

## Analyse prospective climatique dans un contexte de changements climatiques : Cas du bassin versant du N'zi (Bandama, Côte d'Ivoire)

Asaph Yabot Joël N'ganguin<sup>1</sup>, Amani Michel Kouassi<sup>2</sup> And Khadara Diarrassouba<sup>3</sup>

1 Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Ecole Doctorale Polytechnique (Côte d'Ivoire).

2 Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny; Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi) ; Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques ; (Côte d'Ivoire).

3 Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), École Supérieure des Mines et de Géologie (ESMG),(Côte d'Ivoire)

### Résumé

La variabilité climatique, notamment pluviométrique et thermique, en Afrique de l'Ouest en général et en Côte d'Ivoire en particulier, n'est plus à démontrer. Cette étude a pour objectif d'analyser la variabilité des paramètres climatiques actuelles et leurs tendances aux horizons 2050 et 2100 dans le bassin versant du N'zi (Bandama). À cet effet, les données climatiques analysées (1961-2020) sont issues de treize stations de la société de développement et d'exploitation aéroportuaire, aéronautique et météorologique (SODEXAM) couvrant le bassin d'étude. Des données de projection des pluviométries et températures issues du modèle climatique régional RACMOT22T du projet Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX) sur la zone Afrique (CORDEX Africa) avec le scénario RCP 8.5 ont été également utilisées. La méthodologie adoptée a consisté à mettre en évidence les indicateurs actuels et futurs de la variabilité climatique à travers l'indice de normalisation, la méthode de régression linéaire, les cumuls pluviométriques saisonniers et les moyennes thermométriques saisonnières. La variabilité climatique se manifeste par une dynamique régressive des pluies annuelles sur la période 1961-2020 mais avec une reprise de celles-ci sur la sous-période 1991-2020. Quant à la température annuelle, elle connaît une évolution progressive régulière sur la période 1961-2020 en général et la sous-période 1991-2020 en particulier. L'analyse des cumuls pluviométriques saisonniers sur la période de référence 1991 à 2020 révèle que la période saisonnière juillet-août-septembre (JAS) est la plus pluvieuse pour les climats subtropical (climat soudanais) et tropical humide (climat baouléen). Quant au climat subéquatorial (climat attéen de l'intérieur), la saison la plus pluvieuse est le trimestre avril-mai-juin (AMJ). Le trimestre le moins pluvieux est celui de janvier à mars (JFM) sur tout l'ensemble des trois zones climatiques traversées par le bassin versant du N'zi. Les températures moyennes saisonnières évaluées sur la période 1991-2020 ont mis en évidence deux extrêmes thermiques sur le bassin versant du N'zi. Le trimestre le plus froid sur l'ensemble du bassin est celui de juillet-août-septembre (JAS) alors que la saison la plus chaude correspond au trimestre janvier-février-mars (JFM). Les projections climatiques réalisées prévoient une augmentation de la température comprise entre +1,8 °C et +2,2 °C pour l'horizon 2050 et entre +3,8 °C et +4,2 °C pour l'horizon 2100. Les pluies révèlent des tendances à la baisse traduite des écarts allant de -14,5% à -17,6% à l'horizon 2050 et entre -26,5% et -32,3% à l'horizon 2100. Les impacts de ces conditions climatiques futures sur les ressources naturelles (eaux, forêts, etc.), les cultures, les activités économiques, etc. pourraient être considérables.

**Mots clés :** Prospective climatique, indicateurs climatiques, scénarios climatiques, N'zi (Bandama), Côte d'Ivoire.

## Prospective climate analysis in a context of climate change: Case of the N'zi watershed (Bandama, Côte d'Ivoire)

### Abstract:

The climatic variability, in particular rainfall and temperature, in West Africa in general and in Côte d'Ivoire in particular, is well established. This study aims to analyze the variability of current climate parameters and their trends for the 2050 and 2100 horizons in the N'zi (Bandama) watershed. To this end, the climatic data analyzed (1961-2020) come from thirteen stations of the airport, aeronautical and meteorological development and operation company (SODEXAM) covering the study area. Rainfall and temperature projection data from the climate model of the Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX) project in the African zone (CORDEX Africa) with the RCP 8.5 scenario were also used. The methodology adopted consisted in highlighting the current and future indicators of climate variability through the standardization index, the linear regression method, seasonal rainfall accumulations and seasonal temperature averages. Climate variability is manifested by a regressive dynamic of annual rainfall over the period 1961-2020 but with a resumption of these over the sub-period 1991-2020. As for the annual temperature, it experiences a regular progressive evolution over the period 1961-2020 in general and the sub-period 1991-2020 in particular. The analysis of seasonal rainfall accumulations over the reference period (1991 to 2020) reveals that the seasonal period July-August-September (JAS) is the rainiest for the subtropical (Sudanese climate) and humid tropical (Baouléan climate) climates. As for the subequatorial climate (Attean climate of the interior), the rainiest season is the quarter April-May-June (AMJ). The least rainy quarter is that from January to March (JFM) over all of the three climatic zones crossed by the N'zi watershed. The seasonal average temperatures assessed over the period 1991-2020 highlighted two thermal extremes in the N'zi watershed. The coldest quarter over the entire watershed is that of July-August-September (JAS) while the hottest season corresponds to the January-February-March quarter (JFM). The climate projections made predict a temperature increase of between +1.8°C and +2.2°C for the 2050 horizon and between +3.8°C and +4.2°C for the 2100 horizon. The rains reveal downward trends reflected in deviations ranging from -14.5% to -17.6% by 2050 and between -26.5% and -32.3% by 2100. Impacts of these future climatic conditions on natural resources (water, forests, etc.), crops, economic activities, etc. could be considerable.

**Key Words:** Climate forecasting, climate indicators, climate scenarios, N'zi (Bandama), Côte d'Ivoire.

<sup>1</sup> Corresponding author: [michel.kouassi@inphb.ci](mailto:michel.kouassi@inphb.ci)

## INTRODUCTION

L'Afrique est considérée comme la région la plus vulnérable aux effets des changements climatiques du fait de la fragilité des économies. Pour autant il est encore délicat d'évaluer l'ampleur et la nature de ces changements à l'avenir, en particulier pour ce qui concerne les précipitations. Les modèles climatiques sont relativement satisfaisants pour prévoir le changement de température en Afrique. Dans son dernier rapport, le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat [1] confirme qu'au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle, le réchauffement climatique en Afrique serait plus important qu'au niveau mondial. La hausse de la température moyenne entre 1980/99 et 2080/99 pourrait atteindre entre 3 et 4°C sur l'ensemble du continent, 1,5 fois plus qu'au niveau mondial. Cette hausse sera moins forte au sein des espaces côtiers et équatoriaux (+3°C) et la plus élevée dans la partie ouest du Sahara (+4°C). En revanche, des incertitudes demeurent sur les résultats des projections concernant les précipitations. L'Afrique du Nord, l'Afrique australe ou l'Afrique de l'Est figurent parmi les régions où l'incertitude est la moins forte. La côte méditerranéenne de l'Afrique, comme le pourtour méditerranéen dans son ensemble, pourrait connaître une diminution des précipitations (-15 à -20 %) entre 1980/99 et 2080/99. A l'autre extrémité du continent, l'hiver mais surtout le printemps en Afrique australe pourrait être également moins pluvieux. Dans la ceinture tropicale, les résultats des modèles montrent un accroissement de la pluviométrie en Afrique de l'Est, qui se prolonge dans la corne de l'Afrique. En revanche, aucune conclusion claire ne peut être tirée concernant le régime des précipitations en Afrique de l'Ouest.

Les simulations obtenues à partir de modèles climatiques, sur le climat des décennies à venir, indiquent que les tendances positives des températures observées depuis une trentaine d'années devraient se prolonger durant le XXI<sup>ème</sup> siècle [1]. Le haut niveau de concordance parmi les modèles climatiques régionaux et mondiaux pour l'Afrique de l'Ouest permet d'établir avec un haut niveau de confiance qu'une augmentation escomptée de la température et une baisse de la pluviométrie se produiront de manière très vraisemblable [2]. Malgré les incertitudes sur la part de fiabilité que l'on peut accorder à ces simulations du climat futur, il est utile d'avoir une information sur les évaluations de ces projections au sein de nos régions. A défaut d'apporter des éléments opérationnels de réponse sur les impacts potentiels de ces changements climatiques, cela permettrait d'orienter la réflexion des mesures d'atténuation et d'adaptation, l'objectif étant à terme de minimiser le plus possible les impacts néfastes d'un changement climatique. En effet, toutes les démarches et outils soulignent que l'adaptation est un processus de long terme et l'expérience montre que c'est un apprentissage constant. Ainsi, l'adaptation peut mener à utiliser plusieurs exercices de prospective à la suite, ou au sein d'un même projet territorial, avec des angles et outils différents, et aussi à choisir des mesures d'adaptation qui changent avec le temps. Les prospectives aident donc à envisager ce temps long, qui nécessite souvent d'agir bien en amont des dysfonctionnements à venir. Les études prospectives sur les coûts des mesures à mettre en place face au changement climatique sont formelles, le coût de l'inaction est toujours supérieur au coût de l'action. En effet, l'étude des paramètres climatiques (pluie et température), de leur évolution observée au cours du dernier siècle et de leur évolution future probable dans le cadre des changements climatiques est d'un grand intérêt pour l'élaboration d'une stratégie d'adaptation. De même, les besoins d'information sur l'évolution du climat aux échelles régionale et locale constituent un grand sujet de débat [2]. Les changements climatiques sont susceptibles d'imposer des contraintes supplémentaires sur la disponibilité et l'accessibilité de l'eau.

En Côte d'Ivoire, les impacts de la variabilité climatique ont accentué le niveau de vulnérabilité des populations humaines et des ressources dont elles vivent. Elles leur imposent également des changements dans leurs modes de vie [3]. Les impacts de ces changements sont assez bien documentés sur les caractéristiques moyennes des régimes de pluie et de température à court terme [3-9]. Mais, ils le sont moins lorsqu'on s'intéresse aux projections à long terme [10-13]. Ces constats militent en faveur d'analyses prospectives climatiques en Côte d'Ivoire aux horizons proches et lointains. Pour les projections climatiques en Afrique de l'Ouest en général et en Côte d'Ivoire en particulier, les données CORDEX-Afrique ont démontré leur capacité d'application [2]. En effet, les projections climatiques ont été établies à partir d'expériences de modélisations régionales et mondiales. Les projections climatiques régionales futures sont de plus en plus utilisées comme outil dans l'élaboration d'activités relatives à l'adaptation, aux politiques et aux prises de décisions. De plus, il est essentiel qu'elles soient associées à des stratégies d'adaptation et prises de décisions au niveau local [2].

