

Vol. 4, N°15, pp. 363– 382, DECEMBRE 2025

Copy©right 2024 / licensed under CC BY 4.0

Author(s) retain the copyright of this article

ISSN : 1987-1465

DOI : <https://doi.org/10.62197/XUVP5387>

Indexation : Copernicus, CrossRef, Mir@bel, Sudoc, ASCI, Zenodo

Email : RevueKurukanFuga2021@gmail.com

Site : <https://revue-kurukanfuga.net>

*La Revue Africaine des
Lettres, des Sciences
Humaines et Sociales
KURUKAN FUGA*

APPORT DES SCIENCES DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE DANS L'EVALUATION DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LA DYNAMIQUE DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN VERSANT DU LAC MAGUI

Lassine Sanankoua¹ Boubacar Amadou DIALLO²

¹Université BAZO, lassinesanankoua@gmail.com

²Ecole Normale Supérieure, Bamako, Département Histoire-Géographie

boubamadoudiallo@gmail.com

Résumé : Le bassin versant du lac Magui, situé dans la région de Kayes au Mali, constitue une zone stratégique pour l'agriculture, l'élevage et les usages domestiques. Cette étude vise à analyser la dynamique des ressources en eau de 1992 à 2022 face à la variabilité climatique. Les précipitations annuelles présentent une forte variabilité (450-780 mm/an), avec des épisodes de sécheresse marqués ($SPI < -1$, $RAI < -3$) et des années humides ($SPI > 1$, $RAI > 3$). La température moyenne annuelle montre une tendance à la hausse de 0,40 °C sur 30 ans, corroborée par les anomalies thermiques (SAI) et les mesures de température de surface (LST). Le SPEI, combinant précipitations et évapotranspiration, révèle des cycles contrastés de déficit et d'excès hydrique. La matrice de corrélation indique une forte dépendance entre précipitations et indices SPI, RAI et SPEI, tandis que la température montre une corrélation négative modérée avec le SPEI. L'application du test de Pettitt identifie trois ruptures climatiques principales (1999, 2007, 2015), dont celle de 2007 est statistiquement significative. Ces résultats soulignent la vulnérabilité du bassin face à la variabilité climatique et la nécessité de stratégies d'adaptation intégrées pour la gestion durable de l'eau.

Mots-clés : Bassin versant, lac Magui, ressources en eau, SIG, variabilité climatique.

Abstract : The Magui Lake watershed, located in the Kayes region of Mali, is a strategic area for agriculture, livestock, and domestic water use. This study evaluates water resource dynamics from 1992 to 2022 using satellite, climate, and GIS data. Annual rainfall exhibits high variability (450–780 mm/year), with pronounced drought events ($SPI < -1$, $RAI < -3$) and wet years ($SPI > 1$, $RAI > 3$). Mean annual temperature shows an upward trend of 0.40 °C over 30 years, confirmed by temperature anomalies (SAI) and land surface temperature (LST) measurements. The SPEI, combining precipitation and evapotranspiration, reveals contrasting cycles of water deficit and surplus. Correlation analysis indicates a strong dependence between precipitation and SPI, RAI, and SPEI, while temperature shows a moderate negative correlation with SPEI. Pettitt's test identifies three main climate breakpoints (1999, 2007, 2015), with the 2007 breakpoint being statistically significant. These findings highlight the watershed's vulnerability to climate change and emphasize the need for integrated adaptation strategies and continuous monitoring using standardized indicators to ensure sustainable water resource management in semi-arid Sahelian regions.

Key words: climate variability, GIS, Lake Magui, watershed, water resources.

INTRODUCTION

L'eau est une ressource primordiale pour assurer le bon fonctionnement des écosystèmes naturels et soutenir le développement socio-économique des sociétés humaines (UN Water, 2022, p.14-16). Environ 97 % de l'eau sur Terre est salée et se concentre dans les océans, dont près de la moitié est contenue dans l'océan Pacifique et 2,78 % représente l'eau douce (Christopherson & Birkeland, 2017, p. 45-50). Dans les régions sahéliennes, les changements climatiques accentuent la variabilité hydrologique, augmentent la fréquence des sécheresses et perturbent les régimes de précipitations (IPCC, 2023, p. 5-15 ; Niang et al., 2014, p.1209-1210). Le Mali, fortement dépendant de ses bassins versants, subit déjà des fluctuations marquées de ses ressources en eau sous l'effet conjugué du climat et des usages anthropiques (Traoré, 2022, p. 10-12 ; OSS, 2024, p. 8-10). Le bassin versant du lac Magui constitue une zone stratégique pour les activités agricoles, pastorales et domestiques. Toutefois, les transformations observées sur la dégradation du couvert végétal, variabilité pluviométrique et évolution des terres agricoles témoignent d'une pression croissante sur les ressources hydriques (Chiew, 2024, p. 120-122).

Face à ces défis, la télédétection et les SIG offrent des outils performants pour analyser les dynamiques spatiales et temporelles des plans d'eau, de l'occupation du sol et des paramètres climatiques (Giri, 2016, p. 200-205 ; Tottrup et al., 2022, p. 5-10). L'intégration d'indices tels que NDVI, SAVI, LSWI et AWEI permet de détecter avec précision les variations écologiques et hydrologiques. De même, les indices climatiques SPI, SPEI et RAI constituent des indicateurs robustes de la sécheresse et de l'humidité atmosphérique (McKee et al., 1993, p. 179-183 ; Vicente-Serrano et al., 2010, p.1693-1695).

L'objectif de cet article est d'analyser l'influence de la variabilité climatique sur la dynamique des ressources en eau du bassin versant du lac Magui entre 1992 et 2022.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant du lac Magui se localise dans les cercles de Kayes, Yélimané, Diéma, Bafoulabé et Nioro, au Mali. C'est une zone qui alimente le fleuve Sénégal, s'étendant entre les latitudes -11°15'10'' et 15°25'12'' Nord et les longitudes -11°23'38'' et 14°26'45'' Ouest (Figure 1). La superficie totale du bassin est de 12 460 km², avec un périmètre de 640 km. Le

site Ramsar du lac Magui, classé en tant qu'aire protégée en 2013 conformément à la convention Ramsar est une cuvette naturelle permanente d'eau douce d'une superficie de 231,87 km² et d'un périmètre de 277,33 km. Cette zone reçoit principalement ses eaux de plusieurs cours d'eau, notamment les cours d'eau Térékolé-Kolimbiné. Administrativement, le site Ramsar du lac Magui traverse quatre communes rurales relevant du cercle de Kayes (Maréna-Diombougou, Ségala, Kolimbiné et Séro-Diamano) ainsi que deux communes situées dans le cercle de Yélimané (Konsiga et Marekaffo). Son bassin versant franchit trois cercles (Kayes, Nioro et Yélimané). Ce site est d'une grande importance écologique et constitue un habitat clé pour la production faunique, floristique et halieutique dans la région de Kayes. Hydrologiquement, les eaux du bassin versant du lac Magui s'écoulent du nord-ouest.

