

UNIVERSITÉ ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR



L'excellence, ma référence

UFR : Sciences et Technologies

Département : Géographie

Master : Espaces, Sociétés et Développement

Spécialité : Environnement et Développement

Mémoire de Master

**CHANGEMENT CLIMATIQUE ET IMPACT SUR LA DYNAMIQUE DES
RESSOURCES EN EAU ET DES ACTIVITÉS SOCIO-ÉCONOMIQUES DANS LE
BASSIN VERSANT DU NIÉRI-KO (BASSIN VERSANT DE LA GAMBIE,
SÉNÉGAL)**

Présenté par

Samba COUNDONO

Sous la direction de

Pr Cheikh FAYE

Soutenu le **13 décembre 2025** devant un jury composé de :

Prénom et nom	Grade	Qualité	Établissement
Mamadou Lamine MBAYE	Maître de Conférences	Président	UASZ
Demba GAYE	Maître-assistant	Membre	UASZ
Bouly SANE	Docteur en Géographie	Membre	UASZ
Cheikh FAYE	Professeur Titulaire	Encadrant	UASZ

Année académique : 2024-2025

DÉDICACE

Ce Travail d'Étude et de Recherche (TER) est dédié avec toute gratitude et mon affection :

À ma très chère mère, Mariama BALDÉ, pilier de ma vie,

À la mémoire de mon père, que son âme puisse reposer en paix,

À mes frères et sœurs, compagnons de mon chemin,

À la famille KANDÉ, pour leur amour sans faille et leur soutien constant,

À la famille BALDÉ de Pakour, ancrage de mes racines,

À la famille CISSÉ de Kolda, source d'inspiration

À mon tuteur M. BALDÉ et son épouse, guide et mentors bienveillants,

À mes oncles et tantes, pour leur présence précieuse

À mes amis fidèles, alliés de chaque instant,

À tous ceux qui ont cru en moi, ont investi en moi et m'ont soutenu avec générosité.

REMERCIEMENTS

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu, le Tout-Puissant, qui m'a accordé la force et la patience nécessaires pour mener à bien ce mémoire. J'adresse mes sincères remerciements à ma mère, Mariama BALDÉ, ainsi qu'à toutes mes familles, pour leur soutien indéfectible depuis le début de mes études. Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail. Une mention toute particulière revient à mon directeur de mémoire, le Pr Cheikh FAYE, qui a toujours fait preuve d'une grande disponibilité pour l'encadrement et l'orientation de ce projet. Son soutien constant, sa rigueur scientifique, ainsi que ses remarques et conseils avisés ont été essentiels pour faire progresser mes recherches.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants du Département de Géographie de l'UASZ pour le sérieux, la disponibilité et la qualité des enseignements dispensés. Je tiens particulièrement à citer : Pr Oumar SY, Pr Tidiane SANE, Dr El Hadji Balla DIEYE, Dr Oumar SALL, Dr Aïdara Cherif Amadou Lamine FALL, Dr Demba GAYE, Pr Ibrahima MBAYE, Dr Alvares Gualdino Foufoué BENGA, Pr Abdourahmane Mbade SENE et Dr Cheikh Tidiane WADE qui ont tous contribué à nourrir ma formation.

Je n'oublie pas mes familles, la famille KANDÉ, la famille BALDÉ et la famille CISSÉ dont la présence bienveillante a été un socle solide. À mes frères et sœurs, particulièrement Mouhamed L. KANDÉ, Awa D. KANDÉ, Demba KANDÉ, Amadou KANDÉ, Mamadou KANDÉ, Yéro BÂ, Mariama BALDÉ, Mazinha BALDÉ, Cheikh T. BÂ, Penda BÂ, Fatou B. BÂ, Mouni BALDÉ ainsi qu'à mes nièces adorées pour leur amour et leur soutien.

Je remercie de tout cœur la famille WILLANE de Koulor et le Sergent Cheikh Saliou DIOUF qui nous ont généreusement accueillis lors des enquêtes de terrain, ainsi que Benjamin SALL et son épouse Diodio pour aide précieuse sur ce long périple.

Mes remerciements vont aussi à mes ami(e)s Pape Mor GUËYE, Pape Cheikh THIAM, Souleymane NDIAYE, Diodio DIAO, Khadidiatou MBALLO, Aminta DIAGNE, Diarra CISSÉ qui ont toujours été présents pour me soutenir et m'aider dans mes recherches.

À mon binôme de travail, Oumy FAYE qui m'a accompagné du début à la fin, restant à mes côtés durant toutes les vacances comme une amie fidèle, je rends un hommage tout particulier. Je remercie chaleureusement la famille MANGA de Diabir, à l'amical de Tattaguine et celui de Kolda pour leur générosité et leur soutien qu'ils ont eu à mon égard. Je remercie aussi ma tutrice Maly SO, son mari Hamadou BALDÉ et tous leurs enfants pour leur amour, leur soutien, leur conseil et leurs encouragements.

À mes mentors éclairant mon chemin : Hassane BALDÉ, Bécaye CISSÉ et Issa DIALLO

Mention spéciale à mes aînés qui sont devenus mes mentors dans ce domaine, nous citons par là : Dr Aziz SADIO, Pape Cheikh THIAM, Dr Bouly SANÉ.

À Fatou FAYE, Daba DIENG, Fatou M. THIAM, Khady THIAM, Maimouna FAYE, Ndéye Daba NDONG, Khady SARR, Eva DIEDHIOU et Fadima TALL pour leur soutien et encouragements.

À Ramata FALL, du département du tourisme pour son précieux soutien et son aide apportée tout au long de la rédaction de ce mémoire

À Hassane NDIAYE, Cherif DIAMANKA, Boubacar MANGA, Ramatoulaye DIALLO, Amadou MANÉ, Aliou DANSOKHO, Babacar BALDÉ, Lamine BÂ, Malang THIABOU, Vieux CISSOKHO, Bacary DIATTA, Ismaila et sa femme, mes amis de longues dates pour leurs encouragements.

Aux amis de la chambre 7 avec qui j'ai partagé beaucoup d'expériences et de fous rires, merci pour ces moments de joie partagée.

J'exprime également ma reconnaissance à mes oncles et tantes, notamment Hassane BALDÉ, Amadou BALDÉ, Abdoulaye BALDÉ, Yama BALDÉ qui m'ont soutenu et aidé depuis tout petit.

Je remercie également tous mes ami(e)s de la promotion 2019 de Géographie, ainsi que tous les doctorant(e)s et docteurs du Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE) notamment Dr Aziz SADIO, Dr Yancouba SANÉ, Dr Alexandre BADIANE, Ibrah FAYE, François Ngor SENE, Djibi YADE, Baba Alymou BARRY, Rose GOMIS et Dr Bouly SANÉ pour leur disponibilité et leurs encouragements.

