



INDICATEURS DES RISQUES CLIMATIQUES MAJEURS DANS LES COMMUNES DE 2KP (KEROU, KOUANDE, PEHUNCO) AU NORD-OUEST DU BENIN

INDICATORS OF MAJOR CLIMATE RISKS IN THE MUNICIPALITIES OF 2KP (KEROU, KOUANDE, PEHUNCO) IN THE NORTH-WEST OF BENIN

Boni LAYA¹, Jean SODJI², Sabi TASSIGUI SIO¹, Pierre OUASSA¹, Expédit Wilfrid VISSIN¹

¹Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi (République du Bénin)

²Enseignant Chercheur au Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT, FASHS, UAC, Rép. du Bénin)

Abstract : Climate risks are perceived today as one of the most serious threats to the sustainability of the global environment. The identification of climate risks therefore constitutes a major challenge for West African leaders who have a high sensitivity to climate extreme situations. The objective of this research is to identify the indicators of major climate risks in the municipalities of 2KP (Kérou, Kouandé and Péhunco). The methodological approach adopted required the use of climatological data collected over the period from 1950 to 2021. These are the rainfall heights and the daily and monthly temperatures of the synoptic station of Natitingou. Statistical analysis methods and graphs were used for the processing, analysis and interpretation of climatic data (rain, temperature, etc.) over the period 1950 to 2021. The analysis of the data reveals that the 1950-2021 series recorded 9 surplus years, i.e. 19% of the total number of years of this climatological series, against 20 deficit years, which represent 47%. There are 14 average rainfall years, i.e. a proportion of 34%. The modification of the rainfall regime and the observed annual totals already attest to the rainfall variability in the 2KP. The pronounced rainfall deficits and surpluses pose enormous difficulties for agriculture. Indeed, the years 1970, 1974, 1977, 1986, 2003 and 2006 were extremely loss-making while the years 1973, 1981, 1988, 1998, 2003, 2007 and 2009 were very surplus. This state of affairs leads to the conclusion that the frequency of extreme rainfall events has slightly increased over the past two decades.

Key words: Municipalities of 2KP, indicators, climate risks, rainfall deficits, vulnerability

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.14022152>

1. Introduction

Les changements climatiques constituent, aujourd'hui, un grand défi du siècle, qui nécessite une réponse à l'échelle mondiale. Ils sont considérés de nos jours comme l'une des menaces les plus graves posées au développement durable (GIEC, 2007, p. 15). Au cours des dernières décennies, ce phénomène a influé sur les systèmes naturels et humains de tous les continents et tous les océans. Les preuves les plus flagrantes et les mieux étayées des incidences du

changement climatique ont trait aux systèmes naturels (GIEC, 2014, p. 4). Dans beaucoup de régions, la modification du régime des précipitations ou de la fonte des neiges et des glaces perturbe les systèmes hydrologiques et influe sur la qualité et la quantité des ressources hydriques (degré de confiance moyen) (GIEC, 2014, p. 4).

Il s'avère ainsi que les effets attendus du changement climatique ont tous vocation à fragiliser les moyens de subsistance d'une population déjà longuement éprouvée par une multitude de facteurs naturels et anthropiques. La dégradation des ressources naturelles paraît plus menaçante pour la sécurité alimentaire des pays africains. Dans l'ensemble, tous ces pays sont fréquemment exposés à la famine et aux crises alimentaires, déclenchées par la moindre sécheresse, inondation, invasion de ravageurs, récession économique ou situation de conflit (I. Sylla *et al.*, 2013, p. 8).

Dans ce contexte continental, comme partout dans la région ouest africaine, la baisse de la pluviométrie constatée au Bénin, a entraîné depuis les années 70 et 80 une modification de la végétation, accélérée par la pression anthropique (J. B. K. Vodounou et Y. Onibon Doubogan 2016, p.33). La pression sur les ressources en eau douce va encore augmenter avec la forte croissance démographique, la nécessaire croissance de la production agro-alimentaire, le développement industriel et l'amélioration des conditions de vie. En plus des effets pervers de la forte anthropisation sur les écosystèmes naturels, les événements climatiques constituent au Bénin, l'une des principales calamités naturelles liées aux événements climatiques extrêmes (E. Amoussou, 2010, p. 282-283). Les études menées dans le secteur d'étude par I. F. Ouorou Barrè (2014, p. 78) et D. M. Djossou (2020, p. 93) indiquent que le département de l'Atacora a subi la variabilité climatique et a été affecté à un certain degré par une variation des régimes pluviométriques au cours des dernières décennies. Par ailleurs, l'analyse de la variabilité hydroclimatique dans le bassin de la Pendjari a révélé une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements hydroclimatiques extrêmes avec notamment une multiplication des faits hydroclimatiques dont les plus importants dans le bassin béninois de la Pendjari à Porga sont l'inondation et la sécheresse (P. Ouassa, 2022, p. 217). Ainsi, la mise en évidence des indicateurs des risques climatiques dans les Communes de 2KP, pour réduire la vulnérabilité des populations aux risques climatiques s'avère nécessaire. L'objectif de cette recherche est d'identifier les indicateurs des risques climatiques majeurs dans les Communes de 2KP (Kérou, Kouandé et Péhunco).

1.1. Secteur d'étude

Située au Nord-ouest du Bénin, les communes de Kouandé, Kérou et Péhunco s'étendent entre les parallèles 10° 29' et 11° 24' de latitude nord et entre le méridien 1° 22' et 2° 42' de longitude est (figure 1).

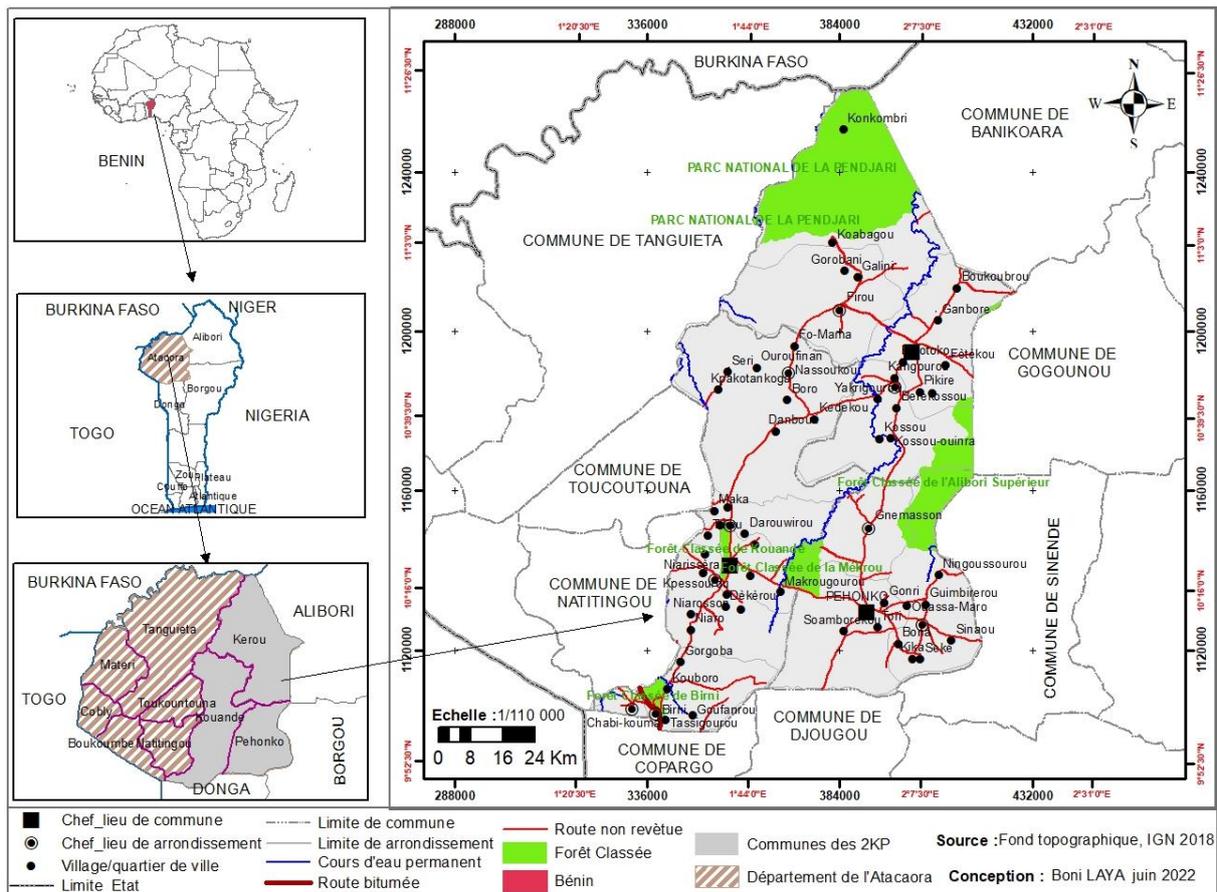


Figure 1 : Situations géographique des Communes de Kouandé, Kérou et Péhunco (2KP)

La figure 1 montre que la zone de recherche (2kp) est limitée au nord par la République du Burkina Faso, au nord-ouest par la Commune de Tanguieta, au sud-est par la Commune de Natitingou, au sud par la Commune de Djourou et Boukoubé à l'est par la Commune de Bankoara et Sinendé. Elle est composée trois commune (Kouandé, Kérou et Péhunco) et treize (13) arrondissements. Elle couvre une superficie de 9415 km² dont 20 % de forêt et 64 % de terre cultivable et abrite 289 954 habitants (INSAE, 2013, p.10).

2. Données et méthodes

2.1. Données utilisées

Plusieurs données ont été utilisées dans le cadre de cette recherche. Il s'agit : des séries climatologiques relatives aux chroniques de pluie (journalière, mensuelle et annuelle), température moyenne, maximale et minimale sur la période 1950 à 2021 issues de la station synoptique de Natitingou ; les données démographiques et les données socioéconomiques issues des investigations auprès des populations. Chaque type de données et informations collectées ont été traité suivant des méthodes spécifiques.

2.2. Méthodes utilisées

La taille de l'échantillon pour les enquêtes de terrain a été déterminée de manière raisonnée en se basant sur les critères. En effet, le choix des villages parcourus est essentiellement fondé sur les potentialités agricoles, la taille des agro-éleveurs, éleveurs ou éleveurs transhumants et la situation géographique de chaque village. Au total 280 acteurs ont été enquêtés dans 26 villages dans le cadre cette étude. Les méthodes utilisées dans le cadre de ce travail sont

essentiellement statistiques. Elles procèdent notamment de la reconstitution des séries statistiques et de l'analyse des données climatiques.