De ce fait, ce travail est une contribution à la connaissance de l'évolution du climat à l'échelle locale et régionale, dans le bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. En effet, le bassin versant du N'zi, étiré en latitude, est une zone de transition entre des climats différents. Le bassin est donc à cheval sur trois zones climatiques (climat subtropical au Nord, climat tropical humide au centre et climat subéquatorial au Sud). Ce bassin est donc représentatif des grands ensembles climatiques de la Côte d'Ivoire.

Ainsi, cette étude a pour objectif d'analyser la variabilité des paramètres climatiques actuelles et leurs tendances aux horizons 2050 et 2100 dans le bassin versant du N'zi (Bandama). Ce travail est basé sur deux principales hypothèses. La première admet une variabilité des paramètres du climat définis et utilisés au cours de cette étude (pluviométrie et température de l'air). La deuxième hypothèse suppose un scénario (RCP 8.5) où les politiques climatiques actuelles restent inchangées ; dans ce cas les activités anthropiques vont continuer d'impacter le climat futur. L'application d'un indice de normalisation et de la méthode de régression linéaire a permis d'analyser les variations climatiques à l'échelle interannuelle. Une analyse saisonnière a été effectuée sur la base des cumuls pluviométriques et des moyennes thermiques trimestriels. Les écarts de variations des différents indicateurs climatiques à partir des données climatiques passés (1991-2020) et futures (CORDEX) ont été appréciés aux horizons 2050 et 2100.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Présentation de la zone d'étude

Le secteur d'étude est le bassin-versant du N'zi (Figure 1), sous-bassin du bassin-versant du fleuve Bandama. Il est compris entre les longitudes 3°49' et 5°22' Ouest et les latitudes 6° et 9°26' Nord. Le bassin-versant du N'zi-Bandama occupe une superficie de 35 500 km<sup>2</sup>. La zone d'étude s'étend sur différentes régions climatiques allant de la région des savanes au Nord à la zone de forêt au Sud du bassin (Figure 1). Le régime subtropical (climat soudanais) se caractérise par deux saisons, une saison pluvieuse d'avril à octobre (7 mois) et une saison sèche de novembre à mars (5 mois) qui est accentuée par l'Harmattan. Ce climat correspond au climat tropical de transition. Les mois d'août et septembre sont les mois les plus pluvieux. Ce régime caractérise le Nord du bassin et se situe au Nord du 8<sup>ème</sup> parallèle Nord. Il est caractérisé par des précipitations moyennes (1951-2000) annuelles inférieures à 1200 mm. Le régime tropical humide (climat baouléen) se situe dans le centre du bassin. On observe un régime climatique à quatre saisons : une grande saison des pluies de mars à juin (4 mois), une petite saison sèche de juillet à août (2 mois), une petite saison des pluies commençant en septembre et s'achevant en octobre (2 mois) et une grande saison sèche du mois de novembre à février (4 mois). Ce type de climat fait la transition entre le climat subtropical et le climat subéquatorial. Ce climat est proche du climat subéquatorial par l'abondance des précipitations. Il est caractérisé par des précipitations moyennes annuelles (1951-2000) variant entre 1200 mm et 1600 mm. Le régime subéquatorial (climat attiéen de l'intérieur) qui est caractérisé par quatre (4) saisons ; la grande saison des pluies se situe entre mars et juin suivie d'une pause (petite saison sèche) entre juillet et août. La petite saison pluvieuse intervient dans le mois de septembre pour prendre fin au mois de novembre. Les mois de novembre, décembre, janvier et février constituent la grande saison sèche. Ce régime caractérise le Sud du bassin en dessous du 7<sup>ème</sup> parallèle Nord. Il est caractérisé par des précipitations moyennes annuelles (1951-2000) supérieures à 1600 mm.

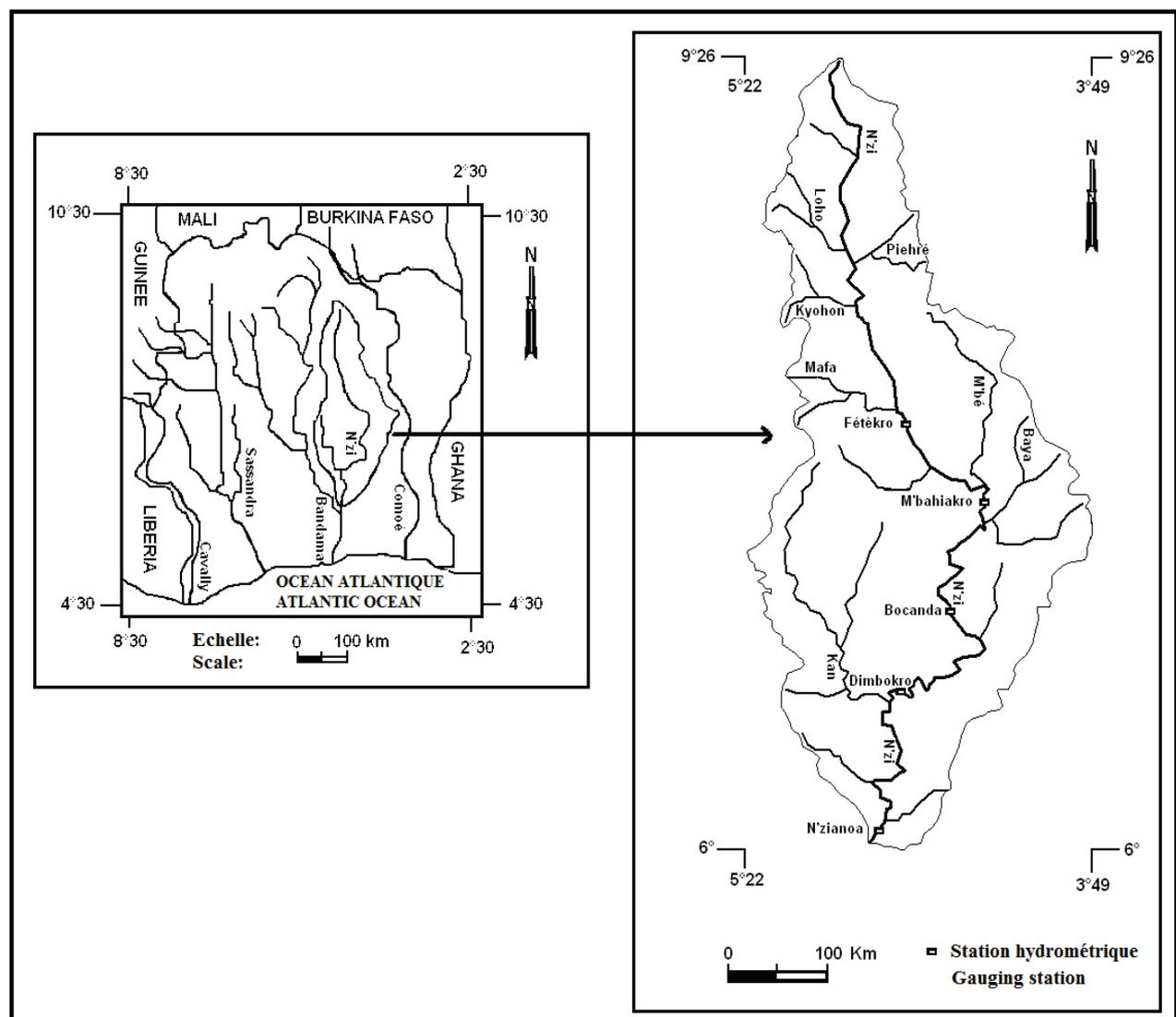
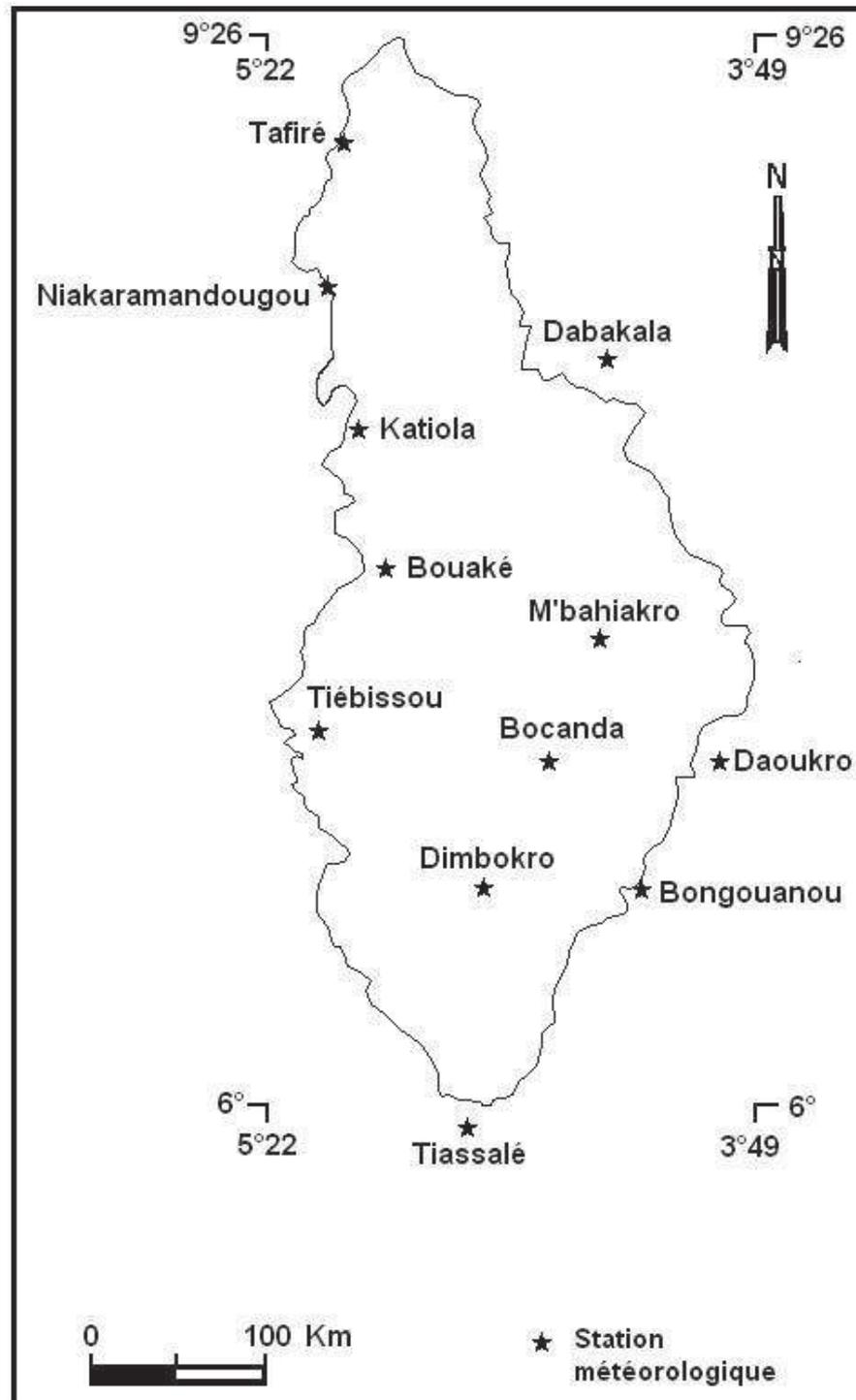


Figure 1 - Présentation du bassin-versant du N'zi (Bandama)

**Données de l'étude**

Les données climatiques passées utilisées dans cette étude concernent la pluviométrie et la température de l'air. Elles ont été collectées auprès du service de météorologie nationale (SODEXAM : Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique). Les différentes données sont à l'échelle mensuelle et couvrent la période 1961-2020. Les données pluviométriques ont été collectées au niveau des stations de Tafiré, Niakaramandougou, Katiola, Dabakala, Bouaké, Tiébissou, Bocanda, M'bahiakro, Daoukro, Bongouanou, Dimbokro et Tiassalé (Figure 2). En ce qui concerne les températures, elles ont été collectées au niveau des stations de Korhogo pour le Nord du bassin, Bouaké pour le Centre du bassin et Dimbokro pour le Sud du bassin.



