

VARIABILITE CLIMATIQUE ACTUELLE ET FUTURE DANS LA VILLE DE YAMOUSSOUKRO (CÔTE D'IVOIRE)

KOUASSI Yao Dieudonné

*Enseignant-chercheur, Laboratoire de Démographie et des
Dynamiques Spatiales (LABORADDYS), UFR Communication,
Milieu et Société,*

*Université Alassane Ouattara, Côte d'Ivoire,
yaodieudonnekouassi@gmail.com*

KOUASSI Kouassi Roméo

*Doctorant, Laboratoire de Démographie et des Dynamiques
Spatiales (LABORADDYS), UFR Communication, Milieu et Société,
Université Alassane Ouattara, Côte d'Ivoire,
romciboc@gmail.com*

Résumé :

La ville de Yamoussoukro connaît, aujourd'hui, une variation de son climat. Celle-ci se caractérise par l'amenuisement des eaux de surface ; la réduction des saisons de pluies et la hausse des températures. Cette situation actuelle amène à s'interroger sur les conditions climatiques du futur. L'objectif, donc, de cette étude est d'apporter des connaissances sur le climat actuel et futur dans la ville de Yamoussoukro. Les données climatiques de 1975 à 2017 ont été soumises, à cet effet, à des analyses statistiques. Il ressort des analyses intra-annuelles que les valeurs de précipitations sont sous-estimées tandis que celles des températures sont surestimées dans les scénarios RCP4.5 et RCP8.5. Cela dit les précipitations observées sont en dessous de celles simulées et le contraire se produit avec les données de températures. Cependant, les erreurs, dans la simulation sur la période 1975-2017, sont acceptables. Elles varient entre 3% et 48% pour les précipitations et de 0% à 6% pour les températures moyennes. La projection climatique, à l'horizon 2025-2067 dans la ville de Yamoussoukro, prévoit une baisse des précipitations et une hausse de la température moyenne. Le scénario RCP4.5 montre, ainsi, une variation d'indices pluviométriques de -3,1 à 0,3 ; tandis que le scénario RCP8.5 annonce le maintien d'une période normale. Les amplitudes thermiques prévues varient de 1,4°C à 2,6°C pour le scénario RCP4.5 et de 2,1°C à 3,5°C pour le scénario RCP8.5.

Mots clés : Variabilité climatique, projection RCP4.5 et RCP8.5, Yamoussoukro

Abstract :

Climate variability, highlighted at the local level, has enormous consequences for natural and human resources. Surface water is dwindling; Rainfall amounts are decreasing and temperatures are rising. This current situation raises questions about the climatic conditions of the future. This study aims to provide knowledge on the current and future climate in the city of Yamoussoukro. Precipitation and temperatures observed from 1975 to 2017 were subjected to statistical analyses. Then climate data of the same reference were simulated in the RCP8.5 and RCP4.5 climate scenarios. Intra-annual analyses show that the patterns of precipitation and temperature have been simulated in an acceptable manner; however, precipitation values are underestimated while temperature values are overestimated. At the interannual level, the simulation revealed relative errors during the period 1975-2017. These errors vary between 3% and 48% for precipitation and from 0% to 6% for average temperatures.

The climate projection, for 2025-2067 in the city of Yamoussoukro, predicts a decrease in rainfall and an increase in average temperature. The RCP4.5 scenario predicts a steady decrease in precipitation from 2025 to 2067; while the RCP8.5 scenario announces the maintenance of a normal period with a slight increase. Projected thermal amplitudes range from 1.4°C to 2.6°C for RCP4.5 and from 2.1°C to 3.5°C for RCP8.5.

Keywords: Climate variability, RCP4.5 and RCP8.5 projection, Yamoussoukro

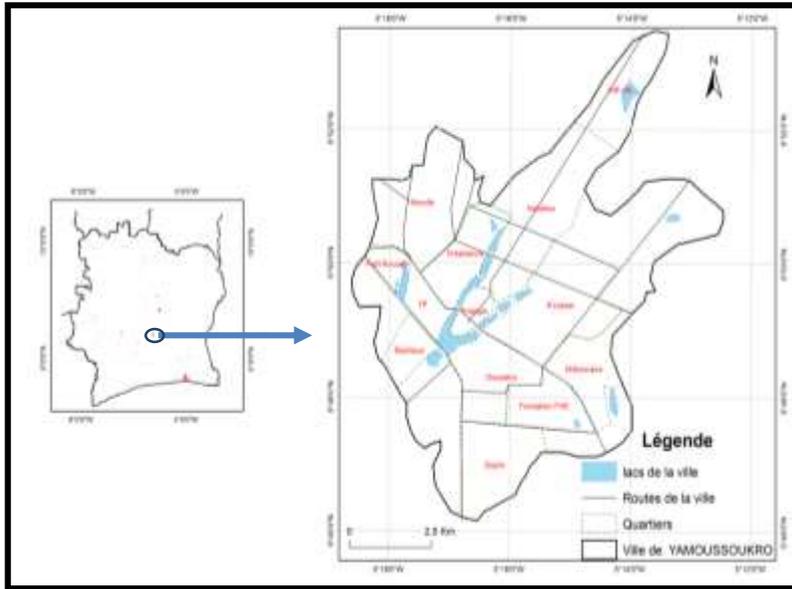
Introduction

La variabilité climatique est d'actualité à cause de ses effets sur la planète terre et les populations. Dans les milieux tropicaux, notamment en Côte d'Ivoire, la variabilité climatique entraîne de fortes modifications hydriques et thermiques (J. P. BRICQUET et al, 1997, p330 ; G. MAHE et al, 2005, p172). L'augmentation de la température accroît l'évaporation des eaux et l'assèchement des sols. Cette situation conduit à l'accroissement du potentiel de perméabilité. Les eaux sont donc

soit évaporées ; soit infiltrées (B. Y. B. EUDES et *al*, 2017, p515). Par ailleurs, l'analyse des séries chronologiques de pluviométrie montre une baisse progressive des quantités de pluies sur le territoire ivoirien (B. T. A. GOULA et *al*, 2006, p7 ; F. KANOHIN et *al*, 2009, p216 ; K. E. AHOUSSEI et *al*, 2013, p35 ; R. M. N. FOSSOU et *al*, 2014, p120). Au niveau de la ville de Yamoussoukro, la variabilité climatique actuelle engendre des conséquences visibles comme la modification du volume des plans d'eau, les végétaux aquatiques envahissants (B. I. DIOMANDE et K. R. KOUASSI, 2019, p33). Cette situation a des impacts sur les activités socio-économiques liées à ses eaux. Au vu des conséquences, il convient de s'intéresser au futur climatique de la ville de Yamoussoukro. Cette étude a, donc, pour objectif de caractériser le climat actuel et futur dans la ville de Yamoussoukro. Ce travail est une contribution à la compréhension du climat dans ladite ville.