2.2.1. Comblement des données climatologiques manquantes

L'analyse des séries d'observations pluviométriques révèle que les stations disponibles présentent des lacunes à l'échelle mensuelle (d'un à plusieurs mois). Ces lacunes sont dues soit à l'absence de l'observation soit à une défaillance du pluviomètre. Le comblement de ces données manquantes a été établi à l'aide de la méthode de corrélation linéaire. C'est un outil statistique qui permet d'étudier la force d'association entre deux variables linéaires (A. Akognobè, 2014, p. 32), il définit une loi. La droite de régression représente la tendance moyenne de corrélation entre x et y . Le but est de linéariser la représentation du phénomène sous la forme : $y = ax + b$.

La corrélation est établie soit entre les données de différentes années sur la même station, soit entre les données de la station d'étude et celles d'une station voisine. Cette corrélation est retenue si et seulement si le coefficient de corrélation est supérieur ou égal à 75 %. Cependant, les années ne disposant d'aucune donnée n'ont pu faire l'objet de comblement afin de ne pas biaiser les résultats.

La méthode de comblement par prévision permet de calculer ou de prévoir une valeur capitalisée à partir de valeurs existantes. La valeur prévue est une valeur x pour une valeur y donnée.

Les valeurs connues sont des valeurs x et y existantes et, la nouvelle valeur prévue est calculée par la méthode de régression linéaire. L'équation de la fonction prévision est $a + bx$, où $a = \bar{y} - b\bar{x}$ et $b = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sum(x-\bar{x})^2}$ avec x et y les moyennes d'échantillon moyenne (\bar{x} connus) et moyenne (\bar{y} connus), x représente l'observation dont la valeur va être prévue ; \bar{y} connus représente la matrice ou la plage de données dépendantes ; \bar{x} connus représente la matrice ou la plage de données indépendantes.

2.2.2. Moyennes arithmétiques des données climatiques

La moyenne arithmétique est l'outil statistique le plus fréquemment utilisé dans les études de climatologie (C. Houndéno, 1999, p. 93). Dans cette étude, elle a été calculée sur une série de 51 ans, et elle demeure représentative du climat sur une longue période. Les totaux pluviométriques permettent d'étudier les quantités de pluies et leurs rythmes. Ils sont calculés par la méthode du simple cumul : $n_1 + n_2 + \dots + n_{12}$. Avec n_i = valeurs journalières et mensuelles. Paramètre de tendance centrale, la moyenne arithmétique X est utilisée pour étudier les régimes pluviométriques sur une période de 60 ans.

2.2.3. Méthode d'analyse des ruptures de stationnarité et de comparaison des moyennes à partir du test de Pettitt

Pour déterminer les années de rupture et faire la comparaison des moyennes pluviométriques, le test de A. Pettitt (1979) a été appliqué. Le test de détection de rupture de Pettitt (D. H. Koumassi, 2014, p. 99) dont l'hypothèse nulle consiste en l'instabilité dans l'égalité des moyennes de deux sous-séries issues de la série initiale (A. Akognobè, 2014, p. 40), permet d'indiquer les grandes périodes d'évolution de la pluviométrie, du nombre de jours de pluie, des températures et des fortes pluies. La rupture peut se définir comme le point à partir duquel un changement brusque ou saut intervient dans une série chronologique (A. Pettitt, 1979). Chaque sous-échantillon obtenu est également soumis à ce test ; subdivisant ainsi les séries en périodes globalement homogènes et présentant des moyennes significativement différentes les unes des autres.

Test de Pettitt : Le test de Pettitt, non paramétrique est dérivé du test de MannWhitney. L'absence de rupture dans la série X_i de taille N constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N , les séries chronologiques (X_i) $i=1$ à t et $t+1$ à N appartiennent à la même population (B. Doukpolo, 2014, p.51). Ce test repose sur le calcul de la variable $U_{t,N}$ définie par : $U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$ où $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$

Avec $\text{sgn}(Z) = 1$ si $(Z) > 0$; 0 si $Z=0$ et -1 si $Z < 0$. Soit K_N la variable définie par le maximum en valeur absolue de $U_{t,N}$ pour t variant de 1 à $N-1$. Si K désigne la valeur de K_N prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur K est donnée approximativement par : $\text{Prob}(K_N > K) \approx 2 \exp(-6K^2 / N^3 + N^2)$. Pour un risque α de première espèce donnée, si $\text{Prob}(K_N > K)$ est inférieure à α .

Test de Buishand et Ellipse de Bois : Le test de Buishand est un test paramétrique dont la statistique est définie à partir du maximum de la somme cumulée des écarts à la moyenne ou à la médiane. C'est un test permettant la détection d'une rupture temporelle dans une série de données. L'hypothèse alternative de ce test étant un changement brutal de la moyenne, la fonction puissance est estimée en générant des séries à partir de variables normales indépendantes de même variance mais présentant une rupture de la moyenne à partir d'un individu choisi aléatoirement (B. Doukpolo, 2014, p. 51).

Le test paramétrique t est utilisé pour comparer deux moyennes X_1 et X_2 des deux sous séries d'effectifs respectifs n_1 et n_2 obtenues de part et d'autre du point de rupture. C'est un test paramétrique de Student qui permet d'évaluer la significativité du coefficient de régression. Cette méthode permet de déterminer la hausse ou la baisse en pourcentage des précipitations et les écarts de températures. La statistique utilisée dans ce test est :

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\left(S^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right)}}$$

avec \bar{X}_1 = Moyenne avant l'année de rupture ; \bar{X}_2 = Moyenne après la rupture ;
 n_1 = Nombre d'éléments de la première série ; n_2 = Nombre d'éléments de la 2^{ème} série.
 S^2 désigne la variance pondérée du groupe entier des deux échantillons soit :

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (X_{1,i} - \bar{X}_1)^2 + \sum_{i=1}^{n_2} (X_{2,i} - \bar{X}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Pour cerner l'évolution interannuelle de la pluviométrie, des températures (maximales et minimales), des fortes pluies par rapport à la moyenne de la période considérée, la méthode de détection de rupture de la stationnarité des séries chronologiques a été utilisée dans cette étude : le test de Pettitt consiste à découper la série principale de N éléments en deux sous séries. A chaque instant, t est compris entre 1 et $N-1$. La série principale présente une rupture à l'instant t si les deux sous-séries ont des distributions différentes. Le test de Pettitt a été choisi pour son utilisation dans de nombreuses études de détection de changement de la stationnarité en Afrique de l'Ouest (A. Akognobè, 2014, p. 42 et H. Koumassi, 2014, p. 100), pour sa puissance surtout en ce qui concerne le test de rupture (M. Lanokou, 2016, p. 55) et, pour sa robustesse.

Détermination des années excédentaires et des années déficitaires

L'indice standardisé de précipitations « SPI » (Standardised Precipitation Index) peut caractériser les déficits et excédents de précipitation pour une période donnée. Il se fonde d'une part, sur la définition d'un seuil pour se prononcer sur l'état ou non de sécheresse en déclarant la période, objet de l'étude, sèche ou pas et présuppose d'autre part, l'identification de l'année normale ou moyenne. A l'issue de cette opération, il est possible de déterminer le nombre d'années par gamme SPI et la signification correspondante en terme d'ampleur du phénomène climatique (tableau I) à partir de l'équation suivante : $\text{SPI} = (p_i - p_m) / \sigma$

Pi est la Précipitation de l'année i, Pm la Précipitation moyenne et σ la Déviation standard ou écart type.

Tableau I : Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur du SPI

Classe SPI	Interprétation
SPI>2	Humidité Extrême
1<SPI<2	Humidité Forte
0<SPI<1	Humidité modérée
-1<SPI<0	Sécheresse Modérée
-2<SPI<-1	Sécheresse Forte
SPI<-2	Sécheresse Extrême

Les avantages de cet indice résident dans le fait qu'il est simple (utilise seulement les précipitations) et qu'il peut être calculé pour différentes échelles de temps, utilisé dans l'alerte précoce à la sécheresse et aider dans l'évaluation de sa sévérité.

❖ Simulation de l'évolution future des indicateurs climatiques

Les données concernent les données de pluies, de températures (maximales, minimales et moyennes) et d'humidité relative aux pas de temps journalier. Elles couvrent la période 1951-2100 et, sont simulées selon deux aspects :

- un aspect historique (ou période historique) où les simulations s'étendent de 1951 à 2005, sans prise en compte des scénarii de RCPs. Cette période sert de référence pour l'évaluation des sorties des modèles climatiques ;
- un aspect futur où les simulations sont effectuées suivant les deux RCPs 4.5 et 8.5. Les données de la période future s'étendent de 2006 à 2100 et, sont donc utilisées pour l'analyse d'impacts des évolutions futures du climat (J. Kodja, 2018, p. 223).

Dans le cadre de cette recherche, les données couvrent la période 1951- 2050 et, sont simulées selon deux aspects :

- un aspect historique (ou période historique) où les simulations s'étendent de 1950 à 2021, sans prise en compte des scénarii de RCPs. Cette période sert de période de référence pour l'évaluation des sorties des modèles climatiques ;
- un aspect futur où les simulations sont effectuées suivant les deux RCPs 4.5 et 8.5. Ces scénarii particuliers correspondent aux scénarii B1 et A1B des anciens profils d'évolution des GES (SRES) (S. Ardoin-Bardin, 2004, p. 14 et D. J. Kodja, 2018, p.206). Ils représentent respectivement des schémas plus optimistes et peu optimistes (pessimistes) de l'évolution du climat pour le 21ème siècle (L. Herbst et H. Rautenbach, 2015, p. 20).

Les données de la période future s'étendent de 2019 à 2050 et, sont donc utilisées pour l'analyse d'impacts des évolutions futures du climat.

3. Résultats

3.1. Analyse de la variabilité temporelle et spatiale des séries climatiques

Dans les communes de 2KP, la pluviométrie et la température sont marquées par des fluctuations interannuelles très remarquables avec une succession de périodes sèches et de périodes humides pour les précipitations. L'indice pluviométrique mensuel a été choisi pour étudier l'influence des fluctuations pluviométriques sur la dynamique de la biomasse fourragère. La pluviométrie moyenne mensuelle de la série a été comparée à la pluviométrie mensuelle sur la période 1950-2021.

3.1.1. Variabilité interannuelle des précipitations sur la période 1950-2021

Sur la période 1950-2021, la pluviométrie est marquée par une importante fluctuation interannuelle dans les communes de 2KP. La figure 2 présente respectivement le bilan pluviométrique annuel du secteur de recherche (1950 à 2021).