**Figure 2** - Stations climatiques retenues (bassin versant du N'zi)

## METHODES

### Méthodes d'étude du climat présent

Les différents paramètres climatiques (pluie et température) ont été analysés à partir des valeurs moyennes calculées (méthode des polygones de Thiessen) en fonction des zones climatiques traversées par le bassin versant du N'zi (Bandama) sur la base des travaux de Kouao *et al.* [14-15]. Ainsi, on a la répartition suivante des stations climatiques en fonction des régimes climatiques :

- climat subtropical (climat soudanais) : Korhogo, Tafiré et Niakara ;
- climat tropical humide (climat baouléen) : Bouaké, Tiébissou, M'bahiakro, Katiola et Dabakala ;
- climat subéquatorial (climat attiéen de l'intérieur): Dimbokro, Bocanda, Bongouanou, Daoukro et Tiassalé.

### Indice standard de normalisation

Pour caractériser le climat d'un lieu donné, les climatologues utilisent des normales climatiques. En effet, ils calculent les valeurs moyennes sur 30 ans des principaux paramètres météorologiques (valeur préconisée par l'Organisation Météorologique Mondiale). Le choix d'une durée de 30 ans pour caractériser un climat permet de disposer d'un nombre d'observations suffisamment grand pour que le résultat soit robuste. Cette durée est également bien adaptée pour s'affranchir de la variabilité interannuelle du climat (les variations d'une année sur l'autre) et pour mettre en évidence d'éventuelles évolutions du climat. La moyenne d'un paramètre météorologique sur une durée de 30 ans est appelée « normale » [16]. En vue d'apprécier l'évolution du climat en passant de la période normale 1961-1990 à la période normale 1991-2020, la méthode de l'indice standard de normalisation a été appliquée aux données pluviométriques et thermométriques sur la période 1961-2020. L'indice standard de normalisation ( $I_i$ ) a l'avantage de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires d'une variable donnée. Il se définit comme une variable centrée réduite exprimée par l'équation 1 :

$$I_i = \frac{X_i - X_0}{\mu} \quad (1)$$

Avec :

- $X_i$  : valeur de la variable de l'année  $i$  ;
- $X_0$  : valeur moyenne interannuelle de la variable sur la période 1961-1990 ;
- $\mu$  : valeur interannuelle de l'écart-type de la variable sur la période 1961-1990.

### Méthode de la régression linéaire

L'analyse de l'évolution des paramètres climatique étudiés (pluie et température) sur la période 1991-2020 a nécessité l'application de la méthode de la régression linéaire. Cette méthode vise à déterminer, par la régression linéaire, l'évolution des paramètres climatiques. L'analyse de l'évolution des températures permet de déterminer d'une part l'influence du réchauffement global sur le réchauffement local et, d'autre part, la concordance entre la tendance des températures et celles des précipitations [17]. Elle consiste en une représentation graphique d'une droite de régression de type affine qui présente l'évolution linéaire d'un paramètre climatique ( $Y$ ) en fonction du temps ( $X$ ) et permet de déceler la tendance temporelle [18-19]. L'équation de la droite de tendance est sous la forme suivante (équation 2) :

$$Y = aX + b \quad (2)$$

où :

$a$  est le coefficient directeur et représente la pente, et  $b$  une constante.

- Si  $a > 0$ , on a une augmentation ;
- Si  $a < 0$ , on a une diminution

La qualité du modèle de régression est indiquée par le coefficient  $R^2$ . Il représente la proportion des points de mesures qui est expliquée par la régression linéaire. Cette valeur est comprise entre 0 (modèle n'explique rien) et 1 (le modèle est parfait et tous les points sont sur la droite de régression). Des classes du coefficient de détermination exprimant l'importance de la variabilité interannuelle sont définies comme suit :

- $R^2 < 0,1$  : extrêmement importante ;
- $0,1 < R^2 < 0,2$  : très importante ;
- $0,2 < R^2 < 0,3$  : importante ;
- $R^2 > 0,3$  : moyenne.

### Variations saisonnières des indicateurs climatiques d'impact

L'analyse saisonnière des paramètres climatiques (pluie et température) a été réalisée sur la période 1991-2020. Les cumuls saisonniers des précipitations, hauteurs d'eau cumulées sur les saisons ont été utilisées comme indicateurs pluviométriques pour l'analyse saisonnière des précipitations. La température moyenne saisonnière est définie comme étant la moyenne des températures moyennes mensuelles sur une saison donnée. Elle a été utilisée comme indicateur thermique dans saisonnière des températures. Dans le cadre de cette étude, chaque saison définie correspond à trois mois consécutifs, dont le découpage temporel est le suivant :

- trimestre 1 : janvier-février-mars (JFM) ;
- trimestre 2 : avril-mai-juin (AMJ) ;
- trimestre 3 : juillet-août-septembre (JAS) ;
- trimestre 4 : octobre-novembre-décembre (OND).

#### Méthodologie d'étude du climat futur

Des données climatiques futures de pluies mensuelles et de températures moyennes mensuelles ont été utilisées. Elles couvrent les périodes 2036-2065 pour l'horizon 2050 et 2071-2100 pour la fin du 21<sup>ème</sup> siècle. Ces données proviennent du programme CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) et ont été prétraitées (logiciel R-STUDIO) et corrigées par la méthode delta à partir des données passées de la SODEXAM (1991-2020). Il s'agit des données du modèle climatique régional RACMOT22T du royal Netherlands meteorological Institute et forcé par le modèle climatique global EC-EARTH. Il s'agit des données du modèle climatique régional RACMOT22T du royal Netherlands meteorological Institute (KNMI : Royal Dutch Meteorological Institut) et forcé par le modèle climatique global ICHEC-EC-EARTH (CORDEX Afrique) avec une résolution spatiale de  $0,44^\circ \times 0,44^\circ$  qui a la particularité d'avoir les trois scénarii (RCP 2.6, 4.5 et 8.5). Le 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC s'appuie sur de nouveaux scénarios d'émission de gaz à effet de serre (GES). Les SRES ont laissé la place aux RCP (Representative Concentration Pathway). La logique de travail est inversée. Au lieu de partir des projections d'évolutions socio-économiques pour déterminer les émissions de GES, on fixe en entrée des scénarios contrastés d'émission de GES desquels on traduit les chemins sociétaux qui amèneront à ces émissions de GES. Cela a abouti à 4 scénarios de forçage radiatif. Pour se faire, plusieurs scénarii dénommés RCP (Representative Concentration Pathway) sont généralement projetés. Ce sont des scénarii de trajectoire du forçage radiatif jusqu'à l'horizon 2300. Ces scénarii ont été établis par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) dans son cinquième rapport, AR5 (IPCC Fifth Assessment Report 5). Un scénario RCP permet de modéliser le climat futur. Dans l'AR5, sur la base de quatre hypothèses différentes concernant la quantité de gaz à effet de serre qui sera émise dans les années à venir (période 2000-2100), chaque scénario RCP donne une variante jugée probable du climat qui résultera du niveau d'émission choisi comme hypothèse de travail. Les quatre scénarii sont nommés d'après la gamme de forçage radiatif ainsi obtenue pour l'année 2100 : le scénario RCP-2.6 correspond à un forçage de  $+2,6 \text{ W/m}^2$ , le scénario RCP-4.5 correspond à un forçage de  $+4,5 \text{ W/m}^2$ , et de même pour les scénarii RCP-6 et RCP-8.5. Plus cette valeur est élevée, plus le système terre-atmosphère gagne en énergie et se réchauffe. Les données futures utilisées proviennent du scénario RCP 8.5 qui est le scénario retenu et présenté comme le scénario le plus pessimiste. Selon ce scénario, on ne change rien et les émissions de gaz à effet de serre (GES) continuent d'augmenter au rythme actuel. Les données utilisées ont servi à l'étude du climat présent et futur dans le bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. Les écarts de variations des paramètres climatiques (précipitations et température) par rapport à la période de référence (1991-2020) ont été évalués aux échelles annuelle, saisonnière et mensuelle sur les horizons 2050 et 2100.

## ANALYSE ET DISCUSSION

### Analyse des régimes climatiques présents

**Analyse des régimes annuels du climat présent :** L'analyse des indices standardisés de précipitations (SPI) montrent que la pluviométrie de la période de référence 1991-2020 est relativement plus faible que celle de la période normale 1961-1990 dans les trois zones climatiques traversés par le bassin versant du N'zi (Figure 3). En effet, les SPI sont à dominance positive sur la période 1961-1990 comparativement à la période 1991-2020 où il est constaté une prédominance des SPI négatifs. Les deux dernières décennies sont caractérisées par des SPI quasi totalement négatifs. Cependant, il observé une évolution des SPI vers zéro voir des valeurs positives au cours de ces dernières décennies. Ce constat a suscité la réalisation d'une analyse de régression linéaire des précipitations sur la période 1991-2020. Les résultats montrent dans l'ensemble que les précipitations annuelles au niveau du bassin versant du N'zi connaissent une relative hausse pour toutes les trois zones climatiques étudiées sur la période 1991-2020 (Figure 4). Cette tendance à la hausse des précipitations varie d'une zone climatique à une autre. En effet, le bassin versant connaît une très importante hausse dans les zones climatiques baouléenne (climat tropical humide) ( $R^2 = 0,11$ ) et attiéenne (climat subéquatorial) ( $R^2 = 0,18$ ) et une importante hausse dans le climat soudanais (climat subtropical) ( $R^2 = 0,24$ ). Au niveau du climat soudanais (climat subtropical), la tendance est d'une augmentation de 58 mm/décennie. Elle est estimée à 80 mm/décennie au niveau du climat baouléen (climat tropical humide) et 84 mm/décennie dans l'attiéen de l'intérieur (climat subéquatorial). Les résultats de la régression linéaire ont confirmé ceux des SPI. Ces résultats mettent en évidence un retournement de tendance par rapport à la période 1961-1990. En effet, il est observé une reprise des précipitations au cours de la période 1991-2020.

