

Évolution Des Précipitations Et De La Température À l'Horizon 2050 Avec Les Modèles Climatiques CMIP5 Dans Le Bassin Versant Du Nakambé (Burkina Faso)

[Changes In Precipitation And Temperature At Horizon 2050 With The CMIP5 Climate Models In The Nakambé Watershed (Burkina Faso)]

Suzanne KOALA^{1*}, Guillaume NAKOULMA², Jean-Marie DIPAMA¹

¹Laboratoire d'Études et de Recherches sur les Milieux et Territoires, (LERMIT),
Faculté de Géographie, Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso.

²Ingénieur en Météorologie à l'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), Ouagadougou, Burkina Faso.

*Correspondance de l'auteur : koalasuzanne.@yahoo.fr



Résumé – L'objectif de cette recherche est de mettre en évidence l'évolution de la température et des précipitations dans le bassin versant du Nakambé à l'horizon 2050 par les sorties des modèles climatiques CMIP5 dans un contexte de changement climatique. La méthodologie a consisté à simuler des scénarios climatiques à l'horizon 2050 pour prédire les conditions climatiques futures au Burkina Faso et précisément dans le bassin versant du Nakambé. Les sorties moyennées de dix (10) modèles climatiques de l'exercice CMIP5 avec les scénarii RCP 4.5 et 8.5 ainsi que celui de l'évolution des gaz à effet de serre ont été utilisées.

Les résultats montrent qu'en moyenne, dans la décennie 2050, une augmentation des températures supérieures à 3.5°C pourrait être atteinte. Les valeurs thermiques minimales mensuelles connaîtront une augmentation comprise entre 1 et 3°C par rapport aux valeurs de la période 1988-2018. L'évolution de la température mensuelle selon les scénarii RCP 4.5 et 8.5 montrent clairement la hausse de la température au nord et au sud du bassin et une variation peu significative mais à la hausse au centre. Les pluies pourraient être plus intenses entre 2021 et 2050 par rapport à la période de référence (1988-2018) quel que soit le scénario.

Mots clés – Modèles climatiques, scénarii climatiques, CMIP5, Nakambé, Burkina Faso

I. INTRODUCTION

L'Afrique de l'Ouest connaît actuellement des changements climatiques rapides, qui revêtent la forme d'un réchauffement généralisé et d'une hausse des températures moyennes et extrêmes au printemps et en été au Sahel, [1,2]. Ce réchauffement observé est attribué au changement climatique d'origine humaine, qui a provoqué un réchauffement d'environ 1°C sur cette partie Ouest africaine [3]. C'est pourquoi ces dernières années ont été marquées par une préoccupation grandissante au sujet du changement climatique, avec un besoin de projections climatiques exprimé par les acteurs locaux publics et privés, au service des stratégies et actions d'adaptation, [4].

Alors, l'objectif de cet article consiste à utiliser les RCP (Representative Concentration Pathways) ou «Profils représentatifs d'évolution de concentration», [5] du modèle régional pour voir la tendance de la température et des précipitations à l'horizon 2050 au niveau du bassin versant du Nakambé au Burkina Faso.

Selon [6], la concordance des modèles est plus grande dans le cas des températures : tous les modèles prévoient une élévation de la température en surface pour les scénarios d'évolution future si les politiques actuelles restent inchangées. Le réchauffement sera vraisemblablement supérieur à la moyenne mondiale dans cette région, avec vers la fin du siècle des températures de 3 à 4°C plus élevées que celles des vingt dernières années du XX^{ème} siècle. En Afrique, comme le rapport signal/bruit est très élevé quand il s'agit de la température, dix années en moyenne suffisent presque partout pour que le réchauffement soit perceptible. D'un point de vue géographique, les plus forts réchauffements (environ 4°C) se localisent généralement à l'intérieur des terres, et en particulier dans la partie occidentale du Sahel. Sur la côte et à proximité de la limite méridionale de la région, l'augmentation devrait être plus faible, mais tout de même importante (environ 3 °C).

Il existe peu de travaux sur l'impact futur des changements climatiques sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest aux horizons 2025 à 2050. Les quelques travaux réalisés montrent de fortes incertitudes sur les modèles actuels avec parfois des fortes divergences dans les projections. Des efforts de recherche sont encore à faire dans ce domaine. Toutefois, il est bien admis par la communauté scientifique internationale, que les extrêmes hydrologiques (sécheresses et inondations) vont se renforcer dans le futur. Même si on ne connaît pas encore l'ampleur des futurs changements, il faudrait s'attendre pour la sous-région à une augmentation de la variabilité des ressources en eau liée aux changements climatiques d'où la nécessité d'agir maintenant.

Ainsi, plusieurs auteurs ont déjà appliqué le modèle expérimental aux différents résultats de scénarii climatiques, dans le sahel notamment, [7,8,9,10]. Pour la génération des scénarii climatiques, la seule source d'incertitude demeure les émissions du GES.

II. MATERIELS ET METHODES

2.1. Modèles et scénarii climatiques

Différentes méthodes permettent d'estimer les conséquences des changements climatiques : à l'exemple des études de sensibilité et des modèles pluie-débit. Ces derniers permettent de quantifier les répercussions de l'évolution climatique sur le cycle de l'eau ou le débit des rivières. Ils peuvent en ce sens être qualifiés de modèles d'impact. En effet, un modèle climatique est une représentation mathématique des processus physiques à grande échelle du système terre-océan et atmosphère. Les modèles de circulation générale permettent de simuler l'évolution du climat en fonction de différents scénarios et sont des outils privilégiés pour les études d'impacts dans le cadre des changements climatiques, [11].

[12] et [13] ont montré que depuis les années 1991, l'IPCC utilise trois grandes familles de scénarii climatiques dans les évaluations des incidences d'un climat modifié. Les grandes familles de scénarii climatiques sont des scénarii incrémentiels (scénarii climatiques obtenus à partir d'une augmentation de 2°C appliquée à un enregistrement des températures d'une station à des échelles déterminées), des scénarii analogiques (scénarii construits en choisissant un régime climatique connu qui peut ressembler au climat futur) et des scénarii fondés sur les modèles climatiques. Ces derniers sont fondés sur les hypothèses d'émissions qui dépendent des tendances socio-économiques. Dans les diverses prédictions d'évolution du climat et d'étude de l'impact de celui-ci, l'hypothèse la plus souvent étudiée correspond à un doublement de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère à la fin du siècle par rapport à l'état initial de la période industrielle [10].

Pour [14] il existe trois (3) principaux scénarii climatiques couramment utilisées dans les évaluations d'incidences. Il s'agit des scénarii incrémentiels, des scénarii par analogies et des scénarii basés sur les modèles climatiques.

- les premiers, dits synthétiques, consistent simplement à ajuster les valeurs de référence en fonction des changements prévus. Ils peuvent être très utiles pour tester la sensibilité d'un système au climat ;
- les seconds, analogues d'un climat modifié, sont extraits et proviennent du passé ou d'autres régions ; ils peuvent fournir des informations intéressantes sur l'incidence des conditions climatiques au-delà des situations actuelles ;
- les troisièmes cas de scénarii, résultats des modèles de circulation générale, sont établis en appliquant aux valeurs de référence retenue (1971-2000), l'écart proportionnel ou absolu entre les simulations du climat actuel et du climat futur.

Selon [6], les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) couvrent un éventail de scénario plus large que celui des scénarii du Rapport spécial sur les scénarii d'émissions (SRES) utilisés dans les précédentes évaluations, car ils comprennent aussi des scénarii prenant en compte une politique en faveur du climat. En termes de forçage général, le RCP 8.5 est globalement

comparable au scénario A2/A1FI du SRES, le RCP 6.0 au B2 et le RCP 4.5 au B1. Le RCP 2.6 n'a pas d'équivalent dans le SRES. La figure 1 présente l'évolution de la température et des précipitations moyennes entre 1986-2005 et 2081-2100 dans les continents des latitudes moyennes et dans les régions tropicales humides.