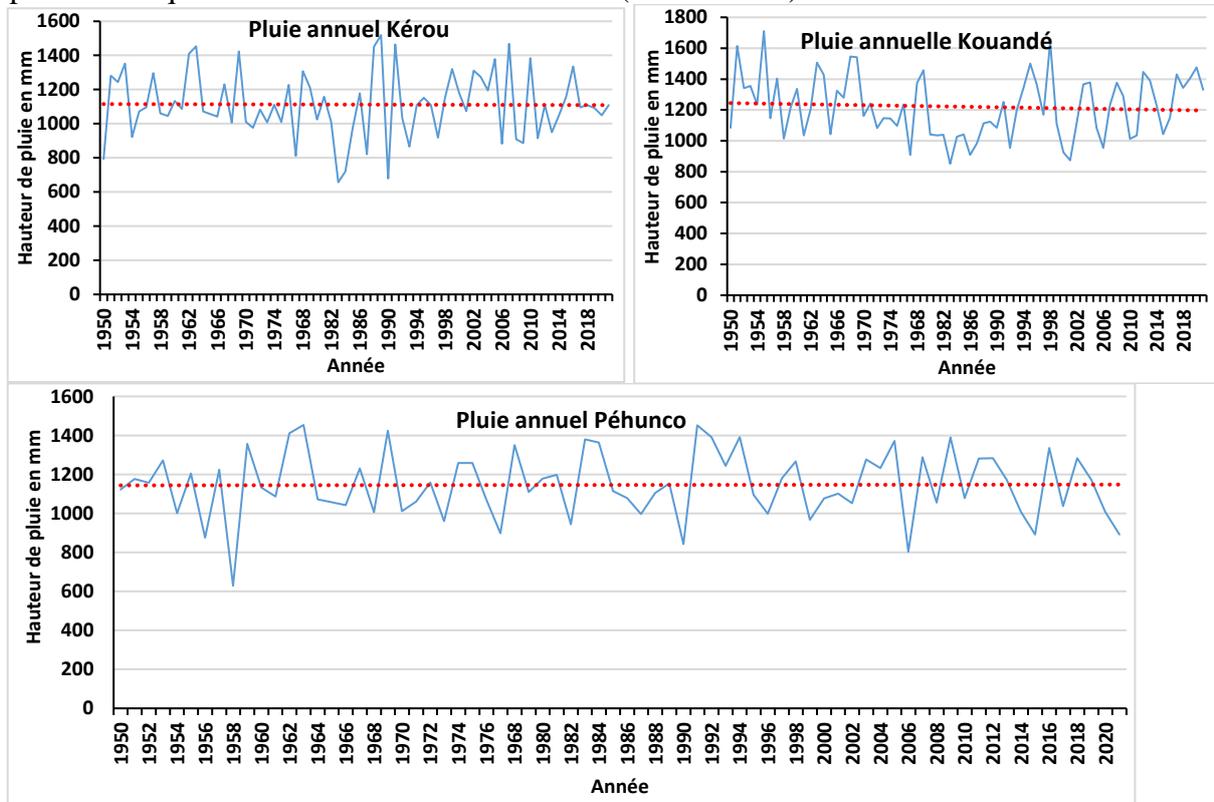
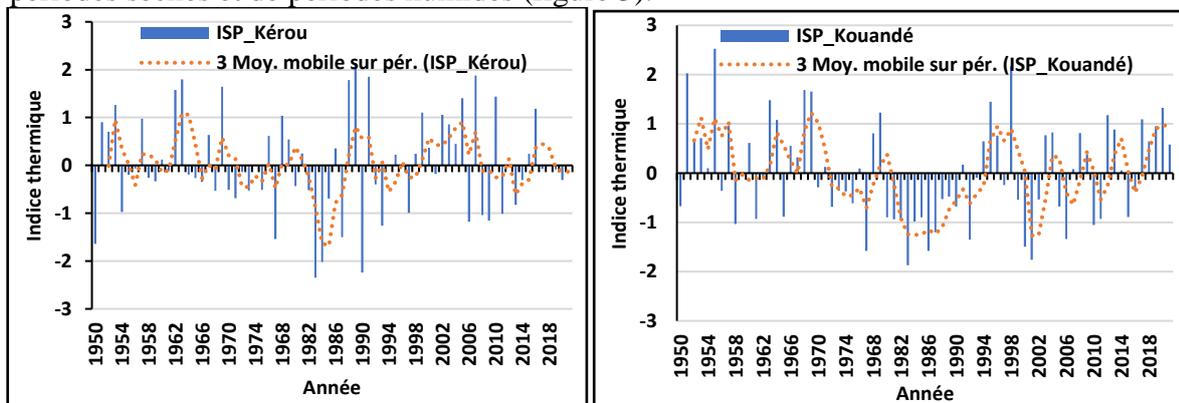


Figure 3: Variabilité interannuelle des précipitations dans les 2KP (1950 à 2021)

Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2022

L'examen de la figure 2 révèle que dans le secteur de Kérou, Kouandé et Péhunco à l'est du département de l'Atacora (1950-2021), il est constaté que malgré un retour à de meilleures conditions de précipitations à partir des années 1990, les précipitations observées semblent conserver une tendance à la baisse sur la période de 1950 à 2021. La pluviométrie est caractérisée par des fluctuations interannuelles très remarquables avec une succession de périodes sèches et de périodes humides (figure 3).



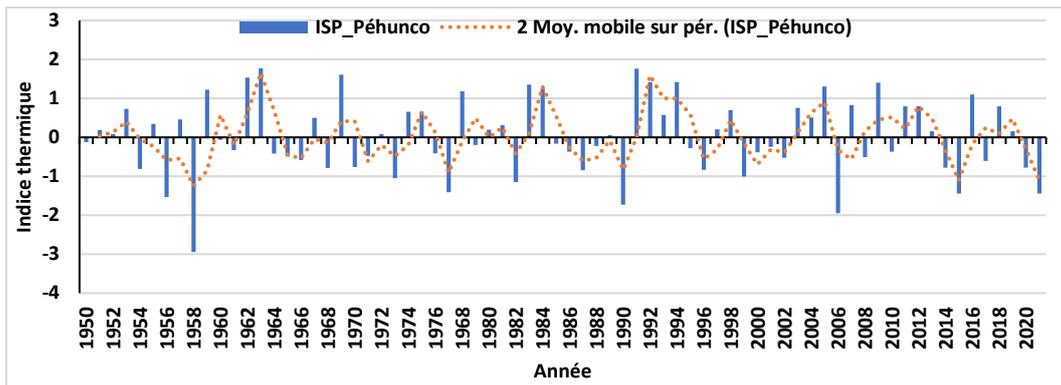


Figure 3 : Variabilité interannuelle de précipitations annuelles dans les 2KP (1950 à 2021)

Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2022

L'examen de la figure 3 révèle que dans le secteur de Kérou, Kouandé et Péhunco, la pluviométrie (1950-2021) est caractérisée par des fluctuations interannuelles très remarquables avec une succession de périodes sèches et de périodes humides. A Kouandé, la moyenne annuelle est de 1216,89 mm sur la série (1950-2021) et l'écart-type de $\pm 195,35$ mm. La moyenne annuelle à la station de Péhunco est de 1143,64 mm avec un écart-type de $\pm 174,66$ mm. À la station de Kérou elle est de 1108,71 mm avec un écart-type de $\pm 192,16$ mm. La fluctuation annuelle de la pluviométrie au niveau des trois stations se traduit dans le coefficient de variation qui est de 12,47 à Kouandé, de 14,03 à Péhunco et de 15,11 à Kérou. Malgré un retour à de meilleures conditions de précipitations à partir des années 1990, les précipitations observées semblent conserver une tendance à la baisse sur la période de 1950 à 2021.

L'analyse statistique par le test de corrélation sur le rang de la chronique des précipitations met en évidence une tendance à la baisse de la pluviométrie au seuil de confiance de 95%. À la station de Kouandé, le test de corrélation sur le rang révèle au seuil de 95 % que la série chronologique 1950-2021 n'est pas une série aléatoire. Par contre, niveau des stations de Kérou et de Péhunco, le même test ne met en évidence aucune tendance. La figure 4 présente les ruptures de stationnarité par test de Pettit dans les séries pluviométriques de Kouandé, Kérou et Péhunco (1950 à 2021).

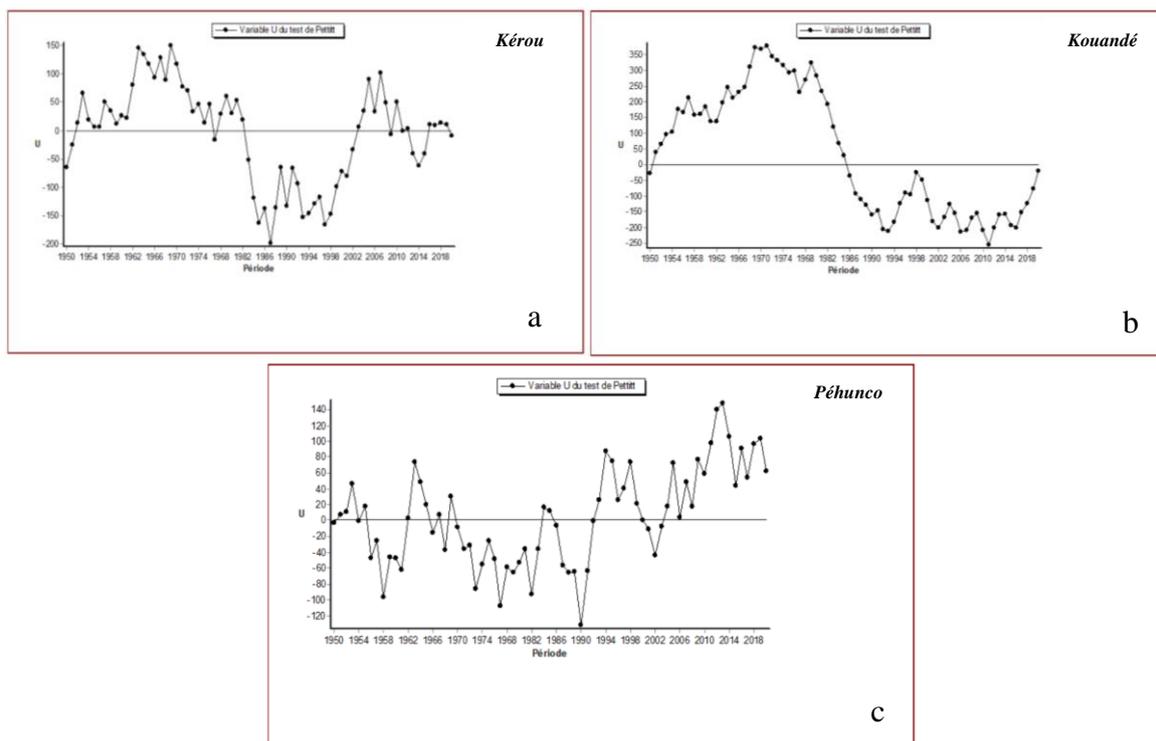


Figure 4: Evolution de la variable U du test de Pettitt dans les 2KP
Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2022

Au seuil de confiance de 95 % le test de Pettitt appliqué aux séries des trois stations met en évidence une rupture de stationnarité en 1986 à Kérou, 1990 à Péhunco puis 1982 et 1993 à Kouandé. Le test de Pettitt a permis de déterminer la date de la rupture à Kouandé (figure 23). Il apparaît donc deux grandes sous périodes notamment pluviométriquement humide de 1950 à 1970 et de récession hautes pluviométriques de 1972 à 2021. La figure 5 présente la densité de probabilité d'occurrence de la rupture sur les séries chronologiques.