Enfin, j'exprime ma profonde gratitude à toutes les personnes que j'ai omis de citer ici et qui ont contribué à l'élaboration de ce travail à travers leurs aides, conseils et encouragements.

SOMMAIRE

INTRODUCTION -----	8
I. Problématique -----	10
1.1. Contexte : -----	10
1.2. Justification -----	12
1.3. Questions de recherche -----	13
1.4. Objectifs de recherche -----	13
1.5. Hypothèses de recherche -----	14
II. Analyse conceptuelle-----	14
III. État de l’art-----	17
IV. Méthodologie-----	23
PREMIÈRE PARTIE : CARACTÉRISATION DU BASSIN VERSANT DU NIÉRI-KO-----	29
CHAPITRE I : Caractéristiques physiques du bassin versant du Niéri-ko-----	30
CHAPITRE II : Caractéristiques climatiques du bassin-----	49
DEUXIÈME PARTIE : DYNAMIQUE HYDROLOGIQUE ET PROJECTIONS CLIMATIQUES DANS LE BASSIN VERSANT DU NIÉRI-KO -----	66
CHAPITRE III : Analyse de l’écoulement dans le bassin versant du Niéri-ko -----	67
CHAPITRE IV : Évolution des températures et des précipitations sous les scénarios climatiques SSP1- 2.6 et SSP5-8.5 dans le bassin versant du Niéri-ko-----	83
TROISIÈME PARTIE : IMPACT DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE ET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE MILIEU ET LES STRATÉGIES D’ADAPTATION DANS LE BASSIN VERSANT DU NIERI-KO -----	97
CHAPITRE V : Ressources en eau et usages dans le bassin versant du Niéri-ko -----	100
CHAPITRE VI : Les impacts de la dynamique des ressources en eau sur les activités socio-économiques et les stratégies d’adaptation dans le bassin versant du Niéri-ko-----	116
CONCLUSION-----	126

RÉSUMÉ

L'eau est une ressource vitale pour les activités agropastorales du bassin versant du Niéri-ko (11 320 km², sud-est du Sénégal), mais les changements climatiques menacent sa disponibilité et les moyens de subsistance des populations locales. Cette étude analyse l'évolution des ressources hydriques (1970-2021) et leurs impacts sur l'agriculture et l'élevage, en utilisant des données climatiques, hydrologiques et des enquêtes auprès de 211 ménages dans huit villages. Les résultats révèlent une rupture climatique en 2002 avec un retour des pluies (+15,90 %) après des décennies sèches, mais une hausse continue des températures. Les projections (modèle MPI-ESM1-2-HR) prévoient une baisse des précipitations jusqu'à -13,05 % et une augmentation des températures de +2,05°C d'ici 2100 (scénario SSP5-8.5). Le bassin présente une hydrologie fragile : débit moyen de 0,49 m³/s et coefficient d'écoulement très faible (0,21 %). Ces changements perturbent gravement les activités locales : 97,2 % des agriculteurs constatent une baisse des récoltes, 80,5 % réduisent leurs surfaces cultivées, tandis que 84,4 % des éleveurs observent une diminution des pâturages. L'occupation des sols (1986-2025) confirme ces tendances avec une réduction de 49,21 % des zones cultivées et de 75,62 % des surfaces en eau. Face à ces défis, les populations développent des stratégies d'adaptation : diversification des cultures (94,8 %), gestion collective de l'eau (96,2 %), et installation de compteurs. Cependant, ces initiatives restent limitées par le manque de moyens financiers et techniques

Mots-clés : Bassin versant, Niéri-ko, changement climatique, ressources en eau, Sénégal oriental.

ABSTRACT

Water is a vital resource for agropastoral activities in the Niéri-ko watershed (11,320 km², southeastern Senegal), but climate change threatens its availability and the livelihoods of local populations. This study analyzes the evolution of water resources (1970-2021) and their impacts on agriculture and livestock, using climatic and hydrological data as well as surveys of 211 households in eight villages. The results reveal a climatic rupture in 2002 with a return of rainfall (+15.90%) after dry decades, but a continuous rise in temperatures. Projections (MPI-ESM1-2-HR model) predict a decrease in precipitation of up to -13.05% and a temperature increase of +2.05°C by 2100 (SSP5-8.5 scenario). The watershed exhibits fragile hydrology: average flow of 0.49 m³/s and very low runoff coefficient (0.21%). These changes severely disrupt local activities: 97.2% of farmers report declining harvests, 80.5% reduce their cultivated areas, while 84.4% of herders observe a decrease in pastures. Land use analysis (1986-2025) confirms these trends with a 49.21% reduction in cultivated areas and 75.62% in water surfaces. Faced with these challenges, populations develop adaptation strategies: crop diversification (94.8%), collective water management (96.2%), and installation of meters. However, these initiatives remain limited by the lack of financial and technical resources.

Keywords: Watershed, Niéri-ko, climate change, water resources, Eastern Senegal.

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

- **ANACIM** : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie
- **ANSD** : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
- **CC** : Changement Climatique
- **CV** : Coefficient de Variation
- **CWatM** : Community Water Model (Modèle communautaire de l'eau)
- **DTGC** : Direction des Travaux Géographique et Cartographique
- **FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
- **GEE** : Google Earth Engine
- **GIEC** : Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat
- **GIRE** : Gestion Intégrée des Ressources en Eau
- **GPS** : Global Positioning System (Système de positionnement mondial)
- **ICRISAT** : Institut International de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales Semi-Arides
- **IPCC** : Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC en anglais)
- **ISIMIP** : Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison (Comparaison des modèles d'impact intersectoriels)
- **ISP** : Indice Standardisé de Précipitation
- **MNT** : Modèle Numérique de Terrain
- **OCDE** : Organisation de Coopération et de Développement Économiques
- **ODD** : Objectifs de Développement Durable
- **OFOR** : Office des forages ruraux
- **OLAC** : Office des lacs
- **ONEMA** : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
- **ORSTOM** : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
- **PAGIRE** : Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
- **PIB** : Produit Intérieur Brut
- **PNUD** : Programme des Nations Unies pour le Développement
- **PSEAU** : Programme Solidarité Eau
- **SDAGE** : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
- **SIG** : Système d'Information Géographique
- **SOTER** : Base de données numériques sur les sols et le terrain
- **SPEI** : Indice Standardisé de Précipitation et d'Évapotranspiration
- **SSP** : Shared Socioeconomic Pathways (Parcours socio-économiques partagés)
- **Température** : Température maximale
- **UASZ** : Université Assane Seck de Ziguinchor
- **UCAD** : Université Cheikh Anta Diop de Dakar
- **UGP** : Unité de Gestion des Prairies
- **UNESCO** : Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture
- **UNFCCC (CCNUCC)** : Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

