

MODÉLISATION ET ANALYSE DES DONNÉES D'OBSERVATION ET DE SIMULATION DU CLIMAT ACTUEL DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE, Bertrand DOUKPOLO (Université de Bangui – Centrafrique), André KAMGA (Centre Africain pour les Applications de la Météorologie au Développement de Niamey – Niger)
bertrandoukpolo@yahoo.fr

Résumé

Cette étude porte sur la modélisation du climat actuel dans l'Ouest de la République Centrafricaine. Elle analyse les données observées et simulées des paramètres climatiques notamment les températures moyennes de l'air et les précipitations aux échelles journalière, mensuelle et annuelle, à partir des quatre (4) stations météorologiques retenues (Bangui, Berbérati, Bossangoa et Bouar). Les écarts moyens des températures (°C) et des précipitations (mm et %) sont fondés sur l'analyse des observations de 1971 à 2000 considérée comme la période de référence. Le choix des périodes est déterminé par la disponibilité d'accès aux données et à la longueur des séries chronologiques. L'évaluation des modèles est basée sur la comparaison des écarts types simulés avec la référence, l'erreur quadratique moyenne et la corrélation. Les cycles annuels des moyennes mensuelles des précipitations et des températures simulées par les 14 modèles sur la région d'étude sont analysés. Les résultats montrent que les modèles climatiques globaux reproduisent assez parfaitement les observations. Une appréciation visuelle permet de vérifier que l'ensemble multimodèle a quasiment reproduit l'amplitude, le début et la fin de la saison et le nombre et la position des modes.

Mots clés : Ouest-centrafricain, données observées, données simulées, pluies, températures, modélisation climatique

MODELING AND ANALYSIS OF CURRENT CLIMATE OBSERVATION AND SIMULATION DATA IN WESTERN CENTRAL AFRICA

Abstract

This study focuses on the modeling of the current climate in the West of the Central African Republic. It analyzes the observed and simulated data of climatic parameters, in particular average air temperatures and precipitation on daily, monthly, and annual scales, from the four (4) selected meteorological stations (Bangui, Berbérati, Bossangoa et Bouar). The mean deviations of temperature (°C) and precipitation (mm and%) are based on the analysis of observations from 1971 to 2000 considered as the reference period. The choice of time periods is determined by the availability of access to the data and the length of the time series. The evaluation of the models is based on the comparison of the simulated standard deviations with the reference, the root mean square error and the correlation. The annual cycles of monthly average precipitation and

temperature simulated by the 14 models over the study region are analyzed. The results show that global climate models reproduce the observations quite perfectly. A visual assessment makes it possible to verify that the multimodel set has almost reproduced the amplitude, the start and the end of the season and the number and position of the modes.

Keywords: West Central African, observed data, simulated data, rainfall, temperatures, climate modeling.

Introduction

Les simulations de l'évolution du climat sont généralement construites à l'aide de modèles climatiques planétaires (MCG, pour modèles de circulation générale). Cependant, les MCG ont des résolutions spatiales de l'ordre de dizaines à plusieurs centaines de kilomètres, ce qui est acceptable pour évaluer le changement climatique à l'échelle globale sur la Terre, mais insuffisant pour étudier ses impacts généralement localisés (N. MacKellar et al., 2014, p.7), sur des espaces moins vastes comme l'Ouest de la Centrafrique (Figure 1). Cet espace se situe entre 02° 16' et 08° 35' de latitude Nord, et 14° 25' et 19° 00' de longitude Est, avec une superficie de 209.635 Km².

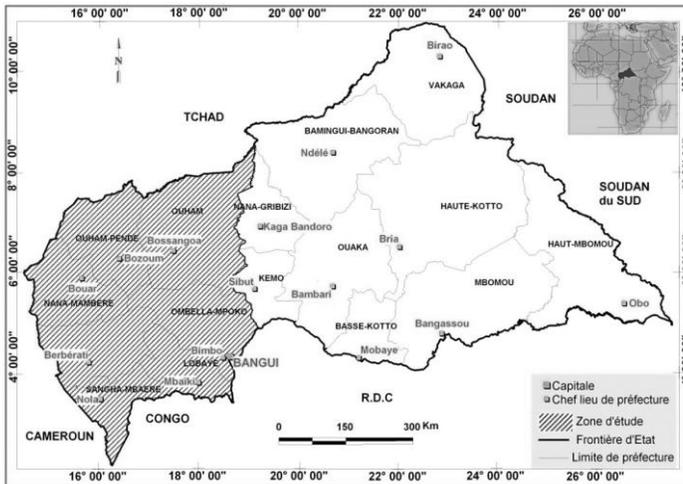


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude. Source :LACCEG, 2019

La communauté scientifique admet qu'à défaut de disposer d'un modèle climatique régional qui couvre la zone d'étude, les moyennes des sorties de modèles globaux peuvent être intégrées dans le calibrage (GIEC, 2014, p.19). Un aspect important de la validation du modèle climatique est l'évaluation de sa capacité à reproduire la variabilité du système climatique. Cette démarche a permis

de valider les résultats des simulations effectuées sur la période 1971-2000, en prenant comme données de référence les observations.

H. L. Tanaka et al.,(2005, p. 79), H. Wang et K. M. Lau (2006, p. 661) ont fait tourner les modèles du GIEC pour les comparer aux observations. Ils notent que « *la dispersion des modèles est encore considérable* » et que « *de larges biais sont observés dans les simulations du GIEC sur le XXIe siècle*», rendant prématurée toute projection quantifiée sur le XXIe siècle. Cependant, selon T. Phillips et P. Gleckler (2006, p.17), les modèles couplés Océan-Atmosphère arrivent à reproduire certains aspects observés du climat actuel, en dépit de biais relevés au niveau de certaines variables notamment les précipitations ou pour certaines régions comme l'Afrique. C'est d'ailleurs la raison essentielle pour laquelle un travail préalable de validation doit être effectué pour estimer la crédibilité d'un modèle sur une région particulière.