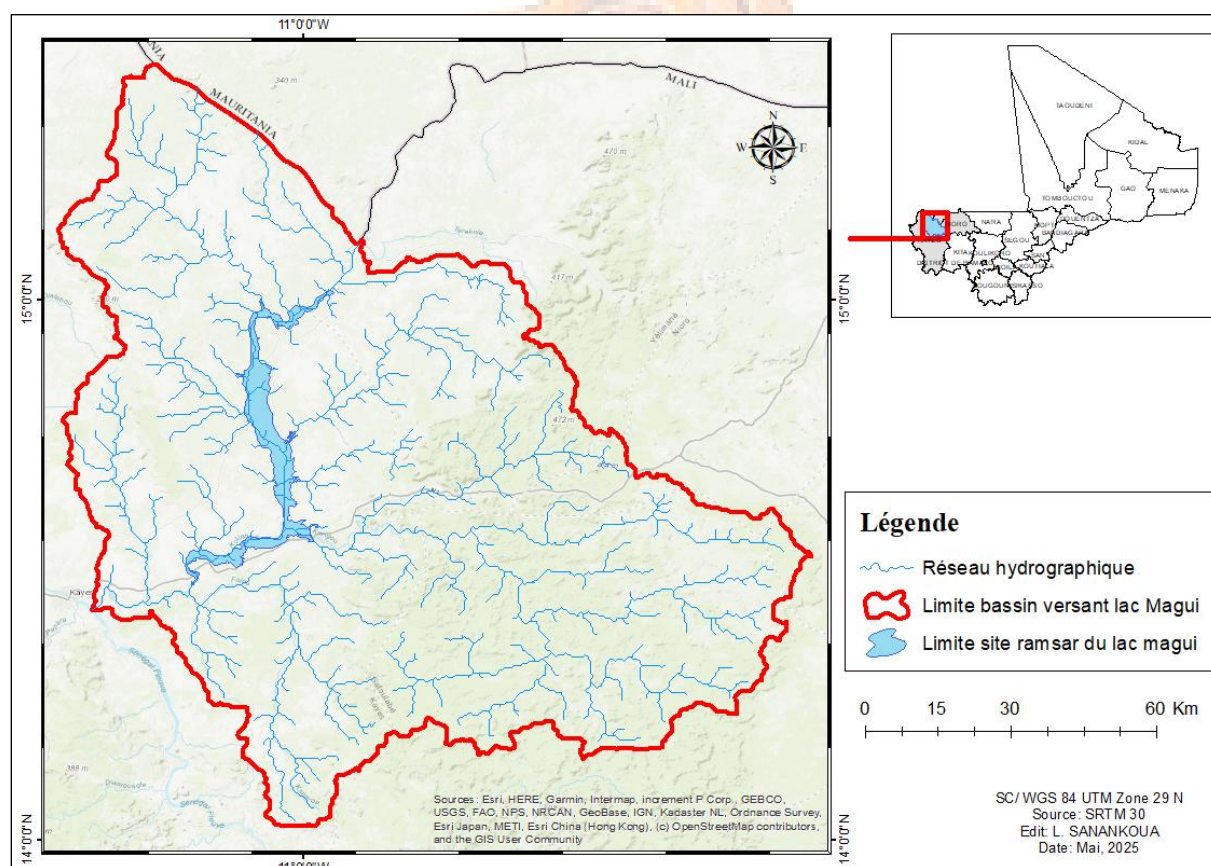


Figure 1: Situation géographique du bassin versant du lac Magui

Source : SRTM 30, 2019

1.2. Données utilisées

Le tableau 1 : Différents types de données utilisées.

Données satellitaires	Données climatiques	Données documentaires
• SRTM (30 m) pour le MNT (NASA, 2019). • HYDROSHEDS (2021)	• Précipitations et température de CRU TS v4.0 (1992-2022).	• Articles et ouvrages scientifiques (HAL, ScienceDirect, Springer, etc...).

1.2.1 Logiciels

QGIS 3.34

QGIS est un système d'information géographique open source utilisée pour l'extraction et l'analyse spatiale des données. Dans cette étude, QGIS a permis de manipuler les couches raster et vectorielles, d'extraire les séries temporelles des indices climatiques par zone d'intérêt et de produire des cartes thématiques illustrant la dynamique des ressources en eau dans le bassin versant du lac Magui.

GRASS GIS 8.0

GRASS GIS est un logiciel SIG open source spécialisée dans la modélisation hydrologique et la gestion des données spatiales. Il a été utilisé pour la délimitation précise du bassin versant, le calcul des paramètres morphométriques et l'analyse topographique, essentiels pour interpréter les impacts climatiques sur l'écoulement et la répartition de l'eau.

Python (Matplotlib)

Python, avec la bibliothèque Matplotlib, a été employé pour le traitement statistique des séries temporelles et la détection de ruptures climatiques à l'aide du test non paramétrique de Pettitt. Les visualisations générées ont permis d'identifier les périodes de changement significatif dans les indices SPI, RAI, SAI, SPEI et LST.

Microsoft

Excel

Microsoft Excel a été utilisé pour le traitement initial des données, le calcul de statistiques descriptives et la préparation des séries temporelles avant l'analyse avancée dans Python et les SIG.

1.2.3. Méthode

- **Indice Standardisé de Précipitations (SPI)**

Le SPI, proposé par McKee et al. (1993), est un indicateur normalisé permettant de quantifier les anomalies pluviométriques sur différentes échelles temporelles (1 à 48 mois). Il repose sur la transformation des précipitations cumulées en une distribution normale, permettant de comparer les périodes sèches et humides indépendamment de la variabilité régionale. Dans cette étude, le SPI a été calculé pour identifier les épisodes de sécheresse ou de pluviométrie excédentaire dans le bassin versant du lac Magui, en mettant en évidence les variations interannuelles et saisonnières. La normalisation facilite la comparaison avec d'autres régions et permet d'évaluer la sévérité des sécheresses en termes standardisés.

- **Indice d'Anomalie Précipitations (RAI)**

Le RAI, décrit par Ndlovu & Demlie (2020), est un indice qui exprime les écarts pluviométriques par rapport à la moyenne historique. Il permet de détecter les événements extrêmes, qu'ils soient déficitaires ou excédentaires, en mettant l'accent sur l'intensité et la fréquence des anomalies. Cet indice est particulièrement utile pour l'analyse de la vulnérabilité agricole et hydrique, car il traduit directement les fluctuations de précipitations susceptibles d'affecter les ressources en eau et la couverture végétale du bassin.

- **Indice Anomalie Standardisé de température (SAI)**

Le SAI, développé par Ejaz et al. (2023), mesure les anomalies de température par rapport à la moyenne historique, standardisées pour permettre la comparaison entre différentes périodes ou régions. Il est calculé en soustrayant la moyenne climatologique et en divisant par l'écart-type des températures, produisant ainsi un indice qui signale les périodes de chaleur ou de froid extrêmes. L'intégration du SAI dans cette étude permet d'examiner les tendances thermiques et leur influence sur l'évapotranspiration et le bilan hydrique du bassin.

- **Test de Pettitt**

Le test non paramétrique de Pettitt (1979) a été utilisé pour identifier les points de rupture dans les séries temporelles climatiques. Il détecte les changements significatifs dans la moyenne d'une série sans supposer de distribution préalable des données. L'application de ce test sur les séries SPI, RAI et SAI a permis de repérer les ruptures climatiques marquant des périodes de

transition vers des conditions plus sèches, humides ou chaudes, fournissant un cadre quantitatif pour analyser l'évolution des anomalies dans le bassin versant.

- **Indice Standardisé de Précipitations et d'Évapotranspiration**

Le SPEI (Vicente-Serrano et al., 2010) est calculé en combinant les précipitations mensuelles et l'évapotranspiration potentielle (ETP), généralement estimée par la formule de Thornthwaite ou Penman-Monteith selon les données disponibles. La différence entre les précipitations et l'ETP est ensuite cumulée sur différentes échelles temporelles (1, 3, 6, 12 mois, etc.) pour capturer les sécheresses de courte ou longue durée. La série ainsi obtenue est normalisée en utilisant une distribution log-logistique, permettant de produire un indice standardisé comparable dans le temps et l'espace. Méthodologiquement, le SPEI est utile pour analyser la dynamique des déficits hydriques en intégrant l'effet du réchauffement sur l'évaporation, et il permet de détecter à la fois les sécheresses météorologiques et agricoles. Dans cette étude, le SPEI a été calculé pour chaque mois sur la période d'étude afin d'identifier les épisodes de sécheresse et leur intensité dans le bassin versant du lac Magui.