INTRODUCTION

L'eau est une ressource unique et irremplaçable, existant en quantité limitée. En tant que source essentielle à la vie, aux sociétés et aux économies, elle est porteuse de multiples valeurs et avantages. Mais, contrairement à la plupart des autres ressources, il s'avère extrêmement difficile de déterminer sa valeur « réelle » (UNESCO, 2021). La connaissance des potentialités hydriques constitue ainsi une nécessité pour la maîtrise et la bonne gestion des ressources en eau par les sociétés. Cette ressource est un bien vital dont dépend toute vie sur Terre, et son usage est inextricablement lié au développement des activités humaines. Comme d'autres biens communs environnementaux, la ressource en eau est soumise à un triple défi : la quantité, la qualité et l'accès. Ce constat est largement souligné dans la littérature scientifique consacrée à l'eau et à ses prospectives. Les projections soulignent une augmentation potentielle de 50% de la demande mondiale en eau à l'horizon 2050, tous usages confondus, l'agriculture représente à elle seule 70% de cette demande (Valade, 2018).

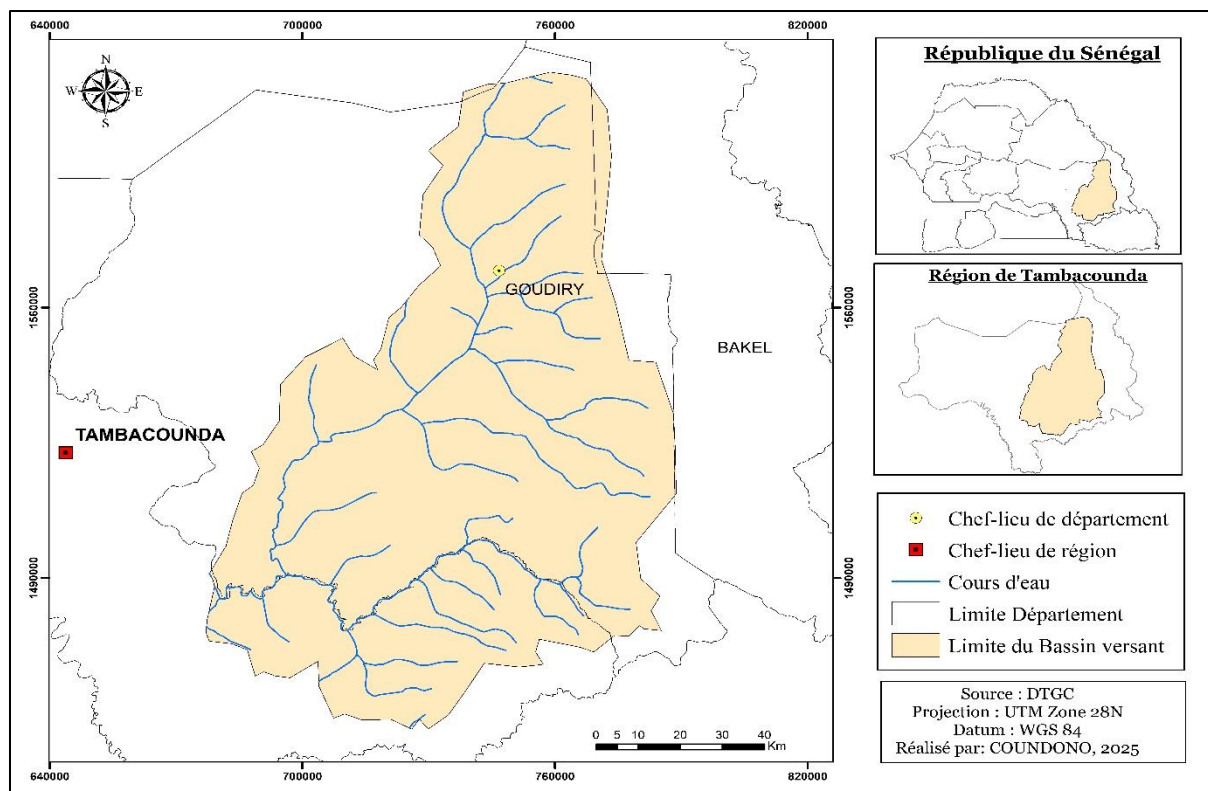
Au Sénégal, les ressources en eau jouent un rôle central dans les activités domestiques et agricoles (COTECO, 2008). Toutefois leur répartition spatiale demeure inégale, entraînant des disparités marquées par l'accès à l'eau potable et à l'irrigation. Le Sénégal dispose d'énormes potentialités en eau, réparties entre les eaux de surface et les eaux souterraines. Les eaux de surface comprennent plusieurs cours d'eau, tels que le fleuve Sénégal, le lac de Guiers, la Gambie et la Casamance, qui présentent des caractéristiques uniques en termes de longueur, de débit et d'étendue des bassins versants. Les eaux de surface des bassins fluviaux totalisent un volume moyen de 24 milliards de m³/an, dont 20,4 milliards pour le fleuve Sénégal. Le lac de Guiers, qui fait partie intégrante du bassin du fleuve Sénégal, offre un important potentiel de 2,34 milliards de m³/an, dont environ 500 millions de m³ sont exploités pour l'alimentation en eau potable (AEP) de Dakar et pour l'agriculture (LPSD, 2016 cité dans PSEAU, 2019). Ces cours d'eau jouent un rôle important dans l'écosystème local, en fournissant des habitats à la faune et à la flore et assurant des fonctions écologiques importantes.

Cependant, les perturbations d'origine anthropique affectent les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'eau, au détriment des écosystèmes et de la chaîne alimentaire. Par ailleurs, la variabilité climatique, dont les causes sont difficiles à cerner, peut se manifester par de longues périodes de sécheresse ayant pour conséquences des effets négatifs sur le cycle hydrologique, l'environnement et les activités socio-économiques (Bi Tié. A *et al.* 2006). Par ailleurs, les variations climatiques contribuent à des déficits pluviométriques et à une forte réduction des ressources en eau des bassins versants. Le changement climatique accentue ces

perturbations en modifiant la disponibilité des ressources hydriques, affectant de nombreux secteurs comme l'industrie, l'agriculture et la fourniture d'eau potable. Les phénomènes extrêmes liés à l'eau ainsi qu'à sa pollution représentent un coût annuel pour le Sénégal estimé à plus de 10% de son PIB chaque année (Banque mondiale, 2022).