1. Données et méthodes

Les données d'observation du climat ont été fournies par le réseau d'observations météorologiques de l'ASECNA de la République Centrafricaine, puis complétées par les statistiques du Service de climatologie de la Direction de la Météorologie Nationale, enfin l'exploitation des bases de données de l'Institut de Recherche pour le Développement et du Centre de Recherche de Climatologie à l'Université de Bourgogne. Les données de simulation du climat proviennent des archives CMIP3 (*Coupled Model Intercomparison Project phase 3 Multi-Model Dataset*), du WCRP (*World Climate Research Programme*), du CSAG (*Climate System Analysis Global*) et du PCMDI (*Program for Climate Model Diagnostics and Intercomparison*) sous l'autorité scientifique de l'OMM (2010, p.455) et du GIEC (2014, p.27).

La présente étude, se basant sur une représentation graphique des sorties des 21 modèles du CMIP3 pour chaque paramètre climatique et par station retenue, arrive à la conclusion que sur la zone d'étude, quatorze (14) modèles (Tableau I) semblent simuler le mieux les observations des précipitations et des températures. Les sorties de ces modèles sont moyennées afin de réduire leurs disparités et en constituer un ensemble dit « moyennes multimodèles » qui sont identifiées comme les plus aptes à reproduire le climat passé et actuel dans l'Ouest de Centrafrique (B. Doukpolo, 2014, p. 183). Les autres modèles sont moins pertinents car ils surestiment ou sous-estiment les observations.

Tableau I Sélection des MCG dans les archives CMIP3 et leurs résolutions d'origine

	Modèles	Sources	Maille de résolution d'origine	
			Atmosphère	Océan
	CM2.0	CCR (<i>Norvège</i>)	2.5° - 3.85°	1.25°- 1.85°
	CCSM3	NCAR (<i>USA</i>)	1.4° - 1.4°	0.46°- 1.25°
	CGCM3.1	CCCMA (<i>Canada</i>)	3.75° - 3.75°	1.85°- 1.85°

	CM3.0	IMN (<i>Russie</i>)	2.5° - 3.75°	1.25°- 1.25°
	CSIRO MK3	ABM (<i>Australie</i>)	1.85° - 1.85°	0.95° - 1.85°
	ECHAM5	MPI (<i>Allemagne</i>)	1.85° - 1.85°	1°- 1°
	GCCM2.3.2a	MRI (<i>Japon</i>)	2.5° - 3.75°	1.25°- 1.25°
	GFDLCM2.1	NOAA(<i>USA</i>)	2°- 2.5°	0.9°- 1.0°
	GISS E-R	NASA (<i>USA</i>)	4° - 5°	4°- 5°
	HadCM3	UKMO (<i>UK</i>)	2.5° - 3.75°	1.25°- 1.25°
	MIROC3.2	CCSR (<i>Japon</i>)	2.81° - 2.81°	0.9°- 1.4°
	PCM	NCAR (<i>USA</i>)	2.81° - 2.81°	1.0°- 1.0°

Source : Synthèse bibliographique

L'ensemble multimodèle climatique est basé sur des principes physiques et est capable de reproduire certaines caractéristiques des climats passé et présent. Il y a une confiance croissante dans les modèles couplés Océan-Atmosphère quant à leur capacité à donner une estimation des changements climatiques futurs à grande échelle. L'approche multimodèle est recommandée à dessein par le GIEC (2014, p. 33) de façon à ce que les scénarios intégrés puissent englober un vaste éventail de climats futurs possibles, plutôt que de recourir à un seul scénario de la valeur la plus probable. La façon la plus simple d'utiliser cet ensemble consiste à calculer les moyennes de toutes les sorties de chacun des modèles pour créer les moyennes multimodèles globales (M3G), une démarche certes fastidieuse mais qui est régulièrement utilisée et recommandée par les scientifiques du GIEC (2007, p.12 ; 2022, p. 94).

Ces moyennes multimodèles servent à filtrer les biais de modèles individuels et ne retiennent que les erreurs qui sont généralement omniprésentes. Il existe certaines preuves que les moyennes multimodèles sont souvent en meilleur accord avec les observations de l'un des champs simulés par les modèles individuels, qui prend en charge la dépendance continue sur la diversité des approches de modélisation à projeter les changements climatiques à venir et fournit un certain intérêt à l'évaluation des résultats moyens multimodèles.

2. Outils de traitement et d'analyse des données

2.1. Statistiques descriptives

Les données collectées ont été traitées à l'aide de quelques logiciels dont le plus important est XLSTAT (v.2021). C'est un programme avancé du tableur *Excel* de Microsoft Office qui permet d'analyser et simuler les données, notamment les statistiques descriptives des séries temporelles, les moyennes, écart-types, indices, tendances, analyses de variances, régressions simples et multiples, coefficients de corrélation linéaire, etc. Les tendances des précipitations et des températures annuelles simulées ont été mises en évidence et comparées aux observations sur la période de 1971-2000.

Les données ont été d'abord normalisées puis le test non paramétrique de Mann-Kendall a été appliqué pour déterminer l'existence d'une tendance significative. Les anomalies centrées et réduites ont été calculées par la

formule suivante : $x_i^* = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma(x)}$ où : x_i^* = Anomalie Centrée Réduite pour l'année

i , x_i = la valeur de la variable, \bar{x} = la moyenne de la série et $\sigma(x)$ = l'écart-type de la série.