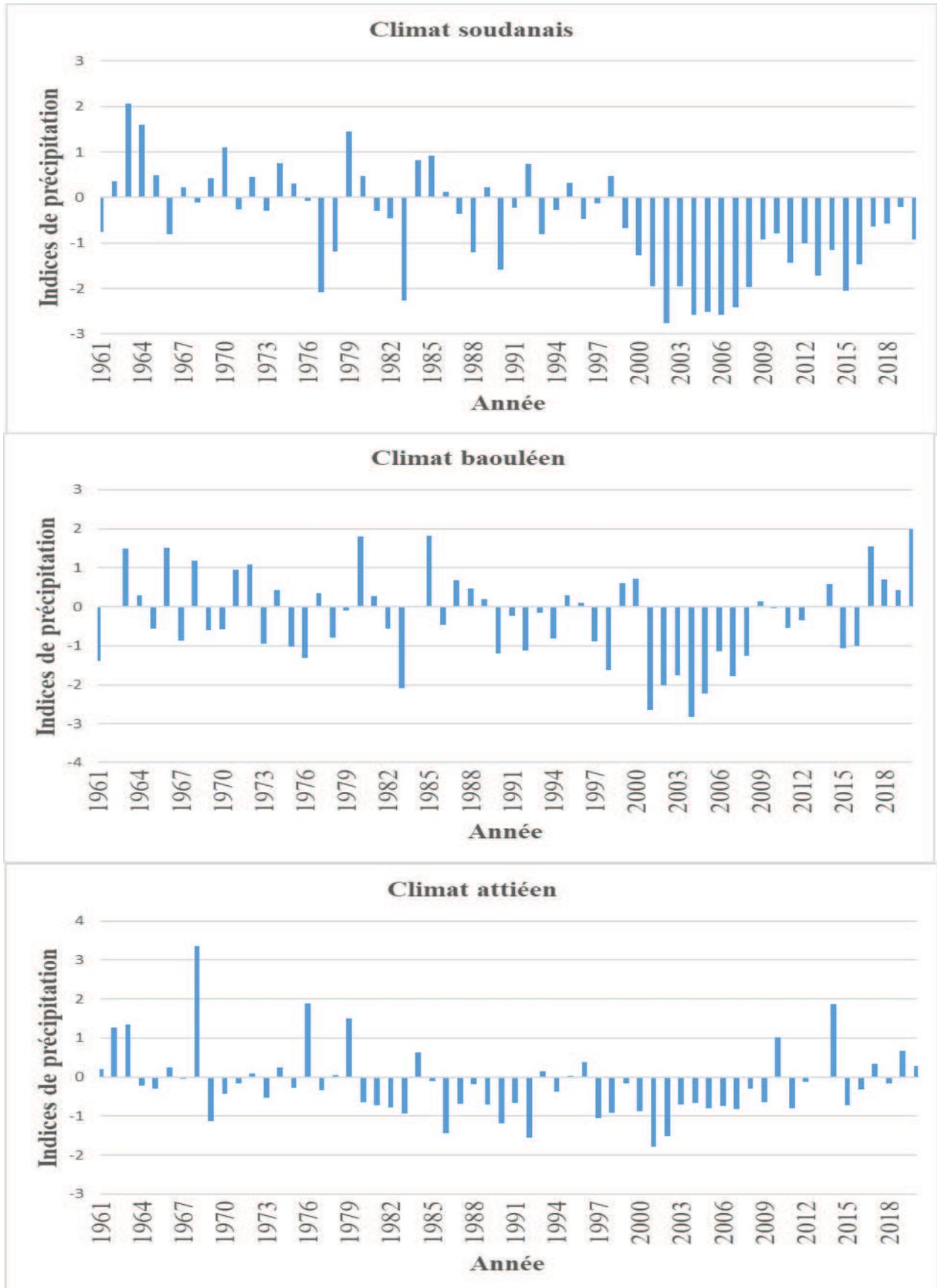


Figure 3 - Indices normalisés de précipitations dans le bassin versant du N'zi (1961-2020)

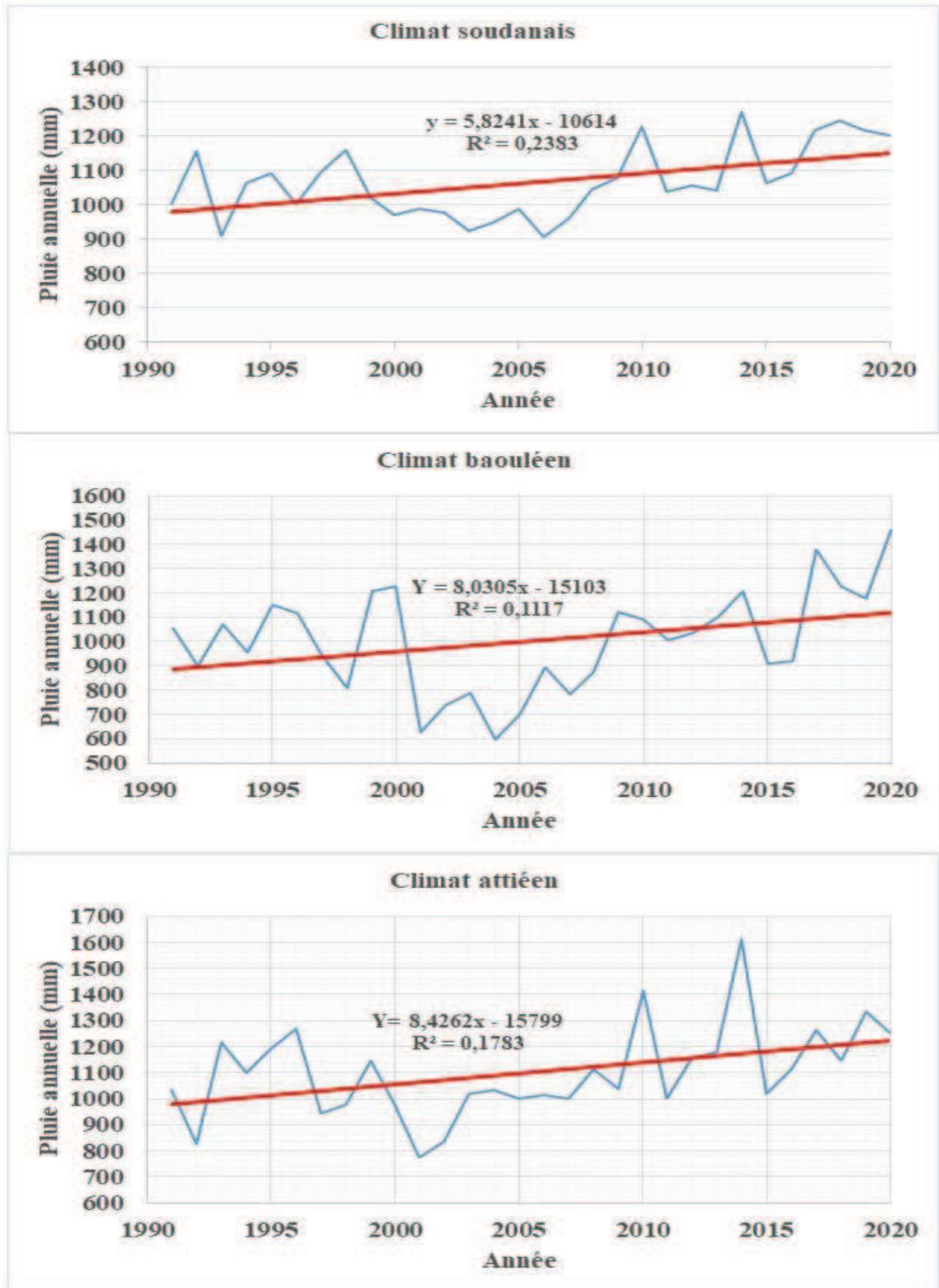


Figure 4 - Evolutions des précipitations dans le bassin versant du N'zi (1991-2020)

L'analyse des indices standardisés de température (STI) montrent que la température moyenne annuelle enregistrée sur la période de référence 1991-2020 connaît une hausse par rapport à la période normale 1961-1990 dans les trois zones climatiques analysés et couvrant le bassin versant du N'zi (Figure 5). En effet, les STI sont tous positifs sur la période 1961-1990 comparativement à la période 1991-2020 où il est constaté une prédominance des STI négatifs. Il est constaté une croissance plus ou moins régulière des STI sur la période 1961-2020. La réalisation d'une analyse de régression linéaire des températures sur la période 1991-2020 a mis en évidence une tendance régulière à la hausse des températures moyennes annuelles au niveau des trois zones climatiques traversés par le bassin du N'zi (Figure 6). Cette tendance croissante des températures varie d'une zone climatique à une autre. En effet, le bassin versant connaît une importante hausse de la température moyenne annuelle dans le climat soudanais (climat subtropical) ( $R^2 = 0,30$ ) alors que la baisse est de niveau moyen dans les zones climatiques baouléenne (climat tropical humide) ( $R^2 = 0,38$ ) et attiéenne (climat subéquatorial) ( $R^2 = 0,49$ ). Du Nord au Sud et sur la période de trente ans (1991-2020), cette tendance progressive est de  $+1,05\text{ }^\circ\text{C}$  dans le climat soudanais (climat subtropical),  $+1\text{ }^\circ\text{C}$  au niveau du climat baouléen (climat tropical humide) et  $+1,62\text{ }^\circ\text{C}$  dans l'attiéen de l'intérieur (climat subéquatorial). Les résultats de la régression linéaire ont aussi confirmé ceux des STI. Il est important de relever que les températures les moins chaudes sont observées au centre du bassin (climat tropical humide ou baouléen) alors que les plus chaudes sont observées au Sud du bassin.