- **Température de la surface terrestre**

Le LST est dérivé de données satellitaires, généralement à partir des capteurs thermiques de Landsat, MODIS ou Sentinel-3. Il représente la température à la surface du sol, qui est influencée par la radiation solaire, l'humidité du sol et la couverture végétale. Méthodologiquement, le LST est calculé à partir de la radiance thermique en utilisant la loi de Planck et des coefficients de calibration spécifiques au capteur. Dans le cas-ci, les séries temporelles de LST ont été extraites pour détecter les anomalies thermiques locales, corrélées aux épisodes de sécheresse identifiés par le SPEI, afin de mieux comprendre l'impact du réchauffement et des déficits hydriques sur la disponibilité en eau et la dynamique écologique du bassin.

- **Matrice de corrélation des indices climatiques**

La matrice de corrélation a été appliquée à l'ensemble des indices climatiques mobilisés dans cette étude. Après le prétraitement des séries temporelles, les valeurs annuelles des indices (SPI, SPEI, RAI, SAI, etc.) ont été organisées sous forme de tableau numérique afin de permettre une analyse statistique intégrée. Le calcul des coefficients de corrélation a été réalisé dans

l'environnement Python, à l'aide des bibliothèques Matplotlib. Dans un premier temps, les séries ont été normalisées pour assurer la comparabilité entre indices exprimés dans des unités différentes. Ensuite, la matrice de corrélation de Pearson a été générée afin d'évaluer l'intensité et le sens des relations linéaires entre les paramètres climatiques. Ce type de corrélation est adapté pour mesurer le degré d'association entre variables continues. La visualisation de la matrice a été produite sous forme de carte thermique (heatmap), facilitant l'interprétation des liens significatifs et des patterns de co-variation entre les indices. Cette représentation graphique met en évidence les associations fortes (positives ou négatives) susceptibles d'expliquer les réponses hydrologiques observées dans le bassin versant. L'ensemble de ces traitements permet d'identifier les indicateurs climatiques les plus déterminants dans la dynamique des ressources en eau étudiée.

- **Validation du terrain**

La réalisation de la validation de terrain a donc été empêchée en raison de l'insécurité croissante qui règne dans la zone géographique d'étude, rendant impossible les déplacements sur site pour la collecte de l'information. L'étude a donc choisi de s'en remettre à des bases de données climatiques reconnues, réalisées à partir de trames statistiques disponibles pour la région. Ces bases, traditionnellement mobilisées dans les études de climatologie sahélienne, fournissent des informations assurément fiables sur les tendances hydroclimatiques, même si elles n'ont pas été vérifiées sur le terrain et garantissent donc le respect des exigences méthodologiques d'une recherche dans un contexte contraint.

2. RESULTATS

2.1. Variation des précipitations du bassin versant du lac Magui

L'analyse des données de précipitations sur la période 1992-2022 montre une forte variation d'année en année dans la zone d'étude. Les totaux annuels se situent généralement entre environ 450 mm et 780 mm, ce qui suggère un climat qui oscille entre semi-aride et subhumide, marqué par des cycles alternants de sécheresse et de pluies. Certaines années, comme 1992, 1996, 2002 et 2014, ont enregistré des précipitations nettement inférieures à la moyenne, inférieures à 450 mm, indiquant des épisodes secs ou à déficit hydrique, ce qui peut aggraver la pression sur les ressources en eau et impacter l'agriculture. A l'inverse, en 1999, 2003, 2008, 2010, 2012, 2020 et 2022, les précipitations ont dépassé 700 mm, reflétant des périodes de forte pluviométrie qui contribuent à la recharge des nappes phréatiques et l'augmentation du volume des plans d'eau (Figure 2).

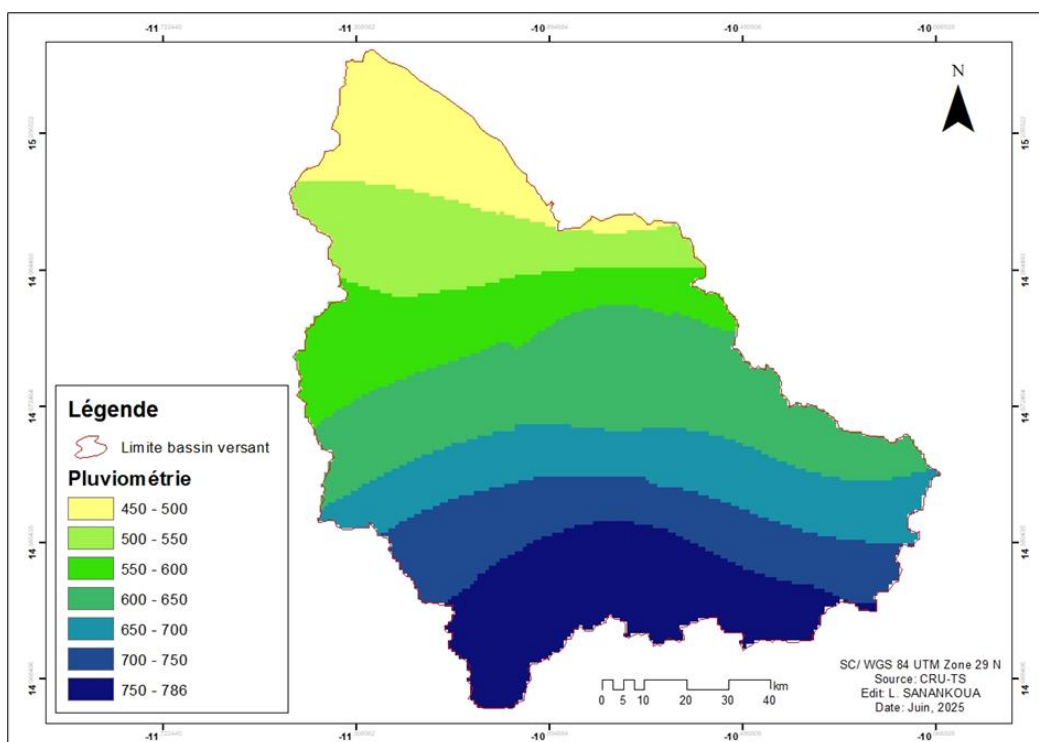


Figure 2 : Evolution des précipitations du bassin versant du lac Magui de 1992 à 2022

Source : CRU TS, 2025

2.2. L'Indice de Précipitations Standardisé du bassin versant du lac Magui

L'évolution du SPI-12 met en évidence des cycles pluriannuels alternant entre sécheresse et humidité. Certaines années, comme 1992, 1996, 2001, 2011 et 2014, se démarquent par des SPI inférieurs à -1, ce qui indique d'importants déficits de pluie. Ces épisodes de sécheresse ont des effets durables, notamment sur la recharge du lac Magui, l'assèchement des mares temporaires, et exercent une pression accrue sur les ressources en eau. Par ailleurs, les années 1999, 2003, 2010, 2013, 2020 et 2021 affichent des SPI-12 positifs, témoignant de périodes particulièrement humides. Ces années favorisent la montée du niveau du lac, alimentent les cours d'eau temporaires, et peuvent aussi occasionner des excès d'eau qui nuisent à certaines cultures ou infrastructures. L'analyse du SPI-12 révèle une forte variabilité climatique, sans tendance nette à la hausse ou à la baisse sur trois décennies (Figure 3). Ce régime pluviométrique souligne la