2.2. Détermination du Coefficient de corrélation linéaire

L'étude de la corrélation entre deux ou plusieurs variables aléatoires permet de mettre en évidence la liaison entre ces variables. Dans le cas des variables numériques, la liaison recherchée est une régression linéaire (P.K. Sen, 1968, p. 1384). Dans cette étude, le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson a été utilisé pour renseigner la dépendance des variables étudiées (pluies observées/simulées et températures observées/simulées). S'il est égal à 1, cela veut dire que l'une des variables est fonction affine croissante de l'autre variable. Dans le cas contraire (lorsqu'il est égal à -1), la fonction affine sera décroissante (autrement dit opposée).

En d'autres termes, plus la valeur de la corrélation entre les deux variables est proche des extrêmes (-1 ou 1), plus la corrélation est forte (opposée ou en phase). A l'inverse, une corrélation de 0 signifie que les variables étudiées sont linéairement indépendantes (P.K. Sen, 1968, p. 1380). Son carré (R^2) permet de quantifier la part de variance expliquée pour la variable étudiée. Le résultat (r) mesure le degré de liaison linéaire entre les variables dépendante (Y) ou paramètres climatiques simulés et indépendante (X) ou paramètres climatiques observés de la série chronologique.

3. Résultats et Discussion

Les fluctuations du climat actuel, dans l'Ouest de la Centrafrique, sont caractérisées à partir des données d'observation et de simulation, se basant sur la période de référence 1971-2000. Ces résultats désagrégés du système de calibrage montrent très peu de discordance entre les cycles annuels des précipitations et des températures moyennes mensuelles observées et simulées. Les droites d'ajustement linéaire pour les tendances semblent parfaitement se corréliser entre les variables observées et celles simulées. Les coefficients de corrélation linéaire sont déterminés et les écarts (absolus et relatifs) entre les observations et les simulations des pluies et températures sont mis en évidence.

3.1. Simulation de la variabilité pluviométrique

3.1.1. Cycle annuel des précipitations mensuelles observées et simulées

La figure donne un aperçu significatif et permet de visualiser le comportement global des précipitations dans l'Ouest de la Centrafrique, dans leur progression latitudinale au cours de l'année. Cette appréciation visuelle permet de vérifier comment l'ensemble multimodèle reproduit l'amplitude, le début et la fin de la saison, et le nombre et la position des modes. Elle montre, dans les simulations, un début précoce de la saison des pluies à Berbérati ; les précipitations apparaissent de façon intense dès le mois d'avril et les écarts absolus et relatifs sont plus élevés aux mois secs qu'aux mois pluvieux.

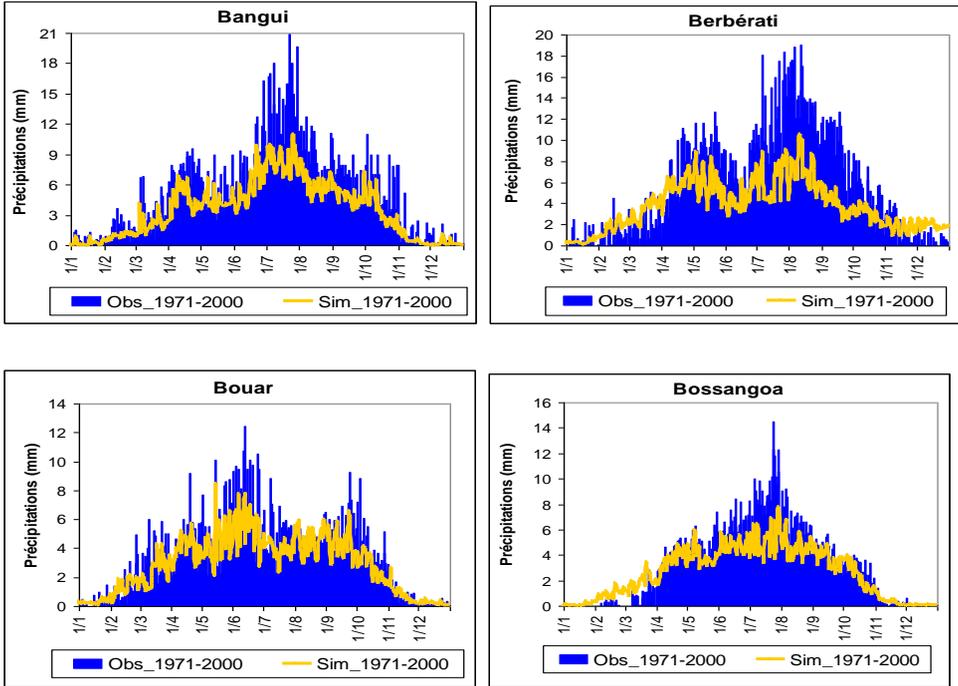


Figure 2 : Précipitations mensuelles observées et simulées sur la période de 1971 à 2000

La lecture de la figure 2 montre que le cycle pluviométrique annuel dans l'Ouest de la Centrafrique se caractérise par une saison de pluies qui débute en mars-avril et se termine approximativement en octobre-novembre avec un ou deux modes. L'amplitude des pluies observées est assez bien simulée par le multimodèle. On constate que la saison de pluies, qui commence habituellement en avril ou mai à Bossangoa débute deux mois plutôt dans les simulations (les précipitations sont sous-estimées).

En revanche, le maximum et la fin de la saison des pluies sont proches des observations. On note à Bouar que, la saison des pluies démarre un mois plus tôt

dans le multimodèle (en mars), mais le maximum et la fin de la saison correspondent aux observations. À Bangui et Berbérati, les simulations reproduisent bien les deux pics saisonniers caractéristiques (juin-juillet et septembre-octobre). Le tableau II présente les écarts entre les précipitations mensuelles simulées observées et simulées dans l'Ouest de la Centrafrique.