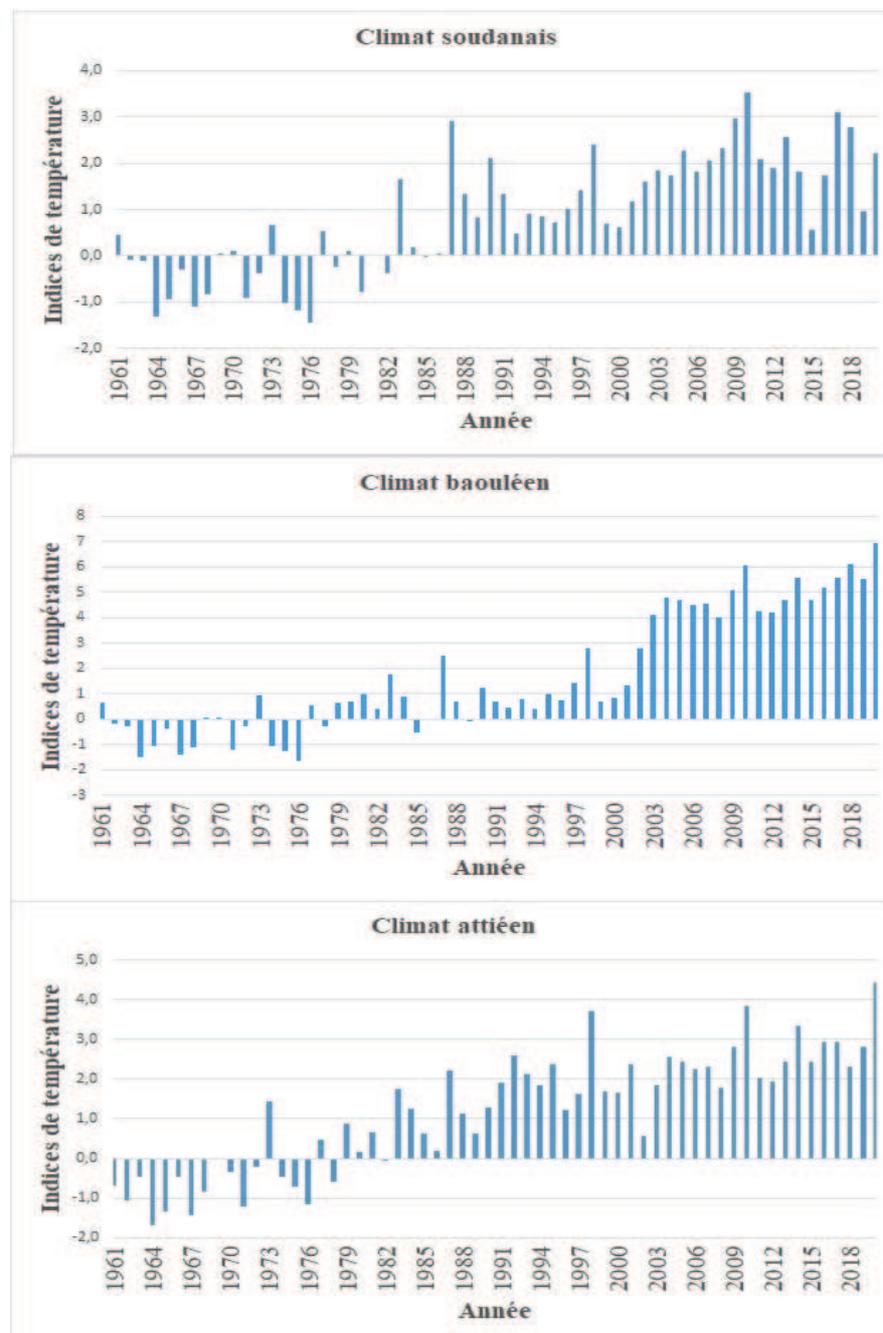


Figure 5 - Indices normalisés de température dans le bassin versant du N'zi (1961-2020)

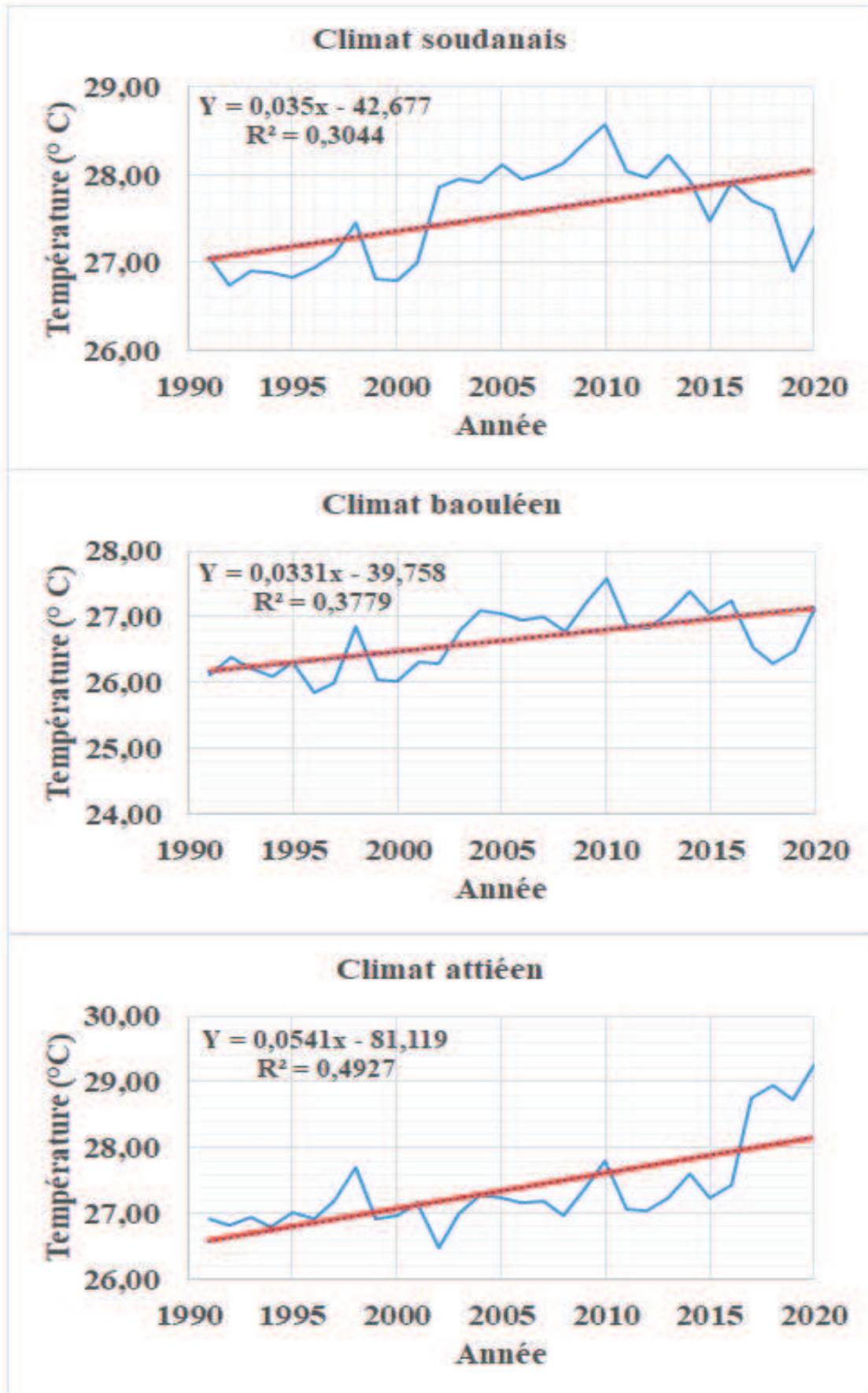


Figure 6 - Evolutions des températures dans le bassin versant du N’zi (1991-2020)

**Analyse des régimes saisonniers du climat présent**

L'analyse des cumuls pluviométriques trimestriels sur la période de référence 1991 à 2020 (Figure 7) révèle que le trimestre juillet à septembre (JAS) est le plus pluvieux pour les climats soudanais ou subtropical (667 mm) et baouléen ou climat tropical humide (404 mm). Le trimestre AMJ (393 mm) dans le climat tropical humide ou baouléen a une pluviométrie très proche de celle du JAS. Quant au climat subéquatorial ou attiéen de l'intérieur, la saison la plus pluvieuse est le trimestre avril à juin (AMJ) (498 mm). Le trimestre le moins pluvieux est celui de janvier à mars (JFM) sur tout l'ensemble des trois zones climatiques avec respectivement 68 mm pour le climat subtropical ou soudanais, 135 mm pour le climat tropical humide ou baouléen et 167 mm pour le climat subéquatorial ou attiéen de l'intérieur. Les précipitations saisonnières à travers les cumuls pluviométriques trimestriels présentent globalement une grande variabilité d'une saison sur l'autre dans le bassin versant du N'zi sur la période 1991-2020. Cette variabilité est plus marquée au niveau des régimes subtropicaux (soudanais) et subéquatoriaux (attiéen de l'intérieur).

