

# Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes



**ISSN-L: 2521-2125**  
**ISSN-P: 3006-8541**

**Numéro 17**  
**Décembre 2024**

# **RIGES**

[www.riges-uao.net](http://www.riges-uao.net)



Publiée par le Département de Géographie de l'Université Alassane OUATTARA de Bouaké

# INDEXATIONS INTERNATIONALES



<https://journal-index.org/index.php/asi/article/view/12202>

**Impact Factor: 1,3**

## SJIF Impact Factor

<http://sjifactor.com/passport.php?id=23333>

**Impact Factor: 7,924 (2024)**

**Impact Factor: 6,785 (2023)**

**Impact Factor: 4,908 (2022)**

**Impact Factor: 5,283 (2021)**

**Impact Factor: 4,933 (2020)**

**Impact Factor: 4,459 (2019)**

## ADMINISTRATION DE LA REVUE

### *Direction*

**Arsène DJAKO**, Professeur Titulaire à l'Université Alassane OUATTARA (UAO)

### *Secrétariat de rédaction*

- **Joseph P. ASSI-KAUDJHIS**, Professeur Titulaire à l'UAO
- **Konan KOUASSI**, Professeur Titulaire à l'UAO
- **Dhédé Paul Eric KOUAME**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Yao Jean-Aimé ASSUE**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Zamblé Armand TRA BI**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Kouakou Hermann Michel KANGA**, Maître de Conférences à l'UAO

### *Comité scientifique*

- **HAUHOUOT Asseypo Antoine**, Professeur Titulaire, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **ALOKO N'Guessan Jérôme**, Directeur de Recherches, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **BOKO Michel**, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi (Benin)
- **ANOH Kouassi Paul**, Professeur Titulaire, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **MOTCHO Kokou Henri**, Professeur Titulaire, Université de Zinder (Niger)
- **DIOP Amadou**, Professeur Titulaire, Université Cheick Anta Diop (Sénégal)
- **SOW Amadou Abdoul**, Professeur Titulaire, Université Cheick Anta Diop (Sénégal)
- **DIOP Oumar**, Professeur Titulaire, Université Gaston Berger Saint-Louis (Sénégal)
- **WAKPONOU Anselme**, Professeur HDR, Université de N'Gaoundéré (Cameroun)
- **SOKEMAWU Koudzo**, Professeur Titulaire, Université de Lomé (Togo)
- **HECTHELI Follygan**, Professeur Titulaire, Université de Lomé (Togo)
- **KADOUZA Padabô**, Professeur Titulaire, Université de Kara (Togo)
- **GIBIGAYE Moussa**, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi (Bénin)

## EDITORIAL

La création de RIGES résulte de l'engagement scientifique du Département de Géographie de l'Université Alassane Ouattara à contribuer à la diffusion des savoirs scientifiques. RIGES est une revue généraliste de Géographie dont l'objectif est de contribuer à éclairer la complexité des mutations en cours issues des désorganisations structurelles et fonctionnelles des espaces produits. La revue maintient sa ferme volonté de mutualiser des savoirs venus d'horizons divers, dans un esprit d'échange, pour mieux mettre en discussion les problèmes actuels ou émergents du monde contemporain afin d'en éclairer les enjeux cruciaux. Les enjeux climatiques, la gestion de l'eau, la production agricole, la sécurité alimentaire, l'accès aux soins de santé ont fait l'objet d'analyse dans ce présent numéro. RIGES réaffirme sa ferme volonté d'être au service des enseignants-chercheurs, chercheurs et étudiants qui s'intéressent aux enjeux, défis et perspectives des mutations de l'espace produit, construit, façonné en tant qu'objet de recherche. A cet effet, RIGES accueillera toutes les contributions sur les thématiques liées à la pensée géographique dans cette globalisation et mondialisation des problèmes qui appellent la rencontre du travail de la pensée prospective et de la solidarité des peuples.

**Secrétariat de rédaction  
KOUASSI Konan**

## COMITE DE LECTURE

- KOFFI Brou Emile, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- ASSI-KAUDJHIS Joseph P., Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- BECHI Grah Félix, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- MOUSSA Diakité, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- VEI Kpan Noël, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- LOUKOU Alain François, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- TOZAN Bi Zah Lazare, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- ASSI-KAUDJHIS Narcisse Bonaventure, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- SOKEMAWU Koudzo, Professeur Titulaire, U L (Togo)
- HECTHELI Follygan, Professeur Titulaire, U L (Togo)
- KOFFI Yao Jean Julius, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- Yao Jean-Aimé ASSUE, Maître de Conférences, UAO
- Zamblé Armand TRA BI, Maître de Conférences, UAO

## Sommaire

<p><b>KONE Basoma</b></p> <p><i>Relations ville-campagne à l'épreuve du développement de la Sous-Préfecture de Korhogo au nord de la Côte d'Ivoire</i></p>	8
<p><b>DIAGNE Abdoulaye</b></p> <p><i>Analyse spatiale de la gouvernance des services d'eau en milieu rural sénégalais : cas des communes de Barkedji et Dodji dans la zone sylvo-pastorale</i></p>	31
<p><b>DAOUDINGADE Christian</b></p> <p><i>Les facteurs physiques favorables aux inondations à N'djamena (Tchad)</i></p>	50
<p><b>Kuasi Apéléti ESIAKU, Kossi KOMI, Komi Selom KLASSOU</b></p> <p><i>Contraintes hydroclimatiques dans le bassin versant de la Kara (Nord-Togo) : manifestations et enjeux</i></p>	76
<p><b>KRAMO Yao Valère, TRAORE Oumar, YEBOUET Konan Thierry Saint-Urbain, DJAKO Arsène</b></p> <p><i>Implications socio-économiques et environnementales de la transformation artisanale du manioc d dans la Sous-préfecture de Zuénoula (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)</i></p>	95
<p><b>Romain GOUATAINE SEINGUÉ, Julien MBAIKAKDJIM, Passinring KEDEU</b></p> <p><i>Effets environnementaux et socio-économiques de l'utilisation des pesticides en maraichage dans la vallée du Chari à N'djamena (Tchad)</i></p>	112
<p><b>Constantin TCHANG BANDA, Joseph OLOUKOI</b></p> <p><i>Analyse de la dynamique de l'occupation du sol dans la zone pétrolière du département de la Nya au Tchad</i></p>	130
<p><b>Tchékpo Théodore ADJAKPA</b></p> <p><i>Risques liés à l'utilisation des pesticides en zone cotonnière à Kétou au Sud- Est du Bénin</i></p>	147
<p><b>BAWA Dangnisso</b></p> <p><i>Le site du quartier de Bè à Lomé : une topographie entre océan et lagune sous l'emprise des inondations</i></p>	174

<p><b>Mariasse Céleste Houéfa Hounkpatin, Youssoufou Adam, Sabine Djimouko, Nadine Bognonkpe, Moussa Gibigaye, Koudzo Sokemawu</b></p> <p><i>Modes De Gestion Des Conflits Fonciers Dans La Commune D'adjarra Au Sud-Est du Bénin</i></p>	194
<p><b>Jean-Marie Kouacou ATTA, Euloge Landry Désiré ESMEL, Éric Gbamain GOGOUA</b></p> <p><i>Dégradation du couvert forestier et conflits ruraux dans le département d'Aboisso (sud-est de la Côte d'Ivoire)</i></p>	208
<p><b>Seïdou COULIBALY</b></p> <p><i>Dynamique spatiale dans un écosystème de bas-fond de la sous-préfecture de Guiberoua (Centre- Ouest de la Côte d'Ivoire)</i></p>	225
<p><b>MORÉMBAYE Bruno</b></p> <p><i>Le Logone occidental entre l'espoir et le désespoir dans la gestion de ses ressources édaphiques</i></p>	246
<p><b>KOUASSI Kouamé Sylvestre</b></p> <p><i>La prospective au service de la transformation des territoires en Côte d'Ivoire</i></p>	264
<p><b>Ghislain MOBILANDZANGO M., Nicole Yolande EBAMA, Damase NGOUMA</b></p> <p><i>L'accès à l'éducation en milieu rural : un problème de développement au Congo. exemple du district de Makotimpoko (Département des Plateaux)</i></p>	285
<p><b>KOUAKOU Kouassi Éric, KOUTOUA Amon Jean-Pierre, KONE Zana Daouda</b></p> <p><i>Analyse prospective de la contribution de la ligne 2 du BRT à l'amélioration des déplacements entre Hôtel Ivoire – Angré Petro Ivoire à Cocody (Côte d'Ivoire)</i></p>	305
<p><b>Oumar GNING, Aliou GAYE, Joseph Samba GOMIS, Mamadou THIOR, Racky Bilene Sall DIÉDHIOU</b></p> <p><i>Analyses géographiques du patrimoine culturel de la ville de Ziguinchor dans une perspective de développement local</i></p>	328
<p><b>Ache Billah KELEI ABDALLAH, Magloire DADOUM DJEKO</b></p> <p><i>Risques climatiques et agrosystèmes dans la communauté rurale de Fandène, département de Thiès au Sénégal</i></p>	349