La ville de Yamoussoukro est localisée au Centre du pays entre 6°40' et 7° de latitude Nord et entre 5°10' et 5°20' de longitude Ouest (carte 1). Elle est incluse dans la région des lacs. Cette zone regorge, en effet, d'énormes potentialités hydrologiques. Le plan directeur d'urbanisme de la ville de Yamoussoukro s'étend sur 270 km².

Carte 1 : Localisation de la ville de Yamoussoukro



Source : CCT/BNETD, 2016

1. Données et méthodes

1.1. Données

Les données utilisées dans cette étude sont de deux ordres.

Il y a, d'une part, les données cartographiques qui portent sur la carte administrative de la ville de Yamoussoukro. Ces données sont issues du Centre de Cartographie et de Télédétection affilié au Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement (CCT/BNETD).

D'autres parts, il y a les données climatiques qui sont la pluviométrie et la température. A ce niveau, les données observées ont été fournies par la Société d'Exploitation et de

Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Ces données jugées fiables par l'entreprise sont issues de la station synoptique de Yamoussoukro et couvrent la période de de 42 ans (1975 à 2017). Aussi, les données simulées, au pas de temps mensuel et annuel sur un horizon temporel futur (1960 à 2100), ont été retenues en fonction des scénarios de référence (RCP 8.5 et 4.5). Ces données sont issues d'une dizaine de modèles climatiques globaux, téléchargeables sur le site <http://www.cru.uea.ac.uk/data>. Elles ont été fournies par le Projet d'intercomparaison des modèles couplés, le CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project, version5*).

1.2. Méthodes

La méthode de traitement des données climatique s'articule autour de trois points. Il s'agit d'abord de la détermination de la dispersion et des anomalies standardisées ; ensuite, le choix des scénarios et des modèles climatiques globaux ; et enfin, la détermination de la marge d'erreur entre les données observées et les données projetées.

Détermination de la dispersion et des anomalies standardisées

Cette première étape consiste à calculer les anomalies (indices) standardisées des données climatiques observées. L'écart-type a permis d'évaluer la dispersion des valeurs autour de la moyenne « normale ». Il se détermine par le calcul de la racine carrée de la variance : $\sigma(X) = \sqrt{V}$ où V est la variance. L'écart-type est par excellence l'indicateur de la variabilité climatique.

A partir de l'écart-type, ont été calculées les anomalies centrées réduites pluviométriques et thermométriques mensuelles et interannuelles, en standardisant les données. Les anomalies

(indices) sur la station de Yamoussoukro se calculent par la formule (B. DOUPKOLO, 2013, p11) :

$$X = \frac{\Delta - \phi}{\sigma(X)} \quad (1)$$

où X : Anomalie Centrée Réduite pour l'année, Δ = la valeur de la variable, ϕ = la moyenne de la série et $\sigma(X)$ = l'écart-type de la série.

Choix des scénarios climatiques et des modèles climatiques globaux

Après la standardisation des données climatiques observées, le choix des scénarios et des modèles climatiques suivent. A cet effet, les profils représentatifs de l'évolution de la concentration (RCP) développés par le GIEC prennent en compte les émissions de gaz à effet de serre selon les régions du monde (GIEC, 2015, p61). Dans le cadre de la présente étude, deux scénarios ont été retenus : le RCP8.5 dit pessimiste, où les émissions de gaz à effet de serre continuent de croître jusqu'en 2100 et le RCP4.5 dit optimiste, où les émissions de gaz à effet de serre sont presque stabilisées depuis le début des années 2000, puis décroissent à partir de 2050. Afin d'utiliser un modèle climatique adéquat, la corrélation de Pearson, ainsi que l'analyse en composante principale ont été appliquées entre les données climatiques observées et les différents modèles climatiques. Cette méthode diffère de celle appliquée par B. DOUKPOLO (2013, p181). Ainsi, sur un total de 11 modèles qui couvrent la ville de Yamoussoukro, deux modèles ont présentés des capacités à simuler les caractéristiques climatiques de la zone. Il s'agit du modèle CanESM2 (33%) pour les précipitations et du modèle GFDL-ESM2M (32%) pour les températures. Cette démarche a permis de valider les résultats d'une simulation menée sur la période 1975-2017, en prenant comme données de référence les observations et les analyses d'observations (voir

résultat 1). Un horizon temporel futur est, ensuite, choisi : 2025-2067, en comparaison d'une période de référence (PR) 1975-2017, ce qui donne trois scénarios climatiques : PR, RCP8.5 et RCP4.5 de moyens termes (voir résultat 2). Ces scénarios sont représentatifs de l'éventail possible des changements climatiques et peuvent décrire à suffisance les changements d'un nombre de variables sur des échelles spatio-temporelles permettant d'évaluer les impacts des changements climatiques dans la ville de Yamoussoukro.

Détermination de la marge d'erreur entre les données observées et les données projetées des scénarios (RCP 4.5 et RCP 8.5)

La marge d'erreur est un paramètre qui permet d'apprécier les affinités des données afin d'évaluer la performance du modèle climatique. Les écarts mensuels et annuels moyens des températures et du pourcentage des précipitations sont, ainsi, calculées à partir des valeurs observées et simulées sur la période de référence (PR) 1975-2017. Ces valeurs sont déterminées à travers les formules mathématiques suivantes (B. DOUPKOLO, 2014, p200) :

$$EA = VS - VO$$
$$ER = (1 * (VS - VO) / VO) * 100$$

Avec : **EA** : Erreurs Absolues, **ER** : Erreurs Relatives (%), **VS** : Valeurs simulées, **VO** : Valeurs observées.