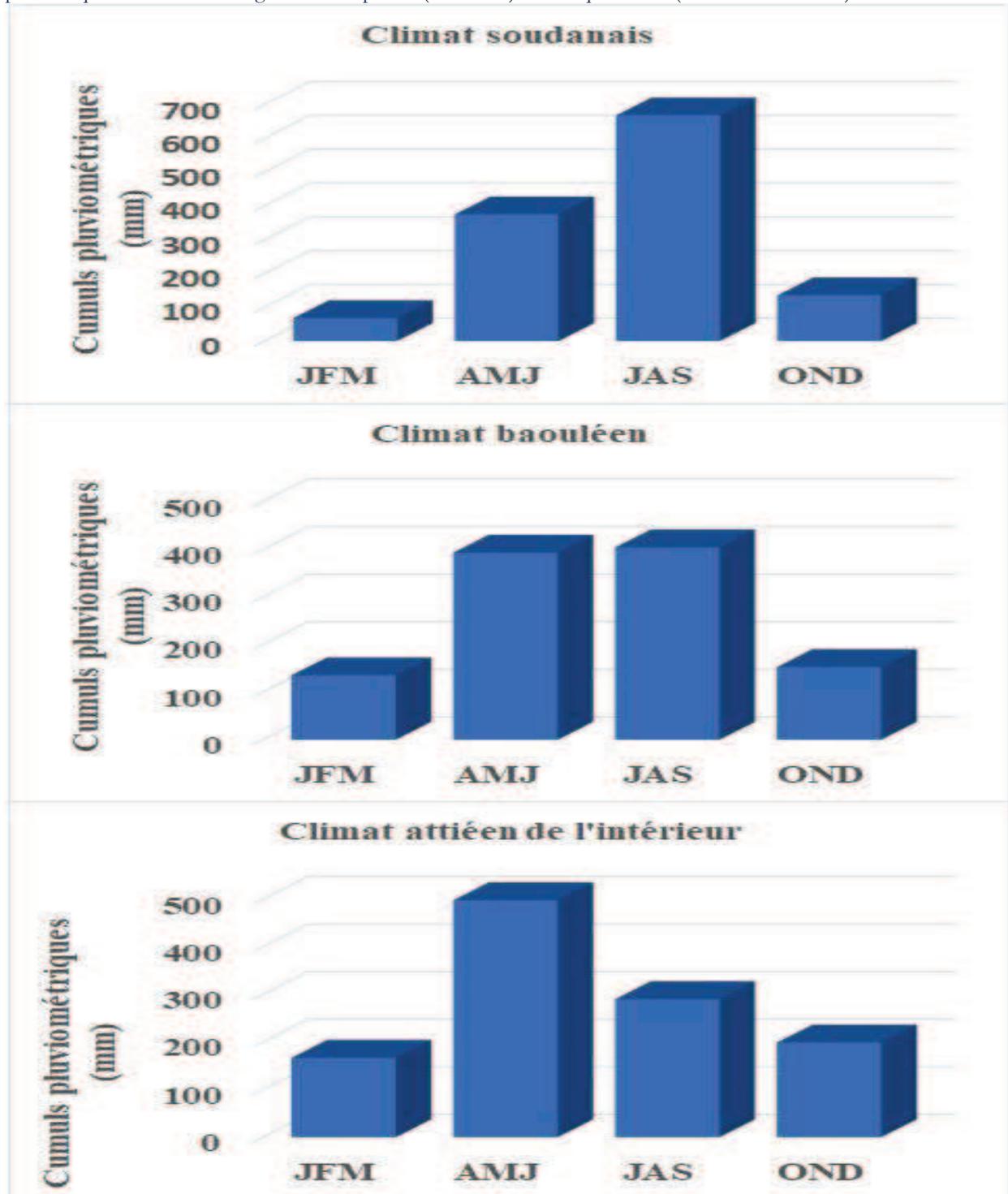


Figure 7 - Variations des cumuls pluviométriques trimestriels dans le bassin versant du N'zi (1991-2020)

Les températures moyennes saisonnières évaluées sur la période 1991-2020 (Figure 8) ont mis en évidence deux extrêmes thermiques sur le bassin versant du N'zi. Le trimestre le plus froid sur l'ensemble du bassin est celui de juillet-août-septembre (JAS) avec des valeurs partant de 25,20 °C dans le climat baouléen (climat tropical humide) à 26,85 °C pour le climat attiéen (climat subéquatorial). Quant à la saison la plus chaude sur les trois zones climatiques, elle correspond au trimestre janvier-février-mars (JFM) avec des valeurs allant de 27,55 °C (climat tropical humide ou baouléen) à près de 29 °C (climat subéquatorial ou attiéen de l'intérieur).

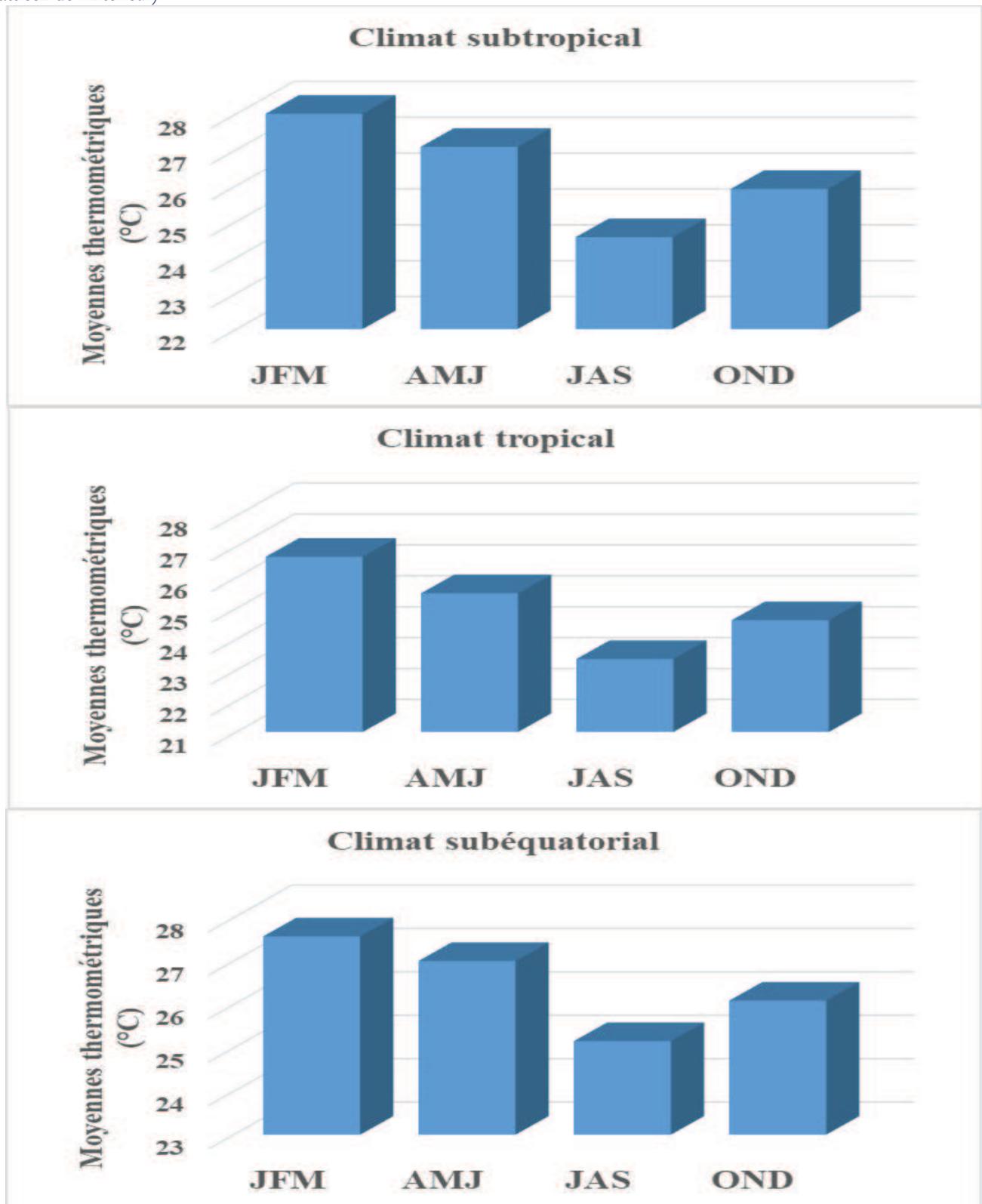


Figure 8 - Variations des moyennes thermométriques trimestriels dans le bassin versant du N'zi (1991-2020)

### Analyse des tendances du climat futur

**Analyse des régimes annuels du climat futur :** Au niveau du bassin versant du N'zi, une diminution des précipitations annuelles est constatée aux périodes futures avec des écarts pluviométriques (par rapport à la période de référence 1991-2020) fluctuant entre -14,5% (climat subéquatorial ou attiéen de l'intérieur) et -17,6% (climat subtropical ou climat soudanais) à l'horizon 2050 et entre -26,5% (climat subéquatorial ou attiéen de l'intérieur) et -32,3% (climat subtropical ou soudanais) à l'horizon 2100 pour le scénario RCP 8.5 (correspondant à un scénario sans politique climatique) (tableaux 1 et 2). Cette baisse serait plus ressentie dans le Nord du bassin (climat soudanais ou subtropical) que les parties centre (climat tropical humide ou baouléen) et sud (climat subéquatorial ou climat attiéen de l'intérieur). Cette baisse pluviométrique est estimée à une hauteur variant entre 188 et 371 mm. Pour le scénario RCP 8.5 appliqué au cours de cette étude au niveau du bassin versant du N'zi, les projections climatiques montrent une poursuite du réchauffement annuel jusqu'aux années 2100 quels que soit les horizons et les zones climatiques (Tableau 1 et 2). En effet, la température moyenne annuelle progresse et l'écart à la référence (moyenne sur la période 1991-2020) de la température moyenne annuelle varie selon les périodes et les régimes climatiques. Au milieu du 21<sup>ème</sup> siècle (horizon 2050), le bassin versant du N'zi connaîtrait des températures moyennes annuelles un peu supérieures aux températures moyennes annuelles observées sur la période de passé récent (1991-2020). Cette augmentation des températures varie entre +1,8 °C (climat soudanais ou subtropical) et +2,2 °C (climat attiéen de l'intérieur ou subéquatorial) avec une moyenne de +2,03 °C. Au cours de la période 2071-2100, la hausse de la température moyenne annuelle oscille entre +3,8 °C (climat soudanais ou subtropical) et +4,2 °C (climat attiéen de l'intérieur ou subéquatorial) avec une moyenne de 4 °C correspondant à la hausse observée au niveau du climat baouléen ou climat tropical humide.

**Tableau 1 - Ecart pluviométriques et thermométriques annuels à l'horizon 2050**

|                    | Climat subtropical | Climat tropical | Climat subéquatorial |
|--------------------|--------------------|-----------------|----------------------|
| Précipitations(mm) | -201,7             | -203,0          | -188,5               |
| Précipitations (%) | -17,6              | -16,3           | -14,5                |
| Température(°C)    | +1,8               | +2,1            | +2,2                 |
| Température (%)    | 6,5                | 7,6             | 8,1                  |

**Tableau 2 - Ecart pluviométriques et thermométriques annuels à l'horizon 2100**

|                    | Climat subtropical | Climat tropical | Climat subéquatorial |
|--------------------|--------------------|-----------------|----------------------|
| Précipitations(mm) | -371,5             | -351,0          | -343,4               |
| Précipitations (%) | -32,3              | -28,2           | -26,5                |
| Température(°C)    | +3,8               | +4,0            | +4,2                 |
| Température (%)    | 13,8               | 6,5             | 15,1                 |

### Analyse des régimes saisonniers et mensuels du climat futur

L'évolution saisonnière de l'écart relatif du cumul de précipitation par horizon temporel pour le scénario RCP 8.5 est très contrastée (Tableaux 3 et 4). Aux différents horizons futurs (2050 et 2100), on peut constater la diminution sensible et quasi-généralisée des précipitations saisonnières sur l'ensemble du bassin versant. Cette baisse est forte à l'horizon 2050 mais modérée à l'horizon 2100. La baisse des précipitations saisonnières est très forte au niveau des périodes saisonnières AMJ et JAS et plus modérée au niveau des saisons JFM et OND.

