

Analyse de la Variabilité des Extrêmes Climatiques dans le Bassin Versant de la Pendjari à l'Exutoire de Porga au Bénin

Analysis of Variability of Extremes Climate in the Pendjari Watershed at the Porga Outlet in Benin

Djossou M. L. D.¹, Kodja D. J.², Vissin E. W.²

¹Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT)

²Laboratoire Pierre Pagney: Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE),
Université d'Abomey-Calavi. BP 526, Cotonou République du Bénin.



Résumé – Le contexte climatique actuel en Afrique sub-saharienne est marqué par des irrégularités pluviométriques saisonnières, des déficits hydriques suivis d'une diminution du nombre d'événements pluvieux, et une tendance à la hausse des températures. Depuis ces dernières années, le Bénin est confronté à de graves problèmes d'inondation et de sécheresse.

Cette étude vise à analyser la variabilité des extrêmes climatiques dans le bassin versant de la Pendjari à l'exutoire de Porga. Les données de températures et de précipitations quotidiennes ont été analysées et des indices climatiques (ETCCDMI) calculés avec le programme RCLimindex pour la station synoptique de Natitingou sur la période allant de 1965 à 2015.

Il ressort des résultats que les températures (maximum et minimum) montrent une tendance généralisée à la hausse, avec une majorité de tendances significatives ($0,01 < p < 0,05$) voire très significatives ($p < 0,01$) au niveau de la station de Natitingou. Par ailleurs, les tendances des indices de précipitations extrêmes sont globalement non significatives ($p > 0,05$) et en régression mitigée. Au regard de la variabilité spatiale des extrêmes climatiques dans le bassin, il ressort que, le secteur d'étude est plus exposé à l'augmentation des températures et à une diminution des précipitations.

Mots-Clés – Pendjari, Bassin versant, extrêmes climatiques, RCLimindex.

Abstract – The current climatic context in sub-Saharan Africa is marked by seasonal rainfall irregularities, water deficits followed by a decrease in the number of rain events, and an upward trend in temperatures. In recent years, Benin has faced serious problems of flooding and drought.

This study aims to analyze the variability of climatic extremes in the Pendjari watershed at the outlet of Porga. Daily temperature and precipitation data were analyzed and climatic indices (ETCCDMI) calculated with the RCLimindex program for the Natitingou synoptic station for the period from 1965 to 2015.

The results show that temperatures (maximum and minimum) show a general upward trend, with a majority of significant trends ($0.01 < p < 0.05$) or even very significant ($p < 0.01$) at the level of Natitingou station. In addition, the trends in extreme precipitation indices are generally not significant ($p > 0.05$) and in mixed decline. In view of the spatial variability of climatic extremes in the basin, it appears that the study area is more exposed to the increase in temperatures and a decrease in precipitation.

Keywords – Pendjari, Watershed, climatic extremes, RCLimindex.

I. INTRODUCTION

La région Sudano-sahélienne de l'Afrique de l'Ouest, l'une des régions les plus pauvres du monde, se caractérise par une forte variabilité des précipitations et une croissance rapide de la population [9]. Elle est considérée comme l'une des régions la plus vulnérable aux événements climatiques où une hausse exponentielle des inondations consécutives à des fortes pluies entraîne des pertes en vies humaines, alors que les sécheresses des années 70 et 80 continuent de se faire sentir dans le Sahel [15]. Ainsi, sur 327 événements catastrophiques dénombrés en 2016, 191 étaient liées aux phénomènes naturels [5, 16]. De plus, il est probable qu'il y ait davantage de régions où le nombre d'épisodes de précipitations abondantes a augmenté plutôt que diminué et les pluies extrêmes sont très probablement en augmentation en climat tropical humide et continental [6].

En Afrique de l'Ouest, il y a une pénurie d'informations sur les tendances climatiques quotidiennes / extrêmes climatiques [11] et quantifier l'exposition future de cette zone au changement climatique est plutôt difficile car les modèles climatiques en général n'ont pas encore montré une reproduction satisfaisante de la variabilité climatique observée dans cette région [3]. Cependant, force est de constater que l'Afrique de l'Ouest est de plus en plus fréquemment confrontée aux excès/déficits pluviométriques (sécheresses et inondations) [14].