Résultats

1. Simulation pour la validation du modèle climatique

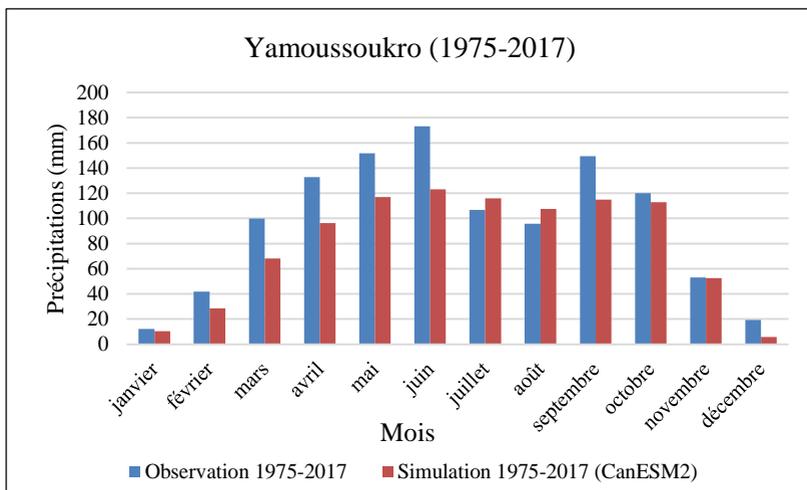
L'évaluation de la capacité d'un modèle climatique, à reproduire la variabilité du système climatique vécu est un élément

important de la validation du modèle climatique choisi. La variabilité interannuelle, les fluctuations saisonnières, le début, le maximum et la fin de la saison des pluies, ayant d'importantes conséquences sur les ressources en eau, sont des éléments déterminants pour valider les modèles climatiques. Les cycles annuels des moyennes mensuelles des précipitations et des températures simulées par le modèle climatique sur la ville de Yamoussoukro sont analysés. Une appréciation visuelle permet de vérifier comment le modèle climatique reproduit l'amplitude, le début et la fin de la saison, et le nombre et la position des modes.

1.1. Sous-estimation des valeurs dans la simulation pluviométrique

1.1.1. Cycle annuel des moyennes mensuelles des précipitations observées et simulées

Les précipitations moyennes mensuelles observées dans la ville de Yamoussoukro indiquent un régime bimodal. Ce régime bimodal est mis en évidence par la simulation du modèle CanESM2 (Figure 1). La saison sèche (à partir de novembre jusqu'en février) est correctement simulée par le modèle CanESM2. Aussi, l'allure de la saison des pluies qui commence au mois de mars-avril est raisonnablement simulée jusqu'en juin pour le premier maxima. Cependant, ce modèle climatique sous-estime les données pluviométriques de Yamoussoukro.



Source : SODEXAM et CMIP5, 2023

Figure 1 : Précipitations mensuelles observées et simulées de 1975 à 2017.

L'analyse de la figure montre l'existence des écarts entre les valeurs observées et celles simulées par le modèle climatique (tableau 1). Il est à noter que cet écart est plus élevé au mois de décembre soit 70%. En dehors du mois de décembre, les écarts oscillent généralement entre 0% et 31%. Ces valeurs sont assez acceptables.

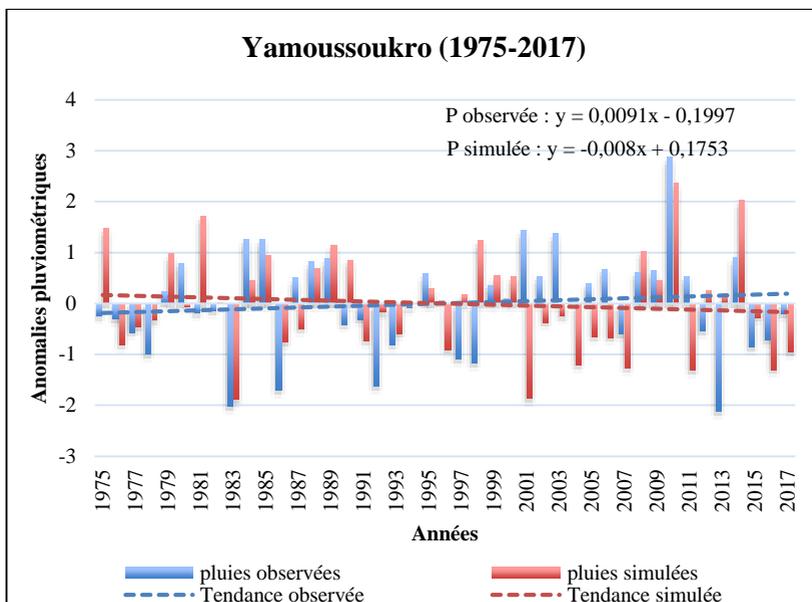
Tableau 1 : Ecart entre les pluies mensuelles observées et simulées à Yamoussoukro 1975-2017

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Observation 1975-2017	12,06	41,7	99,7	132,8	151,6	173,3	106,75	95,70	149,34	119,9	52,9	19,4
Simulation 1975-2017 (CanESM2)	10,26	28,42	68,02	96,30	116,96	123,21	115,96	107,42	114,8	112,7	52,4	5,7
E A (mm)	1,79	13,28	31,71	36,56	34,67	50,08	9,20	11,72	34,48	7,11	0,46	13,62
E R (%)	14	31	31	27	22	28	8	12	23	5	0	70

Source : SODEXAM et CMIP5, 2023

1.1.2. Tendence observée et simulée des précipitations annuelles

La tendance des précipitations annuelles simulées a été mise en évidence et comparée aux observations sur la période de 1975-2017 (Figure 2). Les données ont été d'abord normalisées puis le test de Mann-Kendall a été appliqué pour déterminer l'existence d'une tendance significative.



Source : SODEXAM et CMIP5, 2023

Figure 2 : Comparaison des anomalies de précipitations observées et simulées sur la période référence de 1975 à 2017.