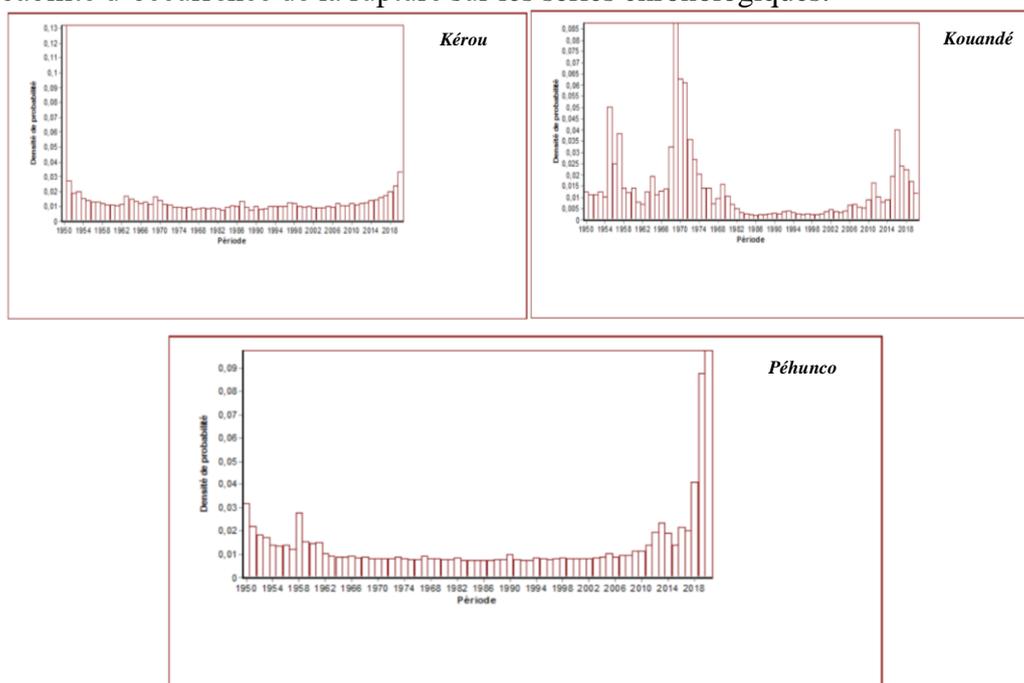


Figure 5: Densité de probabilité à postériori de la position d'un changement dans les 2KP

Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2022

La méthode bayésienne de Lee et Heghinian a permis d'observer une modification dans l'évolution de la pluviométrie à partir de 1970. La densité de probabilité "a posteriori" de la position d'un changement dans l'évolution de la pluviométrie annuelle de Kouandé est de 0,6115 en 1966 et 0,6823 en 1971. Elle est respectivement de 0,7141 en 1971 à Kérou et 0,6548 en 1990 à Péhunco. La procédure bayésienne de Lee et Heghinian donne les probabilités qu'un changement se produise à Kouandé 1966 et en 1970 et à Péhunco en 2010. Les valeurs de ces probabilités sont respectivement à plus de 0,22 à Kouandé et 0,11 à Péhunco. Les années 1993, 1994, 1995 et 1996 à Kouandé puis 1981, 1984, 1985 et 1987 à Péhunco présentent aussi des probabilités élevées d'apparition de rupture. A Kouandé, les segmentations ont été obtenues au niveau de signification 0,05 du test de Scheffé comme l'indique le tableau II.

Tableau II : Niveau de signification du test de Scheffé 1%.

Début	Fin	Moyenne	Ecart type
1950	1979	1273,980	194,319
1980	1992	1034,700	101,081
1993	2021	1248,634	191,905

Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2022

En ce qui concerne la segmentation de Hubert (1989), au niveau de signification du test de Scheffé 1 %, présente trois sous séries (1950-1979, 1980-1992 et 1993-2021) avec une légère reprise après les années 1980. Les totaux pluviométriques moyens respectifs de ces sous-périodes sont de 1273,980, 1034,700 et 1248,634 mm avec des écartypes respectifs de $\pm 194,319$, $\pm 101,081$ et $\pm 191,906$ pour les trois sous-périodes. Ainsi, à partir des moyennes de chaque sous-période dessinée, il faudrait rétablir ou tirer une première conclusion selon laquelle la période précédant les années 1950, 1960, 1990 et 2000 (1950-1970 et 1990-2020) paraît plus arrosée que celle allant de 1970 à 1989.

3.1.2. Variabilité intra-saisonnière des précipitations

A partir des moyennes de chaque sous-période dessinée, il faudrait rétablir ou tirer une première conclusion selon laquelle la période précédant les années 1950 et 1960 (1950-1970) paraît plus arrosée que celle allant de 1970 à 2021 comme le témoigne l'évolution comparée des régimes moyens mensuels avant et après la rupture sur l'ensemble de la région des 2KP (figure 6).

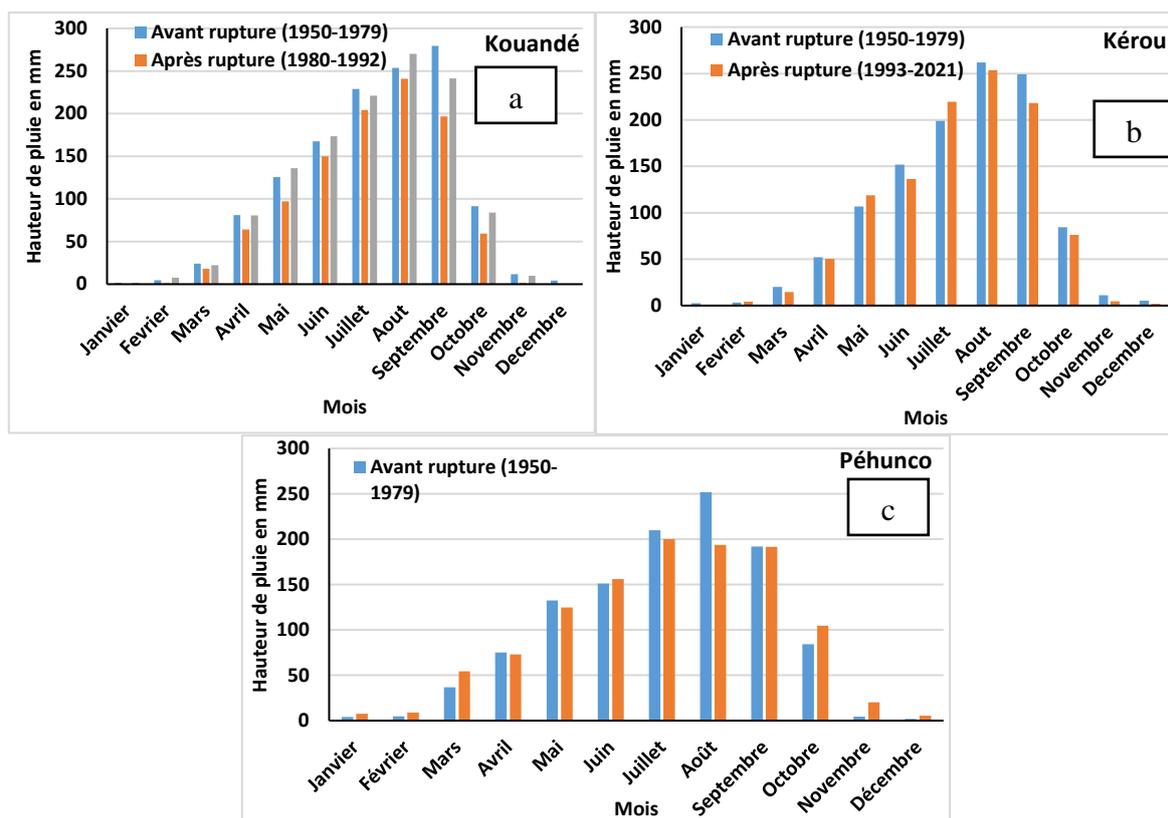


Figure 6 : Variation moyenne mensuelle interannuelle des précipitations avant et après rupture
Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2022

L'analyse de la figure 6 montre que la distribution des précipitations mensuelles avant et après la rupture reste similaire et ceci au niveau de toutes les stations retenues (Kouandé, Kérou et Péhunco). La différence notable réside dans le fait que les quantités d'eau précipitées après la rupture sont relativement en baisse après la rupture. De l'examen de la figure 6, il ressort que l'amplitude pluviométrique la plus élevée est enregistrée en août. Les mois de juin et juillet ont enregistré des amplitudes négatives entre les périodes 1950-1970 et 1971-2021 traduisant une tendance à la hausse du démarrage tardif des saisons des pluies. L'amplitude positive enregistrée en mai montre que les événements pluvieux sont de plus en plus enregistrés en mai traduisant l'ampleur croissant du faux départ de la saison des pluies.

Néanmoins, il faut constater qu'au mois d'août la pluviométrie après rupture est supérieure à celle d'avant rupture contrairement aux autres mois. L'observation générale montre que les mois les plus pluvieux (juin, juillet) sont les plus affectés par la baisse de la pluviométrie. Les mois secs sont plus ou moins affectés par cette tendance à la baisse de la pluviométrie.

Cette fluctuation pluviométrique annuelle impacte moins l'élevage pastoral bovin contrairement aux fluctuations mensuelles de début et fin des saisons des pluies qui entravent la disponibilité temporelle de ressources pastorales.

3.1.2.1. Variabilité de début et fin des saisons des pluies

Une analyse du comportement des saisons pluvieuses selon la variabilité de leur début et de leur fin a permis de mieux apprécier la variabilité saisonnière des pluies.

En effet, les communes des 2KP appartiennent au domaine climatique soudanien caractérisé par deux saisons contrastées (une saison sèche de mi-octobre à avril, une saison pluvieuse de mai à mi-octobre). L'analyse des dates de début et de fin de saison des pluies dans le secteur de recherche a montré que l'une de ces saisons, voire les deux, ont une durée plus courte qu'auparavant. Le tableau III présente les moyennes comparées des dates du début, de fin et de durée de la saison des pluies au cours des sous-périodes P1 (1950-1970) et P2 (1971-2021).