Au Bénin, les précipitations représentent l'élément climatique fondamental qui conditionne le développement des différentes activités socio-économiques. Leur absence, rareté, excès ou mauvaise répartition spatio-temporelle sont générateurs des crises [12]. Pour [1, 4, 8, 18], ces dernières années sont marquées par une alternance d'années pluviométriques excédentaires et déficitaires; ce qui constitue un facteur naturel limitant pour le développement des activités agricoles [13]. De même, la plupart des études sur les tendances climatiques sont fragmentaires et s'accordent sur une augmentation significative de la température

moyenne ainsi qu'une diminution perceptible de la pluviométrie et du nombre moyen annuel de jours de pluie [5, 7, 10]. L'objectif visé à travers la présente étude est d'analyser la variabilité des extrêmes climatiques dans le bassin versant de la Pendjari sur la base des observations (températures, précipitations quotidiennes) issues de la station synoptique de Natitingou.

Le bassin versant béninois de la Pendjari à l'exutoire de Porga, est la partie du bassin versant de la Volta qui s'étend sur le territoire de la République du Bénin. Situé entre 10°15' et 11°30' de latitude nord et 0°53' et 2°05' de longitude est, il est localisé au nord-ouest de la République du Bénin en Afrique de l'Ouest (figure 1). Il s'étend sur une superficie de 1001,761 km² entre la chaîne de l'Atacora et la plaine de la Pendjari encore appelée plaine de Gourma.

II. DONNEES ET METHODES

A. Données

Il s'agit des données climatologiques des hauteurs de pluies journalières et de la température journalière de la station synoptique de Natitingou. Ces données proviennent des fichiers de la Direction Nationale de Météorologie (DNM/Cotonou). Elles couvrent la période de 1961 à 2015.

B. Méthodes

L'aperçu synoptique de la variabilité des extrêmes climatiques dans le secteur d'étude est appréhendé à travers le calcul d'indices réalisé avec le logiciel RCLimDex. Un total de 27 indices de base a été suggéré par l'Equipe d'experts sur la détection d'indices du changement climatique (*Expert Team on Climate Change Detection Indices ETCCDI*). Les descriptions détaillées de ces indices et RCLimDex sont disponibles sur le site web de l'ETCCDI (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>). Dans la présente étude, 24 indices ont été calculés dont 11 sur les précipitations extrêmes (tableau I). Les trois indices restants ne sont pas pertinents pour la zone d'étude.