**Tableau 3 - Ecart pluviométriques saisonniers à l'horizon 2050**

|     | Climat subtropical | Climat tropical | Climat subéquatorial |
|-----|--------------------|-----------------|----------------------|
| JFM | -37,8              | -67,6           | -51,0                |
| AMJ | -6,6               | -11,2           | -18,7                |
| JAS | -34,4              | -46,2           | -6,0                 |
| OND | -15,7              | -46,9           | -6,9                 |

**Tableau 4 - Ecart pluviométriques saisonniers à l'horizon 2100**

|     | Climat subtropical | Climat tropical | Climat subéquatorial |
|-----|--------------------|-----------------|----------------------|
| JFM | -30,1              | -64,7           | -66,2                |
| AMJ | -37,8              | -30,5           | -26,9                |
| JAS | -47,0              | -18,4           | -19,5                |
| OND | -11,0              | -43,7           | -23,6                |

Selon le scénario RCP 8.5 appliqué, les températures augmentent par rapport à la période de référence (1991-2020) pour toutes les saisons. Cette augmentation va de +1,5 à +3,1 °C avec une moyenne de +2,08 °C et un écart-type de 0,45 °C à l'horizon 2050 (Tableau 5). Pour ce qui est de l'horizon 2100, cette augmentation oscillera entre +3,3 °C et 5 °C avec une moyenne de + 4 °C et un écart-type de 0,53 °C (Tableau 6). La hausse est plus marquée au cours des saisons janvier-février-mars (JFM) et juillet-août-septembre (JAS) sur tout le bassin et selon les horizons de projections. Les saisons qui enregistrent les plus faibles hausses de la température sont respectivement les saisons d'octobre-novembre-décembre (OND) et avril-mai-juin (AMJ). Les plus fortes augmentations de la température sont observées au niveau du climat subéquatorial alors que les plus faibles hausses sont constatées au niveau du climat tropical humide (climat baouléen).

**Tableau 5 - Ecart thermométrique saisonniers à l'horizon 2050**

|            | Climat subtropical | Climat tropical | Climat subéquatorial |
|------------|--------------------|-----------------|----------------------|
| <b>JFM</b> | 2,2                | 3,1             | 2,4                  |
| <b>AMJ</b> | 1,5                | 1,7             | 2,2                  |
| <b>JAS</b> | 2,2                | 1,8             | 2,6                  |
| <b>OND</b> | 1,5                | 1,8             | 1,9                  |

**Tableau 6 - Ecart thermométrique saisonniers à l'horizon 2100**

|            | Climat subtropical | Climat tropical | Climat subéquatorial |
|------------|--------------------|-----------------|----------------------|
| <b>JFM</b> | 4,0                | 5,0             | 5,0                  |
| <b>AMJ</b> | 3,8                | 3,6             | 4,0                  |
| <b>JAS</b> | 4,4                | 3,7             | 4,1                  |
| <b>OND</b> | 3,3                | 3,7             | 3,4                  |

## DISCUSSION

L'évolution des paramètres climatiques est caractérisée par une baisse générale des pluies annuelles sur la période 1961-2020 mais avec une reprise de celles-ci sur la sous-période 1991-2020. Pour ce qui concerne la température annuelle, elle est marquée par une évolution à la hausse et de façon monotone sur la période 1961-2020. Les variations saisonnières pluviométriques sur la période de référence 1991 à 2020 montre que le JAS (juillet-août-septembre) est la saison la plus pluvieuse pour les climats subtropical (climat subtropical ou soudanais) et tropical humide (climat tropical humide ou baouléen). Quant au climat subéquatorial (climat subéquatorial ou attiéen de l'intérieur), le trimestre le plus pluvieux est la saison AMJ (avril-mai-juin). La saison la plus sèche sur l'ensemble du bassin versant du N'zi est la période JFM (janvier-février-mars). La saison la plus chaude sur la période 1991-2020 est le trimestre janvier-février-mars (JFM) alors que la saison la plus froide est le trimestre juillet-août-septembre (JAS). Les projections climatiques réalisées prévoient une hausse de la température comprise entre +1,8 °C et +2,2 °C pour l'horizon 2050 et entre +3,8 °C et +4,2 °C pour l'horizon 2100. Les projections pluviométriques révèlent des tendances à la baisse traduite des écarts allant de -14,5% à -17,6% à l'horizon 2050 et entre -26,5% et -32,3% à l'horizon 2100.

Les résultats obtenus au cours de ce travail ont été comparés aux travaux antérieurs réalisés d'abord en Côte d'Ivoire, ensuite en Afrique de l'Ouest et enfin hors de l'Afrique de l'Ouest.

Au cours des dix dernières années, des travaux ont été réalisés dans le contexte ivoirien [3 ; 10-13]. Ainsi, les travaux de Kouamé *et al.* [10] sur les impacts du changement climatique sur les précipitations et les températures aux horizons 2050 et 2080 dans le bassin versant de Davo (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire) ont été réalisés à partir de quatre modèles de circulation générale couplés Atmosphère Océan (MCGAO) et deux scénarios d'émission des Gaz à Effet de Serre (GES) (A2 et B2). Les résultats de ces travaux ont mis en évidence une augmentation de la température variant entre 1,7°C et 3,7°C. Les précipitations quant à elles connaîtront une évolution controversée. On enregistre une tendance à la baisse de -0,4% à l'horizon 2050 (A2). Sous le scénario B2, les précipitations connaîtront une augmentation de 2,4% (horizon 2050) et de 3,7% (horizon 2100). Le scénario B2 est plus pluvieux et moins chaud que le scénario A2. Les résultats des travaux de Yao *et al.* [11] ont mis en évidence à partir de prévisions du modèle climatique RegCM3-A1B, une tendance à la baisse des précipitations annuelles de 0,42 % et de 10,8 % respectivement aux horizons 2035-2050 et 2085-2100 sur le bassin versant de la Lobo (Sassandra) situé au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. Les projections des variables climatiques (températures et pluviométrie) examinées par Kouamé *et al.* [3] aux horizons 2050 et 2080 dans le Centre-Est de la Côte d'Ivoire ont été basés sur des simulations du modèle climatique CORDEX. Toutes les projections montrent une augmentation de la température dans le Centre-Est de la Côte d'Ivoire durant les deux tranches de temps du 21ème siècle. La variation annuelle projetée par le modèle est de 0,2 à 2,6°C. Concernant les pluies, le taux annuel prédit projeté aux horizons 2050 et 2080 par le modèle va de -4 à -12%. Les projections pluviométriques sont incertaines et dépendent des scénarii d'émission et des horizons choisis. Le rapport technique du GIZ [12] relatif au profil de risque climatique de la Côte d'Ivoire, offre un aperçu des projections climatiques de la Côte d'Ivoire d'ici à 2080, en partant de différents scénarios de changement climatique (appelés Representative Concentration Pathways (Profils représentatifs d'évolution de concentration ou RCP). Le RCP2.6 est un scénario de réduction des émissions conforme à l'Accord de Paris ; le RCP6.0 est un scénario d'émissions moyennes

à élevées. Les projections ne tiennent pas compte des effets des futurs impacts socio-économiques. En fonction des scénarios, il est prévu que la température en Côte d'Ivoire augmente dans une fourchette comprise entre 1,7 °C et 3,7 °C d'ici à 2080 par rapport aux niveaux pré-industriels, avec des températures plus élevées et davantage de températures extrêmes dans la partie nord du pays. Les tendances en matière de précipitations sont très incertaines, puisqu'elles vont d'un changement très limité à une diminution des précipitations annuelles pouvant atteindre 65 mm d'ici à 2080. Les périodes sèches et humides devraient devenir plus extrêmes. Les écarts relatifs évalués en référence à la période 1961-1990 des paramètres climatiques par Kouassi *et al.* [13] au niveau du bassin versant du N'zo (Sassandra) dans l'Ouest de la Côte d'Ivoire à partir du scénario RCP 2.6 et des données CORDEX-Afrique ont mis en évidence une baisse de la pluviométrie annuelle (-19,7%) et une augmentation de la température moyenne annuelle (+1,6 °C) au milieu du siècle présent (horizon 2050).

Dans le contexte ouest africain, plusieurs travaux ont été effectués [20-22]. Les résultats des travaux de Kouakou *et al.* [20] effectués à partir du modèle régional RegCM3 ont mis en évidence selon les localités en Afrique de l'Ouest un accroissement de 0,4 °C à 1,8 °C de la température à l'horizon 2031-2040 et de 3,2 °C à 5,8 °C à l'horizon 2091-2100. Selon l'analyse, les précipitations pourraient baisser dans l'ensemble dans la zone et atteindre dans certaines localités 60%. Spécifiquement, les températures au Sahel connaîtraient des augmentations moyennes mensuelles et annuelles plus importantes que celles des régions du Golfe de Guinée. Quant aux précipitations, elles subiraient une augmentation annuelle de 0,44% au Sahel contre une baisse de 3% dans le Golfe de Guinée à l'horizon 2031-2040. A l'horizon 2091-2100, les précipitations diminueraient de 12,6% au Sahel et de 9,12% dans les régions du Golfe de Guinée. Selon les travaux de Sarr et Camara [21] réalisés à partir de données CORDEX et de modèles climatiques régionaux (MCR) sous le scénario d'émission de gaz à effet de serre RCP8.5., il est prédit une diminution des précipitations sur une bonne partie du Sahel notamment sur sa partie Ouest à l'horizon 2100. Selon Ly et Touné (2019), les projections climatiques issues de la médiane de 29 modèles climatiques du GIEC, pour deux scénarios globaux contrastés d'évolution des concentrations atmosphériques de gaz à effets de serre (RCP 4.5 et 8.5) montrent que les populations du Niger vont devoir s'adapter :

- à une augmentation significative des températures dans une gamme de 1,5 à 3 degrés d'ici 2050 ;
- à une probable intensification des pluies caractérisée par une augmentation de la pluviométrie, en particulier dans les régions de l'Est et du Nord-Est, s'accompagnant d'une réduction du nombre de jours de pluie.

A partir de deux modèles de circulation générale (MCG) (modèle HADCM3-A2 et modèle CSIRO-A2), Karambiri *et al.* [22], prévoient une tendance à l'augmentation des pluies annuelles de l'ordre de 10% en 2050 (modèle HADCM3-A2) et une baisse de l'ordre de -8% en 2050 (modèle CSIRO-A2) au Burkina Faso.