Dans ce contexte, le développement des activités humaines au sein d'un bassin versant nécessite une gestion efficace des ressources en eau (Faye, 2013). Pour parvenir à un développement socialement équitable, économiquement efficace et écologiquement viable, il convient de prendre en compte trois dimensions fondamentales au niveau du bassin versant : le milieu physique, les fonctions et ses valeurs et ses usages (Sène, 2021)

Le bassin versant du Niéri-ko, situé au sud-est du Sénégal, est un espace très dynamique en raison de la croissance démographique et du développement intense des activités socio-économiques. Néanmoins, la péjoration climatique des années 1970 a entraîné une diminution des ressources en eau de surface et souterraines dans cette région impactant les activités économiques locales (Sène, 2021). Ce bassin qui constitue un sous-bassin du bassin de la Gambie, couvre une superficie de 11 320 km². Situé dans la partie aval du fleuve Gambie, il se trouve entièrement dans la région du Sénégal Oriental, entre les latitudes 13°10' et 14°45' Nord et les longitudes 12°15' et 13°30' Ouest (Lamagat J.P., 1989 ; Sow A. A., 2007 et Faye, 2021). Le Niéri-Ko prend sa source à 110 m d'altitude au Nord de Goudiry. Il s'étend sur 232 km, traversant des régions peu arrosées et principalement constituées de plateaux gréseux du Continental Terminal. Son principal affluent, le Sanone s'étire sur 132 km. Le Niéri-Ko, contrôlé au pont de la route de Kédougou, tout près de sa confluence avec la Gambie, est un affluent de rive droite caractérisé par des disponibilités en eau de surfaces très faibles, malgré la taille de son bassin. Il connaît des étiages prononcés marqués par un arrêt de l'écoulement durant de nombreux jours sur une année (Faye, 2021).



Carte 1 : La localisation du bassin versant du Niéri-ko

I. Problématique

1.1. Contexte :

Le réchauffement climatique mondial provoque des modifications durables du système climatique, qui constituent une menace aux conséquences irréversibles (PNUD, 2018). Parmi les régions les plus vulnérables, l’Afrique de l’Ouest est sans doute celle qui subira le plus fortement les impacts des changements climatiques, en raison notamment de sa situation économique, de sa forte croissance démographique et de la dépendance d’une frange importante de la population aux ressources naturelles (Noblet, *et al*, 2018).

Compte tenu de cette variabilité du climat et des conséquences parfois dramatiques qu’elle engendre, l’évolution des ressources en eau est une question préoccupante pour de nombreuses régions du globe. Cette problématique est d’autant plus vraie pour les pays africains de la zone soudano-sahélienne soumis depuis une trentaine d’années à une sécheresse persistante (Servat *et al.*, 1998; Ardoin *et al.*, 2003). La question du changement climatique est devenue à la fin du XXe siècle un enjeu international, comme en témoigne la publication du troisième rapport du Groupe d’experts Intergouvernemental sur l’Évolution du Climat (GIEC) (IPCC, 2001, S. ARDOIN-BARDIN *et al.*, 2005).

L'eau, en tant que ressource essentielle au développement durable, a été intégrée dans de nombreux documents et stratégies pour le développement aux niveaux régional, national et mondial. Les différents aspects liés à l'eau sont désormais incorporés aux Objectifs de développement durable (ODD). Au Sénégal, la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE), promue via la PAGIRE 2 (2018-2030), oriente la planification en considérant la variabilité climatique et en structurant les bassins versants comme unités de gestion prioritaires. Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) révisé en 2023 intègre les scénarios climatiques pour anticiper les déficits hydrique jusqu'en 2050, avec des outils comme les systèmes d'alerte précoce et les plans locaux GIRE. Dans le Sénégal oriental, relevant de l'Unité de Gestion des Prairies (UGP) spécifique, les SDAGE couvrent des bassins comme le Niéri-ko, le Thiokoye et la Koulountou, en promouvant la conservation des sols et l'eau.

De nos jours, en raison de la croissance démographique rapide, du développement économique et des multiples impacts qui affectent les ressources naturelles, l'eau ne cesse d'être une préoccupation fondamentale et un bien précieux à gérer en raison notamment de la pression démographique sur les ressources en hydriques qui augmente continuellement au Sénégal. Par ailleurs, le bassin versant constitue une unité fondamentale pour la conservation et la gestion des ressources naturelles. La conservation des sols et de l'eau demeure ainsi un enjeu crucial dans sa gestion, particulièrement pour le développement économique et social de tout pays (Faye *et al.*, 2021). Dans ce contexte, l'un des principaux défis des recherches sur la variabilité climatique est de quantifier son impact sur les écoulements et les disponibilités en eau, qui peut différer d'une région à une autre. (Faye *et al.*, 2018).

Les impacts du changement climatique sur les secteurs tels que l'agriculture, les ressources en eau, la santé et les écosystèmes suscitent une attention croissante de la part de la communauté scientifique internationale et des décideurs. Parmi ces impacts, ceux affectant les ressources en eau suscitent beaucoup d'inquiétudes en ce qui concerne la disponibilité future de cette ressource vitale dans le monde. En Afrique de l'Ouest et au Sahel particulièrement, plusieurs études se sont penchées sur les effets futurs du changement climatique sur les ressources hydriques. Au Sénégal, les impacts du réchauffement climatique global présentent des risques sérieux pour l'agriculture qui est principalement pluviale, les ressources en eau et les zones côtières qui sont déjà fragiles (Gaye, 2022). Ainsi, compte tenu de cette vulnérabilité des RSE (Ressources en Surface et Eaux) face à la variabilité climatique et au changement climatique, l'évolution des ressources en eau devient une question préoccupante pour de nombreux bassins versants au Sénégal, particulièrement le Niéri-ko

Situé dans la région sud-est du Sénégal, le bassin versant du Niéri-ko constitue un espace hydrographique essentiel au développement économique et social. Cependant le changement climatique pose de sérieux défis à la gestion des ressources en eau et aux activités socio-économiques dans cette région.

Dans ce contexte de changement climatique, il est indispensable d'avoir une compréhension claire des interactions entre la dynamique de la ressource en eau du bassin versant du Niéri-ko et les activités socio-économiques qui en dépendent. C'est dans cette perspective que s'inscrit la présente étude.

1.2. Justification

Plusieurs raisons motivent le choix du sujet intitulé : *Changement climatique et impact sur la dynamique des ressources en eau et des activités socio-économiques dans le bassin versant du Niéri-ko.*

Tout d'abord, parmi les ressources qui contribuent au développement des activités humaines, l'eau présente plusieurs caractéristiques distinctes : elle est indispensable à la vie, omniprésente et disponible en quantités strictement limitées, dictées par les lois de conservation et le cycle de l'eau. Son caractère essentiel à la vie sur terre en fait une ressource convoitée davantage que toute autre. Sa rareté maintient des populations entières dans des trappes à pauvreté et alimente des conflits pouvant, dans certains cas, dégénérer en conflits armés (Beachler, 2012).