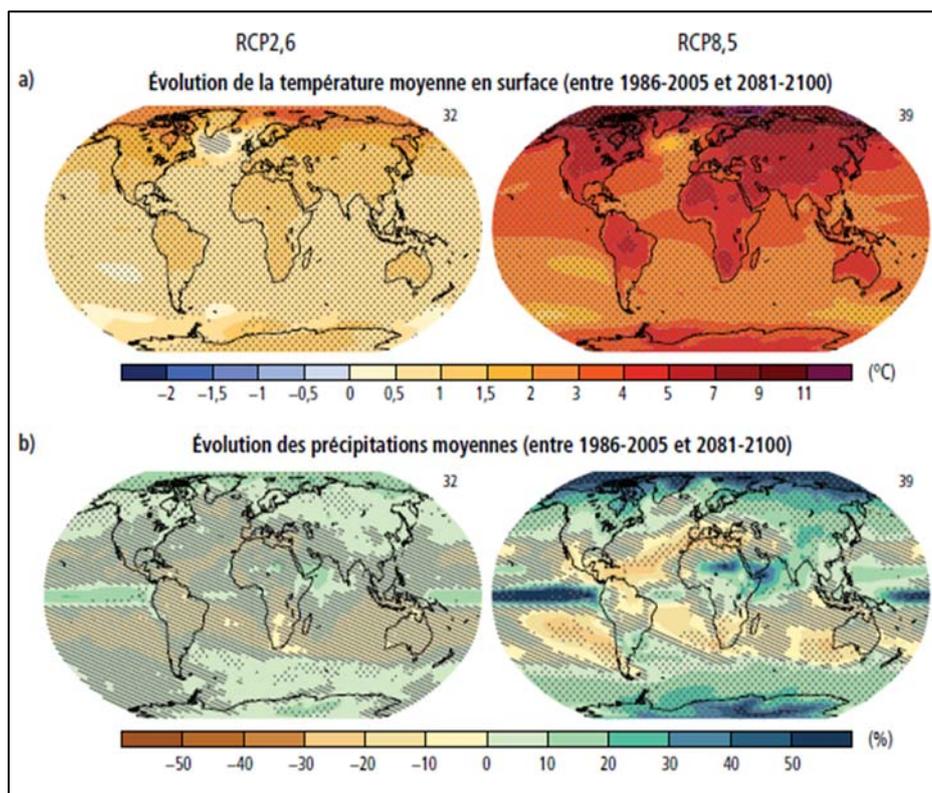


Figure n° 1 : Évolution de la température et des précipitations moyennes entre 1986-2005 et 2081-2100 dans les continents des latitudes moyennes et dans les régions tropicales

Source des données : GIEC, 2014

Le CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) est un protocole expérimental standard mise en place dans le cadre du programme CLimate VARIability and predictability (CLIVAR) par le World Climate Research Program (WCRP) en 1995 avec pour objectif principal, la coordination des inter-comparaisons des modèles couplés océan-atmosphère, [15]. Les projections de la moyenne multi modèle établies dans le cadre de la cinquième phase de l'exercice de comparaison de modèles couplés (CMIP5) sur la figure 1 montrent que les variations sont calculées par rapport à la période 1986–2005. Le nombre de modèles CMIP5 employés pour calculer la moyenne multi modèle est indiqué dans le coin supérieur droit de chaque panneau de la Figure. Les pointillés sur les panneaux « a » et « b » indiquent les régions où les variations prévues sont importantes par rapport à la variabilité naturelle interne (c'est-à-dire que les variations sont supérieures à deux écarts types de la variabilité interne des moyennes sur 20 ans) et où 90 % des modèles indiquent le même signe de variation, [16]. Les hachures (lignes diagonales) sur les panneaux « a » et « b » indiquent les régions où les variations prévues sont inférieures à un écart type de la variabilité naturelle interne des moyennes sur 20 ans, [6]. Les différences d'ampleur des projections climatiques présentées dans le quatrième et le cinquième Rapports d'évaluation sont donc essentiellement dues à la prise en compte d'un éventail plus large d'émissions, [6]. Dans le cadre de cette recherche, la moyenne de dix modèles climatiques CMIP5 sont utilisés et les scénarii sont les RCP.

Tableau n° 1 : Liste des dix (10) sorties des modèles climatiques CMIP5 utilisés

Acronyme du modèle	Institutions
ACCESS1-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)–Bureau of Meteorology (BOM), Australia
ACCESS1-3	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)–Bureau of Meteorology (BOM), Australia
CMCC-CESM	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici (CMCC), Italy
CMCC-CMS	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici (CMCC), Italy
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) et le Centre Europeen de Recherche et de Formation Avancee en Calcul Scientifique (CERFACS), France
MIROC-ESM	Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI)–National Institute for Environmental Studies (NIES)–Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Japan
MIROC-ESM-CHEM	Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI)–National Institute for Environmental Studies (NIES)–Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Japan
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M), Germany
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M), Germany
MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute (MRI) ; Japan

Source : ANAM, 2021

2.2. Choix de l'horizon temporel 2050

L'an 2050 est l'horizon temporel pour lequel les scénarii climatiques sont construits dans cette recherche. Ce choix est fait au regard de la littérature disponible, 2060 est indiquée comme année limite de simulation si l'on ne veut pas s'éloigner de la réalité. Même si le protocole de Kyoto était appliqué par les différents pays, il ne faut pas en attendre des résultats tangibles de réduction des gaz à effet de serre avant 2070, [17]. En outre, le délai qu'exige l'adaptation climatique impose que l'horizon temporel ne soit pas trop rapproché de l'année de base des projections, [8]. De plus, l'horizon 2050 permet d'éviter une trop grande incertitude liée à la dispersion des scénarii de gaz à effet de serre et à la performance des Modèles de Circulation Générale (MCG). Pour toutes ces raisons, 2050 apparaît comme un horizon temporel raisonnable.

2.3. Présentation de la zone d'étude

L'étude porte sur le sous bassin hydrographique du Nakambé au Burkina Faso, situé entre les longitudes 0°10' Est et 2°43' Ouest et entre 10°58' et 14°08' de latitude Nord avec une superficie totale de 35 370 km² à l'exutoire du barrage de Bagré. La carte n°1 présente la localisation du bassin versant à l'échelle du Burkina Faso ainsi que la situation géographique des 3 stations synoptiques étudiées.

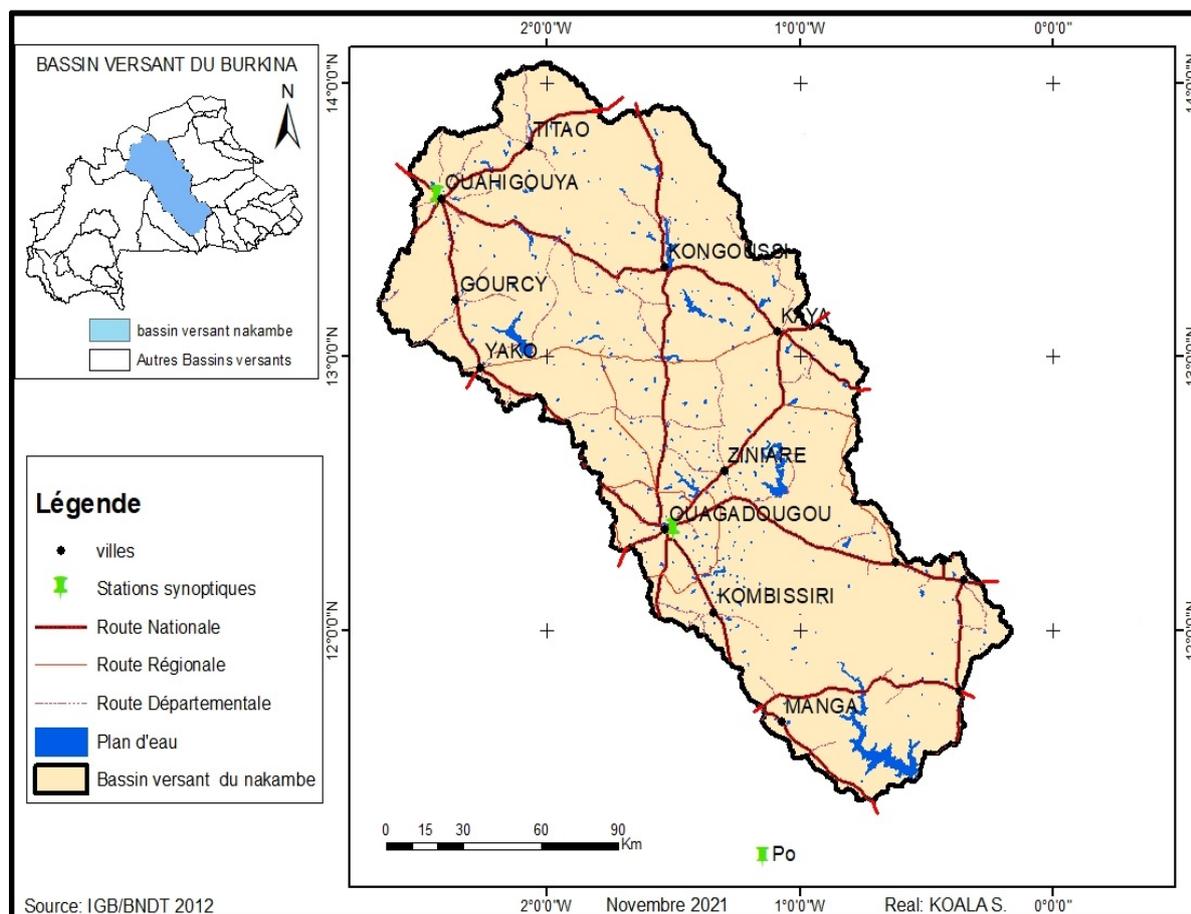


Figure 2 : Carte de la situation géographique du Bassin versant du Nakambé

2.4. Collecte de données

Les données observées journalières, de précipitation et de température, proviennent de l'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM) du Burkina Faso de 1988 à 2018. Elles concernent trois stations synoptiques, celles de Ouahigouya au nord du bassin versant sur la zone sahélienne, la station de Ouagadougou au centre sur la zone soudano-sahélienne et la station de Pô au sud et située à la limite de la zone soudanienne.