Une analyse des projections climatiques a été également analysée en dehors du contexte ouest africain. Ainsi, selon les travaux de Haensler *et al.* [23] dans le bassin du Congo en Afrique centrale, il est observé que tous les modèles climatiques, indépendamment de la saison et du scénario d'émission, indiquent un réchauffement de la température atmosphérique de surface d'au moins 1°C vers la fin du 21<sup>ème</sup> siècle. Concernant la température atmosphérique annuelle moyenne de surface, les changements probables vers la fin de ce siècle sont compris entre +3,5 °C et +6 °C pour un scénario de fortes émissions et entre +1,5°C et +3°C pour un scénario d'émissions contenues de gaz à effet de serre. En général, l'accroissement prévu des températures est légèrement supérieur à la moyenne dans les zones situées au Nord de l'Afrique centrale, au Nord de la charnière climatique, et légèrement inférieur à la moyenne dans les zones centrales. Selon le même auteur, les résultats des différentes simulations relatives aux précipitations totales sont moins robustes que ceux concernant la température atmosphérique de surface. Certains modèles prévoient un accroissement des précipitations annuelles dans la majeure partie du bassin du Congo, tandis que d'autres modèles anticipent une diminution dans les mêmes zones. Néanmoins, ces mêmes auteurs prévoient une tendance générale vers un faible accroissement des précipitations annuelles dans la majeure partie de la région vers la fin du 21<sup>ème</sup> siècle. On peut pronostiquer une augmentation plus importante des précipitations annuelles sur la région la plus sèche du nord de l'Afrique centrale, ce qui est surtout lié à l'expansion vers le Nord de la ZCIT et au fait que les quantités de précipitations sont plutôt modestes sur cette région. Les changements dans les précipitations annuelles seraient probablement compris dans une gamme allant de -10 à +10 % dans la zone la plus humide et de -15 et +30 % dans la zone la plus aride. Des changements drastiques dans les précipitations annuelles futures semblent donc assez improbables. L'étude de Woillez [24] a montré que l'empreinte du changement climatique global est déjà clairement visible au Maroc : la température moyenne du pays a augmenté de +0,42 °C/décennie depuis 1990 et la diminution des précipitations est estimée à plus de 20% entre 1961 et 2005. La moyenne des projections des différents modèles climatiques indique que cette tendance à l'aridification va se poursuivre, avec à horizon 2050 une augmentation supplémentaire de la température de +1,5 °C (+2 °C) pour le scénario RCP4.5 (RCP8.5) et une diminution des précipitations de -15 % environ. Certains modèles projettent un déclin des précipitations bien supérieur, de l'ordre de -40 %.

Les données climatiques CORDEX-Afrique utilisées, bien que caractérisées comme toute donnée de projection d'incertitudes, est relativement satisfaisant pour prévoir les changements climatiques à l'échelle annuelle et saisonnière en Côte d'Ivoire. Le choix de la dernière normale climatique (1991-2020) a été également démontré. Ces projections s'inscrivent en continuité des tendances généralement observées en Afrique en général, particulièrement en Afrique de l'Ouest et singulièrement en Côte d'Ivoire. Elles sont cohérentes avec d'autres travaux de caractérisation des changements climatiques futurs à une échelle locale.

## CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif d'analyser la variabilité des paramètres climatiques actuels et leurs tendances aux horizons 2050 et 2100 dans le bassin versant du N'zi (Bandama) à partir de l'indice de normalisation, de la régression linéaire, des cumuls pluviométriques saisonniers et des moyennes thermométriques saisonnières. Les résultats obtenus montrent que la variabilité climatique se manifeste par une dynamique régressive des pluies annuelles sur la période 1961-2020 mais avec une reprise de celles-ci sur la sous-période 1991-2020. Quant à la température annuelle, elle connaît une évolution progressive régulière sur la période 1961-2020 en général et la sous-période 1991-2020 en particulier. L'analyse des cumuls pluviométriques saisonniers sur la période de référence 1991 à 2020 révèle que la période saisonnière juillet-août-septembre (JAS) est la plus pluvieuse pour les climats subtropical (climat soudanais) et tropical humide (climat baouléen). Quant au climat subéquatorial (climat attiéen de l'intérieur), la saison la plus pluvieuse est le trimestre avril-mai-juin (AMJ). Le trimestre le moins pluvieux est celui de janvier à mars (JFM) sur tout l'ensemble des trois zones climatiques traversées par le bassin versant du N'zi. Les températures moyennes saisonnières évaluées sur la période 1991-2020 ont mis en évidence deux extrêmes thermiques sur le bassin versant du N'zi. Le trimestre le plus froid sur l'ensemble du bassin est celui de juillet-août-septembre (JAS) alors que la saison la plus chaude correspond au trimestre janvier-février-mars (JFM). Les projections climatiques réalisées prévoient une augmentation de la température comprise entre +1,8 °C et +2,2 °C pour l'horizon 2050 et entre +3,8 °C et +4,2 °C pour l'horizon 2100. Les pluies révèlent des tendances à la baisse traduite des écarts allant de -14,5% à -17,6% à l'horizon 2050 et entre -26,5% et -32,3% à l'horizon 2100. Les impacts de ces conditions climatiques futures sur les ressources naturelles (eaux, forêts, etc.), les cultures, les activités économiques, etc. pourraient être considérables. Ainsi, les résultats de cette étude pourront aider à augmenter la résilience face aux changements climatiques de certaines activités humaines telles que l'agriculture, l'alimentation en eau potables, la production d'électricité, etc.

**Remerciements :** Les auteurs de cet article remercient les instructeurs dont les critiques et les suggestions ont permis d'améliorer le présent article. Ils remercient également la SODEXAM (Côte d'Ivoire) pour la fourniture des données climatiques de l'étude.

## Références

- [1] GIEC 2014. Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail i, ii et iii au cinquième rapport d'évaluation du GIEC, Genève, Suisse, 161 p.
- [2] KOUAMÉ K.R., KANGA P.A.D., KOLI B.Z. 2019. Variabilité climatique dans le centre-est de la Côte d'Ivoire : indicateurs, scénarii actuels et futurs. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 1, 7-20.
- [3] AHOUSI K.E., KOFFI Y.B., KOUASSI A.M., SORO G., SORO N., BIEMI J. 2013. Étude de la variabilité hydroclimatique 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*, 1 (6), 30-50.
- [4] KOUAKOU K. E., GOULA B. T. A., KOUASSI A. M. 2012. Analyze of climate variability and change impacts on hydro-climate parameters: case study of Côte d'Ivoire, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3, 1-8.
- [5] KOUDOU A., KOUAME K. A., NIAMKE K. H., KOUAME K. F., SALEY M. B., ADJA M.G. 2015. Contribution de l'analyse en composantes principales à la régionalisation des pluies du bassin versant du N'zi, de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 26, 156-172.
- [6] FOSSOU R. M. N., LASME T., SORO N., SORO T., SORO G., DE LASME O., Z., BAKA D., ONETIE O.Z., OROU R. 2014. Variabilité climatique et son impact sur les ressources en eaux souterraines : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro au Centre-Est de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest), *Larhyss Journal*, 21, 87-110.
- [7] N'DA K.C., DIBI-KANGAH P., DJIBRIL D.N., DJE K.B., ZUELI K.B. 2016. Changements climatiques : quelques aspects de la variabilité climatique dans le bassin versant du Bandama en Côte d'Ivoire. Programme d'Appuis Stratégique à la Recherche Scientifique (PASRES), 86-104.
- [8] KOUASSI A. M., ASSOKO A. V. S., DJE K. B., KOUAKOU K. E., KOUAME K. F., BIEMI J. 2017. Analysis of the persistence of drought in West Africa: Characterization of the recent climate variability in Ivory Coast. *Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence*, 1 (2), 47-59.
- [9] SORO G., AHOUSI K.E., TRAORE A., SORO N. 2017. Impacts de la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans le « V » Baoulé (centre de la Côte d'Ivoire) au cours de la période 1966-2000 sur les ressources en eau. *Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement*, 2 (3), 7-10.
- [10] KOUAMÉ Y.M., SORO G.E., KOUAKOU K.E., KOUADIO Z.A., MÉLÈDJE N.E.H., GOULA B.T.A., ISSIAKA SAVANÉ I. 2014. Scénarios des changements climatiques pour les précipitations et les températures en Afrique subsaharienne tropicale humide : cas du bassin versant de Davo (Côte d'Ivoire). *Larhyss Journal*, 18, 197-213.

- [11] YAO A.B., KOUASSI K.L., KOUAKOU K.E., GOULA B.T.A., GAYÉ A.T. 2019. Évaluation des impacts potentiels des changements climatiques sur les écoulements de la rivière Lobo, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*, 15(4), 330-342.
- [12] GIZ 2020. Profil de risque climatique : Côte d'Ivoire. Rapport technique, 12 p.
- [13] KOUASSI A.M., GNANGOUIN A.Y.J., YAO C.A., N'GUESSAN N.E. 2021. Etude d'impact prospective des débits de crues dans un contexte de changements climatiques en Afrique de l'Ouest: Cas du bassin versant du N'zo (Sassandra, Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 57 (2), 117-131.
- [14] KOUAO J.M., KOUASSI A.M., DEKOULA S.C., ASSEUFI B.D. 2020. Analyse de la régionalisation climatique de la Côte d'Ivoire dans un contexte de climat changeant. *Larhyss Journal*, 41, 233-259
- [15] KOUAO J.M., KOUASSI A.M., KOUDOU A., GBOLA A.C.F. 2021. Apport des indices climatiques à la redéfinition de la régionalisation climatique de la Côte d'Ivoire dans un contexte de climat changeant. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 34 (1), 102-114
- [16] OUEDRAOGO M. 2001. Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante: normes hydrologiques et modélisation régionale. Thèse de l'Université de Montpellier II, France, 257p.
- [17] TAIBI S. 2011. Analyse du régime climatique au Nord de l'Algérie. Mémoire de Magister en agronomie, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie El Harrach Alger, Algérie, 149 p.
- [18] FAYE C., SOW A. A., NDONG J. B. 2015. Étude des sécheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale : caractérisation et cartographie de la sécheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal. *Physio-Géo*, 9, 17-35.
- [19] KOUAO J.M. 2022. Variations climatiques et prévision de la sécheresse par régression linéaire multiple d'indices de précipitations normalisés : Cas de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 215p.
- [20] KOUAKOU K.E., KOUADIO Z.A., KOUASSI F.W., GOULA B.T.A., SAVANÉ I. 2014. Modélisation de la température et de la pluviométrie dans un contexte de changement climatique : cas de l'Afrique de l'Ouest. *Afrique Sciences*, 10(1), 145 - 160
- [21] SARR A.B., CAMARA M. 2017. Evolution Des Indices Pluviométriques Extrêmes Par L'analyse De Modèles Climatiques Régionaux Du Programme CORDEX: Les Projections Climatiques Sur Le Sénégal. *European Scientific Journal*, 13 (17), 206-222.
- [22] KARAMBIRI H., YACOUBA H., IBRAHIM B., FOTIE J. 2021. Impact du changement climatique sur les ressources en eau dans le bassin versant du Nakambé (Burkina Faso). <https://hydrologie.org>.
- [23] HAENSLER A., SAEED F., JACOB D. 2013. Assessing the robustness of projected precipitation changes over central Africa on the basis of a multitude of global and regional climate projections. *Climatic Change*, 121, 349–363, DOI 10.1007/s10584-013-0863-8
- [24] WOILLETZ, M.-N. 2019. Revue de littérature sur le changement climatique au Maroc : observations, projections et impacts. *Papiers de Recherche AFD*, 108, 1-25.