Ensuite, la disponibilité de l'eau constitue aujourd'hui, sans doute un enjeu de développement durable. Si l'eau est un élément indispensable à la vie et aux activités économiques, une importance capitale devrait être réservée à sa gestion. Il est donc important de comprendre les facteurs qui régissent la ressource pour mieux la gérer (Gomis, 2017).

Enfin le changement climatique qui est devenu un phénomène avec un impact significatif sur la dynamique de l'eau, affectant à la fois la quantité et la qualité de l'eau disponible. Il entraîne une perturbation des régimes de précipitations, modifie le cycle hydrologique, augmente le stress hydrique en distribuant les ressources en eau et influence la disponibilité de l'eau pour les différents usages. Il est dès lors essentiel de prendre en compte le changement climatique dans la gestion de l'eau, en développant des stratégies d'adaptation et de mitigation pour garantir la sécurité de l'eau et protéger les écosystèmes aquatiques (OCDE, 2014).

Le choix d'étudier le bassin versant du Niéri-ko repose sur le fait qu'il reflète les principales caractéristiques physiques du bassin de la Gambie. Ce sous-bassin se trouve dans une région où les activités dominantes sont l'agriculture et l'élevage, impliquant une grande utilisation et une dépendance vis-à-vis de la ressource eau.

Ainsi, l'étude de l'impact du changement climatique sur la dynamique de la ressource en eau et sur les activités socio-économiques dans ce bassin est essentielle pour améliorer la gestion de l'eau et favoriser le développement durable. Cette étude permettra de mieux cerner les besoins en eau, d'anticiper les variations liées aux phénomènes climatiques et de promouvoir une utilisation écologique et durable des ressources hydriques.

Ce travail de recherche constitue une modeste contribution à une meilleure connaissance des potentialités en eau dans le Sud-Est du Sénégal et de la dynamique actuelle pour une meilleure gestion des ressources en eau. Il vise également à répondre aux préoccupations des populations locales en soutenant le développement de leurs activités socio-économiques ainsi que leur avenir.

1.3. Questions de recherche

La problématique de notre projet de mémoire est formulée autour d'une question principale : Comment l'évolution de la ressource en eau, sous l'effet de la variabilité et du changement climatique, impacte-t-elle sur les activités socio-économiques dans le bassin versant du Niéri-ko ?

Cette question principale se décline en quatre questions spécifiques :

- Comment se manifestent la variabilité et le changement climatique dans le bassin versant du Niéri-ko ?
- Quelle est la dynamique hydrologique observée dans le bassin versant du Niéri-ko ?
- Quels sont les impacts socio-économiques de l'évolution des ressources en eau dans le bassin versant du Niéri-Ko ?
- Quelles stratégies sont mises en place pour faire face aux impacts de la dynamique des ressources en eau sur les activités socio-économiques du bassin versant du Niéri-ko ?

1.4. Objectifs de recherche

L'objectif principal de notre étude est d'analyser l'impact de la dynamique des ressources en eau, sous l'influence du changement climatique, sur les activités socio-économiques du bassin versant du Niéri-ko.

Les objectifs spécifiques poursuivis sont :

- Caractériser les manifestations de la variabilité et du changement climatique dans le bassin versant du Niéri-ko ;
- Analyser la dynamique hydrologique et la disponibilité en eau dans le bassin versant du Niéri-ko ;

- Évaluer les impacts de l'évolution des ressources en eau sur les activités socio-économiques dans le bassin versant du Niéri-ko ;
- Identifier les stratégies d'adaptation mises en place pour atténuer les impacts de la dynamique des ressources en eau sur les activités socio-économiques du bassin versant du Niéri-ko.

1.5. Hypothèses de recherche

Dans le but d'atteindre nos objectifs fixés, nous avons avancé des hypothèses. Dans notre étude, l'hypothèse générale stipule que la dynamique de la ressource en eau, influencée par la variabilité et le changement climatique, entraîne une vulnérabilité des activités socio-économiques dans le bassin versant du Niéri-ko. De ce fait, des hypothèses spécifiques ont été retenues à savoir :

- La variabilité et le changement climatique se traduisent par une hausse des températures et une baisse des précipitations dans le bassin versant du Niéri-ko ;
- La dynamique hydrologique est régressive, entraînant une baisse de la disponibilité en eau dans le bassin versant du Niéri-ko ;
- La diminution des ressources en eau impacte négativement les activités socio-économiques majeures du bassin, notamment l'agriculture et l'élevage ;
- Les stratégies mises en place pour préserver les ressources en eau et soutenir les activités socio-économiques majeures du bassin sont insuffisantes face à l'ampleur des défis posés par le changement climatique.

II. Analyse conceptuelle

Pour assurer une compréhension précise du sujet de mémoire, il est indispensable de procéder à une analyse conceptuelle préalable des termes clés. Cette étape permet de garantir que les lecteurs appréhendent clairement les notions essentielles, facilitant ainsi la compréhension des enjeux et implications liés à la gestion des ressources en eau.

2.1. Bassin versant

Selon *Géomorphologie dynamique et environnement* (Monique Fort, 2015), un bassin versant est une entité à la fois topographique et hydrologique. Il s'agit d'un espace drainé par un réseau hydrographique, exerçant une double fonction : assurer le transit des précipitations tombant sur l'ensemble du bassin versant vers les talwegs et les cours d'eau et produire ainsi que transporter les particules de matière (solutés, sédiments) des continents vers les océans.

Chastan *et al.* (2015) définissent le bassin versant comme une superficie délimitée en amont d'un cours d'eau, qui recueille l'ensemble des écoulements issus des précipitations, des eaux de fonte, des infiltrations et des eaux souterraines convergeant vers un même point.

Dans *Le partage de l'eau* (Lasserre & Brun, 2018), le bassin versant est également présenté comme la surface d'alimentation d'un cours d'eau ou d'un lac, délimitée par les lignes de partage des eaux. Cette notion implique une continuité spatiale longitudinale (de l'amont vers l'aval), latérale (des crêtes vers la vallée) et verticale (interactions entre eaux superficielles et souterraines).

Selon *Géococonfluences*, un bassin versant fluvial ou lacustre est une portion d'espace terrestre où tous les écoulements, en surface ou en profondeur, convergent vers un même exutoire, qu'il s'agisse d'un cours d'eau, d'un lac ou de la mer.

D'après l'Agence de l'eau Onema (2012), il s'agit d'un territoire géographique délimité par des lignes de partage des eaux, englobant toute la surface recevant naturellement les eaux dirigées vers un même système hydrique.

En terme plus simple, le bassin versant est une portion du territoire où convergent en surface et en sous-sol tous les écoulements vers un point unique d'exutoire.

2.2. Dynamique

En géographie, la dynamique désigne le changement ou l'évolution d'une situation dans l'espace et dans le temps. *Géococonfluences* la considère comme la capacité d'un phénomène à évoluer, sans connotation exclusivement positive : cette évolution peut être favorable ou négative (déclin, rétraction).