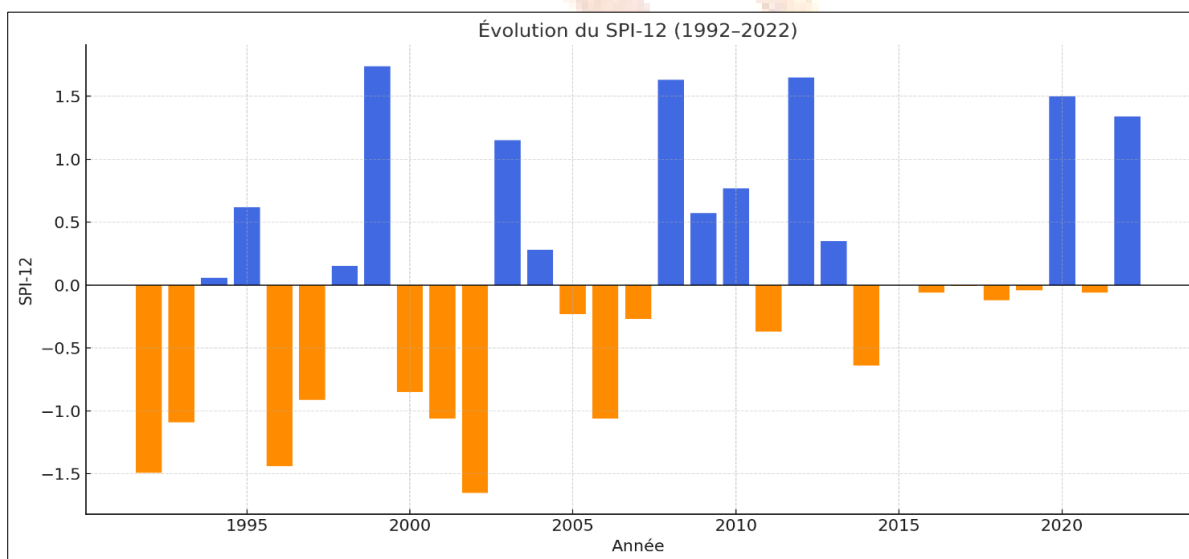
nécessité de renforcer les systèmes d’alerte, de prévision et de gestion hydrologique pour mieux soutenir la résilience locale.

Figure 3 : Indice Standardisé de Précipitations du bassin versant du lac Magui

Source : CRU TS, 2025

2.3. L’Indice d’Anomalie Précipitations du bassin versant du lac Magui

L’analyse de l’Indice d’Anomalie de Précipitations (RAI) pour le bassin versant du lac Magui, couvrant la période de 1992 à 2022, met en lumière une grande variabilité climatique (Figure 4). Sur ces 30 années, six ont connu des conditions très sèches, avec un RAI inférieur ou égal



à -3,0, notamment en 1992, 1993, 1996, 2001, 2002 et 2006. Ces années ont enregistré des précipitations particulièrement faibles, comme en 2002, avec seulement 456,6 mm, et un RAI de -5,29. D’un autre côté, cinq années, à savoir 1999, 2008, 2012, 2020 et 2022, ont été marquées par des conditions très humides, avec un RAI supérieur ou égal à +3,0, et des précipitations élevées, par exemple 787,6 mm en 1999, avec un RAI de +4,46. La majorité des années se situe dans la catégorie normale, avec un RAI entre -1,0 et +1,0, ce qui témoigne d’une certaine stabilité climatique dans la région. Les épisodes de sécheresse (29,03 %) et d’humidité (32,26 %) montrent que la région reste vulnérable face aux défis climatiques.

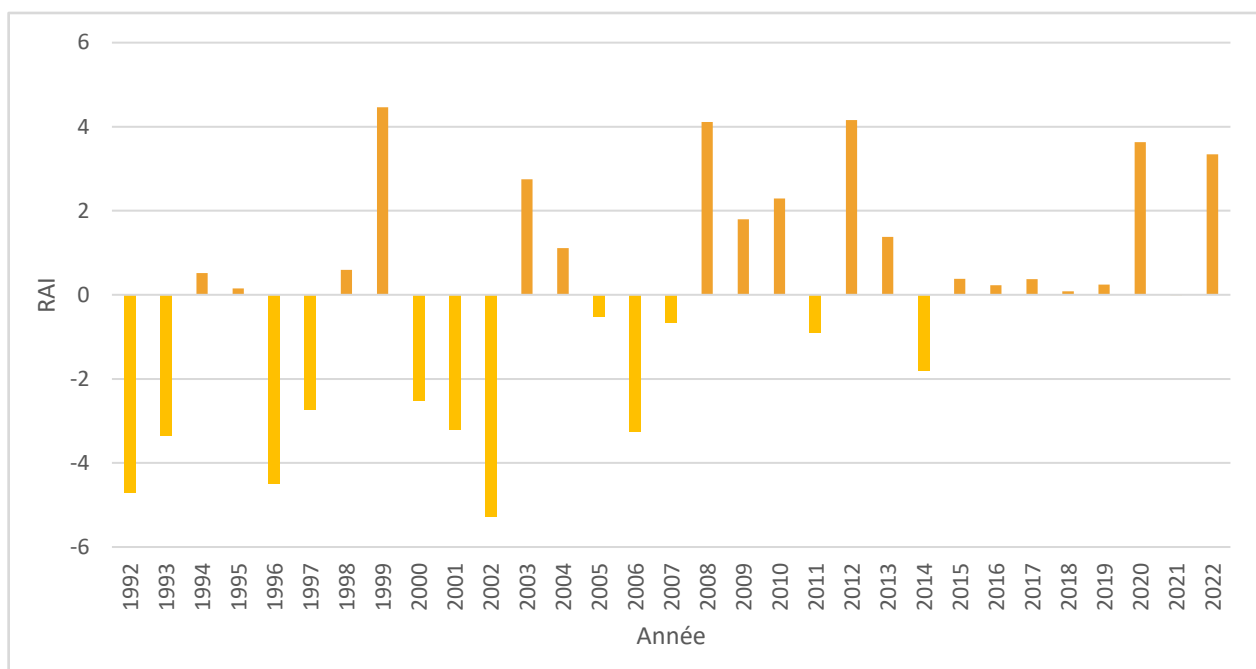


Figure 4 : Indice d'Anomalie Précipitations du bassin versant du lac Magui

Source : CRU TS, 2025

2.4. Variation de la température dans le bassin versant du Lac Magui.

L'évolution des températures moyennes annuelles dans le bassin versant du lac Magui entre 1992 et 2022 donne une tendance à la hausse, avec une augmentation moyenne de 0,40 °C sur cette période, soit environ 0,013 °C par an (Figure 5). Les températures ont varié entre 29,5 °C en 1994 et 31,0 °C en 2021, témoignant de fluctuations importantes d'une année sur l'autre. Les pics remarquables, comme en 2010, 2016 et 2021, contrastent avec des années plus fraîches, notamment 1994, 1999 et 2008. Cette tendance progressive indique un réchauffement climatique à un degré faible dans la zone d'étude. Ces changements risquent d'avoir un impact sur les écosystèmes aquatiques du lac et la couverture du sol. Cela souligne l'implication des acteurs du développement pour un suivi régulier afin d'anticiper ces impacts environnementaux futurs dans le bassin versant.