Tableau II : Écarts entre les pluies mensuelles observées et simulées (1971-2000)

Mois		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Bouar	Obs_1971-2000	7	19	73	100	160	185	219	254	237	187	47	11
	Sim_1971-2000	3	8	35	66	137	159	197	215	209	118	15	5
	<i>Erreurs absolues (mm)</i>	6	4	11	37	34	23	26	22	39	28	69	31
<i>Erreurs relatives %</i>		86	59	56	51	34	14	14	10	15	12	37	67
Bossangoa	Obs_1971-2000	4	5	37	77	155	174	259	288	232	164	21	1
	Sim_1971-2000	1	4	42	82	124	153	227	243	218	153	20	2
	<i>Erreurs absolues (mm)</i>	2	2	1	5	5	31	21	32	45	14	11	1
<i>Erreurs relatives %</i>		60	60	15	15	7	20	12	12	16	6	7	235
Berbérati	Obs_1971-2000	17	30	93	131	162	147	176	193	216	219	87	19
	Sim_1971-2000	11	18	63	83	123	115	166	179	224	212	69	12
	<i>Erreurs absolues (mm)</i>	7	7	12	30	48	39	33	10	13	8	7	18
<i>Erreurs relatives %</i>		38	38	40	32	37	24	22	5	7	4	3	21
Bangui	Obs_1971-2000	21	26	96	121	155	159	200	208	207	197	74	24
	Sim_1971-2000	13	14	70	83	114	164	213	190	185	168	43	18
	<i>Erreurs absolues (mm)</i>	8	8	13	27	38	40	5	13	18	22	29	31
<i>Erreurs relatives %</i>		39	39	48	28	31	26	3	7	9	11	15	42

Source : Résultats de traitement statistique des données pluviométriques

3.1.2. Tendances observées et simulées des précipitations annuelles

Il ressort que la tendance est en hausse à Bouar. Par contre, Berbérati et Bossangoa, la tendance est en baisse. Bangui, en zone subéquatoriale, a une tendance quasi monotone mais légèrement en hausse. Dans l'ensemble des stations étudiées, l'approche multimodèle reproduit assez bien le cycle annuel des précipitations (Figure 3). Toutefois, il existe des erreurs systématiques dans la

simulation du démarrage de la saison des pluies et dans celle des quantités de précipitations.

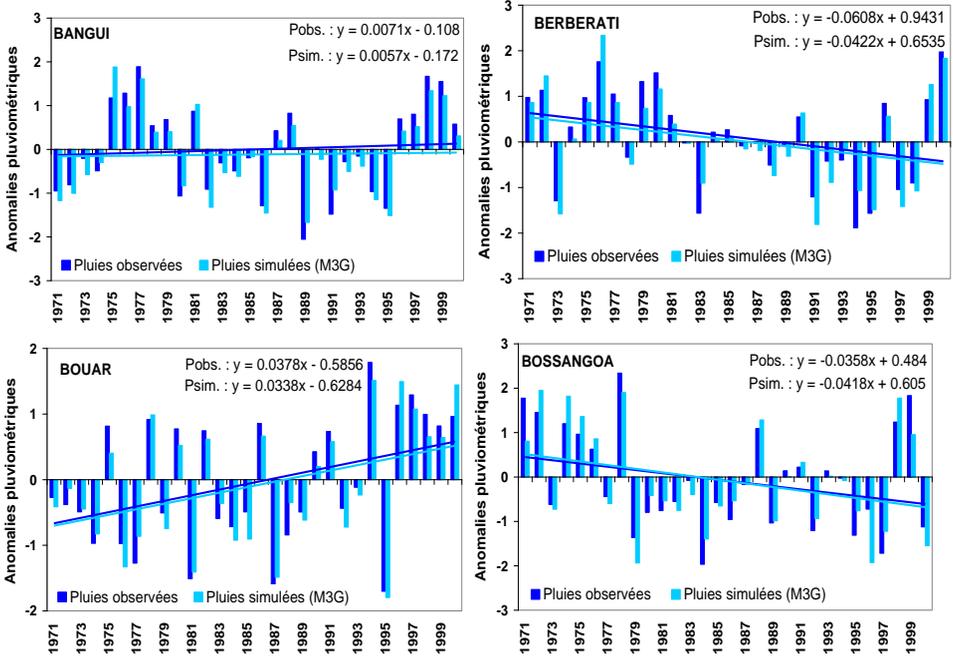
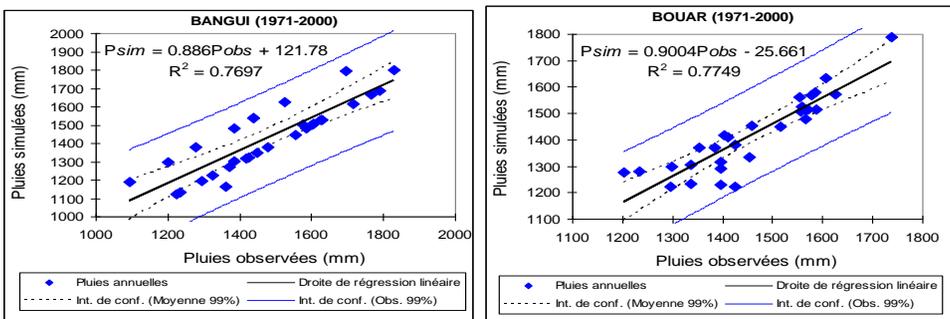


Figure 3 : Comparaison des anomalies de précipitations observées et simulées

La figure 4 présente les coefficients de corrélation qui ont été utilisés pour analyser l'intensité des relations linéaires entre les pluies annuelles simulées et celles observées.