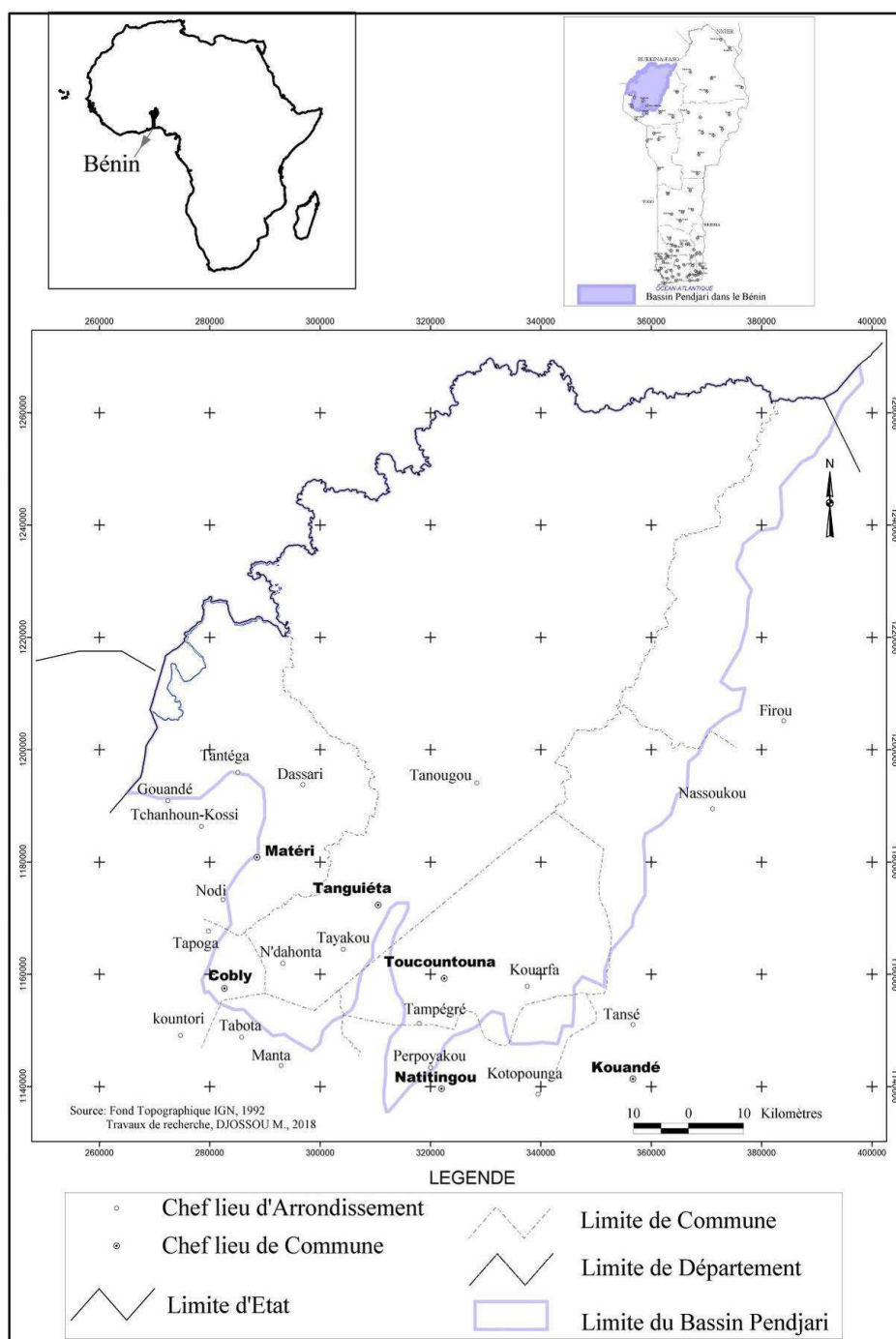


Fig. 1. Situation géographique du bassin versant de la Pendjari

TABLEAU 1: Indices d'extrêmes climatiques calculés

Sigles indices	Désignation indices
Indices de précipitations	
PRCPTOT	Total pluviométrique annuel
RX1day	Hauteur maximale des Précipitations d'un jour

Rx5day	Cumul maximal des précipitations de 5 jours
R10	Nombre de jours de précipitations ≥ 10 mm
R20	Nombre de jours de précipitations ≥ 20 mm
R25	Nombre de jours de précipitations ≥ 25 mm
R95p	Jours très pluvieux
R99p	Jours extrêmement pluvieux
SDII	Intensité simple des pluies
CDD	Jours secs consécutifs
CWD	Jours pluvieux consécutifs
Indices de températures	
TXx	Maximum des Tmax
TNx	Maximum des Tmin
TXn	Minimum des Tmax
TNn	Minimum des Tmin
TN10p	Nuits relativement fraîches
TX10p	Jours relativement frais
TN90p	Nuits relativement chaudes
TX90p	Jours relativement chauds
WSDI	Indicateur des durées des séquences chaudes
CSDI	Indicateur des durées des séquences fraîches
TR20	Nuits tropicales
SU25	Jours d'été
ATD	Amplitude Thermiques Diurne

III. RESULTATS ET DISCUSSION

A. Variabilité des extrêmes de températures

La température est l'une des composantes fondamentales du cycle hydrologique et du climat. Elle est liée à la radiation

solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol [2].