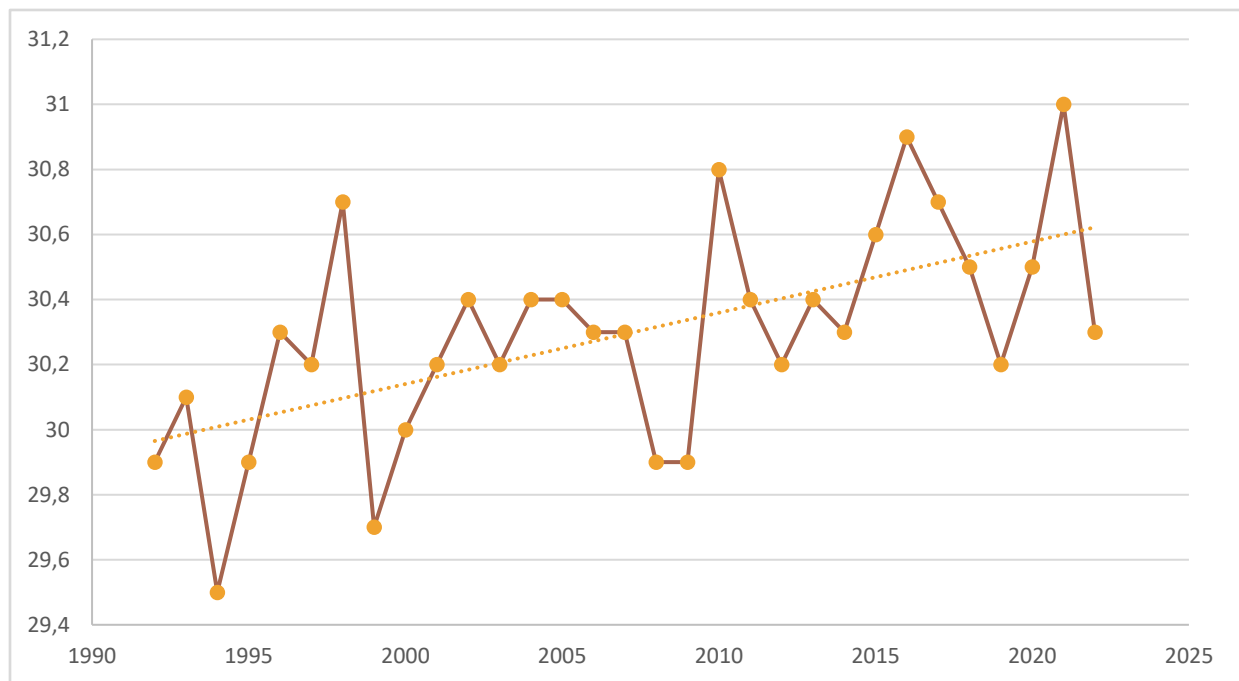


Figure 5 : Evolution de la température dans le bassin versant

Source : CRU TS, 2025

2.5. Variation de l'Indice Standardisé de Précipitations et d'Évapotranspiration dans le bassin versant du lac Magui

Le Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI-12) appliqué au bassin versant du lac Magui entre 1992 et 2022 évalue la variabilité climatique sur une base annuelle (Figure 6) en intégrant les effets combinés des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle. L'analyse du graphique montre une alternance marquée entre années humides (valeurs de SPEI-12 positives) et années sèches (valeurs négatives). Certaines années comme 1995, 2005, 2010 et 2020 se distinguent par des excédents hydriques significatifs, traduisant des conditions climatiques favorables à la recharge des nappes et aux activités agricoles. À l'inverse, les années 1997, 2002, 2011 et 2017 présentent des déficits hydriques marqués ($\text{SPEI-12} < -1$) témoignant de sécheresse. Cette alternance irrégulière illustre la vulnérabilité du climat sahélien, fortement influencé par les variations interannuelles de la mousson ouest-africaine et les conditions thermiques globales. Le SPEI-12 confirme ainsi la présence de cycles hydrologiques contrastés dans la région, soulignant la nécessité de renforcer les dispositifs d'adaptation et de gestion durable des ressources en eau face aux effets de la variabilité climatique.

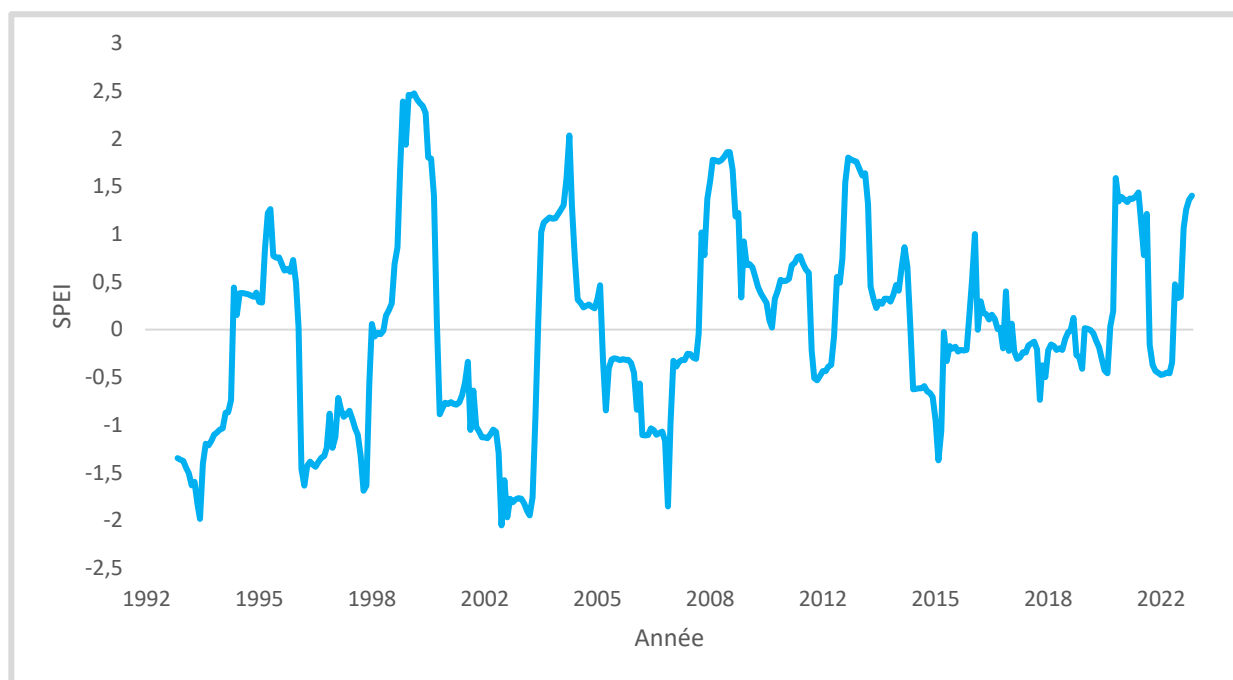


Figure 6 : Variation de l'Indice Standardisé de Précipitations et d'Évapotranspiration dans le bassin versant du lac Magui

Source : CRU TS, 2025

2.6. Variation de l'Indice Anomalie Standardisé de température dans le bassin versant du lac Magui

L'analyse de l'Indice Anomalie Standardisé de température appliqué aux températures mensuelles de la période 1992 à 2022 dans le bassin versant du lac Magui met en évidence des anomalies thermiques significatives (Figure 7). Le SAI qui mesure les écarts standardisés des températures par rapport à la moyenne climatologique de référence, permet d'identifier les mois chauds ou froids. Les résultats montrent une prédominance progressive des valeurs positives du SAI à partir des années 2000, traduisant une tendance générale à l'augmentation des températures dans la région. Cette évolution est particulièrement marquée après 2010, avec la survenue fréquente de pics de chaleur ($\text{SAI} > +1,5$) révélateurs d'épisodes de réchauffement anormal. Parallèlement, les anomalies froides ($\text{SAI} < -1,5$), plus fréquentes dans les années 1990, deviennent de plus en plus rares. Ce qui corrobore l'hypothèse d'un changement climatique mais à un degré faible dans la zone d'étude.