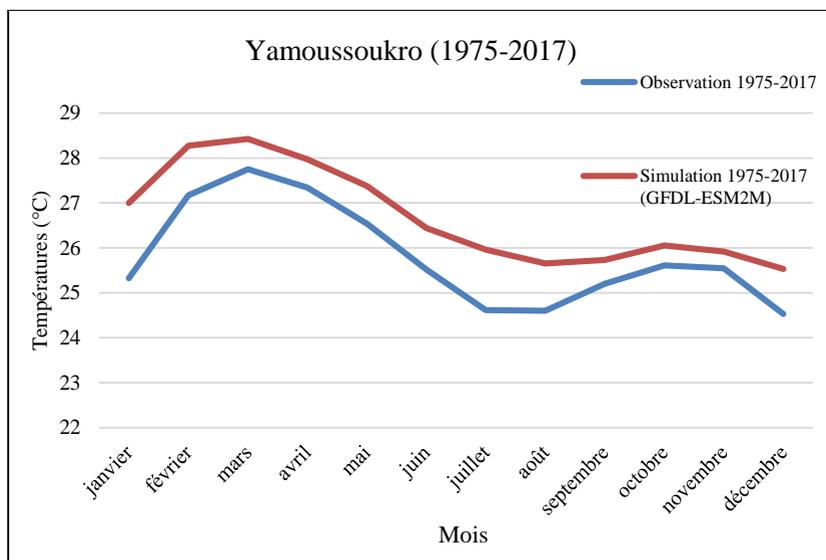
Il ressort de l'analyse de la figure 2 que la tendance simulée est à la baisse tandis que celle observée est à la hausse. Cependant le décalage entre ces deux tendances est minime. Cela se perçoit par les coefficients directeurs des tendances qui sont proches de 0. Il faut noter aussi qu'il existe des erreurs systématiques dans la simulation des quantités de pluies.

Par ailleurs, le coefficient de corrélation de Pearson a été utilisé pour analyser l'intensité de la relation linéaire entre les pluies annuelles simulées et celles observées (Figure 3).

1.2. Surestimation des valeurs dans la simulation thermométrique

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

Les températures moyennes mensuelles observées à Yamoussoukro présentent une allure bimodale et la température moyenne maximale est indiquée en mars. L'allure de la température moyenne est correctement simulée par le modèle climatique GFDL-ESM2M (Figure 4). Cependant, il existe un écart entre les valeurs observées et les valeurs simulées.



Source : SODEXAM et CMIP5, 2023

Figure 4 : Températures moyennes mensuelles observées et simulées à Yamoussoukro sur la période de référence 1975 à 2017

La figure 4 montre que le modèle climatique surestime les

données de températures. Cependant, il y a une variation des écarts thermométriques d'un mois à un autre. Ces écarts sont plus élevés dans les mois de janvier, février, juillet, août et décembre. Cependant, les erreurs relatives sont comprises entre 1% et 6%. Toutes ces valeurs sont indiquées dans le tableau 2 suivant

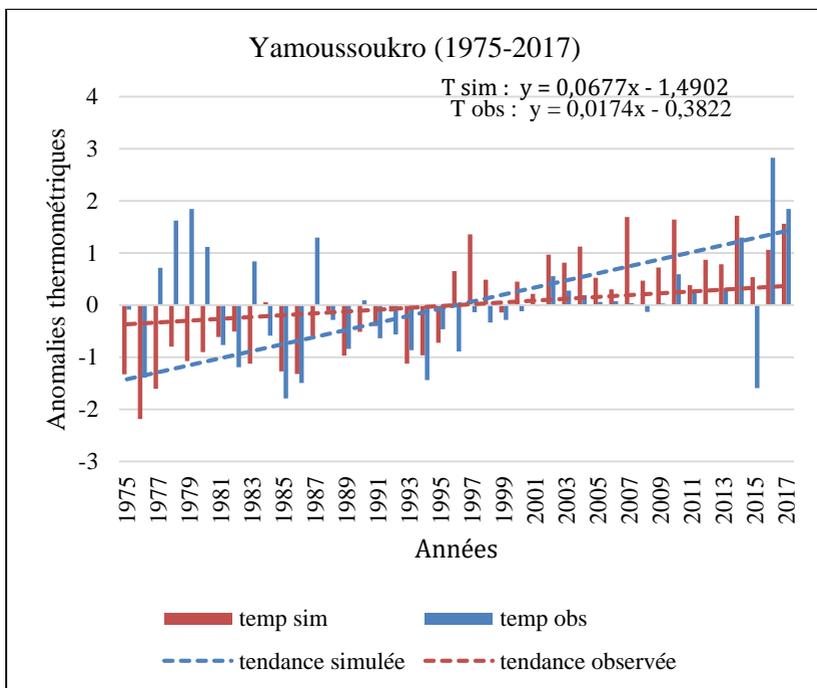
Tableau 2 : Ecart entre les températures observées et simulées à Yamoussoukro de 1975 à 2017

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Observation 1975-2017	25,3	27,1	27,7	27,3	26,5	25,5	24,6	24,6	25,2	25,6	25,5	24,5
Simulation 1975-2017 (GFDL-ESM2M)	26,9	28,2	28,4	27,9	27,3	26,4	25,9	25,6	25,7	26	25,9	25,5
EA (°C)	1,6	1,1	0,6	0,6	0,8	0,9	1,3	1	0,5	0,4	0,3	1
ER (%)	6	4	2	2	3	3	5	4	2	1	1	4

Source : SODEXAM et CMIP5, 2023

1.2.2. Tendances observées et simulées des températures moyennes annuelles

Le cycle annuel de la température est assez bien imité par la simulation (Figure 5). Ces résultats se confirment par la bonne corrélation entre la simulation et l'observation.