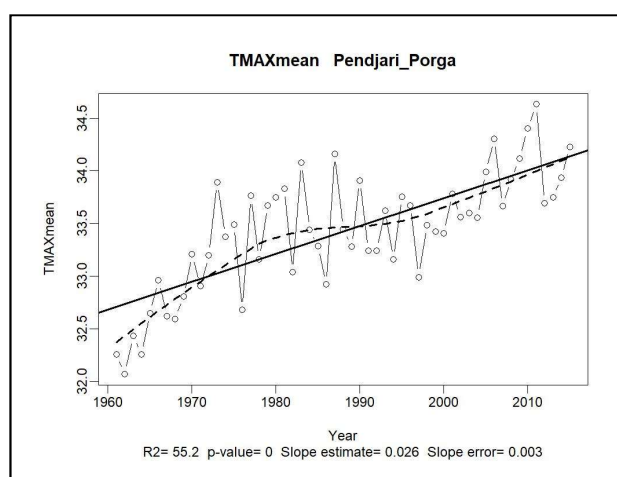


Fig. 2. Evolution interannuelle des températures maximales

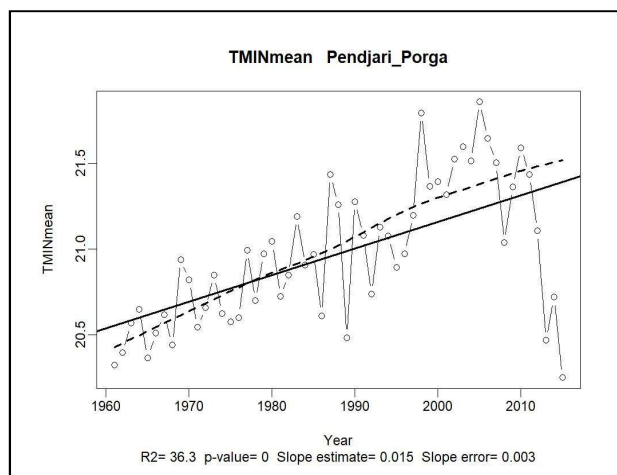


Fig. 3. Evolution interannuelle des températures minimales

Les températures maximales et minimales montrent une tendance à la hausse dans le bassin et oscillent respectivement entre 32,07°C et 34,63°C et 21,9°C et 25,3°C durant la période 1961-2015. La courbe de tendance a une pente positive (0,026) mais le coefficient de détermination est très élevé ($R^2 = 0,5537$) et justifie une tendance à la hausse de température maximale de 1961 à 2015. Cette tendance à la hausse des températures corrobore avec plusieurs travaux de [6] dont le réchauffement s'accélère de 0,8 °C en un siècle et de 0,6 °C sur les trente dernières années.

On observe une tendance généralisée à l'augmentation des températures extrêmes au niveau du bassin, avec une majorité de tendances significatives (79 %), voire très significatives (72 %). Ce réchauffement se trouve être corroboré par, à l'inverse, les indices de froid extrêmes (TX10p, TN10p et CSDI) qui montrent une diminution significative (83 % significatives et 78 % très significatives). La chute de l'amplitude thermique diurne montre que les températures maximales croissent plus que celles minimales. Toutefois, on note que la température minimale la plus basse dans l'année (TNn) décroît et l'indicateur des durées de séquences fraîches (CSDI) croît. Par contre tous les indices de chaleur croissent de façon significative et ceux de froid décroissent très significativement, de concert avec l'amplitude thermique diurne.

L'augmentation de la température étant un phénomène planétaire au cours de ces dernières décennies [6], elle peut être donc imputée à la forte anthropisation et les formes d'occupation des terres, à la déforestation surtout dans le secteur d'étude au détriment de la culture du coton. Or la couverture végétale joue un rôle très important dans la régulation des températures ambiante de l'atmosphère et de

la séquestration du carbone qui atténue le réchauffement climatique [17].

Ainsi, l'augmentation de la température, peut occasionner des processus de changement de l'environnement qui risquent d'altérer de manière significative l'épuisement des matières énergétiques et minérales de la terre. Quant à [14], l'augmentation de la température peut induire des risques sur le calendrier agricole et des problèmes de sécurité alimentaire. Il convient de retenir que l'augmentation de la température dans le bassin versant de la Pendjari à Porga est la source des événements climatiques extrêmes dont la sécheresse et les inondations qui occurred dans ces communes et rendent vulnérables les systèmes humains et environnementaux, et les activités tributaires à l'eau face auxquelles les femmes sont les plus touchées.

B. Variabilité des extrêmes de précipitations

Les indices de précipitations extrêmes présentent une tendance statistiquement non significative. Le tableau II présente la valeur du coefficient directeur des différents indices des extrêmes pluviométriques calculés.

TABLEAU II: Indices d'extrêmes climatiques calculés

Indices	Tendances
PRCPTOT	-4,824
RX1day	-0,287
Rx5day	-0,46
R10	0,289
R20	0,15
R25	-0,11
R95p	-4,17
R99p	-2,85
SDII	-0,08

CDD	-0,31
CWD	0,03

Source: Traitement des données

L'analyse du tableau II montre que, malgré la chute des précipitations totales annuelles (PRCPTOT), certains indices pluviométriques extrêmes (R10, R20p et CWD) ont connu un accroissement non significatif. On remarque également que, les tendances sont semblables pour tous les indices de précipitation et indiquent la rareté des événements extrêmes ainsi qu'une chute dans les hauteurs annuelles des précipitations. La diminution des précipitations maximales sur un jour (Rx1day), sur 5 jours consécutifs (Rx5days) est très faible. Mieux, certains indices des précipitations extrêmes (Rx1day, Rx5day, R25mm, R95p et R99p) sont décroissants avec une tendance significative ($0.01p < 0.05$) pour les journées humides. On note également une décroissance de la précipitation annuelle (PRCPTOT), la diminution de la durée des saisons sèches (CDD), l'augmentation de la durée des saisons pluvieuses (CWD) et la diminution de l'intensité moyenne des précipitations des jours humides (SDII).

Ainsi, la variabilité des extrêmes de précipitations n'est pas sans répercussions sur les systèmes humains, environnementaux dans le contexte des changements globaux où c'est le cumul pluviométrique associé aux diverses formes d'occupation des terres qui contribuent à la manifestation des événements climatiques extrêmes dans le bassin versant de la Pendjari.

