel et en régions guinéennes, le modèle surestime les températures moyennes annuelles respectivement de 6% et 0,9%. Ces faibles incertitudes s'expliquent par le fait qu'en absence de hautes montagnes, les températures ont une

variabilité spatiale relativement homogène [16]. Contrairement aux températures, les précipitations sont simulées par le modèle avec des erreurs relativement importantes.

En effet, la comparaison des précipitations observées par le CRU et celles simulées par le modèle donne des écarts qui varient de 8,5% en zone guinéenne à 48,9% au Sahel. Ces résultats sont tout de même satisfaisants car les résultats d'un modèle sont déclarés mauvais lorsque l'erreur commise dépasse 50% [9]. Les mauvaises performances dans les simulations du modèle RegCM3 (surestimation et sous-estimations) sont dues à la paramétrisation des phénomènes physiques [32-33] telles que les précipitations convectives, les conditions aux limites et les états de surface. De même, le modèle climatique RegCM3, en utilisant pour la simulation du climat, les données EH50M dérivant du modèle globale ECHAM5 comme conditions initiales, intègre les erreurs de ce modèle à ses résultats.

L'une des sources d'erreur dans cette étude, est la non prise en compte des changements d'état de surface. En effet, la dynamique des interactions de la couverture végétale-atmosphère influence fortement le climat à travers les mécanismes de rétroactions [16, 34]. Enfin, les données observées (CRU) ayant servi à valider celles simulées, comportent également des erreurs de mesures [35-36].

4-2. Évolution de la température au cours du 21ème siècle

Les projections climatiques effectuées donnent un accroissement des variations de température des côtes maritimes vers les terres des régions du Sahel. Ce gradient thermique est dû à la présence de l'océan Atlantique et de forêts dont la densité et la nature diminue du Sud vers le Nord. En effet, l'océan Atlantique et les différents types de couvert végétal sont des puits de carbone. Les forêts tropicales absorbent plus de 50% des émissions humaines annuelles de CO₂ et de méthane [37]. Elles réduisent ainsi considérablement les concentrations atmosphériques de ces deux gaz à effet de serre dans le Golfe de Guinée.

C'est donc ce phénomène qui provoque un réchauffement plus faible dans les régions du Golfe de Guinée que celles du Sahel où l'absence de puits de carbone véritable induit la présence maximale des gaz à effet de serre entraînant un réchauffement maximal dans cette région. De ce qui précède, on déduit que la vulnérabilité de l'Afrique de l'Ouest au changement climatique est liée aux caractéristiques physiques naturelles très contrastées entre les zones humides au Sud et les zones arides au Nord. Ces contrastes la prédisposent à être affectée de façon disproportionnée aux effets négatifs des variations du climat [38].

Ces augmentations de températures calculées dans cette étude sur l'Afrique de l'Ouest sont conformes à celles prévues par le [2] qui prévoit à travers les modèles climatiques que la température de la planète augmenterait de 1,4 à 5,8°C d'ici 2100. Les projections les plus alarmistes annoncent même que ces augmentations pourraient atteindre jusqu'à 6,4°C à l'horizon 2100.

4-3. Évolution de la pluviométrie au cours du 21ème siècle

Les projections effectuées sur les précipitations donnent un accroissement de la pluviométrie annuelle 0,44% à l'horizon 2031-2040 et une diminution de 12,6% à l'horizon 2091-2100. A l'échelle mensuelle, l'on assiste à une alternance de hausse et de baisse suivant le mois et la zone. Les variations à la baisse ou à la hausse de la pluviométrie dont il est question dans cette étude, sont imposées par les variations thermiques de l'océan Atlantique équatorial même si d'autres forçages semblent également exister [11]. Mais la part exacte des télé-connexions d'échelle quasi globales et des interactions océan - atmosphère plus régionales dans la variabilité des précipitations africaines n'est pas encore déterminée de manière quantitative.

Cependant, les résultats convergent vers deux idées générales. Selon [14] et [39], certains modes dominant la variabilité interannuelle des champs thermiques des océans sont fortement liés aux modifications du climat en Afrique. A l'instar des études de [13] menées en Côte d'Ivoire, un réchauffement anormal des températures de surface de l'océan de l'Atlantique (sa partie Sud-ouest) entraîne les baisses pluviométriques et un refroidissement des températures de surface de l'Atlantique tropicale au Nord de l'équateur est à l'origine de l'augmentation des précipitations dans certaines parties de l'Afrique de l'Ouest. Il y a aussi le fait que les variations spatio-temporelles du contexte environnemental terrestre modulent la mosaïque des climats régionaux, notamment au travers du cycle de l'eau et des échanges avec la couverture végétale [40-41].