<p><b>KOFFI Kouadio Achille, DIOMANDE Béh Ibrahim, KONAN Kouadio Philippe Michael</b></p> <p><i>Capacité de séquestration de CO<sub>2</sub> atmosphérique des végétaux du parc national de la Comoé (Nord-est de la Côte d'Ivoire)</i></p>	363
<p><b>TRAORÉ Hintchimbewélé Fabrice, KOFFI Yao Jean Julius</b></p> <p><i>Caractéristiques de l'élevage de porcs dans la sous-préfecture de Sinfra (centre-ouest de la Côte d'Ivoire)</i></p>	376
<p><b>MBAYAM Boris SAÏNBÉ, Man-na DJANGRANG</b></p> <p><i>Occupation du sol et impacts géomorphologiques à Ngourkosso au Sud-ouest du Tchad</i></p>	394
<p><b>BASSOUHOKÉ Ahou Marie Noëlle, YÉO Nogodji Jean, DJAKO Arsène</b></p> <p><i>Dynamique spatiale et vulnérabilité des exploitants agricoles dans les villages intégrés à la ville de Béoumi (Centre de la Côte d'Ivoire)</i></p>	416
<p><b>KOFFI Serge Léonce, KOUASSI Kouamé Sylvestre, DJAKO Arsène</b></p> <p><i>Analyse rétrospective de l'occupation du sol dans la forêt classée de Niégré de 1990 à 2023</i></p>	432
<p><b>KOUAKOU Bah, KOUAKOU Kouamé Jean Louis, YAPI Atsé Calvin</b></p> <p><i>Conseil municipal et stratégies de gestion durable des déchets ménagers solides à Gagnoa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)</i></p>	450
<p><b>ALLARAMADJI MOULDJIDÉ, MOUTEDE-MADJI Vincent, BAOHOUTOU Laohoté</b></p> <p><i>Analyse spatiale des structures sanitaires dans les districts sud et du 9<sup>eme</sup> arrondissement de la ville de N'djamena</i></p>	467
<p><b>COULIBALY Moussa, KAMAGATE Sindou Amadou, CISSE Brahim</b></p> <p><i>Prolifération des eaux usées et ordures ménagères : un facteur de risques environnementaux et sanitaires dans la ville d'Anoumaba (Centre-est, Côte d'Ivoire)</i></p>	480
<p><b>N'GORAN Kouamé Fulgence</b></p> <p><i>Gestion des ordures telluriques dans les villages littoraux Alladjan et activités touristiques dans la commune de Jacquville</i></p>	498
<p><b>ZONGO Tongnoma</b></p> <p><i>L'impact environnemental et social de l'orpillage dans la province du Sanmatenga au Burkina Faso</i></p>	519

## **CONTRAINTES HYDROCLIMATIQUES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA KARA (NORD-TOGO) : MANIFESTATIONS ET ENJEUX**

**Kuasi Apéléte ESIAKU**, Docteur

Laboratoire de recherche sur la dynamique des milieux et des sociétés (LARDYMES),  
Département de Géographie, Université de Lomé.

**Email** : danielesiaku@gmail.com

**Kossi KOMI**, Maître-Assistant

Laboratoire de recherche espaces, échanges et sécurité humaine (LAREESH)  
Département de Géographie, Université de Lomé.

**Email** : kkomi@univ-lome.tg

**Komi Selom KLASSOU**, Professeur Titulaire

Laboratoire de recherche sur la dynamique des milieux et des sociétés (LARDYMES),  
Département de Géographie, Université de Lomé.

**Email** : klasselom@yahoo.fr

*(Reçu le 10 Juillet 2024 ; Révisé le 18 août 2024 ; Accepté le 30 septembre 2024)*

### **Résumé**

Le bassin versant de la Kara est le lieu de plusieurs dynamiques naturelles et socioéconomiques dont les impacts sur les ressources en eau sont multiples. L'objectif de cette étude est d'examiner l'évolution temporelle des paramètres hydroclimatiques dans cet espace géographique de 1970-2023 et ses effets sur les populations et à leurs activités. Des données mensuelles et annuelles de pluies, de températures, de l'évapotranspiration et de débits ainsi que des observations sur le terrain, ont été traitées et analysées. Les résultats montrent que les températures connaissent, en moyenne, une hausse de 0,8°C sur la période d'étude tandis que les précipitations enregistrent une tendance décroissante. On relève aussi une corrélation entre les tendances climatique et hydrométrique avec une réduction des débits de la rivière Kara. Ces perturbations posent de nombreux défis, notamment la disponibilité et de la qualité des ressources en eau de surface, à l'échelle du bassin versant.

**Mots-clés** : Contraintes hydroclimatiques, réchauffement climatique, pluies, débits, bassin versant, la Kara.

### **HYDROCLIMATIC CONSTRAINTS IN THE KARA WATERSHED (NORTH- TOGO): MANIFESTATIONS AND ISSUES**

### **Abstract**

The Kara watershed is subject to several natural and socio-economic dynamics with multiple impacts on water resources. The objective of this study is to examine the temporal evolution of hydroclimatic parameters in this geographical space from 1970-2023 and its effects on populations and their activities. Monthly and annual

rainfall, temperature, evapotranspiration and flow data as well as field observations were processed and analyzed. The results show that temperatures are rising by an average of 0.8°C over the study period while precipitation is showing a decreasing trend. There is also a correlation between climatic and hydrometric trends with reduced flows from the Kara River. These disturbances pose many challenges, including the availability and quality of surface water resources at the watershed scale.

**Keywords :** Hydroclimatic constraints, global warming, rainfall, discharge, Kara watershed, Togo

## **Introduction**

Les changements climatiques et hydrologiques, de par la multiplicité, la gravité et l'enchevêtrement de leurs effets, s'installent ces derniers temps au cœur de la plupart des préoccupations actuelles et pour le futur (S. Ardoin-Bardin, 2002, p. 11 ; A. M. Kouassi, 2008, p. 208 ; R. Ogouwale, 2020, p. 153). Toutes les prévisions climatiques du GIEC prévoient une intensification du réchauffement moyen, en plus du changement des précipitations (D. Koungbanane *et al*, 2023, paragr. 1). En Afrique de l'Ouest, ce dernier est globalement marqué par une tendance à l'assèchement, en dépit d'une légère remontée de la pluviosité vers le début des années 2000. Les ressources en eau, l'environnement et les sociétés humaines sont exposés et négativement affectés par ces changements (S. K. Klassou, 1991, p 86, K. A. Esiaku *et al*, 2020, p 7 ; UNESCO, 2020, p. 9). Les eaux de surface en sont particulièrement vulnérables et très impactées. Plusieurs travaux scientifiques ont ainsi relevé une corrélation entre les précipitations et les débits des cours d'eau (Rescan M. 2005, p. 12 ; B. Adiaffi *et al*, 2016, p. 43 ; UNESCO, 2020, p. 18) avec, dans la sous-région ouest-africaine, une baisse de débits, consécutive à une tendance à l'amenuisement des précipitations, parallèlement à une hausse des températures. Et puisque les précipitations sont, a priori, le principal facteur de l'alimentation des cours d'eau et que leur influence sur la variabilité des écoulements s'observe à toutes les échelles de temps (F. Hallouz *et al*, 2013, p. 38), la réduction des hauteurs de pluies, couplée avec le réchauffement climatique, entraîne et accentue donc la diminution de l'écoulement. Cela étant, la modification péjorative des lames d'eau écoulées, en plus d'être une réponse hydrologique du bassin versant aux changements des conditions climatiques, dénote une perturbation hydroclimatique qui impose, aux populations, de nombreux défis, notamment celui de la disponibilité et de la qualité des ressources en eau de surface. Au Togo, si les changements climatiques et leurs impacts hydrologiques dans les bassins des principaux cours d'eau du pays (l'Oti et le Mono), ont fait l'objet de plusieurs études, ce n'est pas le cas de leurs sous bassins. Ce travail qui porte sur le bassin de la Kara (un sous bassin de l'Oti) est motivé par ce constat du déficit de connaissance sur les impacts et les enjeux des changements