Selon *Hypergééo*, la dynamique correspond au devenir d'un phénomène résultant d'un jeu de forces opposées. Bruno (1999) souligne également qu'il s'agit de l'étude des changements liés aux forces qui les causent et à l'énergie qu'ils mobilisent.

Dans le domaine hydrologique, Rossi (2010) définit la dynamique hydrologique comme l'ensemble des variations longues, oscillations et fluctuations des paramètres hydrologiques, caractérisant leur évolution dans le temps (tendances, extrêmes, répartition annuelle). Faye (2013) décrit la dynamique comme les variations du débit d'un bassin en fonction de l'étendue du bassin, de la pluviométrie et des caractéristiques des aquifères.

Dans le cadre de cette étude, la dynamique sera comprise comme l'ensemble des changements et interactions complexes qui influencent la disponibilité et la gestion de l'eau au fil du temps dans le bassin versant du Niéri-ko.

2.3. Ressource en eau

Une ressource en eau désigne l'ensemble des eaux disponibles destinées à satisfaire les besoins humains et économiques tels que l'agriculture, l'industrie et l'alimentation en eau potable. La définition de cette notion a évolué, mais elle converge vers l'idée d'une offre d'eau accessible dans un contexte temporel et spatial donné.

Selon *Aquaportail*, les ressources en eau regroupent les eaux disponibles pour répondre à la demande d'une population donnée et dans un délai déterminé. Le Dictionnaire Environnement et Développement Durable considère qu'une ressource en eau correspond à la quantité d'eau utilisable pour satisfaire les besoins humains.

Faye (2013) insiste sur la double nature de l'eau en tant que bien économique et bien d'environnement, tandis que Margat (1994) rappelle qu'il faut ne pas limiter la ressource à sa dimension quantitative mais aussi prendre en compte les aspects qualitatifs et fonctionnels.

Dans leur évaluation, les hydrologues intègrent des facteurs physiographiques, hydro-climatiques et d'usage du sol. Chéret (1967) souligne que l'inégale répartition spatiale et temporelle des précipitations engendre des variations importantes des ressources en eau.

Ainsi, le concept de ressource en eau englobe non seulement la quantité accessible mais aussi les usages et limites inhérents à cette ressource.

Dans ce travail, la ressource en eau correspond à l'ensemble des eaux accessibles et disponibles dans le bassin versant du Niéri-ko pour les besoins humains et pour assurer le bon fonctionnement des écosystèmes.

2.4. Impact

Le *Petit Larousse illustré* (2007) définit l'impact comme l'influence d'un événement ou d'une action sur le cours de faits ou d'événements. En géographie, ce terme désigne généralement les effets d'un phénomène sur l'environnement, la société ou l'économie d'une région.

Steen Folk (2005) explique que s'interroger sur l'impact d'une intervention signifie évaluer ce qu'elle a réellement changé dans la vie des bénéficiaires, notamment sur la qualité de vie ou les transformations sociales. L'impact peut être positif ou négatif, durable ou temporaire, et nécessite une analyse à court, moyen et long termes.

L'Institut Danois d'études internationales (2001) précise que l'évaluation d'impact doit porter sur l'influence des interventions de développement sur les dimensions socio-économique et politique, ainsi que sur les processus qui induisent ces changements (Sène, 2021).

Pour ce mémoire, la notion d'impact se référera aux effets ou conséquences des modifications observées dans les ressources en eau sur les activités socio-économiques des habitants du bassin versant du Niéri-ko.

2.5. Changement climatique

Selon les Nations Unies (<https://www.un.org/fr/global-issues/climate-change>), le changement climatique désigne les variations à long terme des températures et des régimes météorologiques. Ces variations peuvent être d'origine naturelle, résultant par exemple de cycles solaires ou d'éruptions volcaniques, mais depuis les années 1980, les activités humaines, principalement la combustion de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz), en sont la cause majeure.

Le glossaire du GIEC définit le changement climatique comme une modification prolongée de l'état du climat, détectable par des changements de la moyenne ou de la variabilité des propriétés climatiques sur plusieurs décennies ou plus. Ces changements peuvent être dus à des facteurs naturels internes ou à des forçages externes, naturels ou anthropiques.

La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC, 1990) distingue les changements climatiques attribuables à des activités humaines modifiant la composition de l'atmosphère mondiale de la variabilité climatique naturelle. Le 6e rapport du GIEC (2023) indique que le changement climatique a déjà affecté l'accès à l'eau, à l'alimentation, la santé et l'économie dans le monde. Selon Faye et Sané (2015), l'augmentation moyenne de température de l'ordre de 0,6 °C, l'irrégularité pluviométrique et la fréquence accrue des catastrophes naturelles sont des manifestations majeures du changement climatique. Ces phénomènes contribuent à accentuer les extrêmes climatiques, tels que les inondations et les sécheresses, augmentant ainsi la vulnérabilité des bassins versants en Afrique de l'Ouest et les enjeux liés à la gestion de leurs ressources en eau.

Dans le présent travail, le changement climatique se rapporte à l'ensemble des variations climatiques (précipitations, températures, etc.) accentuées par les actions anthropiques, affectant la dynamique des ressources en eau dans le bassin versant du Niéri-ko.

III. État de l'art

Le contexte actuel du changement climatique et ses effets sur les régimes des cours d'eau ainsi que sur la disponibilité en eau dans les bassins versants du monde expliquent l'abondance des publications traitant cette problématique. La question de l'eau constitue un enjeu majeur au niveau mondial, compte tenu de son importance pour l'environnement et la vie. De nombreux ouvrages, généraux ou spécialisés, ont été consultés pour cette revue de littérature. Cette section est consacrée à la présentation synthétique de ces travaux.

De manière générale, le bassin du fleuve Gambie, incluant notre zone d'étude, a fait l'objet de plusieurs travaux fondamentaux portant notamment sur l'hydrologie, la climatologie, la géomorphologie et la géologie. Ces recherches constituent une base essentielle pour notre projet

RODIER J. (1996), dans son ouvrage intitulé « *Hydrologie tropicale : Géoscience et outil pour le développement* », a étudié les petits bassins versants tropicaux pour les besoins d'aménagements hydrologiques et de développement des territoires des jeunes États indépendants. Il a analysé les caractéristiques hydrologiques principales : le débit moyen annuel et sa distribution temporelle, les fortes crues, le débit minimum, etc., caractéristiques dont l'incompréhension constitue un handicap à la recherche. Ainsi, il soutient la mise au point de nouvelles méthodes et techniques de mesure autres que celles qui ont concerné la pluie et l'écoulement afin de préciser l'interprétation des données de terrain pour une approche scientifique des bassins versants. Il a surtout analysé des paramètres du cycle hydrologique tropical afin que la plupart des problèmes liés aux bassins versants trouvent des solutions. Il souligne que dans le passé, les recherches ont plus été orientées vers l'aménagement et le développement. D'après RODIER « *les États doivent coopérer pour intensifier le renforcement des capacités endogènes en matière de développement durable grâce au développement de la recherche scientifique par les échanges de connaissances scientifiques facilitant la mise au point, la diffusion et le transfert de technique y compris de techniques nouvelles et novatrices* ».