Les types de données projetées sont les précipitations et les températures (minimales et maximales) aux pas de temps mensuel et annuel, aux horizons temporels futurs proches (2021-2050) avec les scénarii des profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) qui couvrent un éventail de scénarii plus large que celui des scénarii du Rapport spécial sur les scénarii d'émissions (SRES) utilisés dans les précédentes évaluations, car ils comprennent aussi des scénarii prenant en compte une politique en faveur du climat [6].

Les données des modèles climatiques régionaux sont disponibles dans le cadre du programme régional CORDEX (Coordinate Downscaling Experiment) sur le site cordex.org suivant les scénarii RCP 2.6, 4.5, 6.0 et 8.5 du GIEC. Mais pour ce travail, il a été utilisé deux scénarii. Il s'agit du scénario moyen RCP 4.5 et le scénario pessimiste RCP 8.5 qui sont d'ailleurs les plus utilisés dans le cadre des études d'impact climatique, [18].

III. RESULTATS

3.1. Évolution pluviométrique et thermométrique observées dans le bassin versant de 1988 à 2018

Les données observées de précipitations et de températures feront l'objet d'une analyse. Les résultats de ces données seront comparés à celles des valeurs projetées pour mieux appréhender le changement progressif.

3.1.1. Tendance pluviométrique actuelle dans le bassin versant du Nakambé

L'évolution des courbes traduit l'irrégularité des précipitations. De 1988 à 2018, les précipitations sont comprises entre 587.8 mm en 1997 et 1003.0 mm en 2012. La moyenne de la période est de 768.6 mm. La Fig. 3 ci-dessous, montre qu'il y a une augmentation des quantités d'eau tombée comme en témoigne la forte valeur positive (6.0861) du coefficient directeur de la droite de tendance de la courbe des précipitations. En fonction de la moyenne de la période 1988-2018, on enregistre des années excédentaires et des années déficitaires, c'est-à-dire des années qui ont enregistré soit un cumul pluviométrique inférieur à la normale, soit un cumul pluviométrique supérieur à la valeur normale de la période 1988-2018 et cela est valable pour la station de Ouahigouya.

Par ailleurs, les modifications survenues dans l'évolution de la pluviométrie ne semblent pas se généraliser sur tout le bassin versant car en sa partie sud représentée par la station de Pô, l'évolution des précipitations est quasi constante si bien que la droite de tendance se confond à la moyenne de la série temporelle d'où une tendance quasi stable.

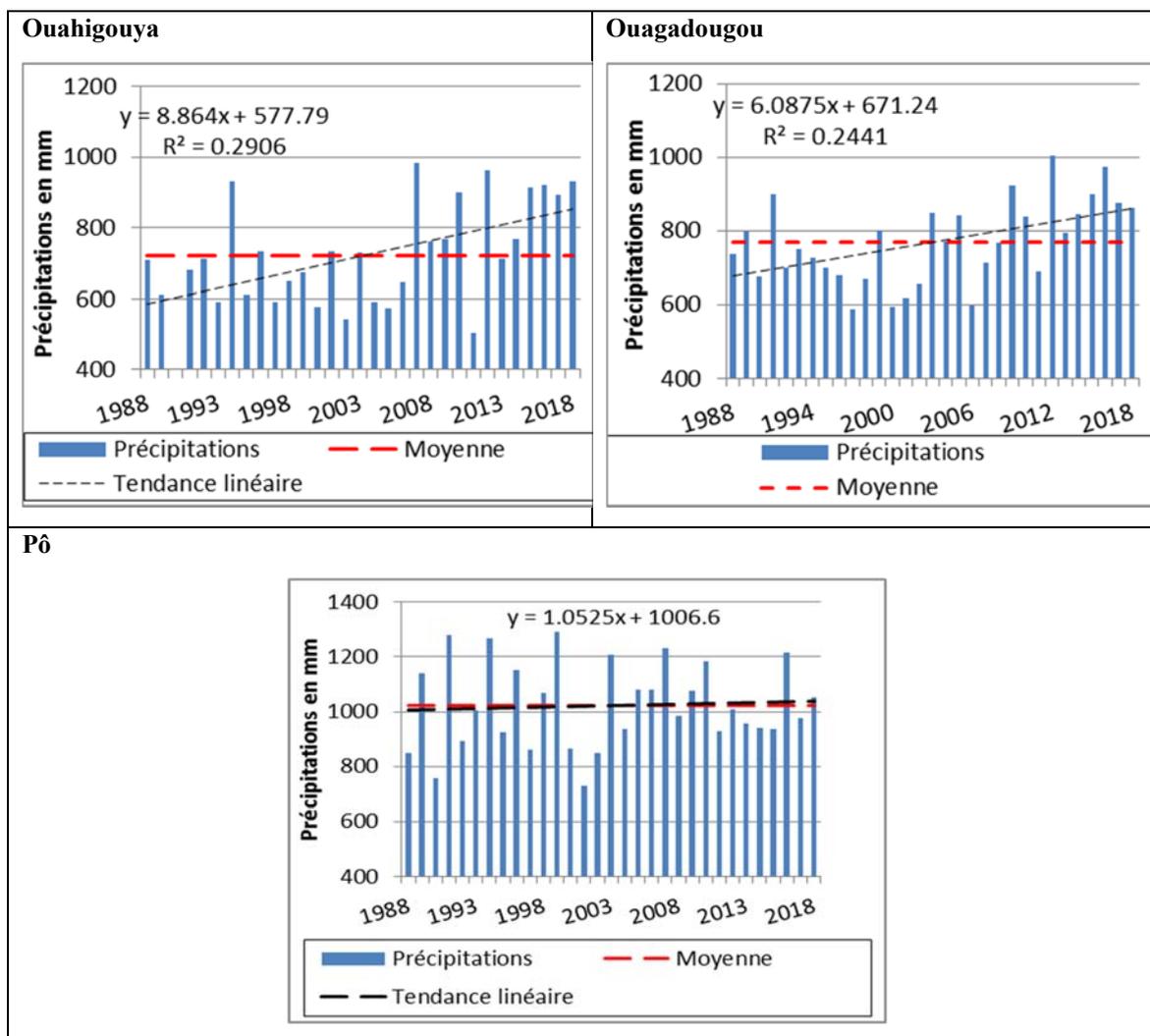


Figure n°3 : Évolution de la pluviométrie annuelle de 1988-2018 aux stations de Ouahigouya, Ouagadougou et Pô

Source: D'après les données de l'ANAM (2020)

3.1.2. Tendance thermométrique actuelle dans le bassin versant du Nakambé

Les températures minimales et maximales connaissent une hausse à la station de Ouahigouya d'une manière globale comme l'indique les signes des équations de la droite de tendance à savoir $y = 0.0185x + 35.583$ pour les maximas et $y = 0.0336x +$

22.597 pour les minimas. La moyenne des températures maximales est de 35.9°C sur les 31 ans et celle des températures minimales est de 23.1°C. L'analyse faite sur l'évolution des températures maximales et minimales au cours de cette même période à la station de Ouagadougou révèle une variation interannuelle. Cette évolution, avec une tendance à la hausse, est justifiée par les valeurs positives des coefficients directeurs des droites de tendance des températures maximales et minimales. Ces valeurs sont de (0.0388) et (0.0338) respectivement pour la température maximale et minimale. De même à la station de Pô les tendances des températures minimales et maximales sont à la hausse car les valeurs des droites de tendance sont positives. La température moyenne maximale est de 34.3°C tandis que celle des minimas est de 22.3°C.

De toutes les trois stations synoptiques selon la Fig. 4, Ouahigouya a enregistré la température moyenne maximale la plus élevée (35.9°C) et la plus faible moyenne de température minimale est enregistrée à la station synoptique de Pô (22.3°C).