Il s'agit principalement des processus de surface continentaux via des expériences de désertification et de dégradation des propriétés des sols [26, 42-46]. Ces études ont montré qu'une réduction du couvert végétal en Afrique de l'Ouest, et particulièrement en zone sahélienne, avait pour conséquence une diminution des précipitations (via une augmentation de l'albédo de surface, une diminution de la longueur de rugosité et une modification par recyclage de la végétation, de l'eau précipitée vers l'atmosphère). Il apparaît donc que le climat de l'Afrique de l'Ouest est déterminé par une interaction entre les processus globaux (les températures de surface de l'océan) et les processus régionaux (impact du couvert végétal). Les principaux mécanismes de la variabilité climatique en Afrique de l'Ouest ont déjà fait objet de plusieurs études [48, 49]. Parmi ces mécanismes, les températures à la surface de l'océan semblent jouer un rôle déterminant [39, 50, 51] ; ce qui laisse suggérer une cause plus globale quant à la variabilité du climat de l'Afrique de l'Ouest.

5. Conclusion

L'utilisation du modèle RegCM3 montre que l'Afrique de l'Ouest est bien affectée par les effets du changement climatique à travers divers paramètres dont les précipitations, les températures et l'évapotranspiration bien qu'elle ne rejette que 2% des émissions totales des gaz à effet de serre du globe. Les résultats de projection donnent un accroissement thermique annuel de 1°C au Sahel et 0,7°C dans le Golfe de Guinée à l'horizon 2031-2040. A l'horizon 2091-2100, les températures annuelles pourraient augmenter de 4,7°C au Sahel et de 3,6°C dans le Golfe de Guinée. Suivant les localités, ces variations thermiques annuelles peuvent osciller entre 0,6°C et 1,8°C à l'horizon 2031-2040 et entre 3,2°C et 5°C à l'horizon 2091-2100.

Les précipitations annuelles pourraient connaître une légère augmentation de 0,44% au Sahel et une baisse de 3% dans les régions du Golfe de Guinée à l'horizon 2031-2040. A l'horizon 2091-2100, le modèle prévoit une baisse des précipitations moyennes annuelles de 12,6% au Sahel et de 9,12% dans les régions du Golfe de Guinée. Mais suivant les localités, des accroissements atteignant 40% et des déficits de près de 60% peuvent être constatés. Pour l'utilisation des résultats bruts du modèle, il apparaît nécessaire de les corriger en ce sens que le modèle commet des erreurs relatives de 6% au Sahel et 0,9% dans le Golfe de Guinée sur les températures.

Sur les précipitations, les erreurs du modèle par rapport aux valeurs observées sont de 48,9% au Sahel et de 8,5% dans les régions du Golfe de Guinée. Toutefois, le modèle révèle bien les effets du changement climatique sur la température et les précipitations. L'exploitation de ces résultats peut contribuer à évaluer les impacts sur les ressources naturelles et les populations et permet développer des mesures d'adaptation et d'atténuation.

Remerciements

Remerciements à Filippo et Giorgi, Bi Xu de l'ICTP pour la mise à disposition de RegCM3 et des données.