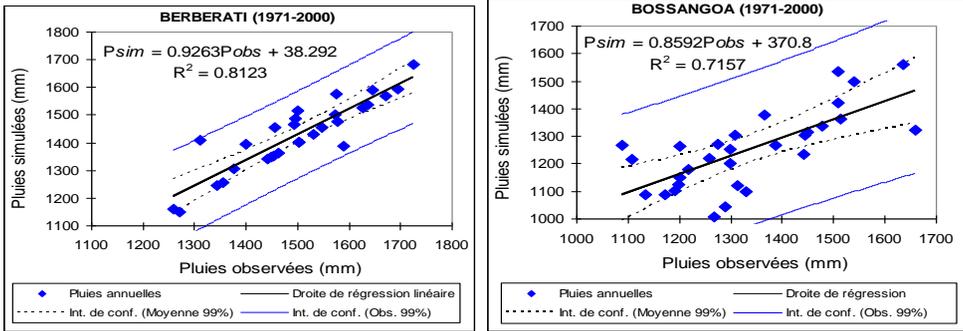


Figure 4 : Corrélation entre les pluies annuelles simulées et observées

L'interprétation de la figure 4 montre que le cycle mensuel est bien simulé, comme le soulignent les coefficients de corrélation élevés entre le cycle simulé et le cycle de la climatologie observée à plus de 0,70 dans les quatre (4) stations. Ces simulations sont globalement satisfaisantes. Le tableau III donne les écarts entre les précipitations annuelles simulées et observées.

Tableau III. Écarts entre les pluies annuelles simulées et observées de 1971 à 2000 (**EA** : Écarts Absolus exprimés en mmet **ER** : Écarts relatifs exprimés en %)

	Bangui		Berbérati		Bossangoa		Bouar	
	EA (mm)	ER (%)	EA (mm)	ER (%)	EA (mm)	ER (%)	EA (mm)	ER (%)
1971	20	1,5	47	2,9	17	1,2	45	3,2
1972	30	2,3	56	3,4	26	1,7	01	0,1
1973	13	0,9	59	4,4	88	7,4	67	4,8
1974	16	1,2	92	6,0	51	3,3	32	2,4
1975	10	0,6	48	3,0	29	2,2	87	5,5
1976	15	0,9	40	2,3	11	0,8	33	2,4
1977	68	3,7	72	4,4	36	2,9	2	0,1
1978	56	3,6	80	5,5	37	2,2	49	2,8
1979	20	1,2	71	4,3	20	1,5	80	5,7
1980	30	2,3	57	3,4	47	3,7	36	2,3
1981	54	3,5	25	1,6	16	1,4	76	6,3
1982	60	4,4	30	2,0	63	5,2	47	3
1983	40	2,8	28	2,1	59	4,7	15	1,1
1984	33	2,4	52	3,4	21	1,6	06	0,4
1985	61	4,2	40	2,5	75	6,2	94	6,8
1986	40	3,2	28	1,9	51	4,3	55	3,5

1987	51	3,3	22	1,5	38	3,0	47	3,8
1988	40	2,5	40	2,8	51	3,5	19	1,4
1989	10	0,9	10	0,7	48	4,3	50	3,5
1990	18	1,3	64	4,1	35	2,7	65	4,3
1991	18	1,5	54	4,0	76	5,8	09	0,5
1992	40	2,8	47	3,2	25	1,7	14	1,0
1993	30	2,1	70	4,2	44	3,4	09	0,6
1994	54	4,2	66	5,2	17	1,4	74	5,7
1995	30	2,5	11	0,9	76	4,6	51	3,6
1996	58	3,5	06	0,4	40	2,7	27	1,7
1997	30	1,8	68	4,9	42	2,7	52	3,2
1998	43	2,4	74	5,1	45	3,1	74	4,7
1999	73	4,1	16	1,1	58	3,9	53	3,4
2000	93	5,9	38	3,4	06	0,6	04	0,2

Source : Résultats de traitement statistique des données pluviométriques

3.1.3. Cycle saisonnier des précipitations mensuelles observées et simulées

Le cycle saisonnier des précipitations a été analysé à partir de la comparaison du cumul moyen pluviométrique sur les saisons agricoles actives, de 1971-2000. Ces cumuls mensuels sont répartis en fonction des événements pluvieux puis comparés. Les simulations reproduisent assez bien le cycle saisonnier des observations (Figure 5).

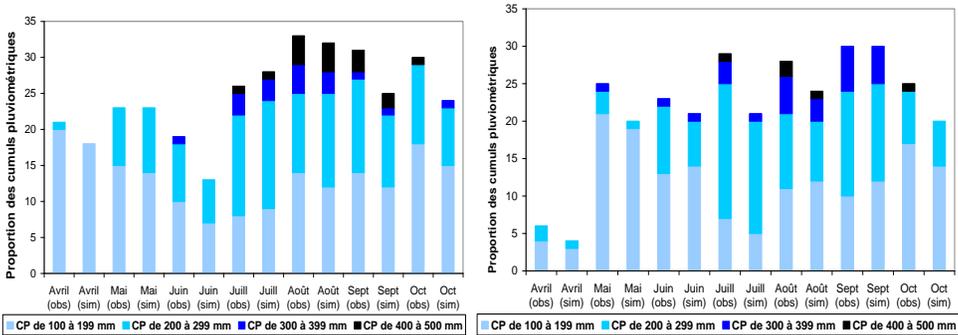


Figure 5. Comparaison des cumuls pluviométriques mensuels observés et simulés au cours des saisons agricoles actives : Bangui à gauche et Bossangoa à droite.

Dans l'ensemble, ces résultats indiquent que les limites des modèles climatiques ont bien simulé le cycle saisonnier des précipitations annuelles dans l'Ouest de la Centrafrique avec précision sur les plans de la quantité ou de la périodicité. Considéré dans son ensemble, le cycle saisonnier offre une bonne

estimation des précipitations que l'on peut obtenir des simulations pluviométriques. La même démarche est utilisée pour la simulation des températures.

3.2. Simulation de la variabilité thermométrique

3.2.1. Cycle annuel des moyennes mensuelles des températures observées et simulées

Les températures moyennes mensuelles observées présentent un maximum en février ou mars. La position de ce pic est correctement simulée mais les divergences sont relevées en janvier et en décembre où les simulations surestiment légèrement les observations. Ce biais semble légèrement varier au cours du cycle. L'approche multimodèle simule très bien l'amplitude du cycle annuel des températures moyennes mensuelles observées (Figure 6).