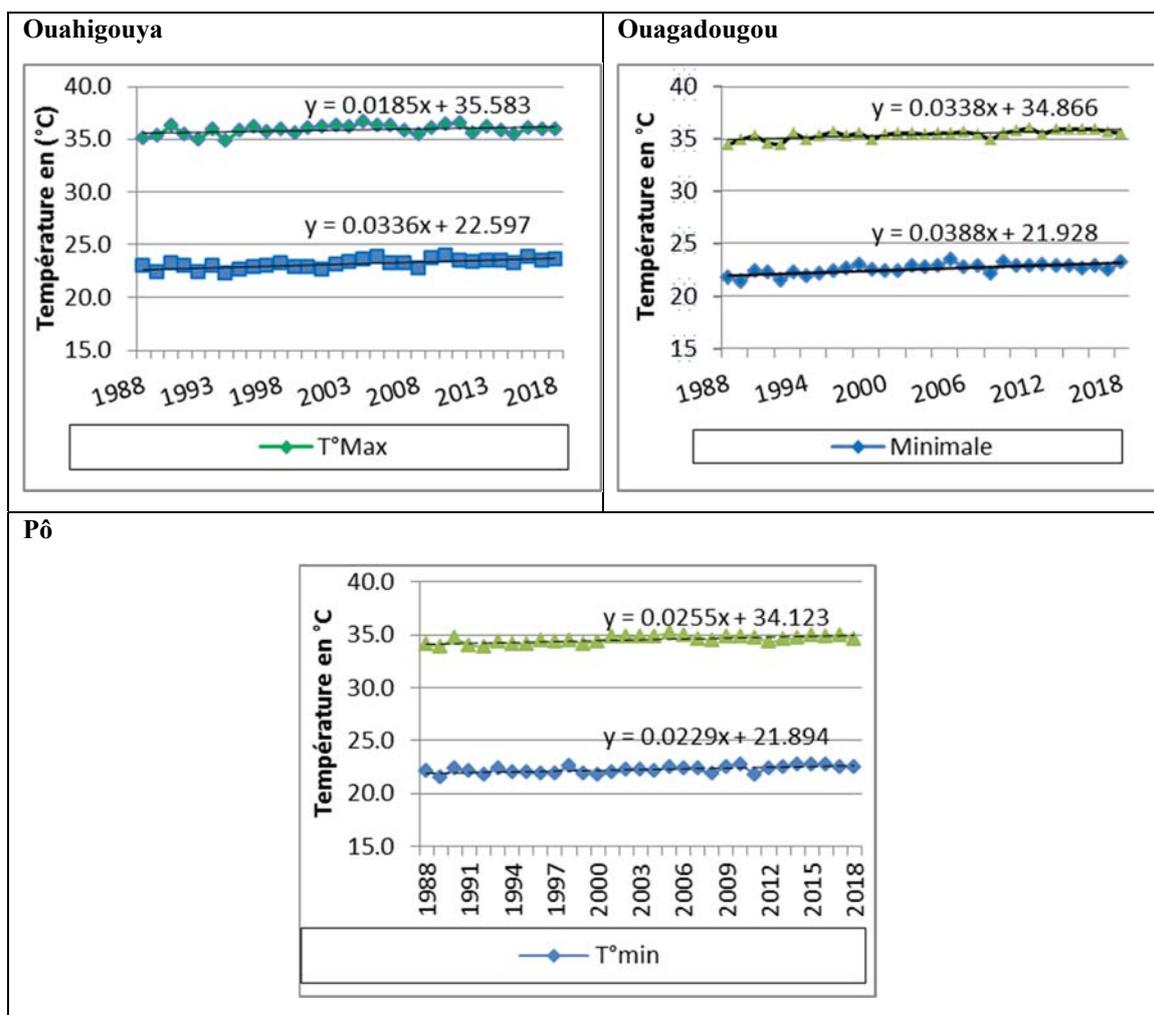


Figure n° 4: Évolution de la température minima et maxima annuelle de 1988 à 2018 aux stations de Ouahigouya, Ouagadougou et Pô

Source: D'après les données de l'ANAM (2021)

3.2. Projection climatique dans le bassin versant du Nakambé à l'horizon 2050

La simulation climatique (hauteurs de pluie et température) a été faite grâce à dix modèles CMIP5 dans le cadre de cette recherche. Les trois stations synoptiques dont celle de Ouahigouya, Ouagadougou et Pô ont été retenues selon leur répartition dans les trois parties du bassin versant du Nakambé.

3.2.1. Projection des précipitations dans le bassin versant du Nakambé à l'horizon 2050

❖ Projection pluviométrique annuelle

L'analyse de la Fig. 4, indique que les pluies futures des scénarii RCP 4.5, RCP 8.5 et la pluie de la période de référence présentent une variabilité sur la période de 2021 à l'horizon 2050. En effet, il est observé que les scénarii RCP 4.5 et RCP 8.5 surestiment la pluie de référence.

Il ressort de l'analyse de la Fig.4, que les pluies pourraient être plus intenses entre 2021 et 2050 par rapport à la période de référence (1988-2018) quel que soit le scénario. En effet, la période 2045-2050 pourrait enregistrer plus d'années déficitaires. Ainsi, dans le bassin versant du Nakambé, il sera constaté une modification mensuelle, saisonnière et annuelle dans le contexte des extrêmes hydro-climatiques selon les scénarii à l'horizon 2050.

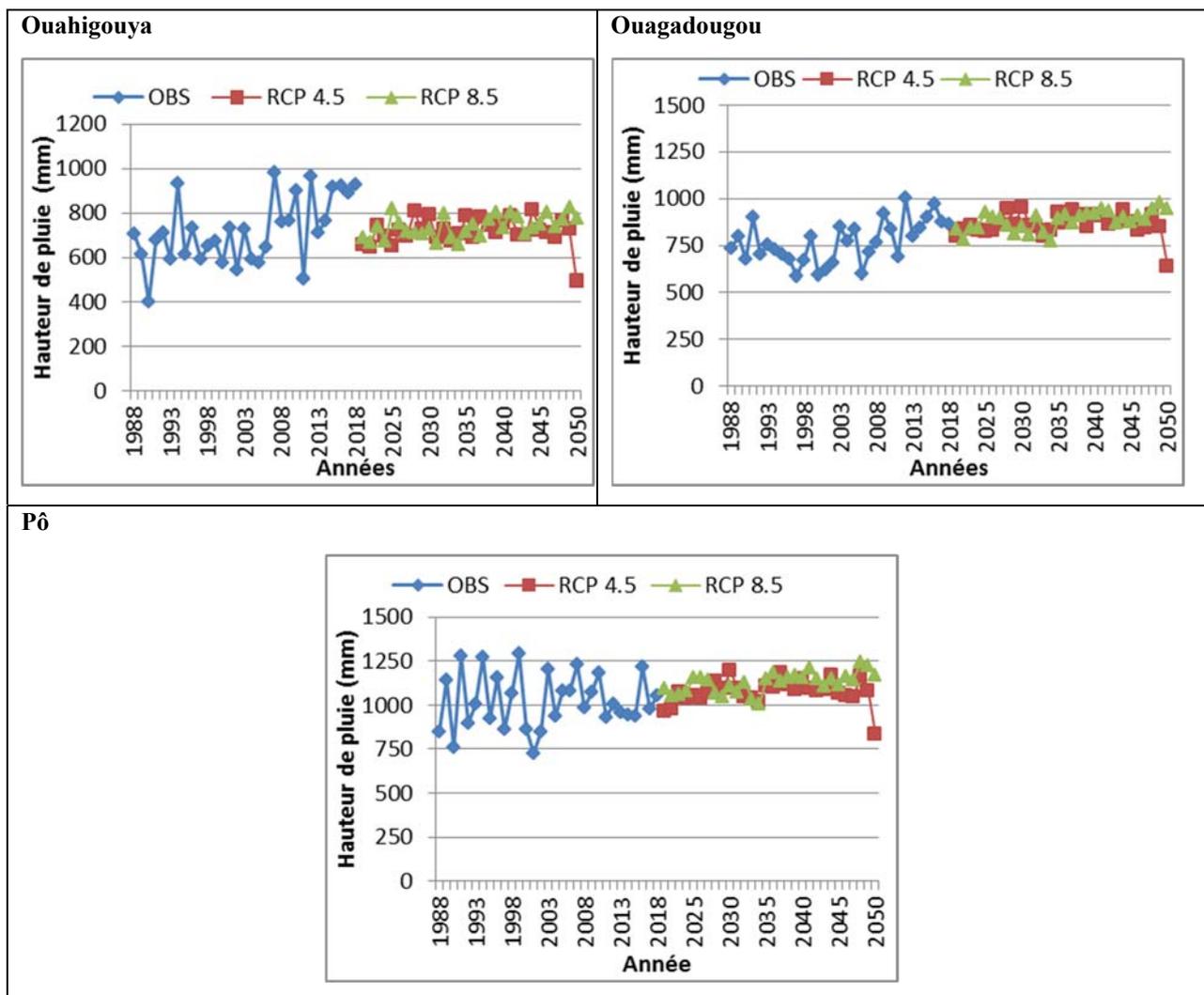


Figure n° 5: Projection des précipitations annuelles dans le bassin versant à l'horizon 2050