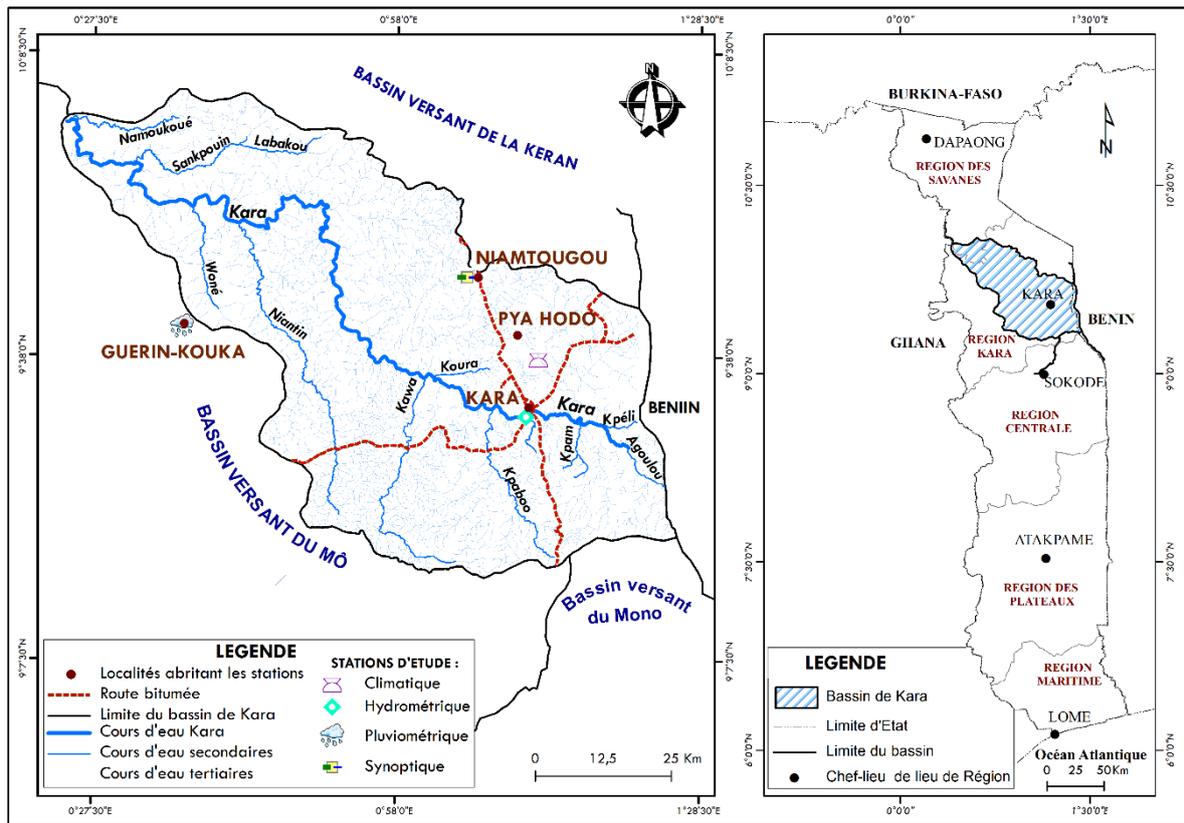
climatiques sur les bassins hydrographiques secondaires au Togo. Il vise à examiner, sur la période de 1970 à 2023, le comportement des paramètres hydroclimatiques et les enjeux hydriques factuels et potentiels qui en résultent et qui s'imposent aux populations du bassin versant. Il se fonde principalement sur la collecte, le traitement et l'analyse des séries de données pluviométriques, thermométriques, hydrométriques et des informations recueillies sur le terrain.

## **1. Matériels et méthodes**

### **1.1. Présentation de la zone d'étude**

Le bassin versant de la Kara, dans son entièreté, est un bassin transfrontalier. Il s'étend sur le Togo et le Bénin. Sa partie togolaise, qui fait l'objet de la présente étude, se situe au nord du pays, précisément dans la région de la Kara, entre 0,40° et 1,43° de longitude Est et entre 9,26° et 10,08° de latitude Nord (Figure 1). Elle couvre une superficie de 5 373 km<sup>2</sup>. La rivière Kara, son principal collecteur, prend sa source dans la chaîne de l'Atakora, au sud-est de Djougou au Bénin à environ 460 m d'altitude puis parcourt le territoire togolais, en traversant diagonalement (direction SE-NW) sur près de 190 km, la région de la Kara et son chef-lieu (la ville de Kara), avant de se jeter dans l'Oti, à la frontière Togo-Ghana. Le bassin versant de la Kara bénéficie d'un climat tropical sec dont le régime pluviométrique influence étroitement les écoulements. Les précipitations y varient en moyenne entre 1100 mm et 1 350 mm par an. Celles-ci sont essentiellement enregistrées entre avril et octobre, l'unique saison pluvieuse de l'année, avec le pic pluviométrique qui intervient généralement en août (et parfois en septembre), ce qui coïncide avec les hautes eaux de la rivière Kara. Par ailleurs le bassin versant de la Kara est une zone à très forte croissance démographique (+ 2,1% par an, entre 2010 et 2022) qui abrite la ville de Kara, chef-lieu de la région du même nom et la deuxième plus grande ville du Togo (158 090 habitants en 2022), ce qui exerce une pression considérable sur les ressources naturelles comme l'eau.

Figure 1 : Localisation du bassin versant de la Kara et des stations étudiées



Source : K. A. Esiaku et al., 2024.

## 1.2. Les données collectées

Ce travail a nécessité l'utilisation de différents types de données sur le climat et l'écoulement. La plupart de celles-ci sont obtenues auprès des services publics chargés de leur collecte et de leur archivage. Ainsi, les données de pluies et de températures, à pas de temps mensuel et annuel, ont été fournies par l'Agence nationale de la météorologie (ANAMET). Elles concernent les stations météorologiques de Guerin Kouka, de Kara et de Niamtougou, sur la période de 1970 à 2023 pour les pluies et de 1980 à 2023 pour les températures à cause de la disponibilité des données climatiques de bonne qualité. Quant aux données hydrométriques (les débits moyens mensuels et annuels), elles portent sur une station (la station hydrométrique de Kara) et ne sont disponibles et utilisables que sur deux segments de période, notamment de 1970 à 1990 et de 2011 à 2019 (Tableau 1), en raison de nombreuses lacunes qu'elles comportent. Elles proviennent de la Direction des ressources en eau basée à Lomé. Par ailleurs, les observations, les discussions et les prises de vues ont permis de glaner des informations de première main, directement sur le terrain.

**Tableau 1 : Caractéristiques des stations étudiées et types de données**

Codes	Noms	Types	Latitudes	Longitudes	Données / Périodes
1470009700	Guerin Kouka	Pluviométrique	9,683°	0,606°	Pluies (1970-2023), Températures (1982-2023)
1470013400	Kara-Station	Climatique	9,628°	1,203°	Pluies (1970-2023), Températures (1981-2023)
1470015100	Niamtougou	Synoptique	9,767°	1,083°	Pluies (1970-2023), Températures, (1981-2023)
1472703910	Kara	Hydrométrique	9,533°	1,183°	Débits (1970-1990 et 2011-2019)

Source : K. A. Esiaku et al., 2024, à partir des données de l'ANAMET et de la Direction des ressources en eau.

### 1.3. Méthodes

Les moyennes arithmétiques et des pourcentages, calculés à partir des séries de données collectées, ont été exploités pour déterminer les valeurs centrales et faire des comparaisons sur différentes périodes. Les normes ont été calculées sur la période 1981-2010. Afin de visualiser et d'évaluer les anomalies positives ou négatives qui affectent le climat et les écoulements sur la période d'observation (1970-2023), les indices d'anomalie ont été calculés. L'indice d'anomalie standardisée se définit comme une variable centrée réduite. Il indique un excédent ou un déficit des paramètres climatiques et hydrologiques pour une année considérée, par rapport à la période de référence. Il a été utilisé dans ce travail pour analyser la variabilité interannuelle des pluies, des températures et des débits. Le calcul des indices d'anomalie a été effectué à partir de l'équation suivante (Equation 1) :

$$I_a = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (1)$$

où  $I_a$  = indice d'anomalie (ou encore indice de Nicholson) ;  $x_i$  = la valeur de la variable ;  $\bar{x}$  = moyenne de la série de la période considérée ; et  $\sigma$  = écart-type de cette série.