Tableau III: Moyennes comparées des dates du début, de fin et de durée de la saison des pluies au cours des sous-périodes P1 (1950-1970) et P2 (1971-2021)

stations	DEBUT			FIN			DUREE		
	Moy P1±Sd	MoyP2±Sd	P	Moy P1±Sd	Moy P2±Sd	P	MoyP1 ±Sd	Moy P2±Sd	P
Kouandé	3-mai±4	18- mai±11	0,03*	25-oct±9	8-oct±6	0,3	198±20	186±22	0,66
Péhunco	05-mai±6	17- mai±12	0,04*	21-oct±10	07-oct±9	0,6	189±23	171±9	0,83
Kérou	08-mai±5	16- mai±11	0,02*	15-oct±11	09-oct±8	0,4	199±11	178±20	0,02*

* *significatif au seuil de 5% Moy : Moyenne Sd : Standard de déviation p : valeur p du test t de Student*

Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2022

L'examen du tableau III révèle un démarrage tardif significatif au seuil de 5 % des saisons à la station des communes de 2KP. Ainsi, une fin précoce de la saison des pluies a été également observée à Kouandé (8-oct±6, significatif au seuil de 5 %.), à Péhunco (07-oct±9) et à Kérou (09-oct±8). La pleine saison des pluies est donc réduite et s'arrête de façon brutale au cours de la sous période 1970-2021, période déficitaire par rapport à la précédente (1950-1970). La période moyenne de la saison des pluies a diminué dans l'ensemble les communes de 2KP. Dans ces communes, les séquences sèches au cours des mois de développement des cultures, dépassent souvent une semaine par mois. Cependant, l'occurrence de ces poches de sécheresses en fin de mois et en début du mois suivant, pourrait être dommageable pour les cultures si elles coïncident avec la phase de floraison. Il ressort que le démarrage des saisons des pluies à Kouandé, à Péhunco et à Kérou a connu une évolution contrastée sur la période de l'étude. Le démarrage des saisons des pluies est légèrement plus stable. Le coefficient de variation du démarrage sur la période est 11,11 % à Kouandé, 13,07 % à Péhunco et 12,36 % à Kérou. Le tableau IV donne les caractéristiques des stations utilisées durant les périodes humides (P1 :1950-1970) et sèches (P2 :1970-2021).

Tableau IV: Caractéristiques des stations retenues durant les périodes humides (P1 :1950-1970) et sèches (P2 :1970-2021)

Station	Hauteur de pluie (mm)			Nombre de jours de pluie (jour)		
	MoyP1±Sd	MoyP2±Sd	P de t	MoyP1±Sd	Moy P2±Sd	P de t
Kouandé	1083±157	1071±139	0,5	87±10	78±14	0,01*
Péhunco	1055±207	1027±210	0,8	95±8	82±18	0,02*
Kérou	1065±271	1043±179	0,2*	86±11	81±11	0,5

* *significatif au seuil de 5% Moy : Moyenne Sd : Standard de déviation p : valeur p du test t de Student*

Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2022

L'examen du tableau IV a montré qu'à Kouandé et à Péhunco, le test de Student a révélé de différence significative du nombre de jours de pluie entre les deux sous-périodes au seuil de 5 %. À la différence des stations de Kérou au nord et celles de Kouandé et Péhunco au sud, l'analyse des hauteurs de pluie montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les hauteurs de pluie des sous-périodes P1 (1950-1970) et P2 (1970-2021).

La fin des saisons des pluies en moyenne sur la période 1950-2021, est soit précoce, soit tardive sur toutes les fréquences. Les séquences pluviométriques sèches, le démarrage tardif des saisons, la fin précoce et la longueur des saisons des pluies constituent les facteurs d'instabilité intra-saisonnière. Au niveau des trois stations, en moyenne, les saisons des pluies s'arrêtent le 3 octobre et 23 octobre. Les écart-types sont respectivement ±14 jours à Kouandé, ±18 jours à Péhunco et ±11 jours à Kérou avec un coefficient de variation de 1,96 % à Kouandé, 2,33 % à

Péhunco et 2,29 % à Kérou. Ces coefficients de variation traduisent la faible variabilité de la date des saisons de pluie dans l'ensemble du secteur de recherche. La figure 7 présente les variations saisonnières des jours de pluie au cours de la période 1950-2021.

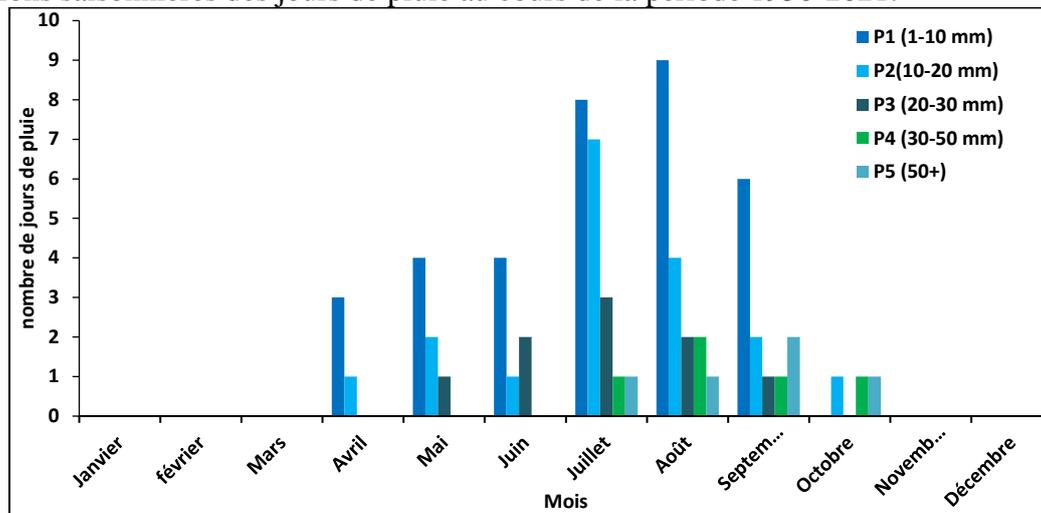


Figure 7 : Variations saisonnières des jours de pluie au cours de la période 1950-2021

Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2022

De l'analyse de la figure 7, il ressort que le début de la saison des pluies est dominé par les fractions de pluie comprises entre 1 et 10 mm (P1). Les jours de pluies de hauteurs comprises d'une part, entre 1 et 10 mm (P1) et d'autre part, entre 10 et 20 mm (P2), sont plus nombreux pour toutes les stations pendant toute l'année. Les jours de pluies de hauteurs comprises entre 30 et 50 mm (P3) dominent ceux de hauteurs supérieures à 50 mm (P4) et (P5). Les pluies de la classe P1 ne représentent pas l'essentiel des jours de pluie, mais elles demeurent majoritaires. Vu que les communes de Kouandé, de Péhunco et de Kérou sont situées dans une zone soudanise, la variabilité pluviométrique constatée pourrait avoir des conséquences importantes sur la disponibilité spatiotemporelle des herbacés, arbres fourragers etc.

3.2. Caractéristique thermométrique dans les communes de Kouandé, Péhunco et Kérou

La variation de la température influençant la qualité des ressources fourragères et la quantité de l'eau d'abreuvement surtout au début et à la fin des saisons des pluies, la section qui suit, présente la variabilité thermométrique.

La caractérisation thermométrique concerne les tendances des températures de Kouandé, de Péhunco et de Kérou, leur variabilité interannuelle sur la période et la détection des dates de rupture de stationnarité sur la série 1950-2021.

3.2.1. Evolution interannuelle de la température

Les températures minimales et maximales à Kouandé, Péhunco et Kérou sont présentées sur la figure 8.

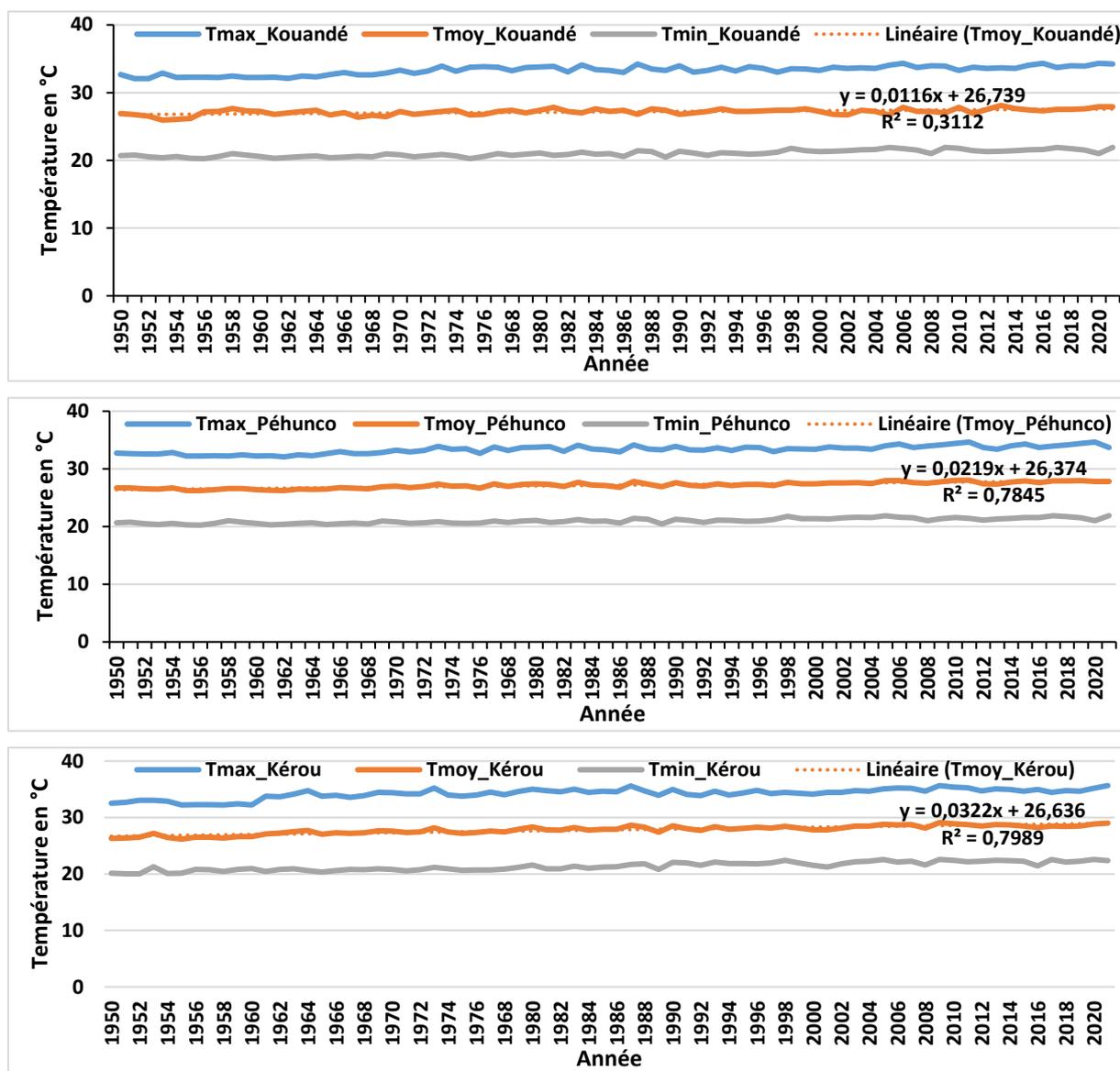


Figure 8: Tendence des températures maximales et minimales à Kouandé, Péhunco et Kérou

Source : Traitement de données Météo-Bénin, 2022

L'observation de la figure 8 montre que les températures contrairement aux précipitations, ont accru durant la période 1950-2021. L'évolution interannuelle des températures moyennes est donc marquée par une tendance à la hausse de ces températures dans les communes de Kouandé, Péhunco et Kérou de 1950 à 2021. Pour les maxima, elles sont passées globalement de 32,05 °C en 1950 à 34,20 °C en 2021 soit une augmentation de 2,15 °C à la station de Kouandé, 1,83 °C à Péhunco et 1,77 °C, à Kérou. Dans l'ensemble, les températures moyennes annuelles varient entre 26,03 et 28,38 °C et les minimales entre 20,07 et 22,38 °C soit une hausse de 2,35 et 2,31°C entre 1950 et 2021.