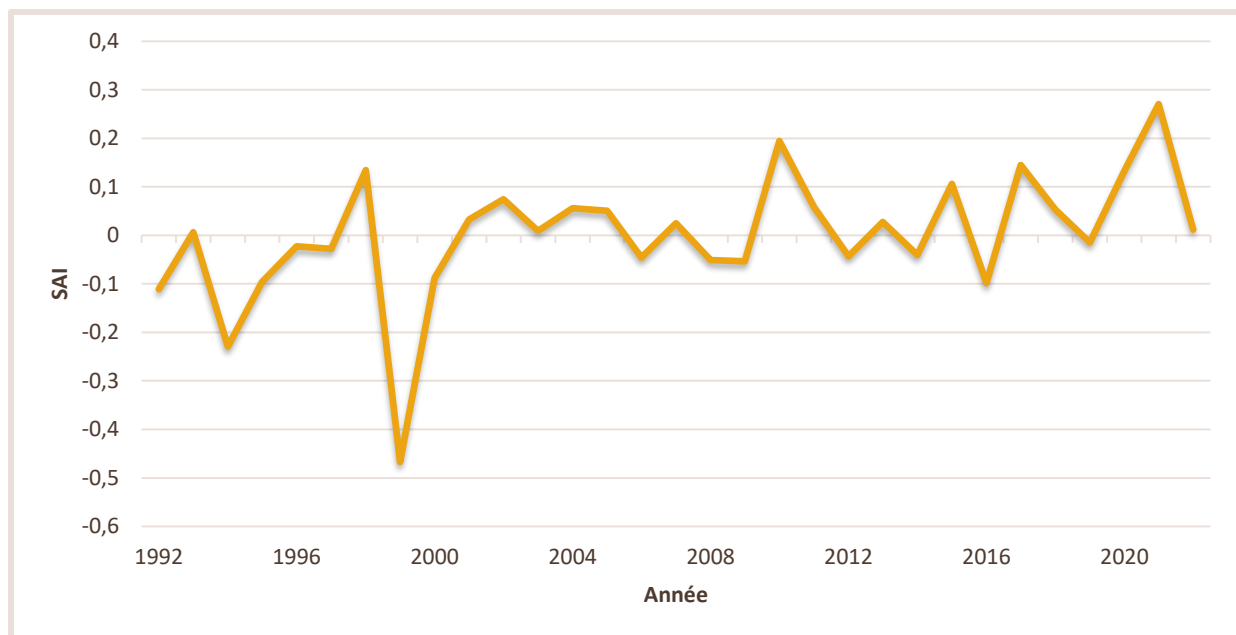


Figure 7 : Variation de l'Indice Anomalie Standardisé de température dans le bassin versant du lac Magui

Source : CRU TS, 2025

2.7. Analyse de température de la surface terrestre du bassin versant du lac Magui de 1992-2022

L'analyse spatiale de la température de surface met en évidence une distribution thermique typique importante dans le bassin. La figure 8 montre que la majorité des zones se situent entre 30 °C et 40 °C, ce qui reflète un climat généralement chaud et sec, caractéristique des régions semi-arides. Les secteurs où la température est comprise entre 25 °C et 30 °C sont beaucoup plus restreints et semblent correspondre à des endroits où la végétation, l'humidité du sol ou l'ombrage naturel contribuent à limiter la montée en température. Ces zones plus fraîches pourraient être liées à la présence de corridors forestiers, de zones humides, de berges avec une couverture végétale ou à des microreliefs qui favorisent l'accumulation d'humidité. La prédominance des températures élevées (30-35 °C et 35-40 °C) indique une forte sensibilité au stress thermique, accentuée par un faible couvert végétal dans plusieurs secteurs.

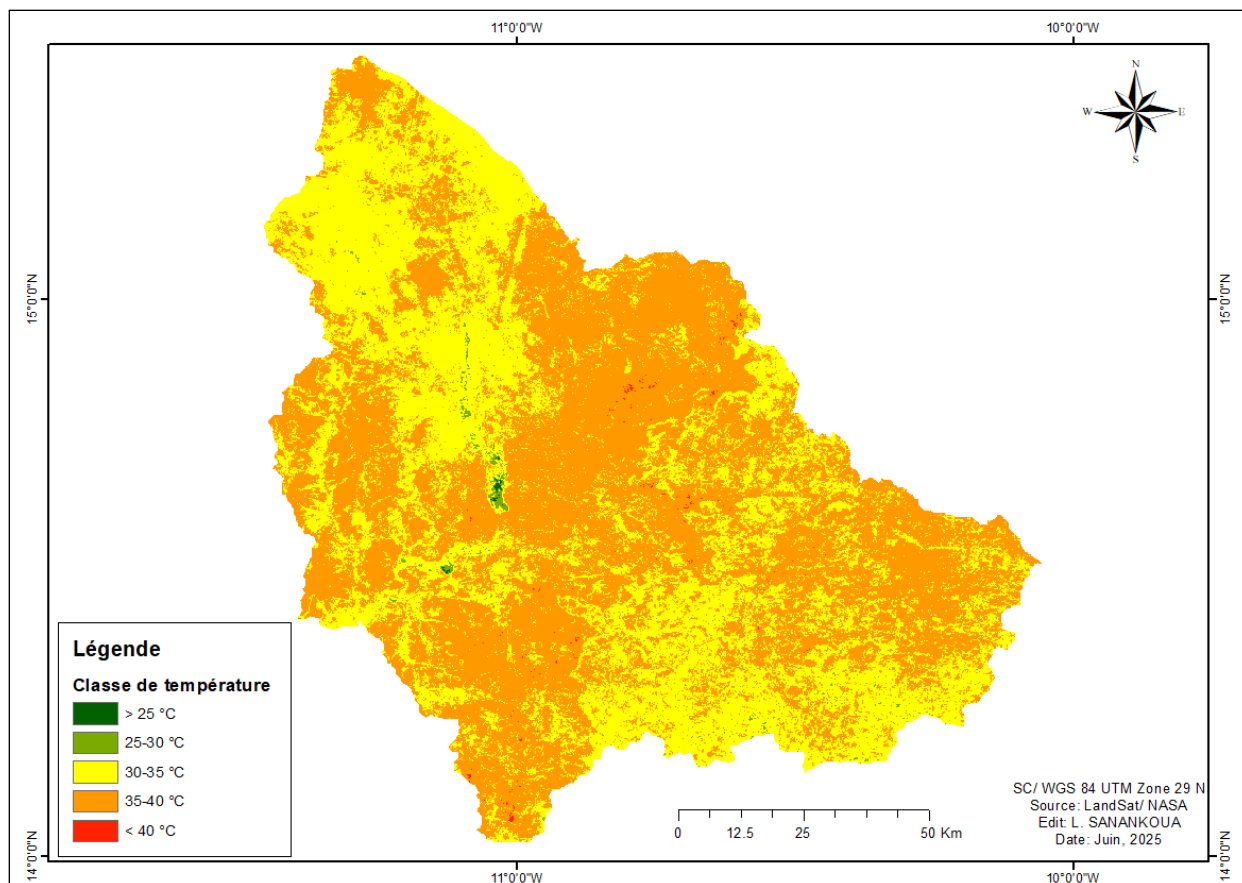


Figure 8 : Température de la surface terrestre du bassin versant du lac Magui de 1992 à 2022