À partir du logiciel Khronostat 1.01 qui propose plusieurs tests statistiques de détection de ruptures, nous avons effectué des tests de tendance et de détection de ruptures dans les séries chronologiques des pluies, des températures et des débits. Le test de Pettit, la méthode bayésienne de Lee et Heghinian, et la segmentation de Hubert ont été retenus. Cette approche statistique permet en effet de déterminer les dates de rupture correspondant à un changement brutal de moyenne au niveau des différentes séries de données climatiques et hydrométriques. Une rupture détectée

est qualifiée de faible, lorsque la date de rupture est indiquée une fois, au moins, par deux tests statistiques différents sur trois. Elle est dite probable si elle est définie par une date de rupture signalée au moins deux fois par deux tests statistiques sur trois (S. Singla et al, 2010, p. 683).

Pour évaluer le comportement hydrologique du bassin en lien avec les précipitations, nous avons recouru au calcul du coefficient d'écoulement ( $C_e$ ). Il se définit comme étant la fraction relative que représente la quantité d'eau écoulée ( $Q$ ) par rapport à la quantité d'eau précipitée ( $P$ ) pour la même période de référence. Il s'obtient par l'opération suivante (Equation 2) :

$$C_e = \frac{Q}{P} \quad (\text{Equation 2})$$

où :

- $C_e$  = Coefficient d'écoulement ;
- $Q$  = la quantité d'eau écoulée (débit) ;
- $P$  = la quantité d'eau précipitée (hauteur de pluie).

L'utilisation du logiciel Excel a permis de construire des courbes d'évolution interannuelle des hauteurs de pluies, des températures et des débits moyens mensuels et annuels dont l'analyse a également servi à mettre en évidence les relations pluie-débit et leur tendance, sur le bassin étudié. Par ailleurs, les clichés directement pris sur le terrain, ont servi à corroborer et à mettre en exergue des aspects tangibles des manifestations des contraintes hydroclimatiques et les enjeux hydriques qui leur sont liés, dans notre espace d'étude.

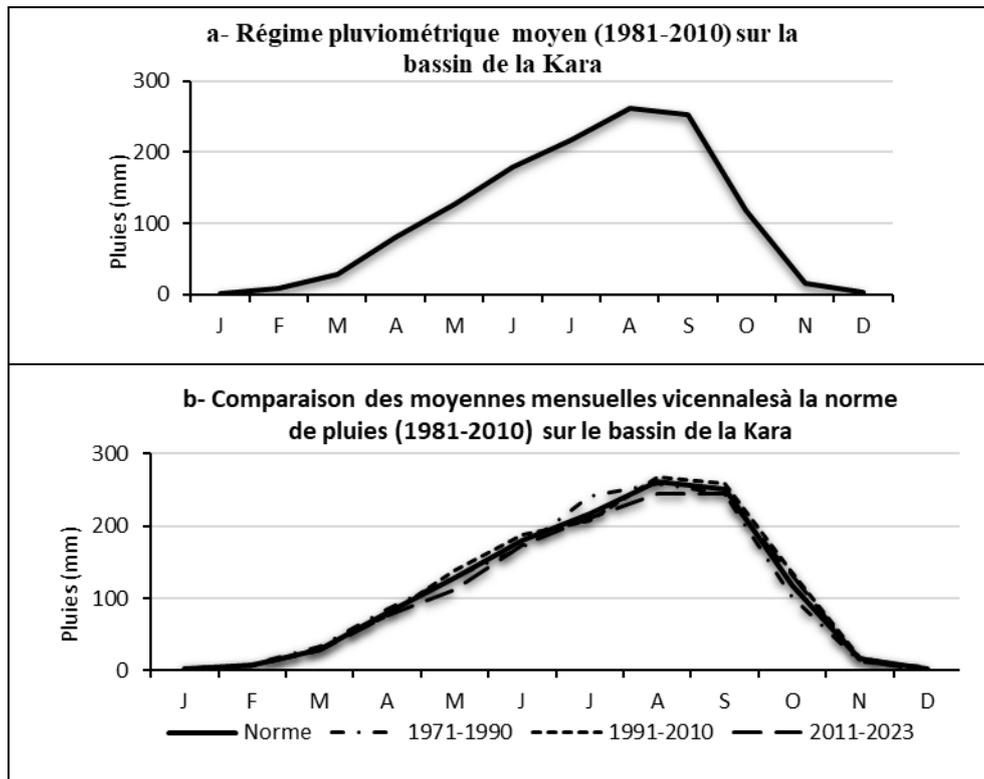
## **2. Résultats**

### ***2.1. Analyse de la variabilité des paramètres hydroclimatiques***

#### ***2.1.1. Distribution saisonnière des pluies***

La représentation graphique des précipitations moyennes mensuelles, calculées sur une période de 30 ans (1981-2010), la norme retenue dans le cadre de ce travail, laisse apercevoir une distribution saisonnière en régime monomodal, typique de climat tropical sec (Figure 2a). La saison pluvieuse va d'avril à octobre, soit six (06) mois, avec en moyenne environ 87% des totaux pluviométriques annuels enregistrés. Le mois d'août marque le pic pluviométrique, avec en moyenne 265 mm de pluies. La saison sèche dure de novembre à avril. Elle est peu arrosée, avec seulement 13% des précipitations annuelles.

**Figure 2 : Distribution saisonnière moyenne des précipitations sur le bassin versant de la Kara**



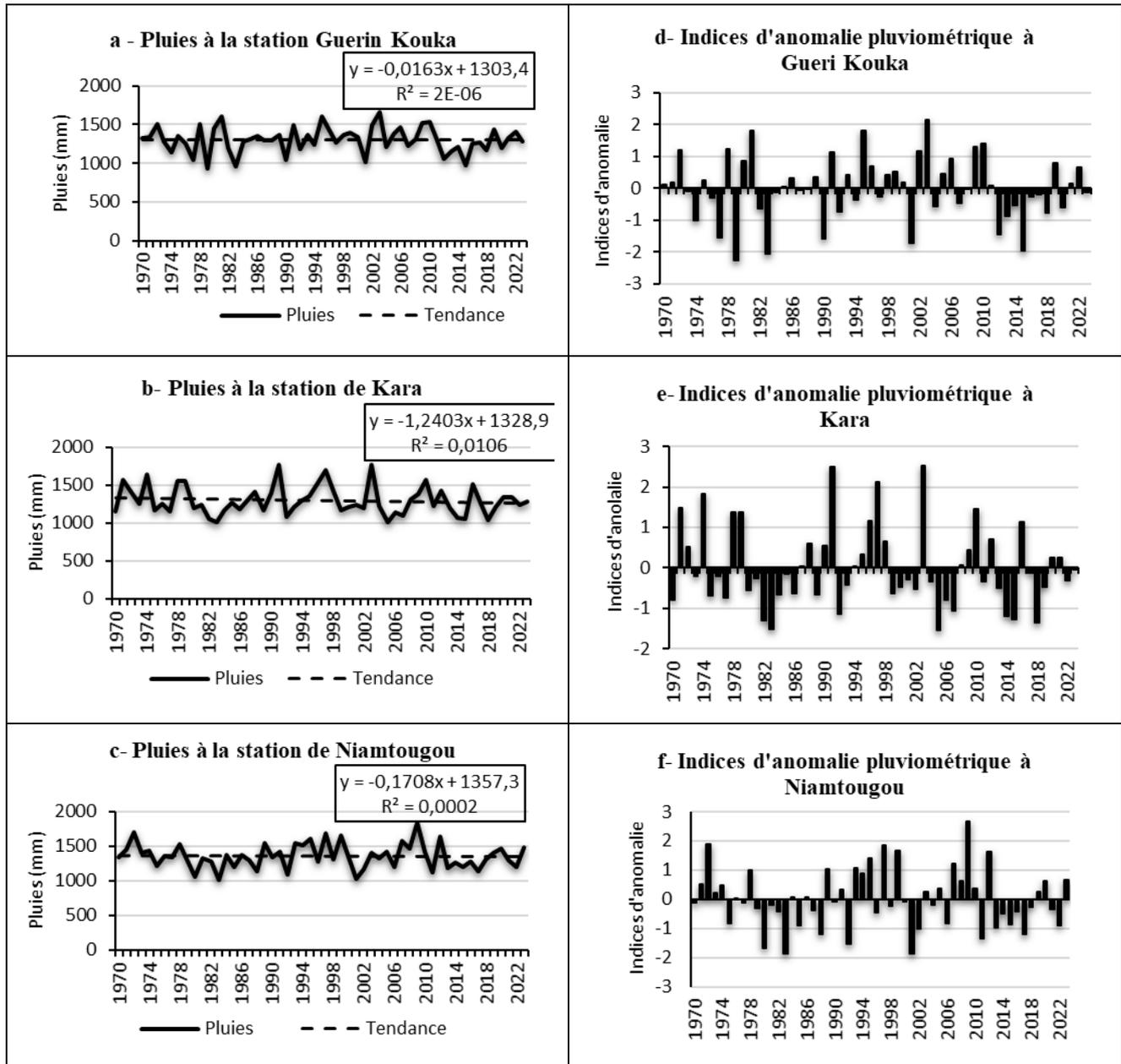
Source : K. A. Esiaku et al., 2024, à partir des données de l'ANAMET.