3.3. Bilan climatique dans les 2KP

Le bilan climatique s'effectue avec les précipitations annuelles et l'ETP. L'évapotranspiration potentielle correspond à la demande atmosphérique car sa formule prend en compte la vitesse du vent et l'humidité de l'air du milieu. Selon Franquin (1969), le bilan climatique permet de diviser l'année en des périodes bioclimatiques successives correspondant à des périodes de

développement végétatifs que sont : la période sèche, la période pré-humide, la période humide et la période post-humide (figure 9).

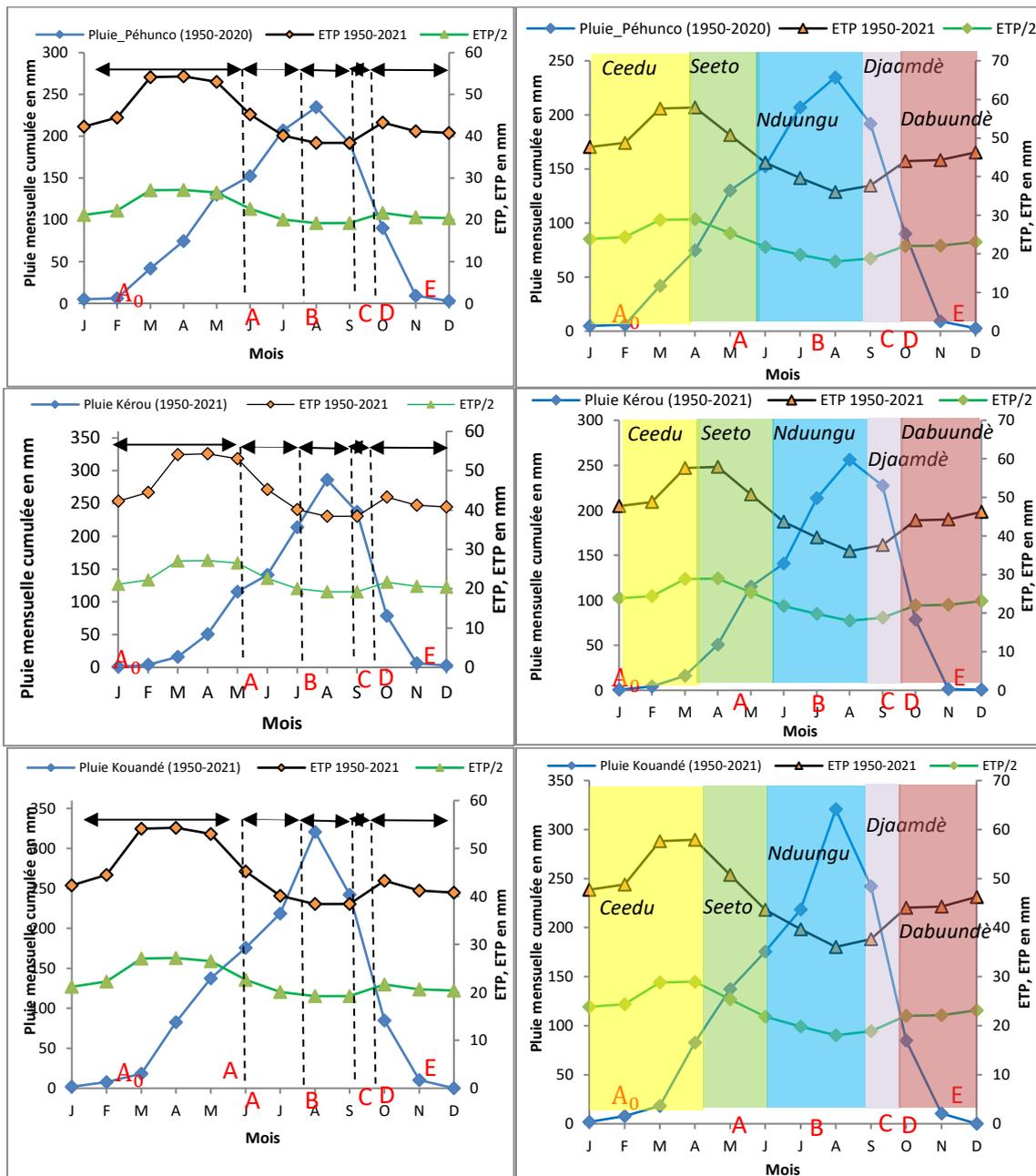


Figure 9: Bilan climatique réalisé à partir des données de la station synoptique de Natitingou (1950-2021)

Source : Météo Bénin, 2022

L'observation de la figure 9 montre qu'elle intègre seulement deux variables (pluie mensuelle et ETP mensuel) et répartit l'année en quatre sous périodes à savoir : la période sèche, la période humide, la période pré-humide et la période post-humide.

✚ **La période sèche** est la période au cours de laquelle la courbe des précipitations est en dessous de la moitié de l'ETP. Elle s'étend de mi-octobre à mi-avril. Au cours de cette période, les points d'eau tarissent mais les principaux cours d'eau comme la Mékrou et l'Alibori conservent de l'eau dans leur lit mineur. Cette période est marquée par la rareté des ressources pastorales, les cours d'eau temporaires tarissent, les feux de végétation tardifs dévastent les arbustes. Quant aux herbacées, elles existent sous forme de pailles si elles ne sont pas

consommées par les feux de végétation. Les premières pluies commencent vers la fin de cette période (mi-avril) et s'étalent sur environ un mois (mi-avril à mi-mai). Durant cette période, les pluies sont peu abondantes, les eaux vite évaporées et les réserves hydriques du sol demeurent faibles.

✚ **La saison humide** se décompose en trois périodes :

- la **période pré-humide** (mi-mai à mi-juillet) où $P < ETP$. C'est une période de réhumectation du sol accompagnée d'une reprise de la végétation et le déficit hydrique du sol commence à diminuer. C'est la période d'intense préparation des champs et semis des différentes cultures tels que le coton, maïs/sorgho (*Sorghum bicolor*), etc. Par ailleurs, il est à noter que de mai à mi-juin (45 jours environ), les premières repousses d'herbes et d'arbustes (ressources appréciées) apparaissent et les fonds de vallées commencent par être rechargés en eau. Les troupeaux sont soulagés dans la mesure où les conditions de pâturage et d'abreuvement s'améliorent progressivement. Les agroéleveurs procèdent aux travaux préparatoires (préparation des terres) de production végétale ;

- la **période humide** (mi-juillet à mi-septembre) où $P > ETP$. C'est une période de saturation en eau du sol caractérisée par le plein épanouissement du couvert végétal. Elle est la plus pluvieuse et le pic des précipitations est atteint au mois d'août. Au cours de cette période, les cours d'eau connaissent l'augmentation maximale de leurs niveaux. C'est la période de vache à lait pour les producteurs. Les denrées d'origine laitière sont disponibles en quantité et plus ou moins accessibles aux populations.

- la **période post-humide** (mi-septembre à octobre) où $P < ETP$. C'est une période d'assèchement du sol caractérisée par le flétrissement du feuillage de la plupart des espèces ligneuses et un dessèchement des herbacées. Mais la plupart des points d'abreuvement contiennent encore de l'eau et les ressources pâturées restent disponibles en général. Cette période correspond à la récolte notamment les champs de coton.

3.4. Physionomie climatique future dans les 2KP

3.4.1. Pluviométrie mensuelle et annuelle

Les hauteurs moyennes de pluie dans le secteur d'étude sur la période 1950-2021 et à l'horizon 2060 pour les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 sont présentées sur la figure 10. Les barres horizontales du bas, du centre et du haut représentent respectivement le premier quartile, la médiane et le troisième quartile. Les valeurs minimale, maximale et moyenne de chaque boîte sont représentées respectivement par les points inférieur, supérieur et central (figure 10).

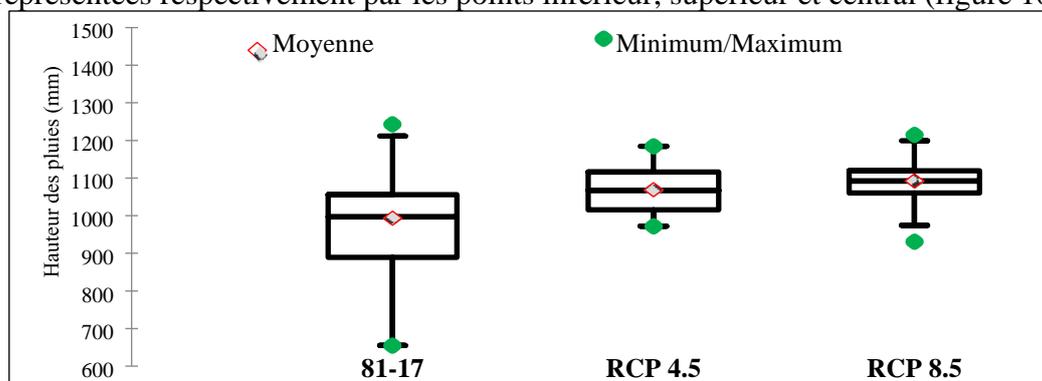


Figure 10 : Pluviométrie moyenne dans le secteur à l'horizon 2060

Source : Météo Bénin, 2022

De l'examen de la figure 10, il ressort que les conditions pluviométriques actuelles pourraient changées. D'après cette base CORDEX comparée aux données de la période de référence la moyenne annuelle augmentera à l'horizon 2060. La sous-période 2010-2021, étant incluse dans

la période de référence et celle des scénarii, une comparaison des hauteurs de pluie sur cette sous-période est nécessaire.