Source : D'après les données de l'ANAM (2021)

❖ Projection pluviométrique mensuelle

De l'analyse de la Fig. 6, il ressort que les hauteurs pluviométriques mensuelles dans le bassin versant du Nakambé connaîtront des modifications assez importantes suivant les scénarii RCP 4.5 et 8.5. Les hauteurs de pluies des mois de la saison agricole connaîtront une augmentation suivant les scénarii RCP 4.5 et 8.5. En effet, la pluviométrie de ces mois pourrait croître

respectivement de 4,41 % (RCP 4.5) et 10.18 % (RCP 8.5) par rapport à la période de référence (1988-2018) au niveau des stations de Pô et de Ouagadougou. Quant à la station de Ouahigouya, la pluviométrie de ces mois pourrait décroître respectivement de 3.36 % (RCP 4.5) et 4.72 % (RCP 8.5) par rapport à la période de référence (1988-2018). Autrement dit, les pluies pourraient augmenter de hauteur aux phases sensibles du calendrier agricole (début et fin). Au niveau des stations de Pô et de Ouagadougou, le scénario RCP 4.5 prévoit une augmentation des pluies respectivement de 7.5 à 10.4 mm et de 10.94 à 22 mm en août-octobre lorsque la saison de croissance tend vers sa fin. Dans ces conditions, cette augmentation peut provoquer également des pourrissements des récoltes de la saison ou des inondations pour les établissements humains.

Quant à la station de Ouahigouya, le scénario RCP 8.5 prévoit une diminution des hauteurs de pluies de 1.35 à 22.47 mm. Cette diminution entrainera le stress hydrique aux cultures dans le secteur de recherche.

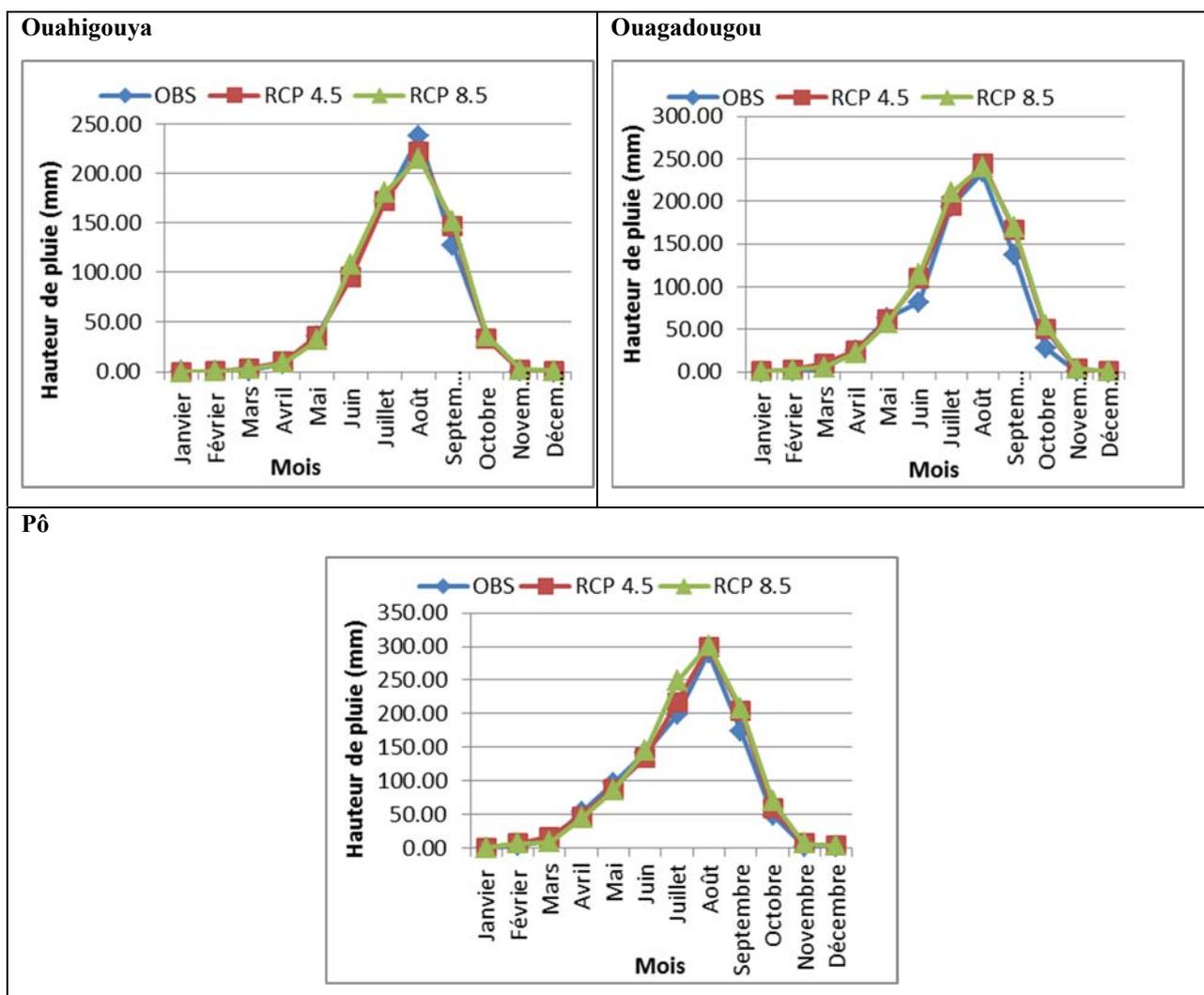


Figure n° 6 : Projection des précipitations mensuelles dans le bassin versant à l'horizon 2050

Source : D'après les données de l'ANAM (2021)

3.2.2. Projection des températures dans le bassin versant du Nakambé à l'horizon 2050

3.2.2.1. Projection des températures maximales annuelles dans le bassin à l'horizon 2050

L'analyse de la Fig. 7 montre que le bassin versant du Nakambé est considéré comme l'un des bassins au Burkina Faso les plus exposées aux événements hydro-climatiques. En effet, le sahel qui est un espace géographique singulier va connaître au cours des années à venir une augmentation des températures supérieure à la moyenne mondiale de 3 à 6°C à l'horizon 2050. Il ressort de

l'analyse de la figure qu'une augmentation considérable du nombre de jours par an est attendue avec des températures moyennes supérieures à 37,5°C plus prononcée à l'horizon 2050 quel que soit le scénario (RCP 4.5 et 8.5) dans le bassin versant du Nakambé. Ainsi, dans la décennie 2050, une augmentation des températures supérieures à 3,5°C pourrait être atteinte en moyenne.