La superposition des moyennes mensuelles vicennales à la normale (Figure 2b) montre qu'en dehors de quelques écarts mineurs au niveau de certains mois (mai, juillet et août), le régime pluviométrique dans le bassin de la Kara est resté inchangé, sur la période d'observation (1970-2023).

### 2.1.2. Évolution interannuelle de pluies

Les précipitations sont sujettes à des variations spatio-temporelles. La figure 3 expose les abats pluviométriques annuels, leurs fluctuations par rapport à la moyenne interannuelle et leur tendance, aux stations de Guerin Kouka, de Kara et de Niamtougou, entre 1970 et 2023, soit sur une période de 54 ans.

Figure 3 : Pluviosité sur le bassin versant de la Kara de 1970 à 2023



Source : K. A. Esiaku et al., 2024, à partir des données de l'ANAMET.

Les courbes représentatives de l'évolution interannuelle des pluies (Figure 3a, b et c) montrent une grande variabilité des cumuls annuels de précipitation, sur la période 1970-2023. Ces derniers ont ainsi oscillé entre 926,2 mm et 1661,4 mm à la station de Guerin Kouka, entre 1003,7 mm et 1771,1 à Kara et entre 1015,5 mm et 1832,3 à Niamtougou. On y aperçoit aussi une légère tendance à la baisse des hauteurs de pluies, relativement plus accentuée à la station de Kara que dans les deux autres stations étudiées. Par contre, il ne s'affiche aucune périodicité précise dans la distribution interannuelle des pics et des creux pluviométriques. Les indices d'anomalies (Figure 3d, e et f) confirment une succession très aléatoire d'années déficitaires et excédentaires, au niveau des trois stations étudiées. Il semble

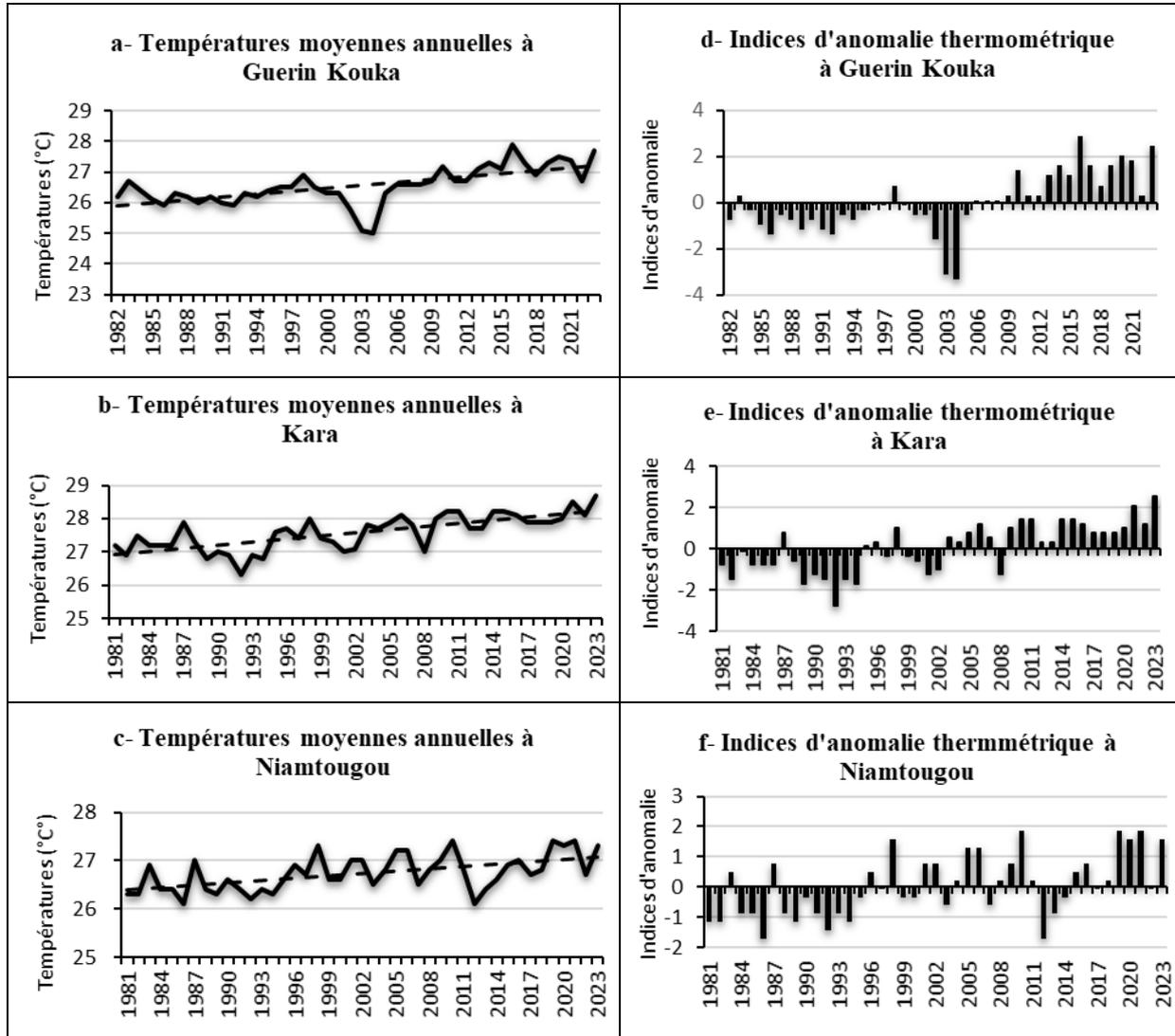
néanmoins se dégager, en fonction de la concentration des années sèches et humides, plusieurs phases de pluviosité, plus ou moins distinctes et de durée variable, au niveau de chaque station. On observe ainsi à Guerin Kouka une première phase de 1970-1985 qui compte autant d'années déficitaires qu'excédentaires mais avec une moyenne de 1278,2 mm de pluie par an, soit une moyenne inférieure à celle de série (1303 mm). Elle est donc globalement déficitaire. La deuxième phase de 1986 à 2011 avec 61,5% (16 années sur 26) et une moyenne pluviométrique de 1351 mm par an, ce qui représente un excédent de 3,7% par rapport à la moyenne de la série et de 1% par rapport à la normale 1981-2010 retenue pour cette étude. La troisième phase de 2012 à 2023, la plus déficitaire (-5,2% par rapport à la moyenne de la série et -8,1% par rapport à la normale), compte 75% d'années déficitaires (soit 09 années sur 12 dont 07 années déficitaires d'affilé). À Niamtougou aussi, trois phases semblent s'afficher. Il s'agit de deux périodes déficitaires : 1970-1988 et 2011-2023, avec respectivement une moyenne de 1316,9 mm et 1302 mm de pluies par an (soit -2,6% et -3,7% par rapport à la moyenne de la série) et une phase humide de 1989 à 2011 avec une moyenne de 1412 mm de pluies par an (soit +4,4% par rapport à la moyenne de la série). Quant à la station de Kara, la démarcation des phases pluviométriques est moins marquée. On observe plutôt une succession aléatoire de plusieurs séquences de durée variable (4 à 6 ans) d'années sèches (plus nombreuses, 59,3% de la période d'observation, soit 32 ans sur 54) et d'années humides.