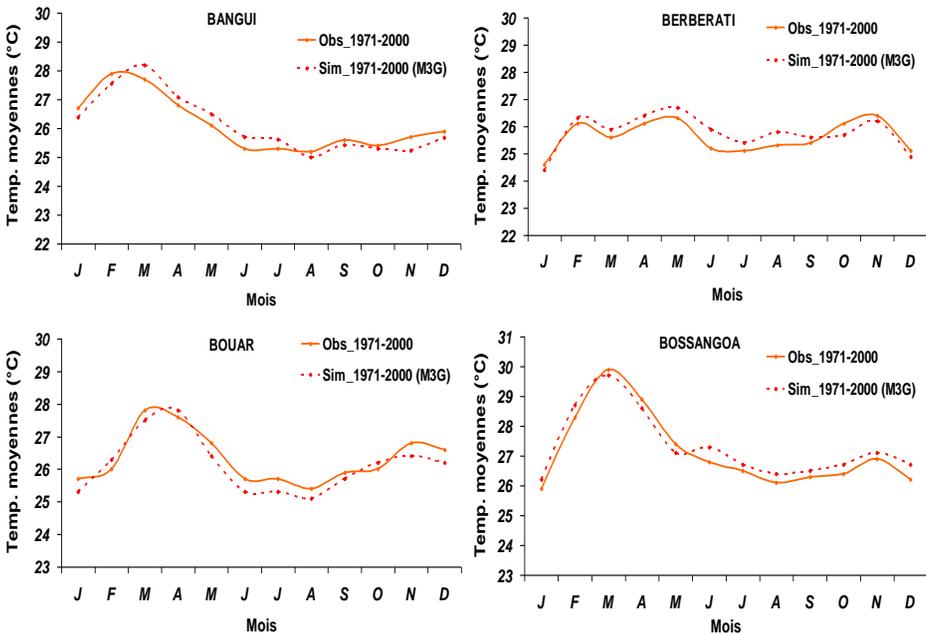


Figure 6 : Cycle annuel des moyennes mensuelles des températures observées et simulées.

3.2.2. Tendances observées et simulées des températures moyennes annuelles

Le cycle annuel de la température est assez bien reproduit par la simulation, ainsi que le confirment les bonnes corrélations entre simulation et observation (Figure 6).

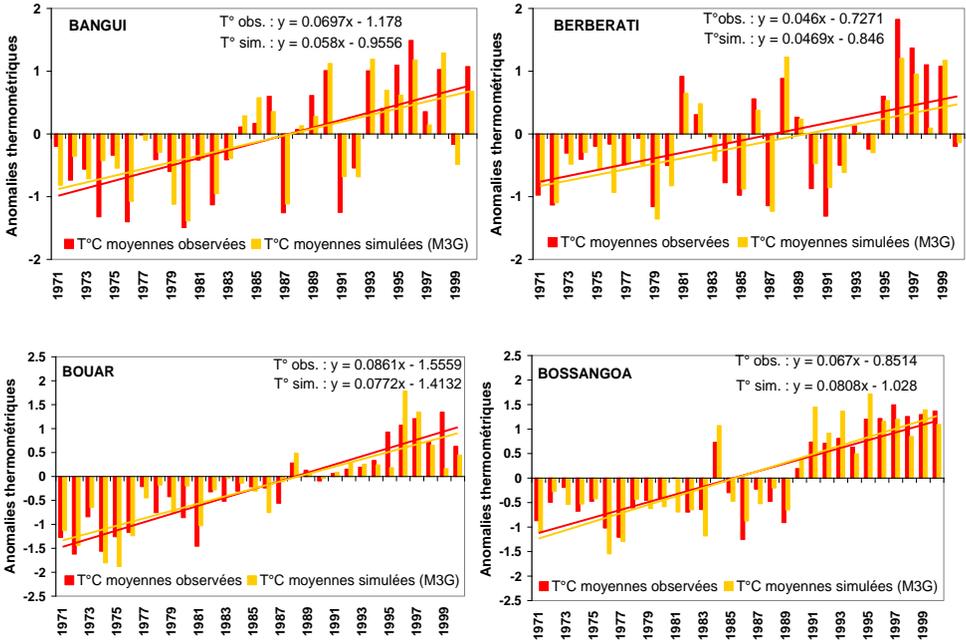


Figure7 : Comparaison des anomalies de températures moyennes annuelles simulées et observées.

La figure 7 montre la comparaison des variabilités interannuelles simulées et observées pour les températures sur la période 1971-2000. La simulation de la variabilité inter annuelle et la tendance des températures moyennes simulées sont plus proche des observations et reproduisent bien le réchauffement observé dans la région d'étude pendant la période 1971-2000. Ce sont les changements dans l'occurrence et la fréquence des années exceptionnelles d'un point de vue climatique qui affectent cette variabilité que les années normales. Les coefficients de corrélation sont compris entre 0,72 (Berberati) et 0,79 (Bangui).