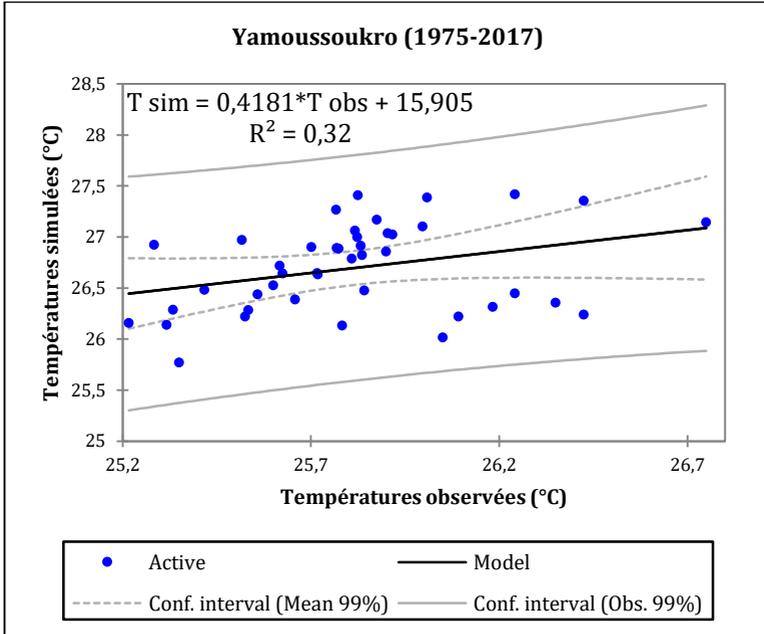


Source : SODEXAM et CMIP5, 2023

Figure 5 : Comparaison des anomalies de températures moyennes annuelles observées et simulées à Yamoussoukro de 1975 à 2017

La figure 5 décèle la comparaison des variabilités interannuelles simulées et observées pour les températures sur la période 1975-2017. La simulation de la variabilité interannuelle et la tendance des températures moyennes simulées sont proche des observations et reproduisent bien le réchauffement observé dans la ville de Yamoussoukro pendant la période 1975-2017. 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. Le coefficient de

corrélation, entre les données de températures moyennes annuelles observées et simulées, est de 0,32 (Figure 6).



Source : SODEXAM et CMIP5, 2023

Figure 6 : Corrélation entre les températures moyennes annuelles observées et simulées

Les écarts de températures calculés entre les valeurs observées et les valeurs simulées varient de 0°C à 1,4°C. Les erreurs relatives oscillent entre 0% et 6%.

1.3.Évaluation de la performance du modèle climatique

La performance de l'approche, qui sert à reproduire au mieux le comportement climatique, dans la ville de Yamoussoukro, 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. Ainsi, il ressort que le modèle climatique CanESM2 a encore beaucoup de biais dans sa simulation, notamment pour les paramètres comme les précipitations, l'une des plus importantes variables climatiques. Bien que ce modèle reproduise les quantités de pluies observées (amplitude, cycles saisonniers, modes, etc.), il donne une représentation peu précise au niveau des quantités de pluies. Aussi, le modèle climatique GFDL-ESM2M, bien qu'il simule les températures moyennes annuelles, a aussi beaucoup de biais. Les représentations sont moins précises. La simulation, à travers ces modèles climatiques, reproduit correctement la variabilité interannuelle des températures et celles des précipitations dans la ville de Yamoussoukro. Ces modèles climatiques constituent donc un outil pour apprécier les futurs changements climatiques dans la ville de Yamoussoukro.

2. Projection climatique dans la ville de Yamoussoukro à l'horizon 2025-2067

Les modèles climatiques utilisés ont reproduit de façon acceptable la simulation sur la période de référence (1975-2017) dans la ville de Yamoussoukro. Cette analyse a montré beaucoup de biais, mais elle a permis aussi d'étudier la projection future à l'horizon 2025-2067. Il faut noter que cette projection climatique reste encore incertaine en termes de modes de variabilité.

Le climat futur dans la ville de Yamoussoukro a été simulé au moyen de 2 modèles climatiques globaux en comparant les résultats des projections climatiques avec ceux des observations pour la période de 1975 à 2017. Les résultats ont été calculés à

la fois à partir de la moyenne d'ensemble et des valeurs maximale et minimale des températures et au pourcentage pour les précipitations.

1.4. Baisse des précipitations à l'horizon 2025-2067

La projection des pluies dans la ville de Yamoussoukro à l'horizon 2025-2067 s'est fait selon deux scénarios à savoir RCP4.5 (optimiste) et RCP8.5 (pessimiste). Selon le scénario optimiste, les changements futurs des précipitations annuelles dans la ville de Yamoussoukro représenteront une diminution de -37% à -9% pour les mois de janvier, février, mars, avril, mai, juin, septembre, octobre et décembre (Tableau 3). Par contre, une augmentation des précipitations (entre 3% et 23%) est prévue pour les mois de juillet, août, et novembre. Quant au scénario pessimiste, les changements futurs des pluies annuelles à Yamoussoukro indiqueront une baisse comprise entre -42% et -1% au niveau des mois de février, mars, avril, mai, juin, juillet, septembre, octobre et décembre. Cependant, ce scénario prévoit une hausse des précipitations en janvier (13%), en août (11%) et en novembre (24%).

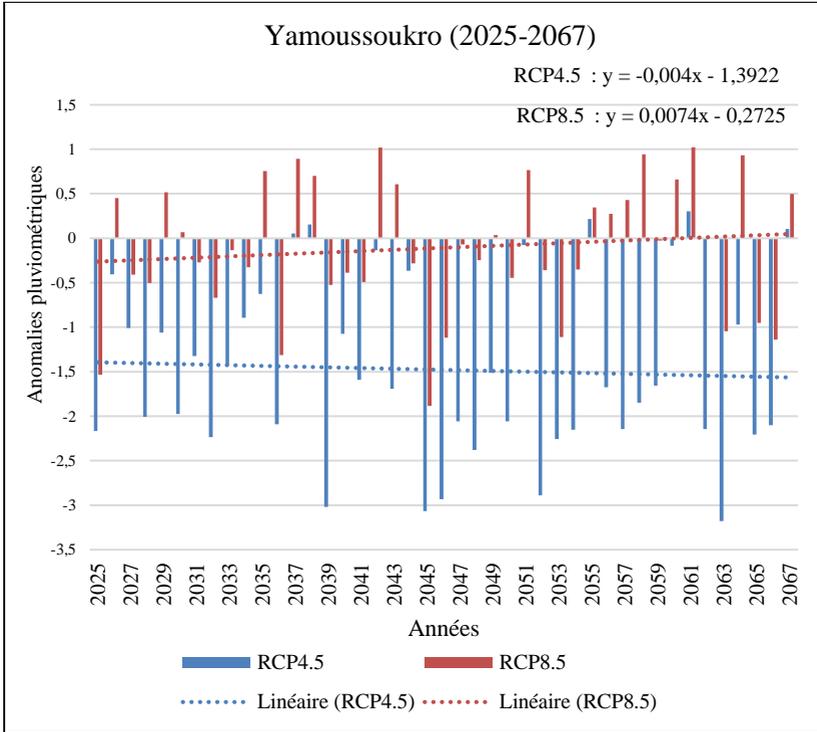
Tableau 3 : Changements (absolu et relatif) des précipitations à l'horizon 2025-2067 valeurs calculées par rapport à la climatologie de référence selon les scénarios RCP4.5 et RCP8.5