### **2.1.3. Évolution interannuelle de températures**

En plus des précipitations, les températures sont, sur un territoire donné, un indicateur majeur de l'état et de l'évolution du climat. Les températures moyennes annuelles de 1981 à 2023, enregistrées aux stations de Guerin Kouka, Kara et de Niamtougou, sont représentées par le biais de la Figure 4. Et comme pour les pluies, on y aperçoit une évolution, en dents de scie, des températures moyennes annuelles avec une tendance clairement la hausse dans toutes les trois stations observées (Figure 4a, b et c). Elles passent de 26,2°C en moyenne entre 1982 et 2005 à 27,1°C en moyenne, entre 2006 et 2023 (soit une hausse de 1,1°C), à Guerin Kouka ; de 27,2°C en moyenne, entre 1981 et 2002 à 28,0°C en moyenne (soit + 0,8°C), à Kara et de 26,4°C en moyenne, entre 1981 et 1995 à 26,9°C en moyenne (soit une augmentation de 0,5°C), entre 1996 et 2023, à Niamtougou. La hausse globale est donc de 0,8°C environ sur le bassin. Les indices d'anomalie de température (Figure 4d, e et f) confirment cette évolution haussière en deux phases dans les trois stations étudiées. On remarque, en effet, une première phase où les indices sont, de manière globale, inférieurs à zéro (signifiant un épisode de températures plus basses que la moyenne interannuelle de la chronique étudiée) et une deuxième où ils sont supérieurs à zéro (indiquant des températures plus élevées que la moyenne interannuelle de la chronique observée). Par ailleurs, on relève à la station de Niamtougou, des discontinuités dans la phase de réchauffement

(1996-2023) marquées par des indices négatifs et donc des intrusions répétitives des températures en-dessous de la moyenne interannuelle de la période d'étude.

**Figure 4 : Variabilité des températures moyennes annuelles sur le bassin versant de la Kara de 1981 à 2023**

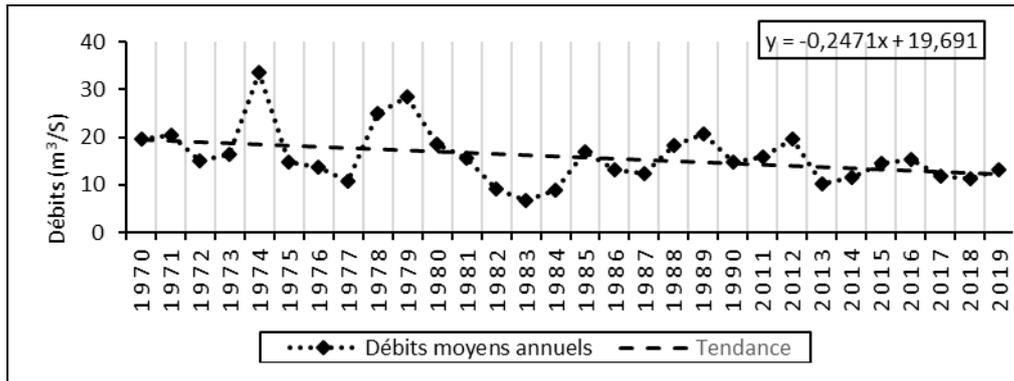


Source : K. A. Esiaku et al., 2024, à partir des données de l'ANAMET.

#### 2.1.4. Évolution interannuelle des débits moyens annuels de la rivière Kara

La figure 5 illustre l'évolution interannuelle des débits moyens annuels de la rivière Kara.

**Figure 5 : Fluctuations interannuelles des débits moyens annuels de la Kara**



Source : K. A. Esiaku et al., 2024, à partir des données de l'ANAMET.

On y remarque une grande versatilité et une diminution des lames écoulées (entre 33,46 m<sup>3</sup>/s en 1974 et 6,71 m<sup>3</sup>/s en 1983) où s'observent deux phases. Avec une moyenne interannuelle de 19,30 m<sup>3</sup>/s, la première phase, de 1970 à 1981 connaît, certes, des débits en baisse mais ponctués d'écoulements élevés (33,46 m<sup>3</sup>/s en 1974, 24,96 m<sup>3</sup>/s en 1978 et 28,36 m<sup>3</sup>/s en 1979). La seconde, de 1982 à 1990 et de 2011 à 2019 où la réduction des débits se poursuit, recueille d'une année à l'autre, des débits relativement moins contrastés. Sa moyenne interannuelle n'est que de 13,57 m<sup>3</sup>/s, soit une baisse notable de près de 30%, par rapport à la phase précédente.

### 2.1.5. Recherche de ruptures d'homogénéité dans les chroniques hydroclimatiques étudiées

Le Tableau 2 compile les résultats des tests de rupture et d'homogénéité.

**Tableau 2 : Résultats des tests de ruptures d'homogénéité**

Variables	Stations	Méthode bayésienne	Méthode de Hubert	Méthode de Pettitt
Pluies	Guerin Kouka	2011	Pas de rupture	Pas de rupture
	Kara	Pas de rupture	Pas de rupture	Pas de rupture
	Niamtougou	Pas de rupture	Pas de rupture	1972
Températures	Guerin Kouka	2009	1982 ; 2003 ; 2005 ; 2013	2005
	Kara	2002	1981 ; 1995 ; 2009	2002
	Niamtougou	1995	1981 ; 1996	1995
Débits	Kara	1980	1981	1981

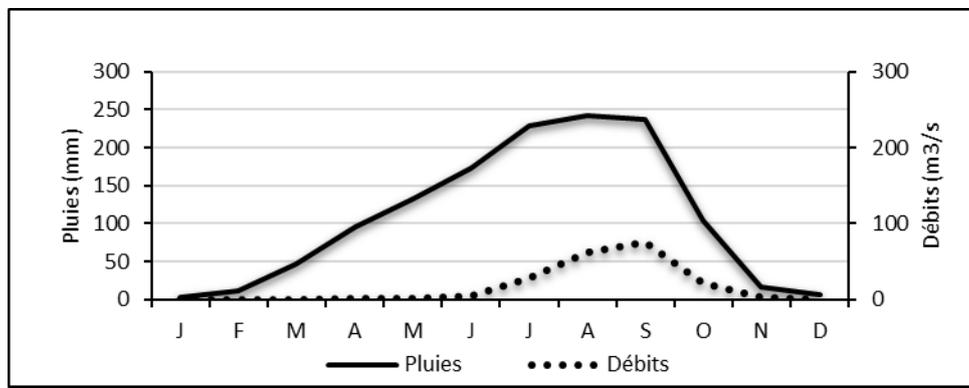
Source : K. A. Esiaku et al., 2024, à partir des données de l'ANAMET.

Ces résultats montrent que sur l'ensemble de la période d'observation (1970-2023), les séries de précipitations sur le bassin de la Kara n'ont pas connu de rupture, à l'exception de la station de Guerin Kouka où une rupture faible est détectée en 2011. Par contre, les chroniques de températures et de débits sont marquées par au moins une rupture probable (1995 à Niamtougou, 2002 à Kara, 2005 à Guerin Kouka et 1981 à la station hydrométrique de Kara).

### 2.1.6. Étude de la relation pluie-débit dans le bassin de la Kara

L'analyse de la relation pluie-débit s'est faite à pas de temps mensuel et annuel ainsi qu'à travers les coefficients d'écoulement standard. À pas de temps mensuel, il s'observe, au vu de la figure 6, que les débits mensuels semblent évoluer en fonction des hauteurs de pluies mensuelles, avec un décalage d'un mois en moyenne. Les bas débits mensuels sont enregistrés entre octobre et juin, période marquée en grande partie par la sécheresse. Ils croissent parallèlement à l'intensification progressive des pluies, pour atteindre leur pic (76,06 m<sup>3</sup>/s) en septembre, soit un mois après celui des pluies (en août). Ainsi, la période d'étiage se calque quasiment sur la saison sèche et celle des hautes eaux sur la saison pluvieuse.