La figure 11 compare les hauteurs de pluie de la base de référence et celles des scénarii sur la période 2010-2021

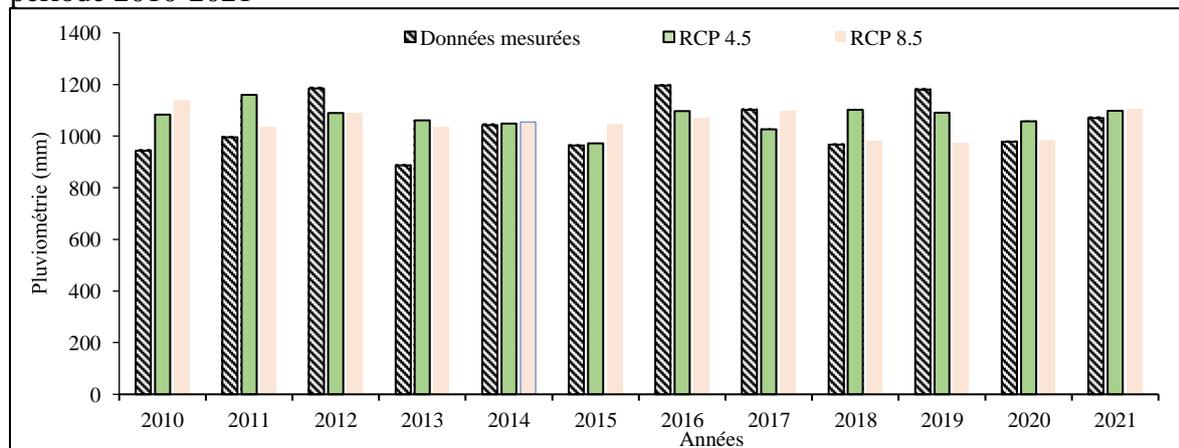


Figure 11: Hauteurs de pluies annuelles des scénarii sur la période 2010-2021

Source : Météo Bénin, 2022

De l'examen de la figure 11, il ressort que dans l'ensemble, les hauteurs de pluies projetées sont supérieures à celles de la base de référence. En effet, la pluviométrie annuelle de la période de référence est supérieure à celle des scénarii sur seulement 4 ans (2012 ; 2016 ; 2017 et 2019) sur 12, soit une fréquence de 33,33 %. La pluviométrie moyenne annuelle et les écarts mensuels des hauteurs de pluie sont présentés sur la figure 12.

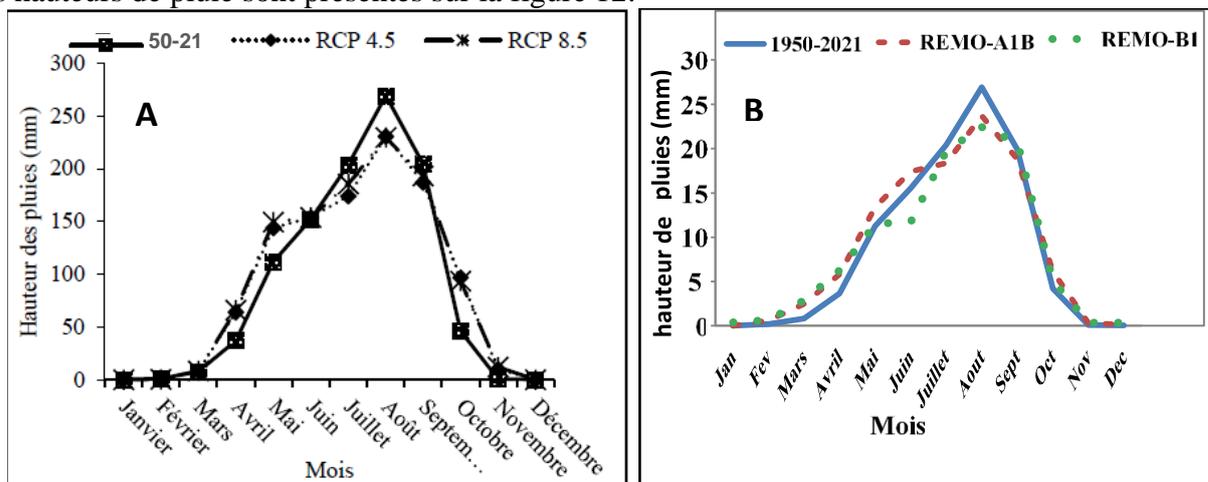


Figure 12: Moyenne mensuelle (A) et écart (B) des hauteurs de pluie à l'horizon 2060

Source : Traitement de données Météo-Bénin, juin 2022

Globalement, on note une évolution très contrastée des régimes pluviométriques à l'horizon 2060 dans les 2KP quel que soit le scénario choisi (figure 12). Selon le scénario RCP 4.5, les mois de janvier, mars, avril, mai, juin, octobre et novembre connaîtront une augmentation de la hauteur de leur pluviométrie à l'horizon 2060. Cette augmentation est respectivement de 8,28 % ; 2,44 % ; 42,67 % ; 22,42 % ; 1,14 % ; 42,49 % et 93,78 %.

En comparaison à la normale 1960-2021 la période humide (juin à septembre) à l'horizon 2060 connaîtrait une baisse de pluviométrie pouvant atteindre 34 mm (scénario A1B) et 90 mm (scénario B1). Par contre, le mois d'octobre, initialement moins pluvieux connaîtrait une hausse 19 mm (scénario A1B) et 10 mm (scénario B1). Il en est de même pour les mois de mars, avril et mai qui deviendraient plus pluvieux.

L'augmentation de la pluviométrie en avril, mai et juin, quoique faible influencerait de façon positive le démarrage des saisons des pluies. Il en est de même de celle du mois d'octobre qui

agira sur la fin des saisons des pluies. La même situation se produirait selon le scénario RCP 8.5 mais avec des pourcentages d'augmentation moins importants. Les mois de juillet, août et septembre qui sont les mois les plus pluvieux selon les deux scénarios, connaîtront une baisse de leur pluviométrie.

3.4.2. Températures mensuelles et annuelles dans les 2KP

La température moyenne annuelle dans le secteur pourrait connaître un changement à l'horizon 2055 (figure 13). Les barres horizontales du bas, du centre et du haut représentent respectivement le premier quartile, la médiane et le troisième quartile. Les valeurs minimum, maximum et moyenne de chaque boîte sont représentées respectivement par les points

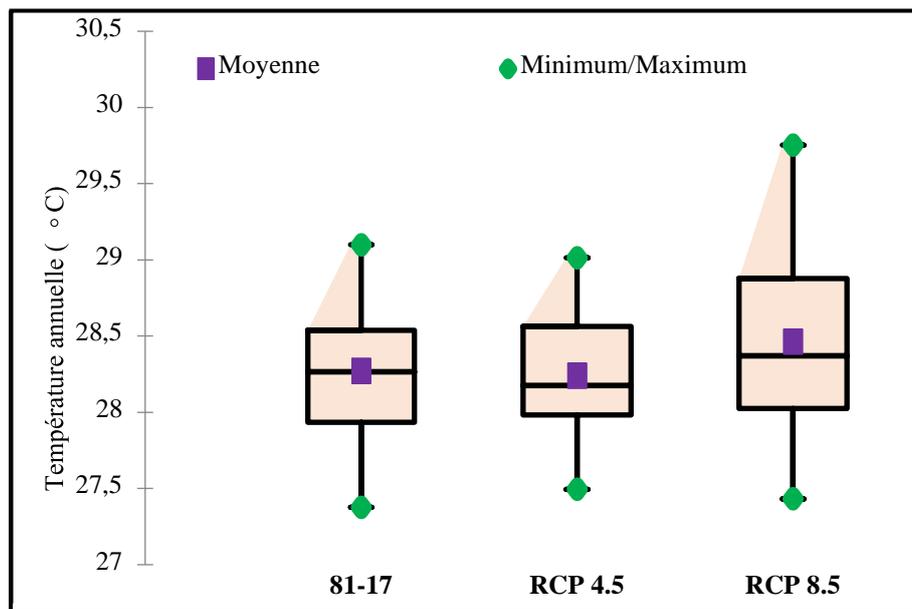


Figure 13: Température moyenne annuelle à l'horizon 2055

Source : Traitement de données Météo-Bénin, juin 2022

Il ressort de l'analyse de la figure 13 que sous le scénario pessimiste à l'horizon 2055 la température moyenne pourrait augmenter de 0,23 °C. En effet, les valeurs du premier quartile et du troisième quartile sont respectivement 28,02°C (RCP 8.5) contre 27,87°C pour la période de référence (1950-1970) et 28,76 °C (RCP 8.5) contre 28,21°C (1971-2021). Quant au scénario optimiste, il prédit une baisse des températures maximale (29,01°C contre 29,09 °C pour la période de référence) et moyenne (28,23 °C contre 28,27 °C pour la période de référence). Mais sous ce même scénario optimiste la température minimale pourrait augmenter de 0,12 °C. La figure 14 présente la moyenne mensuelle (a) et écart (b) des hauteurs de pluie à l'horizon 2060.

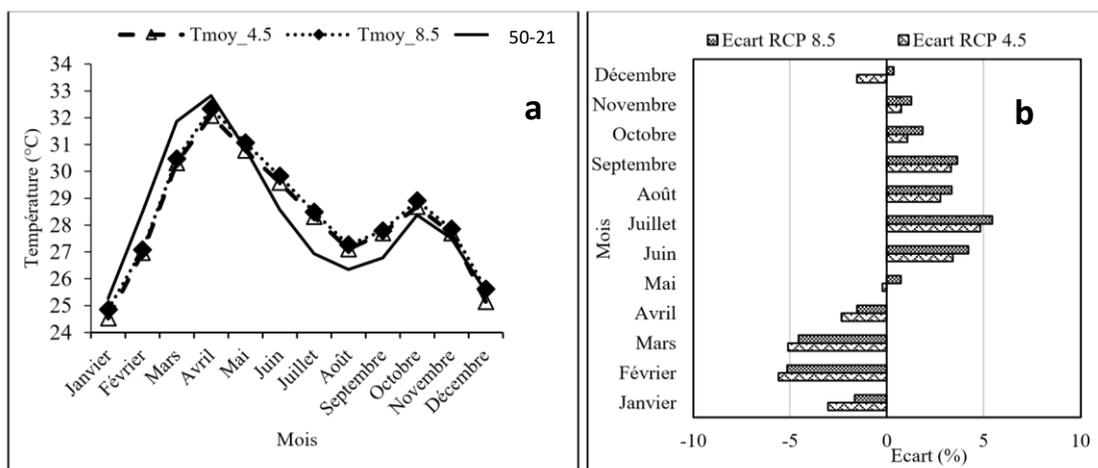


Figure 14: Moyenne mensuelle (a) et écart (b) des hauteurs de pluie à l'horizon 2055

Source : Traitement de données Météo-Bénin, juin 2022

L'examen de la figure 50 montre qu'en considérant le scénario RCP 4.5, les mois de juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre connaîtront une hausse de la température avec des écarts respectifs de 3,42 % ; 4,84 % ; 2,77 % ; 3,32 % ; 1,07 % et 0,74 %. Quant aux mois de janvier, février, mars, avril, mai et décembre, ils enregistreront une baisse de leur température moyenne avec des écarts respectifs de -3,02 % ; -5,59 % ; -5,09 % ; -2,33 % ; 0,22 % et -1,53 %.