IV. CONCLUSION

L'analyse de la variabilité des extrêmes climatique dans le bassin versant de la Pendjari à Porga a montré que les températures ont significativement augmenté, mais les tendances des indices d'extrêmes de précipitations sont globalement non significatives. Les extrêmes thermiques montrent des tendances positives statistiquement significatives ($0,01 < p < 0,05$) pour les indices de chaleur et négatives pour les indices de fraîcheurs, ce qui confirmerait un réchauffement des températures aussi bien à l'échelle du bassin et dans le pays.

L'étude a permis de constater que le secteur d'étude est marqué par un contexte climatique globalement de diminution des précipitations, avec des tendances significatives. Les saisons sèches s'allongent tandis que les saisons de pluies se raccourcissent.

REFERENCES

- [1] F. Afouda, "L'eau et les cultures dans le Bénin Central et Septentrional: étude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu de la Savane Africaine," Thèse de Doctorat nouveau régime, Paris IV, Sorbonne, 1990. 428 p.
- [2] E. Amoussou, "Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvial lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest)," Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 2010, 313 p.
- [3] A. Ben Mohamed, "Climate change risks in Sahelian Africa," Reg. Environ. Change, 11, 2011, pp. 109–117.
- [4] M. Boko, "Climats et communautés rurales du Bénin: Rythmes climatiques et rythmes de développement," Thèse de Doctorat d'Etat ès Lettres et Sciences Humaines, Université de Bourgogne, Dijon. 2 volume, 1988, 608 p.
- [5] Y. P. Gbohoui, Y. C. Hountondji, F. De Longueville, P. Ozer, "Aperçu synoptique de la variabilité des extrêmes climatiques au Bénin (1960-2016)," XXXI^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Nice, sciencesconf.org:aic2018:199154, 2018, pp. 98-103.
- [6] GIEC, "Changements climatiques: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation sur l'évolution du climat," [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer], Genève, Suisse, 2014, 161 p.
- [7] C.P. Gnanglè, R. Glèlè Kakaï, A. E. Assogbadjo, S. Vodounon, J. A. Yabi, N. Sokpon, "Tendances climatiques passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin," Climatologie, 8, 2011, pp. 27-40.
- [8] C. Houndénou, "Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation," Thèse de Doctorat de géographie, Université de Bourgogne, 1999, 341p.
- [9] J. Mortimore et W. M. Adams, "L'adaptation des agriculteurs, le changement et la «crise» dans le Sahel," Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions 11, 2001, pp 49 – 57.
- [10] Y. N'Tcha M'Po, E. A. Lawin, B. K. Yao, G. T. Oyerinde, A. Attogouinon, A. A. Afouda, "Decreasing past and mid-century rainfall indices over

- the Ouémé river basin, Benin (West Africa),” *Climate*, 5, 2017, 74, doi:10.3390/cli5030074.
- [11] M. New, B. Hewitson, D. B. Stephenson, A. Tsiga, A. Kruger, “Evidence of trends in daily climate extremes over southern and West Africa,” *J. Geophys. Res.*, 2006, 111: D14102. DOI: 10.1029/2005JD006289.
- [12] E. Ogouwalé, “Changements climatiques et sécurité alimentaire dans le Bénin méridional,” *Mémoire de DEA, UAC/FLASH/EDP*, 2004, 103 p.
- [13] E. Ogouwalé, “Changements climatiques dans le Bénin méridional et central : Indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire,” *Thèse de Doctorat unique, EDP/FLASH*, 2006, 302 p.
- [14] P. Ozer et D. Perrin, “Eau et changement climatique: tendances et perceptions en Afrique de l’Ouest,” In Ballouche A., Taïbi N.A. (Eds.), *Eau, milieux et aménagement. Une recherche au service des territoires. Presses de l’Université d’Angers, Angers, France*, 2014, pp. 227-245.
- [15] B. Sarr, “Recrudescence des fortes pluies et des inondations dans un contexte de changement climatique » Le Sahel face aux changements climatiques: Enjeux pour un développement durable,” *Bulletin Mensuel, Numéro spécial*, 2011, pp 9-11.
- [16] [16] R. Swiss, “Catastrophes naturelles et techniques en 2016: une année de dommages tous azimuts,” *Sigma*, N°2/2017, 2017, 50 p.
- [17] S. Weissenberger & D. Silva, “L’Amazonie—victime des changements climatiques,” *Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia*, 2010, pp. 5 – 10.
- [18] I. Yabi, “Particularité de la variabilité pluviométrique entre le 7° et 8° de latitude nord au Bénin,” *Mémoire de DEA, UAC/FLASH/EDP*, 2002, 95 p.