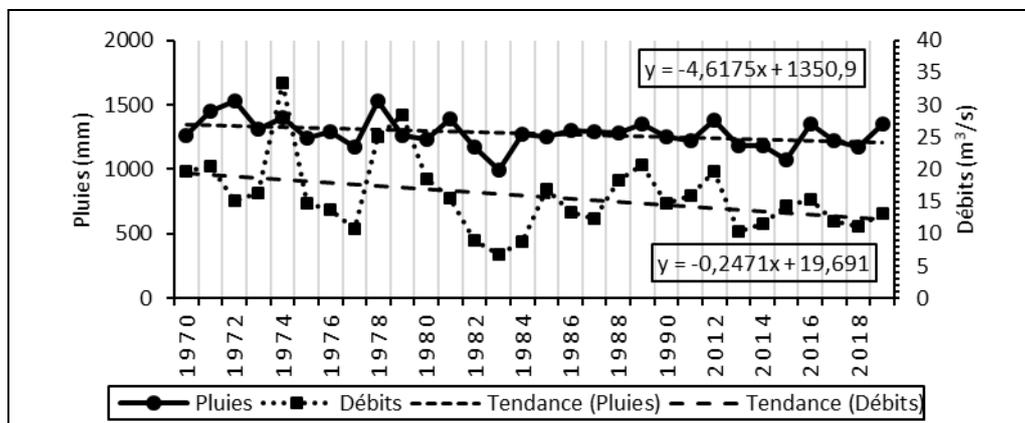
**Figure 6 : Régime hydro-pluviométrique moyen du bassin de la Kara**



Source : K. A. Esiaku et al., 2024, à partir des données de l'ANAMET.

À pas de temps annuel, la superposition de la courbe des précipitations annuelles à celle des écoulements (Figure 7) fait ressortir une certaine corrélation entre l'évolution interannuelle des pluies et celle des débits, avec de fortes similitudes entre l'allure des deux courbes.

**Figure 7 : Corrélation entre les hauteurs de pluies et les écoulements sur le bassin de la Kara**

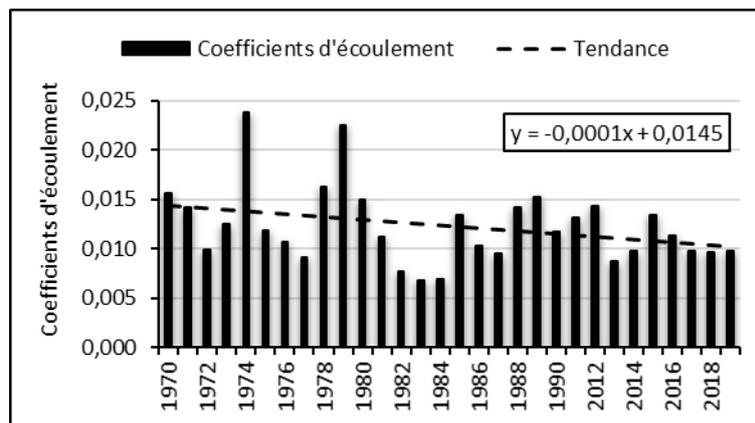


Source : K. A. Esiaku et al., 2024, à partir des données de l'ANAMET.

En effet, à la majeure partie des hauteurs de pluies élevées correspondent des débits élevés (1974, 1989, 2012, 2016), alors que les débits faibles coïncident globalement avec les années déficitaires (1977, 1983, 2013, 2018). Ainsi, les pics et les creux des deux variables se synchronisent, nonobstant quelques légers décalages parfois observés (1972, 1979, 1981). Les tendances évolutives pluviométrique et hydrométrique, matérialisées par les deux courbes de tendance linéaire sont, quant à elles, à la baisse. Cela indique que les pluies et les écoulements s'amenuisent au fil des années et de façon assez concomitante, ce qui confirme le lien étroit entre les apports pluviométriques et les écoulements sur le bassin de la Kara, entre 1970 et 2023.

Pour leur part, les coefficients d'écoulement standards (Figure 8) exposent d'importantes variations interannuelles et une tendance à la baisse. Cette dernière traduit ainsi une régression de la réaction hydrologique du bassin, en fonction des précipitations.

**Figure 8 : Évolution interannuelle des coefficients d'écoulement de la rivière Kara**



Source : K. A. Esiaku et al., 2024, à partir des données de l'ANAMET et de la Direction des ressources en eau.

Plus en détail, l'observation de la figure 8 révèle deux périodes dans l'évolution des coefficients d'écoulement. De 1970 à 1981, jusqu'à dix années (sur les douze, soit 83,3% des années) ont un coefficient supérieur à 1% (0,01), contre huit années (sur les dix-huit, soit 44,4% des années) de 1982 à 1990 et de 2011 à 2019.

### 2.3. Enjeux des ressources en eaux de surface

Dans le contexte de la dégradation des conditions hydroclimatiques dans le bassin versant de la Kara, la disponibilité et la qualité des ressources en eau de surface y représentent des enjeux majeurs.

#### 2.3.1. Disponibilité des ressources en eau de surface

Nous avons observé (en visitant le terrain à Kara) et relevé (en échangeant avec des riverains de la rivière) que la Kara continue d'être une importante source

d'approvisionnement en eau des populations, en particulier les riverains, pour leurs divers usages (domestiques et agricoles). La femme sortant de la rivière Kara, avec un seau d'eau sur la tête (Planche 1a) et les multiples parcelles maraîchères qui parsèment les abords immédiats du cours d'eau témoignent de la grande sollicitation dont les eaux de la Kara font encore l'objet.

**Planche 1 : Vues partielles de la rivière Kara**



*a- Une femme s'approvisionnant en eau de la rivière Kara.*



*b- Le lit presque totalement asséché de la rivière au niveau du pont 2 de la ville de Kara.*

*Source : K. A. Esiaku et al., cliché pris le 16-05-2024*

Mais comme le montre la planche 1b, le niveau d'eau dans la rivière Kara est, par moments, très faible. Et le phénomène semble devenir de plus en plus accentué et prolongé, selon nos interlocuteurs. La rivière Kara est, en effet, un cours d'eau irrégulier, très tributaire du climat. De ce fait, située en zone soudanienne, elle connaît de longues périodes d'étiage pouvant s'étendre sur six (06), voire huit (08)

mois certaines années (soit entre novembre et juin). Durant ces périodes, la disponibilité en eau de la rivière est très limitée, voire nulle, alors que la demande ne cesse de croître, en raison de la poussée démographique et du développement des activités maraichères. L'enjeu de la disponibilité devient ainsi encore plus crucial, d'autant plus qu'à la contrainte hydrologique que représente la variabilité des écoulements, s'adjoint l'amenuisement des débits qu'occasionne le changement climatique auquel le bassin de la Kara n'échappe pas.

### **2.3.2. Qualité des eaux de la Kara**

La rivière Kara est confrontée à de nombreux facteurs qui affectent négativement la qualité de ses eaux (Planche 2).

#### **Planche 2 : Quelques facteurs de dégradation de la qualité des eaux de la Kara**



*a- Accumulation de déchets divers dans le lit de la Kara, dans la ville de Kara.*



*b- Des matières fécales sur un rocher dans le lit de la Kara.*



*c- Deux femmes en train de faire la lessive sur les rochers, dans la rivière Kara.*

*Source : K. A. Esiaku, clichés pris le 16-05-2024.*

L'exemple de la section de la rivière qui traverse la ville de Kara est édifiant. Le lit de la rivière est jonché, par endroits, d'immenses amas de déchets de tous genres, notamment des déchets plastiques (Planche 2a). On note aussi la présence de matières fécales d'origine non déterminée, sur certains rochers du lit de la rivière (Planche 2b). Et, d'après la planche 2c et les propos des riverains que nous abordés, les berges et les rochers de la rivière sont fréquemment des lieux de lessive, *in situ*. Par ailleurs, l'utilisation de produits chimiques, pour les cultures maraîchères de plus en plus pratiquées sur les berges et même dans le lit mineur de la rivière, est à la hausse. Il s'agit donc là, de facteurs évidents de pollution des eaux de la Kara, surtout que la réduction des débits entraîne un affaiblissement de la capacité de charriage du cours d'eau, ce qui favorise indubitablement la dégradation de la qualité de ses eaux par les déchets solides et liquides qui y sont déposés et qui s'y amoncellent.