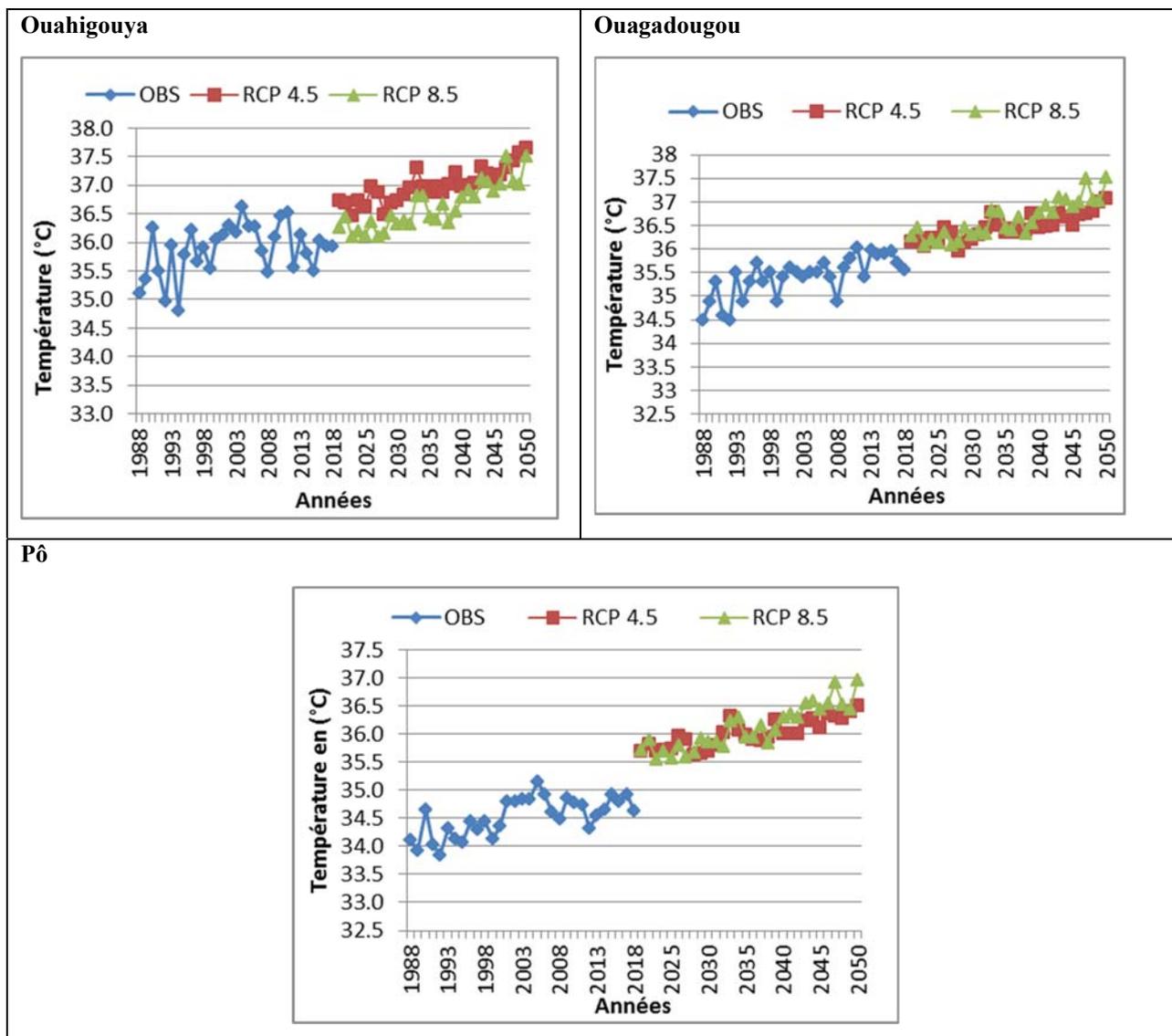


Figure n° 7: Projection des températures maximales annuelles dans le bassin à l'horizon 2050

Source : D'après les données de l'ANAM (2021)

3.2.2.2. Projection des températures maximales mensuelles dans le bassin à l'horizon 2050

L'analyse de la Fig. 8 montre que, quel que soit le scénario considéré (RCP 4.5 et 8.5), à l'horizon 2050 la température maximale pourrait augmenter dans le bassin versant du Nakambé. En effet, avec la période de référence (1988-2018), la valeur élevée de température maximale est de 39.1°C enregistré en mois d'Avril et pour les RCP 4.5 et 8.5, les valeurs élevées de températures minimales enregistrées en Avril sont respectivement 40.56°C et 40.1°C. En effet, une augmentation thermique est source de stress supplémentaire pour les plantes et les sols, pouvant réduire significativement les rendements agricoles dans le bassin versant du Nakambé.

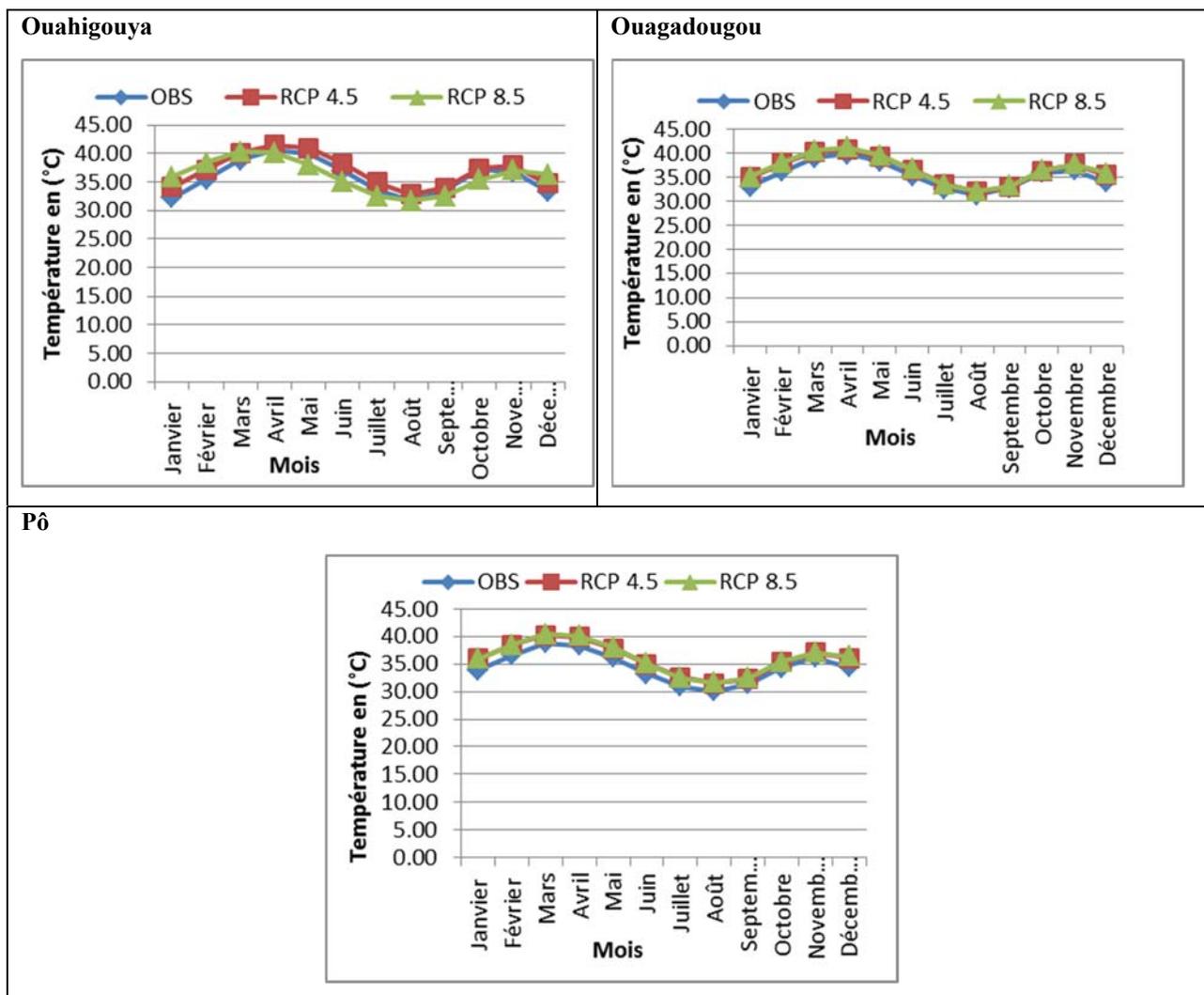


Figure n° 8: Projection des températures maximales mensuelles dans le bassin à l'horizon 2050

Source : D'après les données de l'ANAM (2021)

3.2.2.3. Projection des températures minimales annuelles dans le bassin à l'horizon 2050

De l'analyse de la Fig. 9, une augmentation considérable des températures minimales supérieures à 24°C, plus prononcée à l'horizon 2050 par rapport à la période de référence (1988-2018) selon les scénarii considérés (RCP 4.5 et 8.5). En effet, une augmentation des températures générales est attendue avec une intensité croissante à l'horizon 2050 et supérieur si l'on considère quel que soit les scénarii (RCP 4.5 et 8.5) par rapport à la période de référence (1988-2018). En particulier, avec le scénario RCP 8.5, dans la décennie 2050, une augmentation des températures supérieures à 3.5°C pourrait être atteinte en moyenne.

Comme pour l'Afrique du Nord, les projections climatiques avec forçage accru dû aux gaz à effet de serre font apparaître une forte hausse de la moyenne des températures, de leur variabilité et de leurs extrêmes. Ce réchauffement est une constante ferme des projections sur le changement climatique, même si l'amplitude, qui va de + 3°C à + 7°C, dépend du modèle et du scénario d'émissions, [19].