Références

- [1] - GIEC, Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse GIEC, Genève, Suisse, (2008) 18p.
- [2] - GIEC, Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I,II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, Genève, Suisse, (2007) 103p.
- [3] - PNUÉ, Impacts de la canicule 2003 en Europe. Bulletin d'Alerte Environnementale, (2004) 4p.
- [4] - K.E. Kouakou., B.T.A. Goula and I. Savane, 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, 16(1) (2007) 31-43.
- [5] - A.M. Kouassi, K.F. Kouamé, M.B. Saley and Y.B. Koffi, Identificatin of trends in the rainfall runoff relation and refill of the aquifers in a hydroclimatic context: case stady of the N'zi (Bandaman) catchment in Ivory Cost, European Journal of Scientific Research, 16(3) (2007) 412-428.
- [6] - B.T.A Goula, V.J. Kouassi and I. Savané Impacts du changerment climatique sur les ressources en eau en zone tropicale humide : cas du Bandama en Côte d'Ivoire. Agronomie Africaine, 18 n°1 (2006) 1-11.
- [7] - G. Mahé, Y. L'Hôte and W. G. Olivry , Trends and discontinuities in regional rainfall of West and Central Africa - 1951-1989. Hydrological Sciences Journal, 46(2) (2001) 211-226.
- [8] - E. Servat, J.E. Paturel, H. Lubès, Kouamé B., M. Ouedraogo and J.M. Masson, Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part I: detailed analysis of the phenomenon in Côte d'Ivoire, Journal of Hydrology, 191 (1997) 1-15.
- [9] - B.S. Ardoin, Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano- sahélienne, Thèse de doctorat de l'Université de Montpellier II, (2004) 440p.
- [10] - S. Janicot, Variabilité des précipitations en Afrique de l'ouest et circulation quasi-stationnaire durant une phase de transition climatique. 1ère partie - synthèse, Thèse de doctorat, Univ. Paris VI, (1990)178pp.
- [11] - S. Bigot, Y.T. Brou, J. Oszwald and A. Diedhiou, Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales, Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 16(1) (2005) 5-13.
- [12] - R. Ramel, Impact des processuse de surface sur le climat en Afrique de l'Ouest, Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, (2005) 149p.
- [13] - Y. Kouadio , D.A. Ochou and J. Servain, Atlantic influence on the rainfall variability in Côte d'Ivoire. Geophys Res Lett; 30, (2002).8005-8012.
- [14] - S. Janicot , A. Harzallah , B. Fontaine and V. Moron, West African monsoon dynamics and Eastern Equatorial Atlantic/Pacific SST anomalies (1970-1988). J Clim; 11 (1998) 1874-82.
- [15] - M. Joly, A. Voltaire, H. Douville, P. Terray and J.F.Royer, African monsoon teleconnections with tropical SSTs: validation and evolution in a set of IPCC4 simulations. Clim Dyn. , 382(6): (2007) 215-218.
- [16] - G. Jung, Regional Climate Change and the Impact on Hydrology in the Volta Basin of West Africa, Thèse de l'Université de Augsburg (Allemagne), (2006) 148p.
- [17] - D. Sighomnou, Analyse et redéfinition des régimes climatiques et Hydrologiques du Cameroun : perspectives d'évolution des ressources en eau, Thèse Doctorat d'Etat Université de Yaoundé 1, (2004) 290p.

- [18] - A. Giannini, R. Saravanan and P. Chang, Dynamics of the boreal summer African monsoon in the NSIPP1 atmospheric model. *Clim Dyn.* 25 (2005) 517–535.
- [19] - G.S. Jenkins, A.T. Gaye, B. Sylla, Late 20th century attribution of drying trends in the Sahel from the Regional Climate Model (RegCM3), *Geophys Res Lett* (2005) 32p
- [20] - E.A. Afiesimana, J.S. Pal, B.J. Abiodun, Jr.W.J Gutowski and A Adedoyin, Simulation of West African monsoon using the RegCM3. Part I: model validation and interannual variability, *Theor Appl Clim* 86 (2006) 23–37
- [21] - K.H. Cook and E.K.Vizy, Coupled model simulations of the West African monsoon system: 20th century simulations and 21st century predictions, *Journal of Climate* 19 (2006) 3681–3703
- [22] - F. Giorgi, G. Bates and S. Nieman, The multiyear surface climatology of a regional atmospheric model over the western United States, *Journal of Climate* 6 (1993)75-95.
- [23] - F. Giorgi and L.O. Mearns, Introduction to special section: Regional climate modelling revisited, *J. Geophys. Res.*, 104(D6) (1999) 6335- 6352.
- [24] - E. Nellie, B. Xunqiang, G. Filippo , N.Badrinath, P. Jeremy, S. Fabien, *RegCM Version 3.0 User's Guide*, Physics of Weather and Climate Group The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, (2004) 49p
- [25] - J.S. Pal , F.Giorgi, X. Bi, N. Elguindi, F. Solmon, R. Francisco, A. Zakey, J. Winter, M. Ashfaq, F. Syed, J.L. Bell, N.S. Diffenbaugh, J. Karmacharya and A. KonarThe ICTP RegCM3 and RegCNET: Regional Climate Modeling for the Developing World, *Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS)*, (2005) 41p.
- [26] - X. Zheng and E.A.B. Eltahir, The role of the vegetation in the dynamics West African monsoons, *Journal of Climate* 11(8)(1998) 2078-2096.
- [27] - G.A. Grell, Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parametrization, . *Mon. Weather Rev.*, 121 (1993) 764-787.
- [28] - S. Hankin, J. Callahan, A. Manke, O. Kevin and J. Li, *Ferret user's guide version 6.0*. NOAA/PMEL/TMAP, (2006) 577p.
- [29] - N. Nakicenovic ; J. Alcamo ; G. Davis, B. De Vrie, J. Fenhann , S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T.Y. Jung, T. Kram, E. L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Raihi, A. Roehrl, H-H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. Van Rooijen, N. Victor and Z. Dadi, *Emissions scenarios, A Special Report of Working Group III of Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, U. K. and New York, NY, USA, (2000).599 pp.
- [30] - T.R. Loveland, B. Reed, D.O. Ohlen, J. Zhu, L. Yang and J. Merchant, Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1-km AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 21(6/7) (2000) 1303-1330.
- [31] - E. Monnier, *Climat, dossier vérité*. Sciences et vie. Mondadori France, (2007) 159 p
- [32] - F. Giorgi, X. Bi, J.S. Pal, Mean interannual variability and trends in a regional climate experiment over Europe. I: Present day climate (1960-1990), *Climate Dyn.*, 22 (6-7) (2004)733-756.
- [33] - A. Seth, S. A. Rauscher, S. J. Carmago, J. H. Qian, and J. S. Pal, RegCM3 regional climatologies using reanalysis and ECHAM global model driving (elds), *Climate Dyn.*, 11 (2006) 867-881
- [34] - M. Hulme, R. Doherty, T. Ngara, M. New and D.Lister, African climate change: 1900-2100; *Climate Research*; 17 (2001) 145–168.
- [35] - F. Giorgi, B. Hewitson, J. Christensen , M. Hulme, H.V. Storch, P. Whetton, R. Jones, L. Mearns and C. Fu, *The science of climate change. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, chap. 10, Cambridge University Press, Cambridge, U.K. (2001)
- [36] - R. Washington, M. Harrison, D. Conway, E. Black, A. Challinor, D. Grimes, R. Jones, A. Morse, G. Kay, M. Todd, African climate change: taking the shorter route. *Bull Amer Meteor Soc* 87 (2006) 1355– 1366
- [37] - P. Philipon, *Climat, dossier de vérité*. Sciences et vie. Mondadori France, (2007) 159p.