### 3. Discussion

Les contraintes hydroclimatiques se traduisent, dans le bassin de la Kara, par la fluctuation, l'irrégularité et l'imprévisibilité du comportement des paramètres hydroclimatiques, notamment les précipitations, les températures et les écoulements. Dans le cadre de ce travail, l'analyse des hauteurs de pluies annuelles sur la période 1970-2023 montre beaucoup de fluctuations de ces dernières, dans les trois stations observées, avec une succession pêle-mêle (les coefficients de détermination  $R^2$  étant proches de zéro) des années humides et sèches. La tendance pluviométrique est unanimement à la baisse, quoique les tests Pettit, de Hubert et la méthode bayésienne utilisés n'indiquent qu'une rupture faible en 2011, à la station de Guerin Kouka. Ces résultats rejoignent ceux de plusieurs études dans la sous-région ouest-africaine (Ardoin-Bardin S. 2003 p. 124 ; Kouassi A. M. *et al*, 2008, p. 219 ; Vissoh R. I. *et al*, 2023, p. 808) et au Togo (Klassou K. S., 1991, p. 48 ; Esiaku K. A. *et al*, 2020, p.14) qui ont par contre fait part de rupture dans les séries pluviométriques entre la fin des années 1960 et le début des années 1970 (en 1968, plus précisément). Pour sa part, Pilabina S. *et al* (2017, p. 250), relève aussi une tendance globalement à la baisse des précipitations sur le bassin de la Kara, mais évoque une tendance normale à la station synoptique de Kara. Cette différence par rapport au présent travail peut s'expliquer par la longueur de sa chronique (1970-2011) qui n'inclut pas le période 2012-2023 qui connaît des années particulièrement déficitaires. Quant à elles, les températures moyennes annuelles, dans la zone d'étude, connaissent une hausse ininterrompue, surtout à partir des années 2000 où des ruptures probables ont été détectées, notamment en 2002 et 2005. Ce résultat qui s'inscrit dans le contexte du réchauffement planétaire a le mérite d'être en phase avec les observations de la quasi-totalité de la communauté scientifique internationale. Pour ce qui concerne les écoulements de la rivière Kara, l'examen de la chronique exploitée montre un régime

hydrologique et une évolution interannuelle des modules annuels calqués respectivement sur la distribution saisonnière et interannuelle des hauteurs de pluies. Cela dénote une synchronisation de la relation pluie-débit marquée par une diminution globale des écoulements moyens mensuels et annuels, en fonction de la pluviométrie. Klassou K. S., (1991, p. 57 et 74) en étudiant le fleuve Mono au Togo, Ardoin-Bardin S., (2004, p. 31) sur les grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne, Kouassi A. M., *et al*, (2008, p. 218) sur le bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire, Singla S., *et al*, (2010, p.686) en analysant les relation pluie-débit sur les bassins du Maroc, Adiaffi B., *et al*, (2016, p.42-43), dans la région de Katiola en Côte d'Ivoire et Esiaku K. A., *et al*, (2020, p. 18) sur le bassin versant du lac Togo, ont aussi relevé ce lien étroit entre les lames d'eau précipitées et celles écoulées. Cela ne donne pas à ignorer que d'autres facteurs tels que la nature et la géomorphologie du sol, le niveau des nappes phréatiques, la couverture végétale, la température, les prélèvements etc., impactent aussi les écoulements dans un bassin versant. Nul doute que la tendance péjorative des paramètres hydroclimatiques et les mauvaises interventions humaines affectent directement les ressources en eau de la Kara, du point de vue quantitative et qualitative. Par conséquent, la préservation de la disponibilité et de la qualité de ces dernières constitue à la fois un enjeu et un défi crucial à relever, pour le bien-être des populations.

## **Conclusion**

La présente étude a consisté à analyser les manifestations et les enjeux hydriques des contraintes hydroclimatiques dans le bassin versant de la rivière Kara. À travers le réchauffement climatique, les irrégularités des pluies et des écoulements, la température, les précipitations et les débits constituent les éléments les plus expressifs et les plus démonstratifs des manifestations du dérèglement et des contraintes hydroclimatiques, dans notre zone d'étude. À partir des données de pluies, de températures, débits et des observations sur le terrain, ce travail a donc permis de faire, sur la période 1970-2023, l'état des lieux du bassin de la Kara, du point de vue de l'évolution des conditions hydroclimatiques et des enjeux hydriques y afférents. Il en ressort une grande variabilité temporelle et une imprévisibilité grandissante des événements climatiques et hydrologiques, avec des températures à la hausse, contrairement aux précipitations et aux écoulements qui, d'une année à l'autre, sont globalement à la baisse, sur l'étendue du bassin de la Kara. Et dans ce contexte contraignant de perturbations hydroclimatiques, associé à une pression démographique et urbaine croissante qui augmentent la demande en eau, la disponibilité et qualité des eaux de la Kara sont des enjeux fondamentaux, certes non exhaustifs, mais qui méritent une attention particulière, au risque, le cas échéant, de compromettre, à moyen et long terme, le développement socioéconomique de la région.

## Références bibliographiques

- ADIAFFI B., WANGO T.E., GNAMBA F.M, KPAN O.J.G., BAKA D., 2016, « Analyse de la relation pluie-débit dans un contexte de variabilité climatique dans la région de Katiola », *International Journal of Engineering Science Invention*, ISSN (Online): 2319-6734, ISSN (Print): 2319-6726 [www.ijesi.org](http://www.ijesi.org), Volume 5 Issue 12, December 2016, p. 38-45.
- 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 de Montpellier II.
- ESIAKU Kuasi Apéléte, KLASSOU Komi Selom, PILABINA Somiyabalo, 2020, « Les tendances pluviométriques récentes et leurs impacts hydrologiques dans le bassin versant du lac Togo », *Revue ivoirienne de géographie des savanes (RIGES)*, N° 9, p. 7-22.
- HALLOUZ Faiza, MEDDI Mohamed et MAHE Gil, 2013, « Étude des relations pluie/débit via les coefficients d'écoulement et le cumul de déficit de pluie dans le bassin versant de l'oued mina (nord-ouest d'Algérie) », *Revue scientifique et technique LJEE N°21 et 22. Spécial colloque CIREDD, 2013*, p. 37-47.
- KLASSOU Komi Selom, 1991, *Variabilité climato-hydrologique récente et ses conséquences sur l'environnement : l'exemple du fleuve Mono au Togo*, Mémoire de DEA, Institut de Géographie Louis Papy, Bordeaux III.
- KOUASSI Amani Michel, KOUAME Koffi Fernand, GOULA Bi Tié Albert, LASM Théophile, PATUREL Jean Emmanuel et BIËMI Jean, 2008, « Influence de la variabilité climatique et de la modification de l'occupation du sol sur la relation pluie-débit à partir d'une modélisation globale du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire », *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 11 (2008), p. 207 - 229.
- KOUNGBANANE Dambré, LEMOU Faya, DJANGBEDJA Minkilabe, TOTIN Vodounnon, 2023, « Impacts socio-économiques et environnementaux des risques d'inondation dans le bassin versant de l'Oti au Togo » (Afrique de l'Ouest), <https://doi.org/10.4000/vertigo.40341> [En ligne], consulté le 09-02-2024.
- OGOUWALE Romaric, 2020, « Déterminants hydroclimatiques et production vivrière dans la Commune de Djidja au Bénin », *Afrique Science*, N° 17 (1), p. 152-165.
- PILABINA Somiyabalo, EDJAME Kodjovi et YABI Ibouaïma, 2017, « Analyse des indicateurs de la variabilité climatique du bassin versant de la Kara », *Notes scientifiques, homme et société*, p. 245-259.

RESCAN Mathieu, 2005, *Prévision des ressources en eau en Afrique de l'Ouest et Centrale jusqu'en 2099 par application des sorties du modèle d'évolution du climat HadCM3 au modèle hydrologique GR2M*, Mémoire de DEA, Université de Montpellier II.

SINGLA Stéphanie, MAHE Gil, DIEULIN Claudine, DRIOUECH Fatima, MILANO Marianne, EL GUELAI Fatima Zohra & ARDOIN-BARDIN Sandra, 2010, « Évolution des relations pluie-débit sur des bassins versants du Maroc », *IAHS Publ.* N° 340, 2010.

UNESCO, 2020, *l'eau et les changements climatiques*, Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2020, En ligne sur [www.unwater.org](http://www.unwater.org), ISBN 978-92-3-200197-9, [En ligne], consulté le 07-03-2023.

VISSOH Roch Ignace, AVAHOUNLIN Ringo F., KOUDÉRIN A. Lucie, DANHOSSOU Gilbert et AVAHOUNLIN Josaphat, 2023, « Évolution des variables climatiques et occupation du sol à l'échelle du bassin versant de la rivière Agbado au Bénin », *Internal journal of advanced research (IJAR)*, Article DOI :10.21474/IJAR01/16086 DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/16086>, [En ligne], consulté le 09-02-2024.