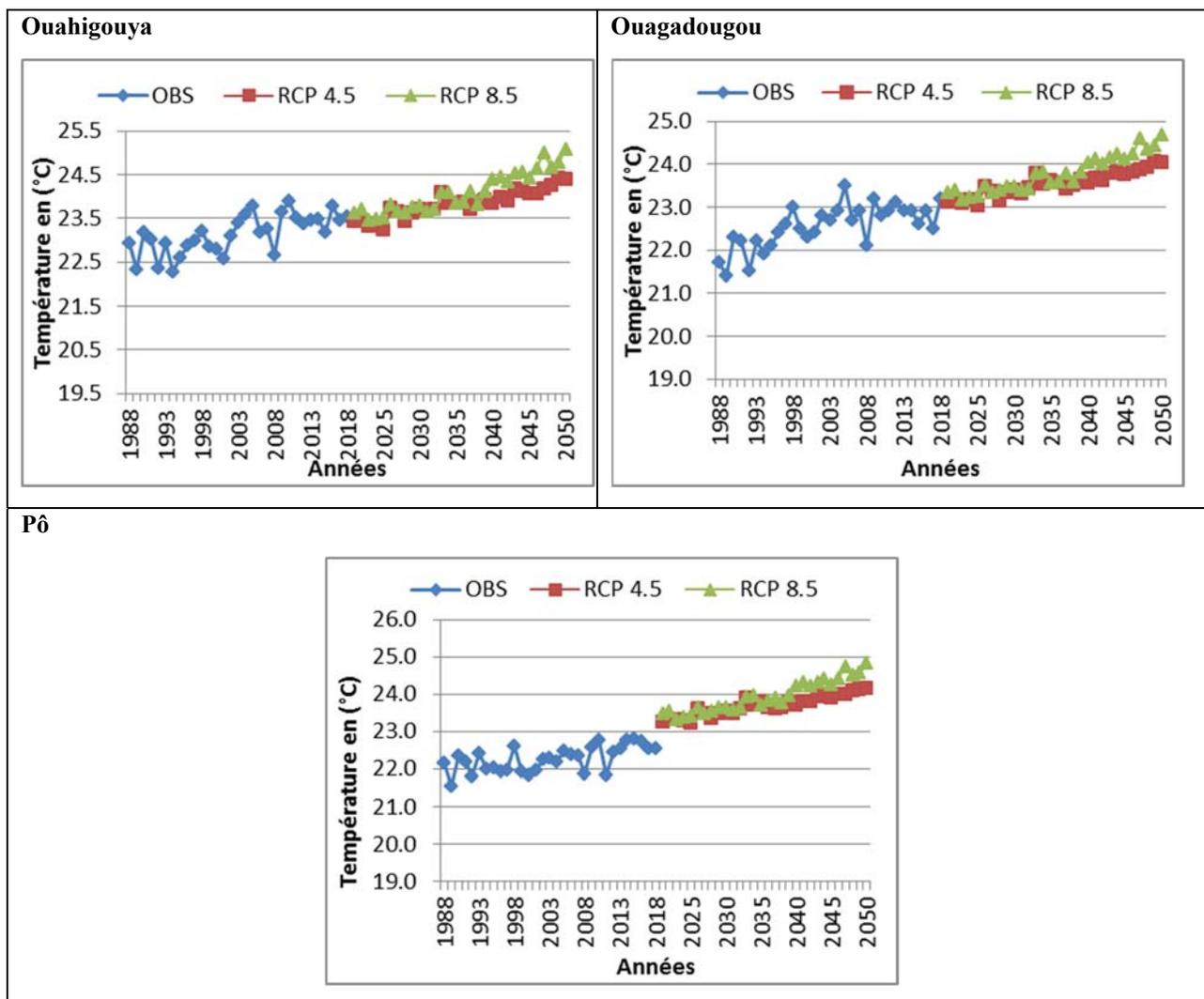


Figure n° 9 : Projection des températures minimales annuelles dans le bassin à l'horizon 2050

Source : D'après les données de l'ANAM (2021)

3.2.2.4. Projection des températures minimales mensuelles dans le bassin à l'horizon 2050

L'examen de la figure montre que les régimes des températures dans le bassin versant évolue presque de la même manière avec les scénarii RCP 4.5 et RCP 8.5. Les valeurs thermiques connaîtront une augmentation comprise entre 1 et 3°C par rapport aux valeurs de la période 1988-2018. En effet, une augmentation thermique est source de sécheresse des retenues d'eau, de stress pour les plantes et des poches de sécheresse pendant la saison pluvieuse. Cette situation, pouvant réduire significativement les rendements agricoles dans le bassin versant. La Fig. 10 présente les températures annuelles dans le bassin versant suivant les scénarii RCP 4.5 et 8.5 à l'horizon 2050. Le scénario RCP 4.5 présente une hausse plus élevée des valeurs thermiques que le scénario RCP 8.5. À l'horizon 2050 cette augmentation de la température sera plus prononcée au nord du bassin qu'au centre et au sud. Pour ce qui est de l'évolution de la température mensuelle les scénarii RCP 4.5 et 8.5 montrent clairement la hausse de la température au nord et au sud du bassin et une variation peu significative mais à la hausse au centre.

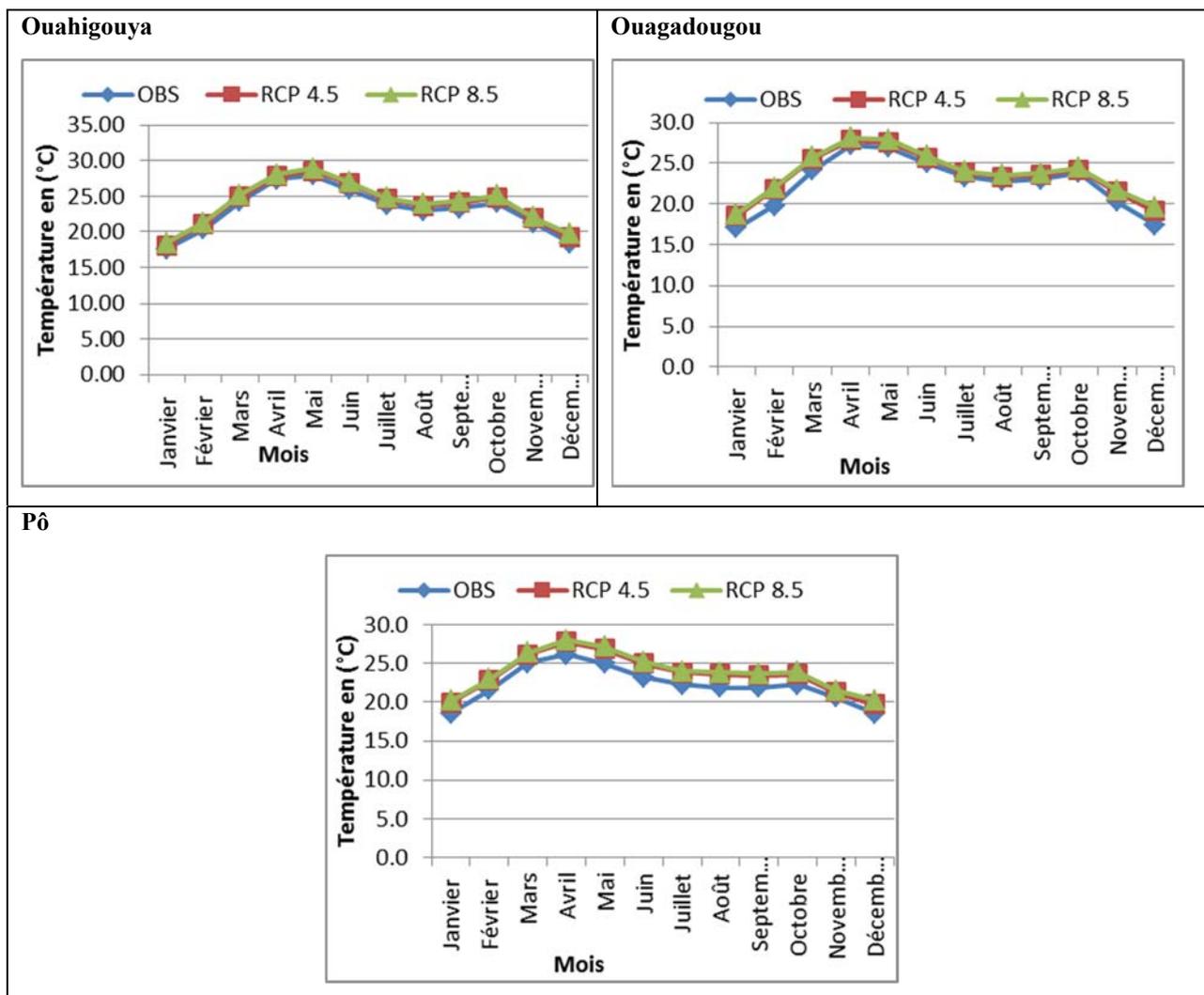


Figure n°10: Projection des températures minimales mensuelles dans le bassin à l'horizon 2050 Source : D'après les données de l'ANAM (2021)

IV. DISCUSSION

Selon [20] les modèles climatiques prévoient des élévations de la température moyenne dans la plupart des régions continentales et océaniques, des chaleurs extrêmes dans la plupart des zones habitées (augmentation du nombre de jours où la hausse des températures atteint jusqu'à 3°C), une augmentation de fréquence, d'intensité et/ou de quantité des fortes précipitations dans plusieurs régions et une augmentation d'intensité et de fréquence des épisodes de sécheresse et de déficits de précipitations dans certaines régions. Il existe de grandes disparités régionales, avec un risque particulièrement élevé dans le sahel.