MOIS		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
RCP4.5	EA (mm)	2,12	8,51	24,90	41,60	34,89	64,18	3,78	22,95	37,11	11,69	6,01	5,35
	ER (%)	-17	-20	-24	-31	-23	-37	3	23	-24	-9	11	-27
RCP8.5	EA (mm)	1,66	17,14	15,41	39,99	33,13	72,82	8,82	11,32	32,73	2,27	13,13	8,26
	ER (%)	13	-41	-15	-30	-21	-42	-8	11	-21	-1	24	-42

Source : CMIP5, 2023

A l'analyse du tableau 3, les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 prévoient neuf mois de déficit pluviométrique dans la ville de Yamoussoukro à l'horizon 2025-2067. Cependant, ces scénarios indiquent deux mois identiques qui enregistreront des hausses pluviométriques (août et novembre).

L'évolution des indices de précipitations interannuelles dans la ville de Yamoussoukro à l'horizon 2025-2067 est marquée par la tendance (Figure 7). La tendance des précipitations pourrait évoluer dans les deux sens et des tendances particulières ne seront pas nécessairement maintenues tout au long du 21ème siècle. Il est par conséquent de pratique courante en climatologie d'évaluer les tendances des précipitations sur des régions et des périodes de temps relativement étendues, ce qui réduit les effets des facteurs locaux (B. DOUPKOLO, 2014, p200). Les changements des précipitations à Yamoussoukro sont illustrés par la figure 69.



Source : CMIP5, 2023

Figure 7 : Evolution interannuelle des anomalies pluviométriques de 2025 à 2067.

L'analyse de la figure 7 indique une différence d'évolution des précipitations futures en fonction du scénario. Selon le scénario RCP8.5, il y aura une légère augmentation des précipitations à Yamoussoukro de 2025 à 2067. Ce scénario prévoit que la période 2025-2067 sera une période de pluviométrie normale parsemée de sept années sèches (2025, 2036, 2045, 2046, 2053, 2063, 2066) et de deux années humides (2042, 2061).

Le scénario RCP4.5 prévoit, quant à lui, une baisse des précipitations à Yamoussoukro de 2025 à 2067. Cette régression

des pluies prévues, bien que légère, va entraîner une période de sécheresse sur l'ensemble de la période considérée. Il faut noter que ce scénario prévoit des déficits pluviométriques extrêmes pendant certaines années (2039, 2045, 2063) où les indices sont inférieurs à -3.

1.5. Hausse des températures moyennes à l'horizon 2025-2067

La projection des températures moyennes de Yamoussoukro à l'horizon 2025-2067 s'est faite selon les scénarios RCP4.5 et RCP8.5. Ceux-ci révèlent une augmentation générale des températures moyennes annuelles (Tableau 4). Cette hausse annuelle de la température moyenne s'illustre par l'augmentation des amplitudes thermiques mensuelles. Ces amplitudes thermiques varient de 1,4°C à 2,6°C pour le scénario RCP4.5 et de 2,1°C à 3,5°C pour le scénario RCP8.5. Les amplitudes thermiques sont donc fonctions du scénario.

Tableau 4 : Changements (absolu et relatif) des températures moyennes à l'horizon 2025-2067 valeurs calculées par rapport à la climatologie de référence selon les scénarios RCP4.5 et RCP8.5

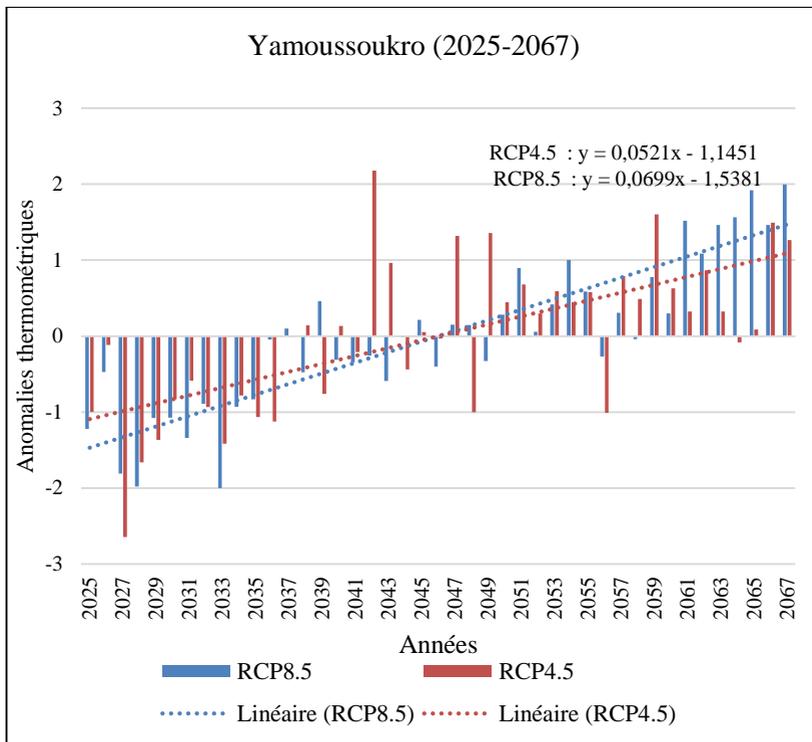
MOIS		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
RCP4.	EA (°C)	2,6	2,1	1,6	1,5	1,8	1,9	2,5	2,2	1,5	1,4	1,4	1,9
	ER (%)	10	7	6	5	7	7	10	9	6	5	5	7
RCP8.	EA (°C)	3,5	3,1	2,7	2,5	2,6	2,5	3,1	2,8	2,1	2,1	2,3	2,9
	ER (%)	13	11	9	9	10	10	12	11	8	8	9	12

Source : CMIP5, 2023

L'analyse du tableau 4 met en évidence une augmentation des températures moyennes de Yamoussoukro de 5% à 10% pour le

scénario optimiste (RCP4.5) et 8% à 13% pour le scénario pessimiste (RCP8.5). La combinaison des deux scénarios prévoit que le mois de janvier sera le plus chaud durant la période 2025-2067.