- [38] - N. Madiodio, A. Abe, A. Abou, Réduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'ouest aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la désertification. UICN – Union mondiale pour la nature, (2004) 71pp.
- [39] - B. Fontaine, S. Janicot, Sea surface temperature fields associated with West African rainfall anomaly types. *J Clim* 9 (1996) 2935–2940
- [40] - M. Zhao, A.J. Pitman and T. Chase, The impacts of land cover change on the atmospheric circulation, *Clim Dyn*, 17 (2001) 467-77.
- [41] - J. Polcher, Etude de la sensibilité du climat tropical à la déforestation, Thèse de doctorat ; université Pierre et Marie Curie, Paris VI, (1994) 185 p.
- [42] - J. Charney, Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Q.J Roy Meteor Soc* 101 (1975) 193–202
- [43] - Y. Xue and J. Shukla, Influence of land properties on sahel climate. Part 1: Desertification, *Journal of Climate* 6(12) (1993) 2232-2246.
- [44] - Y. Xue, Biosphere feedback on regional climate in tropical North Africa, *Quarterly Journal of Royal Meteorology Society* 123 (1997) 1483-1515.
- [45] - D.B. Clark, Y. Xue, R.J. Harding and P.J. Valdes, Modelling the impact of the land surface degradation on the tropical North Africa. *Journal of Climate* 14(8) (2001) 1809-1822.
- [46] - C.M. Taylor, E.F. Lambien, N. Stephenne, R.J. Harding and R.L.H. Essery, The influence of land use change in the sahel. *Journal of Climate* 15(24) (2002) 3615-3629.
- [47] - S.E. Nicholson, Rainfall and atmospheric circulation during drought periods and wetter years in West Africa. *Mon. Wea. Rev.*, 109 (1981) 2191-2208.
- [48] - C.K. Folland, T.N. Palmer and D.E. Parker, Sahel rainfall and worldwide sea temperatures 1901-85, *Nature*, 320 (1986) 602-607.
- [49] - P.J. Lamb and R.A. Peppler, Further case studies of tropical atlantic surface atmospheric and oceanic patterns associated with sub-saharan drought, *Journal of Climate* 5(5) (1992) 476-488.
- [50] - F.H.B. Semazzi, B. Burns, N.H. Lin and J.K. Schemm, A GCM study of the teleconnexions between the continental climates of Africa global sea surface temperature anomalies. *Journal of Climate* 9(10) (1996) 2480-2497
- [51] - C. Messager, H. Gallée, O. Brasseur, Precipitation sensitivity to regional sst in a regional climate during the west african monsoon for two dry years. *Cliamte Dynamics* 22 (2-3) (2004) 249-266.