Selon le scénario RCP 8.5 ; les mois de mai à décembre connaîtront une augmentation de la température avec des écarts de 0,73 % ; 4,21 % ; 5,45 % ; 3,35 % ; 3,65 %, 1,86 % ; 1,27 % et 0,36 %. Mais les mois de janvier à avril connaîtront une diminution de la température avec des écarts de -1,66 % ; -5,13 % ; -4,55 % et -1,52 %.

3.5. Perceptions locales des tendances climatiques

Le tableau V présente la synthèse des perceptions des éleveurs des changements pluviométriques.

Tableau V: Synthèse sur les perceptions paysannes de l'évolution de la pluviométrie

	Kouandé		Kérou		Péhunco		Secteur de recherche	
	FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR
Risques climatiques								
Retard dans le démarrage des pluies	21	52,5	18	45	26	65	65	54,17
Poche de sécheresse en pleine saison pluvieuse	35	87,5	26	65	33	82,5	94	78,33
Mauvaise répartition des pluies au cours de l'année	35	87,5	34	85	22	55	91	75,83
Arrêt précoce des pluies	30	75	20	50	22	55	72	60,00
Excès pluviométrique (mm) (inondation)	18	45	21	52,5	22	55	61	50,83

Avec FA = Fréquence Absolue, FR = Fréquence relative

Source : enquête de terrain juin 2022

L'analyse du tableau V montre que, ces dernières années sont de plus en plus caractérisées par un arrêt momentané de pluies en pleine saison pluvieuse dans le secteur d'étude. Les poches de sécheresse constituent le premier risque identifié par 78,33 % de tous les enquêtés. Aussi, dans le milieu d'étude, 54,17 % affirment que la tendance pluviométrique se traduit par le retard de démarrage des pluies. Les pluies tardent de plus en plus à s'installer chaque année. Les premières pluies sont enregistrées vers mi-juin au lieu de début mai.

3.6. Perception locale des tendances thermométriques

Le réchauffement de la terre est plus ou moins admis dans l'ensemble des trois (03) communes (tableau VI).

Tableau VI: Synthèse des perceptions locales sur la température

Variables	Kouandé		Kérou		Péhunco		Zone de recherche	
	FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR
Hausse des températures	38	95	34	87	37	92,5	109	90,83
Baisse de températures	1	2,5	1	2,5	3	7,5	5	4,17
Pas de changement	1	2,5	5	10	0	0	6	5,00

Avec FA = Fréquence Absolue, FR = Fréquence relative

Source : enquête de terrain juin 2022

En général 90,83 % éleveurs interviewés affirment assister à une situation de hausse des températures ces dernières années tandis que 4,17 % affirment le contraire. Pour 5 % de ces derniers, on ne saurait conclure d'une modification de ce paramètre du climat.

4. Discussion

L'analyse des résultats révèle que la série 1960-2020 a enregistré 9 années excédentaires soit 19 % du nombre total des années de cette série climatologique contre 20 années déficitaires, qui représentent 47 %. Les années pluviométriquement moyennes sont au nombre de 14 soit une proportion de 34 %. La modification du régime pluviométrique et des totaux annuels observés atteste déjà la variabilité pluviométrique dans les 2KP. Les déficits et les excédents pluviométriques prononcés posent d'énormes difficultés à l'agriculture. En effet, les années 1970, 1974, 1977, 1986, 2003 et 2006 ont été extrêmement déficitaires tandis que les années 1973, 1981, 1988, 1998, 2003, 2007 et 2009 ont été très excédentaires. Cet état de chose amène à conclure que la fréquence des événements pluviométriques extrêmes est légèrement en hausse au cours de ces deux dernières décennies.

De la confrontation des données des stations climatiques et celles perçues, il est à retenir que les commune des 2KP, ont subi la variabilité climatique en termes de début tardif de saison de pluie, fin précoce de saison de pluies, poches de sécheresse prolongée, et baisse de pluviométrie, etc. il est constaté qu'entre 1950 et 2021, la pluviométrie et la température sont marquée par des fluctuations interannuelles avec une succession de périodes sèches et humides. Cette tendance persistante correspond à la phase de récession pluviométrique (décennie 1970 et 1980), malgré un retour à de meilleures conditions de précipitations vers la fin des années 1980. Plusieurs études (W.E. Vissin 2007, p.184; H. Koumassi, 2014, p.173 ; S. Tassigui Sio, 2020, pp.100-137) ont montré la variabilité climatique et son influence sur les ressources en eau. En basant ses recherches sur les changements climatiques et productions agricoles dans l'ouest de la république centrafricaine B. Doukpolo (2014, p.14) a trouvé qu'en dépit de leurs incertitudes, les tendances futures des précipitations indiquent une baisse pouvant atteindre 20 à 42 % notamment dans les secteurs soudaniens et soudanosahéliens de la région d'étude. Il trouve que les observations et les projections climatiques montrent une variabilité des précipitations, une élévation des températures et une recrudescence des phénomènes météorologiques extrêmes.

Dans les 2Kp, sur l'ensemble de la période d'étude (1950-2021) une augmentation des températures observées. Cette tendance à la hausse de la température est imputable aux activités

humaines, et a certainement des répercussions sur les activités agricoles notamment l'élevage de bovins.

Conclusion

Au terme de cette recherche, il est à retenir que, le secteur d'étude est sujet aux risques climatiques. Dans les communes de 2KP, la pluviométrie et la température et des débits de cours d'eau sont marquées par des fluctuations interannuelles très remarquables avec une succession de périodes sèches et de périodes humides pour les précipitations sur la période 1950-2021. Les températures contrairement aux précipitations, ont accru durant la période 1950-2021. L'évolution interannuelle des températures moyennes est donc marquée par une tendance à la hausse de ces températures dans les communes de Kouandé, Péhunco et Kérou de 1950 à 2021. Sous le scénario pessimiste à l'horizon 2055 la température moyenne pourrait augmenter de 0,23 °C. Mais sous le même scénario optimiste la température minimale pourrait augmenter de 0,12 °C. Il est constaté que malgré un retour à de meilleures conditions de précipitations à partir des années 1990, les précipitations observées semblent conserver une tendance à la baisse sur la période de 1950 à 2020. La statistique de Buishand et l'Ellipse détectent une rupture en 1971 au seuil de confiance de 95 % dans la série de Kouandé et aucune dans celles de Kérou et Péhunco. Le test de Pettitt a permis de déterminer la date de la rupture à Kouandé. La différence notable réside dans le fait que les quantités d'eau précipitées après la rupture sont relativement en baisse après la rupture. L'amplitude positive enregistrée en mai montre que les événements pluvieux sont de plus en plus enregistrés en mai traduisant l'ampleur croissant du faux départ de la saison des pluies. Cette fluctuation pluviométrique annuelle impacte le début et la fin des saisons des pluies qui entravent la disponibilité temporelle de ressources en eaux, indispensable aux activités des populations.

Références bibliographiques

- [1] AMOUSSOU Ernest, 2010, Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest) Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 313 p.
- [2] ARDOIN-BARDIN Sandra, 2004, Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de Doctorat, Université Montpellier II, 437 p.
- [3] DJOSSOU Marius Djidéno, 2020, Evènements hydroclimatiques extrêmes et activités socio-économiques dans le bassin versant de la Pendjari à l'exutoire de Porga. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH, UAC, 218 p.181p.
- [4] DOUKPOLO Bertrand, 2014, Changements climatiques et productions agricoles dans l'Ouest de la République Centrafricaine. Thèse de doctorat unique, UAC/EDP, 338 p.
- [5] GIEC (2007) : Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse, GIEC, Genève, 114 p.
- [6] GIEC, 2014 : Changements climatiques 2014 Rapport de synthèse finale du GIEC sur le Climat, 180p.
- [7] HOUNDENOU Constant, 1999, Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. Thèse de doctorat de géographie,

UMR 5080, CNRS « climatologie de l'espace tropical », Université de Bourgogne, centre de recherche de climatologie, Dijon, 341 p.

[8] KODJA Domiho Japhet, 2018, Indicateurs des évènements hydroclimatiques extrêmes dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou en Afrique de l'Ouest. Géographie. Thèse de Doctorat Unique, Université de Montpellier, 288p.

[9] KOUMASSI Dègla Hervé, 2014, Risques hydro-climatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la sota à l'exutoire de Coubéri. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH, UAC, 245 p.

[10] LANOKOU Chéto Mathieu, 2016, Extrêmes climatiques et mise en valeur agricole des terres noires dans la Dépression Médiane au Sud-Bénin. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH, UAC, 313 p.

[11] HERBST Lynette et RAUTENBACH Hannes, 2015, Climate change impacts on mean wind speeds in South Africa. in Clean Air Journal. Volume 25, No 2, pp. 17-25

[12] OUASSA Pierre, 2022, Evènements hydroclimatiques extrêmes et sécurité alimentaire dans le bassin béninois de la Pendjari à l'exutoire de Porga. Thèse de Doctorat PhD, CIPMA - Chaire UNESCO, 294p.

[13] OUOROU-BARRE Fousséni Imorou, 2014, Contraintes climatiques, pédologiques et production agricole dans l'Atacora (Nord-Ouest Bénin). Thèse de doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi ; Bénin. FLASH/ UAC. 241 p.

[14] PETTITT A. N., 1979, A non-parametric approach to the change-point problem. Applied Statistics, 28, n°2, pp. 126-135.

[15] SYLLA Ibrahima, DIENG Mbaye, FAAL Jojoh, 2013, Les systèmes d'information géographique participatifs (SIG-P) dans la gestion des ressources naturelles et la sécurité alimentaire en Afrique. Études de cas : Bénin, Kenya, Malawi, Rwanda, Sénégal, Tunisie. Enda LEAD Afrique Francophone, rapport technique final, 59p.

[16] TASSIGUI SIO Sabi, 2020, Stratégies d'adaptation développées par les agriculteurs et éleveurs de bovins dans les sous bassins versants de la Mékrou et de l'Alibori dans le contexte de la variabilité hydro-climatique au Bénin. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH, UAC, 255 p.

[17] VISSIN Expédit Wilfrid, 2007, Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin versant béninois du fleuve Niger. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne. Dijon, France, 285 p.

[18] VODOUNOU Jean-Bosco K. et ONIBON DOUBOGAN Yvette, 2016, Agriculture paysanne et stratégies d'adaptation au changement climatique au Nord-Bénin », Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 794, mis en ligne le 15 novembre 2016, consulté le 02 juin 2018.