Par ailleurs, la tendance des températures moyennes interannuelles est le résultat des émissions de gaz à effet de serre. Elle est en augmentation dans la ville de Yamoussoukro, cependant il y aura inévitablement des fluctuations de la tendance d'une année à l'autre (Figure 8). Les projections des températures moyennes calculées prévoient une augmentation variant de 0,9 °C à 2,6 °C dans le cas du scénario RCP4.5 et de 1,1 °C à 4,2 °C dans le cas du scénario RCP8.5 à l'horizon 2025-2067. Afin de mieux apprécier les fluctuations des températures moyennes futures à Yamoussoukro, les anomalies thermométriques sont calculées.



Source : CMIP5, 2023

Figure 8 : Evolution des anomalies thermométriques à Yamoussoukro de 2025 à 2067

L'analyse de la figure 8 indique qu'à partir des années 2045, la température moyenne annuelle de Yamoussoukro augmentera fortement. Cette hausse de la température est mise en évidence par les équations des scénarios RCP4.5 et RCP8.5. Cette situation pourrait avoir d'énormes conséquences sur les activités socioéconomiques, surtout, l'agriculture urbaine.

Discussions

La simulation des données climatiques de Yamoussoukro, dans les scénarios RCP8.5 et RCP4.5 du CMIP5, a permis de mettre en avant deux modèles climatiques à savoir le modèle CanESM2 pour les précipitations et le modèle GFDL-ESM2M pour les températures. Il faut noter que le modèle climatique varie selon la situation géographique. A cet effet, A. Deme et *al* (2015, p68) indiquent quelques modèles par zone notamment la frontière mauritano-sénégalaise (ACCESS1-0, IPSL-CM5A-MR, IPSL-CM5B-LR) ; la Mauritanie et le Mali (BCC-CSM1-1, BNU-ESM, CMCC-CM, FGOALS-g2) ; le Niger et le Tchad (CSIRO-Mk3-6.0 et MIROC5).

Cependant, la validation des données climatiques de Yamoussoukro sur la période 1975 - 2017, a révélé des biais dans les allures de précipitations et de températures. Les valeurs de précipitations sont, en effet, sous-estimées tandis que celles des températures sont surestimées. Ces écarts dans la projection climatique sont également mis en évidence dans toute l'Afrique de l'Ouest (F. Guichard et al, 2015, p37). La plupart des modèles reproduisent effectivement un cycle annuel bimodal, mais qui s'écarte considérablement de l'observation avec des décalages temporels.

Les erreurs relatives, dans la simulation des données climatiques de Yamoussoukro, sont élevées pour les précipitations tandis que celles des températures moyennes sont faibles. Ce résultat confirme le profil de risques climatiques en Côte d'Ivoire, établi par GIZ (2015, p5). Il ressort que les projections climatiques avec les précipitations sont plus incertaines que celles faites avec les températures. Ce résultat se justifie par le fait que la variabilité pluviométrique est élevée d'une année à l'autre (GIZ, 2015, p5).

La projection pluviométrique, à l'horizon 2025-2067 dans la ville de Yamoussoukro, prévoit une baisse des précipitations. Le scénario RCP4.5 prévoit, en effet, une diminution régulière des précipitations de 2025 à 2067 ; tandis que le scénario RCP8.5 indique une constance de la période normale avec une légère hausse. Par ailleurs, M. Zoure (2021, p 32) a projeté les précipitations dans les villes de Gagnoa et Daloa à l'horizon 2060 et 2100. Il révèle également une baisse des précipitations de 21,4% et de 24,9% pour le scénario RCP4.5 ; et un déficit pluviométrique de 24,9% et de 1,2% pour le scénario RCP8.5. La comparaison de ces résultats valide l'hypothèse du GIEC selon laquelle les régions subtropicales connaîtront une diminution des précipitations à travers les scénarios RCP (GIEC, 2014, p11). Ces résultats sont également mis en évidence dans d'autres pays de l'Afrique de l'Ouest comme le Mali, le Sénégal. Sur ce point, A. Deme et *al* (2015, p78) indiquent que la moyenne d'ensemble des modèles, dans un scénario RCP4.5, montre une diminution des précipitations sur le Sahel ouest (de Bamako au Sénégal) et une baisse pluviométrique sur le Maghreb (Maroc, Tunisie et Nord-Libye). Selon ce scénario, la baisse pluviométrique sur le Sahel ouest, varie de 60 % à 40 %, et sur le Maghreb aussi, le consensus sur la baisse des précipitations est faible (30-40 %).

La projection thermométrique dans la ville de Yamoussoukro indique une hausse de la température moyenne de 2025 à 2067. Les amplitudes thermiques prévues varient de 1,4°C à 2,6°C pour le scénario RCP4.5 et de 2,1°C à 3,5°C pour le scénario RCP8.5. S'inscrivant dans le même contexte, M. Zoure (2021, p 34) a caractérisé l'évolution des températures futures dans les villes de Gagnoa et Daloa aux horizons 2060 et 2100. Ses résultats montrent que les températures connaîtront une hausse de 1,68 °C et 2,14 °C pour le scénario RCP4.5 ; et le scénario RCP8.5 montre une hausse de 2,33°C et 3,82 °C. Ces deux études indiquent une augmentation des températures aux

horizons futurs avec différentes amplitudes thermiques. L'écart des amplitudes se justifie par la différence de la période future considérée. Cependant, ces études confirment la projection effectuée par le GIEC au niveau local. Tout en utilisant le scénario RCP 2.6 du CMIP5, le GIZ aboutit au même résultat de l'augmentation de la température future en Côte d'Ivoire (GIZ, 2015, p4). Leur étude indique qu'en réaction à la hausse des concentrations en gaz à effet de serre (GES), la température de l'air en Côte d'Ivoire devrait augmenter de 1,7 °C à 3,7 °C aux horizons 2030-2080. Le GIZ indique aussi que les hausses de température des modèles climatiques atteindront environ 1,8 °C en 2030, 2,0 °C en 2050 et 2,1 °C en 2080 en vertu du RCP2.6.