Dans sa thèse intitulée, « *Évolution climatique récente et dynamique fluviale dans les hauts bassins des fleuves Sénégal et Gambie* », DIONE (1997) a analysé l'évolution de la pluviométrie dans l'espace et dans le temps avec la baisse généralisée de la pluie dans toute la zone du fait de la sécheresse. De plus, il a montré la relation pluie-écoulement et a déterminé les ressources en eau de surface dans un contexte de péjoration pluviométrique. L'auteur a également classé notre zone d'étude dans le domaine soudanien.

Dans sa thèse intitulée « *Les Bas-fonds dans le réseau hydrographique du fleuve Gambie : Cartographie, Régime hydrologique, Valorisation agricole et Typologie* », KONATÉ (1998) s'est donné comme objectif de chercher une méthode de gestion des potentialités naturelles offertes par les bas-fonds. Selon lui, cette méthode devrait permettre d'améliorer la connaissance du fonctionnement des bas-fonds dans le bassin de la Gambie, de mettre en évidence des critères pertinents pour une classification des bas-fonds du bassin et de montrer la pertinence d'un certain nombre d'aménagements.

Dans leur article intitulé « *Évaluation des impacts du changement climatique sur les ressources en eau d'Afrique de l'Ouest et Centrale* », Ardoin *et al.* (2005) ont étudié l'impact du changement climatique sur les écoulements de quatre grands bassins versants (Sénégal, Gambie, Sassandra, Chari) situés dans la zone soudano-sahélienne. Ils ont utilisé les prévisions du modèle climatique HadCM3-A2 et le modèle hydrologique GR2M. Leur étude prévoit une

augmentation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) de 2 à 3% en 2020 à 11 à 20% en 2080, bien que cette hausse modérée affecte peu le bilan hydrologique annuel. Ils soulignent une diminution majeure des précipitations dans les bassins du Sénégal et de la Gambie (jusqu'à -47% en 2080), tandis que les bassins du Sassandra et du Chari connaissent une augmentation (jusqu'à +35% en 2080). Les écoulements suivent ces tendances climatiques, avec des déficits allant de -14% à -66% pour le Sénégal et la Gambie, et une hausse allant jusqu'à +53% pour le Sassandra et le Chari.

Dans sa note de synthèse « *Les ressources en eau sur Terre : origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique* », Morel (2007) souligne que l'agriculture irriguée représente 65% des prélèvements mondiaux en eau. Il montre que le changement climatique accélère le cycle hydrologique avec une hausse moyenne de la température mondiale de 0,6 °C au XXI^e siècle. Il met en relief une baisse de 25% des précipitations au Sahel conduisant à une réduction de 50% des écoulements fluviaux. D'ici 2080, entre 1 et 4 milliards de personnes pourraient souffrir d'une pénurie accrue d'eau, notamment en Afrique et au Moyen-Orient.

Dans leur article intitulé « *enjeux et stratégies de l'eau pour un développement durable* » KETTAB *et al.*, (2008) ont montré combien la ressource en eau est indispensable pour le développement d'un pays. Ils mettent en évidence l'importance capitale que la maîtrise de l'eau a dans l'économie d'un pays. Ils montrent aussi que l'eau constitue à la fois un enjeu majeur et un défi à relever, un espoir et un progrès d'un milieu. Enfin, des stratégies de gestion ont été proposées dans l'optique de résoudre la crise de l'eau.

Dans « *Adaptation to climate change in international river basins in Africa : a review* », GOULDEN *et al.* (2009) soulignent la vulnérabilité accrue de l'Afrique due à la variabilité des ressources en eau et à la faiblesse des institutions. Les projections du GIEC annoncent un réchauffement compris entre +3,2 °C et +3,6 °C d'ici 2080. Ils insistent sur l'amplification des changements hydrologiques par rapport aux précipitations, et sur la complexité de la gestion dans les bassins transfrontaliers couvrant 62% du continent.

Le Centre de Suivi Écologique, (2010), suite à la demande des autorités, a réalisé le rapport intitulé « *L'État de l'Environnement au Sénégal* ». Dans ce rapport, il s'agit d'apporter des réponses appropriées sur les bases environnementales pour permettre aux autorités de mieux asseoir et orienter les politiques de développement. Dans ce contexte de crise économique à l'échelle mondiale associé aux effets des changements climatiques qui compromettent les effets de croissance, la réalisation de ce projet demeure nécessaire dans un pays où les ressources en eau sont fortement tributaires de conditions pluviométriques. Le suivi de l'état des ressources

en eau nécessite le renforcement scientifique, technique et méthodologique des structures locales.

FAYE (2013), dans sa thèse intitulée « *Évaluation et gestion intégrée des ressources en eau dans un contexte de variabilité hydro-climatique : cas du bassin versant de la Falémé* », a caractérisé la variabilité hydro-climatique du bassin de la Falémé, un affluent du fleuve Sénégal, pour une gestion durable de ses eaux. L'approche méthodologique a combiné des données météorologiques, hydrologiques, socio-économiques et environnementales, complétées par des observations et enquêtes de terrain sur la période 1950-2008. L'étude révèle que les déficits pluviométriques des décennies 1970 et 1980 ont fortement impacté les écoulements de la Falémé, avec des déficits d'écoulement supérieurs aux déficits pluviométriques. La modélisation avec le modèle GR2M a confirmé une nette tendance à la baisse des écoulements. Le bassin est confronté à un déséquilibre écologique dû à la baisse continue de la pluviométrie, aux sécheresses répétées, à la pression démographique et aux techniques de production inappropriées. Face à ces défis, une Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) est proposée pour améliorer la résilience des hydro-systèmes et la capacité d'adaptation des usagers. Dans leur article intitulé « *Le changement climatique dans le bassin versant de la Casamance : évolution et tendances du climat, impacts sur les ressources en eau et stratégies d'adaptation* » FAYE et SANE (2015) se sont donnés comme objectif de caractériser l'évolution et les tendances du climat en Casamance sur la base d'une analyse de la variabilité spatio-temporelle des paramètres climatiques à l'image de la température et la pluviométrie. Ainsi leurs choix concernant ces deux paramètres s'expliquent par le fait que ce sont ces derniers qui sont plus adaptés à mettre en évidence les fluctuations climatiques. Ainsi, l'utilisation de ces deux variables climatiques ont permis de montrer l'irrégularité pluviométrique ainsi que la hausse des températures en Casamance.