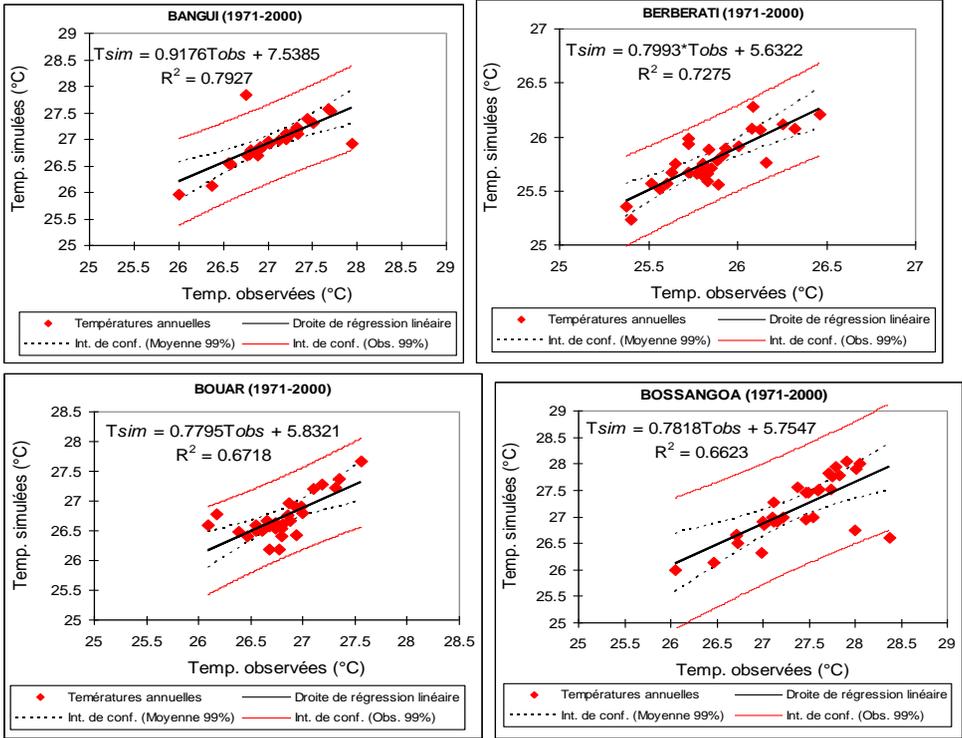


Figure 8 : Corrélation entre les températures moyennes annuelles simulées et observées

Les anomalies de températures moyennes annuelles ont une nette tendance à la hausse par rapport aux observations dans l'Ouest de la Centrafrique. Cette tendance significative se retrouve dans les simulations. Le statut thermométrique dans l'Ouest de la Centrafrique est sujet à une variabilité inter annuelle (Tableau IV). La variabilité année par année a été utilisée, pour évaluer la capacité de l'approche multimodèle à représenter les tendances climatiques vers le réchauffement.

Tableau IV : Écarts exprimés en °C entre les températures annuelles simulées et observées

	Bangui	Berberati	Bossangoa	Bouar
1971	0,08	0,24	0,04	0,07
1972	0,96	0,05	0,11	0,06
1973	0,05	0,11	0,01	0,02
1974	0,86	0,15	0,16	0,62
1975	0,96	0,16	0,21	0,57

1976	0,06	0,34	0,13	0,2
1977	0,95	0,06	0,11	0,04
1978	0,09	0,17	0,25	0,2
1979	0,07	0,02	0,1	0,62
1980	0,07	0,26	0,1	0,5
1981	0,05	0,19	0,17	0,1
1982	0,9	0,03	0,21	0,13
1983	0,08	0,04	1,77	0,4
1984	0,05	0,09	0,53	0,21
1985	0,05	0,04	0,66	0,05
1986	0,04	0,14	0,08	0,11
1987	0,03	0,17	0,14	0,49
1988	0,08	0	0,56	0,06
1989	0,08	0,08	1,26	0,11
1990	0,04	0,04	0,24	0,6
1991	0,07	0,06	0,34	0,1
1992	0,06	0,21	0,04	0,2
1993	0,11	0,1	0,23	0,26
1994	0,09	0,08	0,05	0,4
1995	0,07	0,1	0,12	0,2
1996	0,03	0,25	0,01	0,01
1997	0,02	0,25	0,06	0,1
1998	0,06	0,4	0,05	0,14
1999	0,06	0,06	0,04	0,07
2000	0,08	0,06	0,15	0,09

Source : Résultats de traitement statistique des données pluviométriques

Du reste, l'analyse des cycles annuels des températures a permis à la fois de juger des qualités de reproduction de la moyenne des multimodèles climatiques globaux, mais aussi de tester et de vérifier la fiabilité des méthodes employées afin de comparer les températures simulées avec celles observées. Les résultats sont pertinents car de bonnes corrélations entre les deux sources de données thermométriques ont pu être trouvées dans le temps. Ces outputs montrent que l'approche multimodèle reproduit bien les patterns thermiques dans la région d'étude.

3.3. Évaluation de la performance de l'approche multimodèle

La performance de l'approche multimodèle quant à reproduire au mieux le comportement climatique dans l'Ouest de la Centrafrique a été évaluée à partir de la comparaison des données simulées à celles observées. Les cycles annuels et les tendances des précipitations et températures moyennes mensuelles ont été analysés avec un seuil de significativité de 99 % et les écarts entre les simulations et les observations ont été calculés. Il en ressort que :

- les modèles globaux de climat ont encore beaucoup de biais dans leur simulation, notamment pour les paramètres comme les précipitations, l'une des plus importantes variables climatiques (T. Phillips et P. Gleckler, 2006, p. 28). Bien que les modèles couplés reproduisent les quantités de pluies observées (amplitude, cycles saisonniers, modes, etc.), ils donnent une représentation peu précise des variations inter saisonnières et des événements extrêmes ;
- en comparant les simulations à des données d'observation journalières de précipitations selon une démarche focalisée sur la fréquence et l'abondance des pluies ainsi que le nombre de jours pluvieux, bien que les quantités soient assez bien simulées, les multimodèles sont incapables de reproduire l'intensité et la structure spatiale de la fréquence des événements pluvieux. Cette analyse a rejoint les conclusions de D-W. Sun et al. (2006, p. 4977) dans leur étude sur la performance des 18 modèles couplés du GIEC sur l'Afrique de l'Ouest ;
- au regard des résultats obtenus, on ne peut pas exclure, même si les moyennes s'accordent avec les observations, qu'il y a encore de biais important notamment sur la variabilité spatiale ou l'amplitude et la phase du cycle saisonnier. Ces déficiences qui sont à la base des incertitudes sur les précipitations simulées pourraient également être à l'origine de la meilleure performance des moyennes multimodèles ;
- les modèles couplés Océan-Atmosphère sur l'Afrique tropicale ont du mal à simuler correctement la mousson atlantique, car ils reproduisent mieux les précipitations sur le nord du continent américain que sur le continent africain (C. Folland et al., 1986, p. 630). Cela peut s'expliquer par le fait que le mécanisme de la mousson africaine n'est toujours pas bien compris, ou même par le faible nombre de stations d'observation dans les régions centre et ouest-africaines. En dépit de ce qui semble vrai, nombre d'études dont celles de A. Giannini et al.(2003, p. 1029) ; J. Lu et T. Delworth (2005, p. 3) ont montré que les modèles forcés avec les valeurs observées des températures de surface de la mer arrivent à reproduire assez correctement le climat du Sahel, notamment la tendance à la baisse des précipitations des années 1950 aux années 1980. Cependant, les modèles couplés Océan-Atmosphère ont du mal à reproduire cette tendance.