Source : CRU TS, 2025

2.8. Matrice de corrélation des indices climatiques

Les résultats de la matrice de corrélation des indices climatiques révèlent une forte corrélation positive entre les précipitations et les indices SPI et RAI, avec un coefficient de 0,90 ce qui souligne leur dépendance commune aux données pluviométriques (Figure 9). La corrélation avec le SPEI (0,80) apparaît légèrement atténuée, probablement en raison de l'influence de l'évapotranspiration, qui est elle-même affectée par la température en hausse, enregistrée à +0,013 °C par an. Une corrélation négative modérée de -0,30 entre les précipitations et la température ou le SAI met en lumière l'impact de l'évapotranspiration accrue. Tandis que les indices SPI, RAI et SPEI restent cohérents entre eux (0,80-0,90), la température affiche une corrélation négative d'environ -0,50 avec le SPEI, ce qui suggère une dynamique climatique complexe, notamment dans un contexte semi-aride dans le bassin.

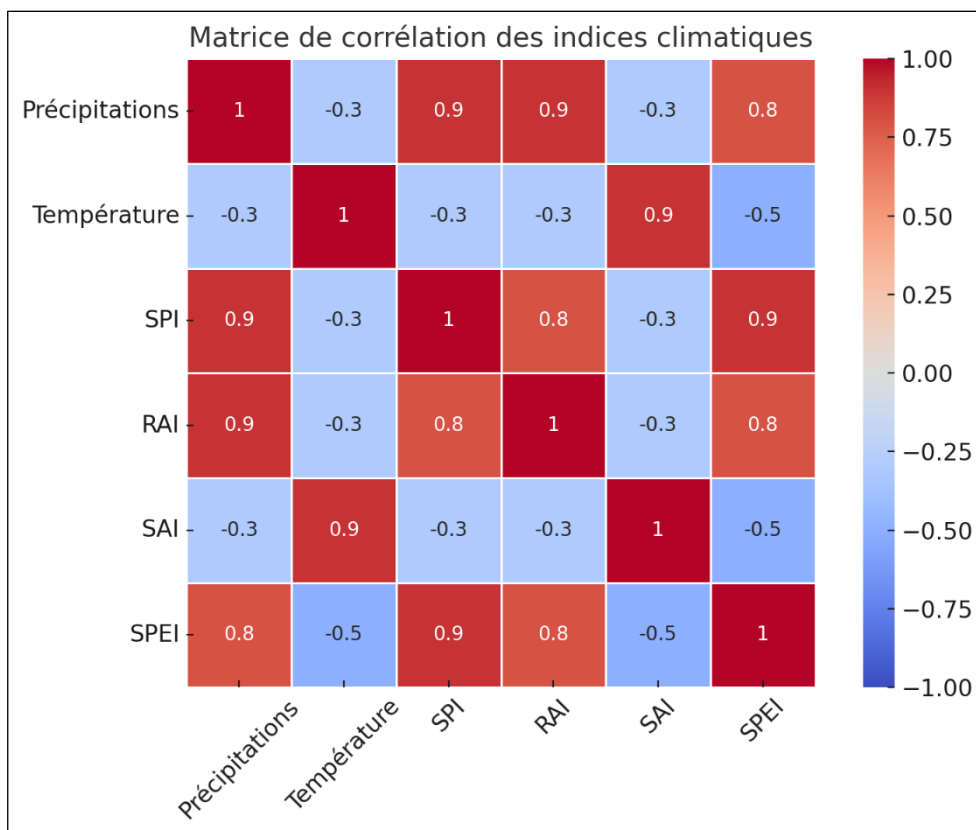


Figure 9 : Matrice de corrélation des indices climatiques du bassin versant du lac Magui

Source : CRU TS, 2025

2.9. Détection de rupture climatique dans le bassin versant du lac Magui

L'analyse des précipitations annuelles sur la période 1992-2022 dans le bassin versant du lac Magui, réalisée à l'aide d'un test de Pettitt, révèle trois ruptures climatiques en 1999, 2007 et 2015. Le graphique représentant les précipitations totales (allant de 456,6 mm en 2002 à 787,6 mm en 1999) met en évidence une forte variabilité d'une année à l'autre, avec des lignes verticales (en rouge pour 1999, en vert pour 2007, en orange pour 2015) indiquant ces moments de changement. La rupture de 2007 ($K = 108$, $p = 0,042$) se révèle être statistiquement significative, divisant la série en deux périodes : 1992-2006 (550 mm/an) et 2007-2022 (650 mm/an). Cela montre une augmentation des précipitations. En revanche, celles de 1999 et 2015, moins consistantes (p approchant 0,05) représentent des transitions secondaires, avec un pic exceptionnel en 1999 atteignant 787,6 mm, ainsi qu'une variabilité accrue après 2015.