Conclusion

Le régime climatique, dans la ville de Yamoussoukro, présente une allure bimodale. Ce régime est simulé de manière acceptable par les modèles climatiques CanESM2 pour les précipitations et GFDL-ESM2M pour les températures. Les erreurs relatives à la simulation varient entre 3% et 48% pour les précipitations et de 0% à 6% pour les températures moyennes. La projection climatique, à l'horizon 2025-2067 dans la ville de Yamoussoukro, prévoit une baisse des précipitations et une hausse de la température moyenne. Le scénario RCP4.5 prévoit une baisse régulière des précipitations de 2025 à 2067 ; tandis que le scénario RCP8.5 annonce le maintien d'une période normale avec une légère hausse. Les amplitudes thermiques prévues varient de 1,4°C à 2,6°C pour le scénario RCP4.5 et de 2,1°C à 3,5°C pour le scénario RCP8.5. Cette situation climatique prévue aura probablement des répercussions sur les ressources naturelles, en général, et, en particulier, sur les eaux de surface dans la ville de Yamoussoukro.

Bibliographie

Ahoussi K. E., Koffi Y. B., Kouassi A. M., Soro G., Soro N., Biémi J. (2013). Étude de la variabilité hydro-climatique et de ses conséquences sur les ressources en eau du Sud forestier et agricole de la Côte d'Ivoire : cas de la région d'Abidjan-Agboville. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*. Volume 1, n°6, pp. 30-50. www.ijpab.com

Bricquet J. P., Bamba F., Mahe G., Toure M. Olivry J. C. (1997). Évolution récente des ressources en eau de l'Afrique atlantique. *Journal of Water Science*. Numéro 103, pp 321–337. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-06/010036317

Deme A., Gaye A. T., Hourdin F. (2015). Les projections du climat en Afrique de l'Ouest Évidences et incertitudes. *Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest*. IRD Editions, collections synthèses, Marseille, pp 61-84. <http://www.editions.ird.fr/>

Diomandé B. I., Kouassi K. R. (2019). Dynamique lacustre et ses répercussions sur le maraîchage dans la ville de Yamoussoukro au centre de la Côte d'Ivoire. *Revue Science Environnementale Universitaire*. Lomé (Togo), ISSN 1812-1403, n° 16, vol. 2. pp 23-39

Doupkolo B. (2013). Procédure de traitement des données d'observation, de simulation et de projection du climat. *Séjour scientifique annexe v du rapport final*. Projet d'appui institutionnel aux institutions africaines du climat, 33p. https://acmad.net/rcc/document/Doukpolo_rapport_final.pdf

Doupkolo B. (2014). *Changements climatiques et productions agricoles dans l'ouest de la république centrafricaine*. Thèse de doctorat, École Doctorale Pluridisciplinaire « Espace, Cultures et Développement »,

Université d'Abomey-Calavi, pp 125-226.
<https://theses.hal.science/tel-01053261/document>

Eudes B. Y. B., Souad H., Probst J. L. (2017). Analyse de la variabilité hydroclimatique et impacts des barrages sur le régime hydrologique d'une rivière de zone semiaride : Le Sebou Au Maroc. *European Scientific Journal*. ISSN 1857-7881, vol. 13, n° 5. pp. 509-525.
<https://eujournal.org/index.php/esj/article/download/8885/8515>

Fossou R. M. N., Soro N., Traore V. B., Lasm T., Sambou S., Soro T., Orou R. K., Cisse M. T. Kane A. (2014). Variabilité climatique et son incidence sur les ressources en eaux de surface : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro, Centre-Est de la Côte d'Ivoire en Afrique de l'Ouest. *Afrique SCIENCE*. Vol 10, n°4, pp 118-134.
<https://www.ajol.info/index.php/afsci/article/view/118336/107876>

GIEC (2014). *Rapport de synthèse du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, p11.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf

GIEC (2015). *Rapport de synthèse du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, 161p.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_french.pdf

GIZ (2015). *Profil de risque climatique en Côte d'Ivoire*. Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, p7.
<https://ivoirepolitique.org/profil-de-risque-climatique-co%CC%82te-divoire-deutsche-gesellschaft-fu%CC%88r-internationale-zusammenarbeit-giz-fevrier-2021/>

Goula B. T. A., Savane I., Konan B., Fadika V., Kouadio G. B. (2006). Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de n'zo et n'zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide). *La revue en sciences de*

l'environnement. vol 7, n°1, 12 p.
<https://journals.openedition.org/vertigo/2038>

Guichard F., Kergoat L., Hourdin F., Léauthaud C., Barbier J., Mougin E., Diarra B. (2015). Le réchauffement climatique observé depuis 1950 au Sahel. *Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest*. IRD Editions, collections synthèses, Marseille, p37. <http://www.editions.ird.fr/>

Kanohin F., Saley M. B., Savané I. (2009). Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les activités humaines en zone tropicale humide : cas de la région de Daoukro en Côte D'ivoire. *European Journal of Scientific Research*. ISSN 1450-216X, Vol. 26, n°2, pp 209-222.
<https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/2013-v26-n3-rseau0846/1018789ar.pdf>

Mahé G., Olivry J. C., Servat É. (2005). Sensibilité des cours d'eau ouest-africains aux changements climatiques et environnementaux : extrêmes et paradoxes. *Regional Hydrological Impacts of Climatic Change-Hydroclimatic Variability (Proceedings of symposium S6 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguacu, Brazil, April 2005)*, pp 169-177.
<https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010054564>

Zouré M. (2021). *Changement climatique et disponibilité en eau du bassin versant de la rivière Davo pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Gueyo*, Mémoire de Master, Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, 50p.
<https://dicames.online/jspui/bitstream/20.500.12177/9660/1/ZOURE%20Moussa.pdf>