Conclusion

Les champs moyens et le cycle annuel de la température de surface et des précipitations sont correctement simulés, même si quelques écarts aux observations sont mis en évidence : excès de précipitations et biais froid au niveau des stations soudanaises, début de la saison des pluies en avance ou en retard d'un à deux mois. La simulation reproduit aussi correctement la variabilité interannuelle de la température et celle des précipitations dans l'Ouest de la Centrafrique. Ainsi, au terme de l'analyse effectuée l'approche multimodèle apparaît comme un outil appréciable pour étudier les changements climatiques futurs et leurs impacts potentiels sur la santé, les écosystèmes naturels et les activités socio-économiques dans la zone d'étude. Ces résultats se trouvent dans tous les deux cas vers l'extrémité supérieure de la plage des taux d'augmentation dans la région de la Centrafrique pendant la période de 1980 à 2005 selon le GIEC (2007, p. 23). Ils constituent, à titre illustratif, des intrants nécessaires au renseignement et au calibrage du modèle d'impact afin d'estimer, par exemple, des rendements agricoles dans la zone d'étude.

Références bibliographiques

- DOUKPOLO Bertrand, 2014, «*Changements climatiques et productions agricoles dans l'Ouest de la République Centrafricaine*». Thèse de Doctorat unique de Géographie, Géosciences de l'environnement, Agroclimatologie. Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 305 p.
- FOLLAND Chris, PALMER Tim, PARKER David, 1986, «*Sahel rainfall and worldwide sea temperature*». Nature, 320, pp. 602- 687.
- GIANNINI Alessandra, SARAVANAN Ramalingam, CHANG Ping, 2003, «*Oceanic forcing of Sahel rainfall on interannual to interdecadal time scales*». Science, 302, pp.1027-1030.
- GIEC (IPCC), 2007, «*Changements climatiques : les éléments scientifiques* ». SOLOMON Susan, QIN Dahe, MANNING Martin, MARQUIS Melinda, AVERYT Kristen, TIGNOR Melinda, MILLER, Jr. Henry LeRoy, CHEN Zhenlin. Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Genève, Suisse, 168 p.
- GIEC (IPCC), 2014, «*Incidences, adaptation et vulnérabilité* » – Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du GT II au 5^e rapport d'évaluation du GIEC [FIELD Christopher, BARROS Vicente, DOKKEN David, MACH Katharina, MASTRANDREA Michael, BILIR Eren., CHATTERJEE Monalisa, EBI Christie, ESTRADA Yuka, GIRMA Birhanu, LEVY Adam, CRAMER Wolfgang, MACCRACKEN Robert, MASTRANDREA Paije et WHITE Leslie (eds.)], Genève, Suisse, 34 p.
- GIEC (IPCC), 2022, «*Impacts, Adaptation and Vulnerability*». Contribution of WG II to the Sixth AR of IPCC [PÖRTNER Hans-Otto, ROBERTS Debra, TIGNOR

- Melinda, POLOCZANSKA Elvira, MINTENBECK Katjat, ALEGRÍA Andrés, CRAIG Marlies, LANGSDORF Alexander Suss, LÖSCHKE Sina, MÖLLER Vincent, OKEM Andrew, RAMA Bardhyl, (eds.)). Technical Summary, in *Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, pp. 37–118.
- LU Jian. et DELWORTH Thomas, 2005, «*Oceanic forcing of the late 20th century Sahel drought*». *Geophysics. Res. Lett.*, 32, pp.1-5.
- MACKELLAR Neil, NEW Mark, JACK Chris, 2014, «*Observed and modelled trends in rainfall and temperature for South Africa: 1960–2010*». *South African Journal of Science* n°110(7/8), 13 p.
- OMM, 2010, «*Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques* » N° 8 édition mise à jour, 714 p.
- PHILLIPS Tamara, GLECKLER Peter, 2006, «*Evaluation of continental precipitation in 20th century climate simulations: The utility of multimodel statistics*». *Water Resources Research*, 42, 42 p.
- SEN Pranab Kumar, 1968, «*Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*». *Journal of the American Statistical Association*, pp. 1379-1389.
- SUN Da-Wen, GONG Peng, LIANG Shunlin, 2006, «*Fractal analysis of remotely sensed images: A review of methods and applications*», pp. 4963-4990.
- TANAKA Hiro Lee, ISHIZAKI Noriko, NOHARA Daisuke, 2005, «*Intercomparaison of the intensities and trends of Hadley, Walker, and monsoon circulations in the global warming predictions*», *SOLA*, 1, pp. 77-80.
- WANG Hong, LAU Kei May, 2006, «*Atmospheric hydrological cycle in the Tropics in Twentieth Century coupled climate simulations*», *International Journal of Climatology*, 26, pp. 655-678.