Pour [9] le Sahel est considéré comme l'une des régions les plus exposées aux changements climatiques. Selon les scénarios considérés, le bassin versant du Nakambé fait face à de fortes variations interannuelles des précipitations qui se traduiront par davantage d'épisodes extrêmes de sécheresses et de pluies diluviennes. Ces fluctuations climatiques affecteront la disponibilité des ressources naturelles et la poursuite des activités agricoles traditionnelles (agriculture, élevage, pêche), dont dépendent plus de 80 % de la population. En raison du cumul des vulnérabilités socio-économiques et environnementales, et du rôle majeur joué par les ressources naturelles dans la préservation de la paix et de la sécurité dans la région, les changements climatiques font ainsi peser le risque d'un renforcement des dynamiques conflictuelles et migratoires en cours au Sahel.

Les précipitations restent la variable climatique la plus difficile à projeter, surtout dans le contexte ouest-africain, qui est marqué par de fortes variabilités intra et interannuelles. Les modèles climatiques ne convergent pas toujours sur les tendances futures des précipitations en Afrique de l'Ouest.

En effet, les résultats issus de trois modèles régionaux sous les scénarii RCP 4.5 et RCP 8.5 montrent une tendance générale à la baisse de la pluviométrie moyenne vers l'horizon 2035 en Afrique de l'Ouest. Selon [18] l'étude des événements pluviométriques extrêmes indicateurs de fortes pluies, de très fortes pluies et de pluies extrêmement fortes est faite sur la période 2021 à 2075 avec les scénarii RCP 4.5 et RCP 8.5 sur le bassin versant de l'Ouémé, à l'exutoire de Bonou. Une analyse réalisée par [21] sur les tendances des paramètres climatiques dans le Parc National de Haut Niger en Guinée montre qu'après 2025, le RCP 8.5 indique une augmentation de la température moyenne de 1.4°C beaucoup plus significative que le RCP 4.5 qui montre une augmentation de 1°C. Concernant l'évolution moyenne des précipitations du même site d'étude sur la période 1950-2050 simulées à partir des scénarii RCP4.5 et RCP8.5 l'analyse montre une tendance à la hausse des précipitations jusqu'en 2050. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés sur le bassin du Nakambé d'autant plus que le Niger possède les mêmes caractéristiques climatiques que le Burkina Faso.

V. CONCLUSION

Les pays ouest africains sont fortement exposés au changement climatique et sont menacés par les chaleurs extrêmes et les pénuries d'eau. Le Burkina Faso, pays sahélien de l'Afrique de l'ouest est particulièrement vulnérable aux effets néfastes du climat. Les activités agricoles reposent essentiellement sur l'évolution des paramètres climatiques à savoir les précipitations et la température. Il a donc été nécessaire de projeter le climat futur du pays et cela permettra de connaître les impacts prévisibles sur les ressources en eau et de préparer la résilience ou l'adoption de nouvelles stratégies qui doivent accompagner le secteur agricole selon l'évolution du climat. L'utilisation des scénarii moyens et pessimiste a montré que le Burkina Faso en général et le bassin versant du Nakambé en particulier ne seront pas épargnés par les conséquences des changements climatiques d'ici 2050. Toutefois les données de réchauffements des projections sur le changement climatique peuvent varier sensiblement car dépendent du modèle et du scénario d'émission utilisés.

REFERENCES

- [1] B. Fontaine, S. Janicot et P.A. Monerie: Recent changes in air temperature, heat waves occurrences, and atmospheric circulation in Northern Africa. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118 (2013) 8536- 8552.
- [2] S. Russo, A.F. Marchese J. Sillmann et G. Immé: When will unusual heat waves become normal in a warming Africa? *Environmental Research Letters*, 11 (2016), n°5, lettre 054016. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/5/054016>
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jgrd.50667>
- [3] B. Sultan, D. Defrance et T. Iizumi: Evidence of crop production losses in West Africa due to historical global warming in two crop models. *Scientific Reports*, 9 (2016),
- [4] S. Mercier, G. Dubois, et X. Giraud : Utiliser Cordex pour enrichir l'offre de services climatiques. *La Météorologie*, (94) 2016, 27-34.
- [5] W. Ben Khelifa, T. Hermassi et H. Habaieb : Tendances climatiques futures en Tunisie semi-aride (cas du bassin versant de Rmel). *Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement* ISSN (electronic): 1737-9350 ; ISSN (printed): 1737-6688 ; Volume III - Numéro 3 (2018), 39-50
- [6] GIEC (2014) : Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.
- [7] F. Baptiste (2013) : Gestion optimale d'un réservoir hydraulique multiusages et changement climatique. Modèles, projections et incertitudes : Application à la réserve de Serre-Ponçon. Thèse de doctorat en Sciences de la Terre. Université de Grenoble, 302 p.

- [8] E. Ogouwale (2006) : Changements climatiques dans le Bénin méridional et central : indicateurs, scénarii et prospectives de la sécurité alimentaire. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH, UAC, 302 p.
- [9] A.B. Sarr : Évolution Des Indices Pluviométriques Extrêmes Par L'analyse De Modèles Climatiques Régionaux Du Programme CORDEX: Les Projections Climatiques Sur Le Sénégal. European Scientific Journal edition .13 (2017), 206-222
- [10] W. Seydou (2020): Vulnérabilité du paysannat aux changements climatiques dans la Dépression médiane. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH, UAC, 279 p.
- [11] S. Ardoïn-Bardin (2004) : Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de doctorat. Université de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc. Spécialité : Mécanique, Génie Mécanique, Génie civil, 437 p.
- [12] R. Ogouwale (2013) : Changements climatiques, dynamique des états de surface et prospectives sur les ressources en eau dans le bassin versant de l'Okpara à l'exutoire de Kaboua. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH, UAC, 203 p.
- [13] A. Khezazna (2017) : Les changements climatiques au Nord-est algérien : Évolution récente et projections futures. Thèse de doctorat en hydraulique, Université Badji Mokhtar-Annaba, 128 p.
- [14] GIEC (2001) : Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Rapport spécial sur l'évaluation de la vulnérabilité en Afrique. Island Press, Washington, 53 p.
- [15] A.M. Famien (2020) : Analyse de la variabilité décennale et du changement climatique en Afrique de l'ouest à l'aide des produits CMIP5-Application à l'estimation des rendements agricoles à la fin du siècle. Thèse de Doctorat en Physique Atmosphérique et Océanique, Université Félix Houphouët Boigny Abidjan (Côte d'Ivoire), 338 p.
- [16] GIEC (2013) : Changements climatiques. Les éléments scientifiques, Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Résumé à l'intention des décideurs, 34 p.
- [17] A. J. S. Akognongbe (2014) : Influence de la variabilité climatique et des activités anthropiques sur les eaux de surface dans le bassin de l'Ouémé à Bétérou au Bénin. Thèse de Doctorat en Géographie. Université d'Abomey Calavi, UAC, Cotonou, Bénin. 255 p.
- [18] J. Kodja (2018) : Indicateurs des événements hydroclimatiques extrêmes dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou en Afrique de l'Ouest. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-calavi, 288 p.
- [19] P. A. Monerie, B. Fontaine et P. Roucou: Expected future changes in the African monsoon between 2030 and 2070 using some CMIP3 and CMIP5 models under a medium-low RCP scenario. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 117 (2012), 1-12.
- [20] GIEC (2018): Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C. 34 p.
- [21] S. Yonkeu, S. Camara et M. Yelkouni : Perceptions paysannes de l'évolution du climat dans le Parc National de Haut Niger en Guinée: (I) tendances des paramètres climatiques et impacts sur les ressources Naturelles. International Journal of Innovation and Scientific Research, 48 (2020), 258-274