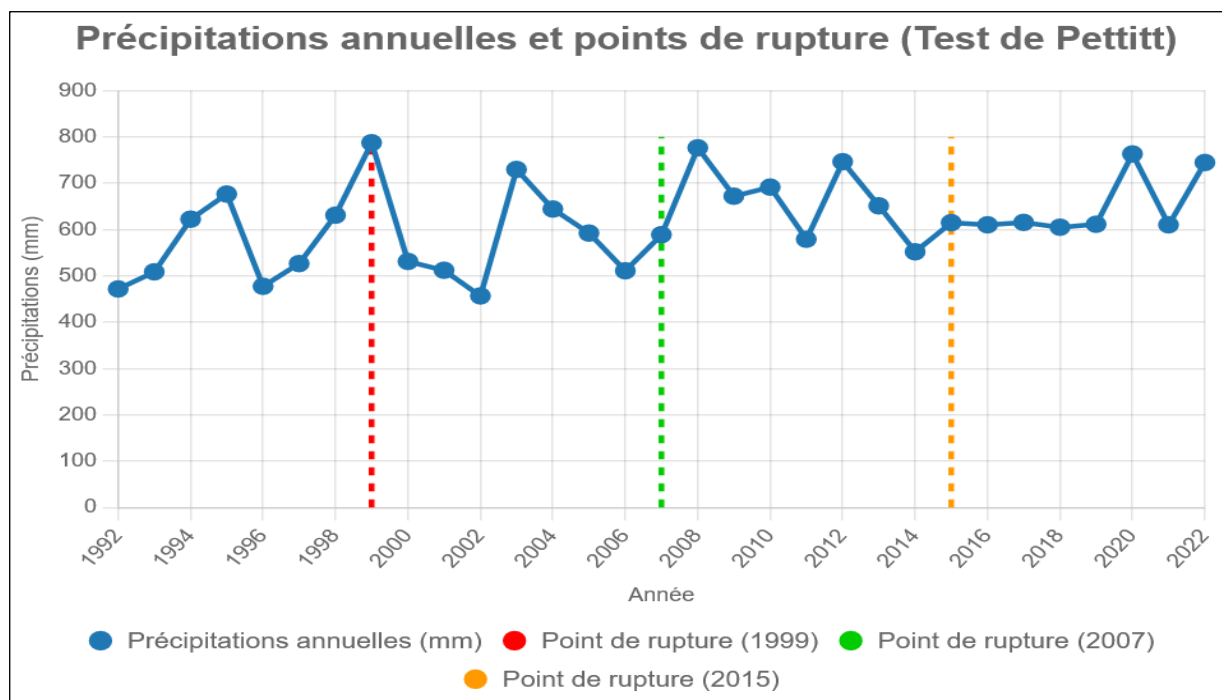


Figure 10 : Détection de rupture avec le test de Pettitt

Figure 11 : lac Magui, 2024



3. DISCUSSION

Les variations des précipitations au sein du bassin-versant du lac Magui sont liées aux dynamiques sahéliennes et s'inscrivent dans les tendances hydroclimatiques régionales, comme le révèle la reconstitution de la mousson ouest-africaine, instable selon Monerie et al. (2020). Elle se caractérise par la variabilité des précipitations observées, traduisant les alternances sèches et humides détectées par le SPI et le RAI. En cohérence avec Diem et al., (2019) qui documentent des déficits pluviométriques persistants, notamment après 2000, au sein de zones sahéliennes des crues et sécheresses sont récurrentes. L'élévation progressive de $+0,013\text{ }^{\circ}\text{C/an}$ des températures moyennes relevée du côté du bassin rejoint le constat du GIEC (IPCC, 2023) pour les zones sahéliennes et de Koubodana H. et al., (2020) qui signale une évapotranspiration accentuée, la cause d'une tension essentielle hydrique lors des périodes sèches, le SPEI ayant permis au cours de l'analyse de cette recherche que l'intégration de l'évapotranspiration permet de mieux déceler des sécheresses climatiques plus fines que ponctuelles, bien cohérentes avec les appareils d'analyse de l'ensemble des observations de ces régions, tandis qu'il ressort des anomalies de temps standardisées (SAI).

L'exploration des relations entre ces indicateurs montre qu'ils suivent des tendances convergentes pour les SPI, les RAI et les SPEI, en favorisant une présentation de la relation négative entre la température et le régime hydrique, révélant ainsi la complexité des interactions temporelles dans ce milieu semi-aride. Le régime de pluie en fonction de la méthode de Pettitt montre des ruptures des mêmes ordres de grandeur des régimes de pluies autour de 2007, comme les autres bassins de l'Afrique de l'Ouest, retrouver un régime d'activité au moins temporaire. Ce résultat renforce l'utilité d'une approche intégrée d'indices multiples et d'analyses de rupture dans la compréhension de la vulnérabilité hydrique et de la variabilité du climat dans les zones fortement anthropisées et volontiers exposées à d'intenses variations climatiques (Panthou et al., 2014).

CONCLUSION

L'étude de la dynamique hydroclimatique du bassin versant du lac Magui met en évidence une forte variabilité interannuelle des précipitations et des anomalies thermiques sur la période 1992-2022. Les indices SPI et RAI confirment l'alternance régulière de périodes sèches et humides, tandis que le SPEI intégrant l'effet de l'évapotranspiration, offre une perspective plus complète des déficits hydriques. La tendance générale à la hausse des températures, validée par le SAI et les mesures LST, accentue le stress hydrique et la vulnérabilité écologique du bassin. La matrice de corrélation montre que la variabilité des précipitations est fortement liée aux indices SPI, RAI et SPEI, alors que la température exerce un impact négatif modéré sur ces

indices, illustrant la complexité des interactions hydroclimatiques. Le test de Pettitt révèle trois ruptures climatiques, dont celle de 2007, significative, marque un changement notable dans le régime pluviométrique et hydrologique du bassin. Ces résultats démontrent que le bassin versant du lac Magui est sensible aux fluctuations climatiques, et que la gestion durable de ses ressources en eau nécessite un suivi continu basé sur des indicateurs normalisés et l'intégration de mesures d'adaptation adaptées aux contextes semi-arides sahéliens. L'étude fournit ainsi une base scientifique pour planifier la résilience des systèmes hydriques et agricoles face aux impacts de la variabilité climatique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chiew, F. H. S., Potter, N. J., McMahon, T. A., & Chiew, R. (2024). Hydrological responses to warming: Insights from centennial-scale terrestrial evapotranspiration estimates. *Water Resources Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1029/2024WR041001>
- Christopherson, R. W., & Birkeland, G. H. (2017). *Geosystems: An introduction to physical geography* (10th ed.). Pearson.
- Diem, J. E., Sung, H. S., Konecky, B. L., Palace, M. W., Salerno, J., & Hartter, J. (2019). Rainfall characteristics and trends—and the role of Congo westerlies—in the Western Uganda transition zone of equatorial Africa from 1983 to 2017. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(20), 10712–10729. <https://doi.org/10.1029/2019JD031243>
- Ejaz, T., Alnegheimish, S., & others. (2023). Temperature anomaly analysis using standardized anomaly index (SAI) in drought monitoring. Dans *Drought monitoring using Landsat derived indices and Google Earth Engine* (pp. 984-1005). *Remote Sensing*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/rs15040984>
- Giri, C. P. (Ed.). (2016). *Remote sensing of land use and land cover: Principles and applications*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11964>
- HydroSHEDS. (2021). *Hydrological data and maps based on shuttle elevation derivatives at multiple scales* [Dataset]. World Wildlife Fund. <https://www.hydrosheds.org/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Core Writing Team, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. T. Alegria, A. Craig,

S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama, Eds.). IPCC.

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>

- Mahé, G., & Paturel, J.-E. (2000). Hydrological trends in the Sahel. Dans *Hydrological response to climate change in the semi-arid Sahel* (pp. 97-106). IAHS Press.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (pp. 179-183). American Meteorological Society.
- Monerie, P.-A., Wainwright, C. M., Sidibé, M., & Akinsanola, A. A. (2020). Model uncertainties in climate change impacts on Sahel precipitation in ensembles of CMIP5 and CMIP6 simulations. *Climate Dynamics*, 55(5-6), 1385–1401.
<https://doi.org/10.1007/s00382-020-05332-0>
- National Aeronautics and Space Administration. (2019). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 arc-second global* [Dataset]. United States Geological Survey.
<https://doi.org/10.5066/F7C22D0K>
- Ndlovu, M. S., & Demlie, M. (2020). Assessment of meteorological drought and wet conditions using two drought indices across KwaZulu-Natal Province, South Africa. *Atmosphere*, 11(6), Article 623. <https://doi.org/10.3390/atmos11060623>
- Niang, I., Ruppel, O. C., Abdrabo, M. A., Essel, A., Lennard, C., Padgham, J., & Urquhart, P. (2014). Africa. Dans V. R. Barros, C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, & L. L. White (Eds.), *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1199-1265). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415416.028>
- Observatoire du Sahara et du Sahel. (2024). *Gestion concertée des eaux souterraines partagées en Afrique : Défis et opportunités*. OSS. <https://www.oss-online.org/sites/default/files/2024-09/OSS-GestionConcerteeEauxPartagees.pdf>
- Panthou, G., Vischel, T., & Lebel, T. (2014). Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(10), 4097-4115. <https://doi.org/10.5194/hess-18-4097-2014>

- Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28(2), 126-135. <https://doi.org/10.2307/2346729>
- Traoré, A. (2022). *Changement climatique et agriculture en Afrique subsaharienne : Perception des agriculteurs et impact de l'association entre maïs et légumineuses sur la productivité des cultures* [Thèse de doctorat, Université Paris-Saclay]. HAL Thèses. <https://theses.hal.science/tel-03847646>
- United Nations World Water Assessment Programme. (2022). *United Nations world water development report 2022: Groundwater: Making the invisible visible*. UNESCO. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en>
- United Nations World Water Assessment Programme. (2020). *United Nations world water development report 2020: Water and climate change*. UNESCO. <https://www.unesco.org/en/wwap/wwdr/2020>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>