Dans le mémoire intitulé « *Eau et activités socio-économiques dans le bassin versant de Goudomp* » (2017), GOMIS montre que les impacts environnementaux et socio-économiques liés à la problématique de l'eau dans le bassin versant de Goudomp incluent une baisse de la productivité des activités socio-économiques en raison du déficit hydro-pluviométrique, des stratégies inefficaces mises en place par les populations pour faire face à ces impacts, et une baisse drastique des ressources en eau dans la région.

Dans leur article intitulé « *Variabilité climatique et impacts hydrologiques en Afrique de l'Ouest : Cas du bassin versant de la Gambie (Sénégal)* », Faye et Mendy (2018) analysent les modifications hydrologiques du bassin entre 1960 et 2016. Ils mettent en évidence une baisse significative des précipitations, du potentiel de ruissellement et d'infiltration, avec une rupture

notable en 1970. Le débit moyen à Gouloumbou est passé de 819 m³/s (1953-1970) à 337 m³/s (1971-1994), avant une légère reprise à 442 m³/s (1995-2016). Ce bassin est classé dans la zone soudano-guinéenne.

Dans un article de l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (2021) intitulé « *Bassin du fleuve Sénégal : Optimiser l'usage de l'eau dans le contexte des changements climatiques* », la FAO traite les enjeux socio-économiques et climatiques liés au bassin du fleuve Sénégal, qui est une priorité pour les autorités Sénégalais afin d'augmenter la production agricole et lutter contre l'insécurité alimentaire. L'article souligne l'importance de la gouvernance concertée des ressources en eau entre les quatre pays riverains (Sénégal, Mauritanie, Mali et Guinée) conformément à la charte des eaux du fleuve Sénégal signée en 2002. L'étude utilise une chaîne de modélisation combinant des projections climatiques, hydrologiques et une modélisation hydro-économique pour évaluer les performances de cinq (5) secteurs clés (agriculture irriguée, décrue, navigation, pêche, hydroélectrique) face aux changements climatiques à l'horizon 2075. Elle souligne aussi la nécessité de mieux prendre en compte les changements climatiques dans la planification et les études de faisabilité, et d'approfondir les recherches sur la rentabilité économique de la navigation et les impacts écologiques.

Dans leur article intitulé « *analyse morphométrique et hydrologique du sous-bassin versant du Niaoulé (bassin de la Gambie) à l'aide de techniques SIG* » FAYE *et al.*, (2021) présentent une analyse morphométrique et hydrologique du sous-bassin versant du Niaoulé dans le bassin de la Gambie. L'étude utilise des techniques SIG pour analyser les aspects linéaires, aréolaires et de relief du bassin. Les résultats montrent que le bassin présente une géologie homogène, une topographie jeune et un faible degré d'intégration du drainage. Les techniques utilisées dans l'étude sont utiles pour la planification et la surveillance des sous-bassins versants pour un développement durable.

Dans son mémoire intitulé « *Dynamique des ressources en eau et impacts sur les activités socio-économiques : cas du bassin versant du Niaoulé (Tambacounda)* » (2021), SENE a étudié les impacts de l'évolution des ressources en eau sur les activités socio-économiques dans le bassin du Niaoulé, situé dans la région de Tambacounda au Sénégal. La méthodologie de recherche combine des analyses statistiques des données climatologiques, hydrologiques et socio-économiques. Les résultats montrent que malgré un retour de la pluviométrie à la normale, les ressources en eau du bassin continuent à subir les impacts de la sécheresse climatique, ce qui perturbe les activités agricoles, d'élevage et de pêche. Des stratégies d'adaptation ont été mises en place, mais elles sont limitées par un manque de moyens techniques et financiers.

Dans leur article « *Cartographie des risques d'inondation à l'échelle du bassin fluvial à l'aide de l'indice de potentiel d'inondation : Cas du sous-bassin du Niéri-Ko (Bassin de la Gambie)* », Faye *et al.*, (2021) estiment qu'il est important pour les décideurs politiques d'étudier les risques d'inondation car cela leur permet d'obtenir des informations stratégiques pour anticiper ou atténuer les risques et les désastres liés à ce phénomène. Cela leur permet de mettre en place des plans de gestion cohérents pour protéger les activités agricoles, les infrastructures existantes et les vies humaines contre les inondations futures. Les résultats obtenus dans la cartographie des risques d'inondation du sous-bassin du Niéri-Ko indiquent que 95,41% des zones sont sensibles aux inondations et 4,59% sont classées comme très sensibles aux inondations. La majorité des zones à forte sensibilité se trouvent le long des ruisseaux du sous-bassin et sont occupées par la savane.

Dans sa thèse sur « *la caractérisation hydrologique et gestion des ressources en eau des bassins de la Casamance en amont de Kolda et de la Kayanga-Géva en amont de Wassadou* », SADIO (2023) analyse des données climatiques (MERRA-2, CMIP6) et hydrologiques (DGPRES) avec le modèle GR2M. Elle note une augmentation des températures après 1982 (+0,573 °C/an à Kolda) et une baisse marquée des précipitations entre 1970 et 1994, suivie d'une hausse après 2000. Les débits fluviaux ont connu un déficit entre 1970 et 1990, puis une légère reprise. Une sécheresse extrême et une diminution significative des débits sont prévues à l'avenir. La zone est classée sud-soudanienne continentale.

Dans sa thèse intitulée « *Dynamique des ressources en eau et des terroirs dans le bassin versant d'Aga-Foua-Djilas* », DIONE (2024) étudie l'évolution hydrologique sous influence climatique sur la période 1951-2020, à l'aide des modèles CWatM et HMF-WA. Il identifie une rupture majeure entre 1969 et 1971, marquant le début de la sécheresse sahélienne avec un déficit pluviométrique de -28% à -38,1%. Une légère hausse des précipitations est observée depuis les années 2000, tandis que les températures augmentent. Les projections futures (2021-2100) anticipent une baisse marquée des ressources et des débits, avec une diminution potentielle des précipitations de -36,1% et une hausse thermique de +3,92 °C sous le scénario SSP585, pouvant entraîner une chute des débits pouvant atteindre -94,6%.

Dans son mémoire intitulé « *Caractérisation hydrologique et gestion des ressources en eau du bassin versant de Koungheul (Sénégal)* », THIAM (2024) applique le modèle hydrologique CWatM en contexte d'absence de données hydrométriques. Il observe une dominance de la sécheresse (52,4% selon l'indice SPEI) et une diminution des ressources en eau perçue par 84,55% des personnes enquêtées. Les données climatiques (1980-2021) montrent une

augmentation récente des températures et précipitations à Tambacounda, mais les projections indiquent une baisse future des précipitations. Le bassin appartient au régime nord-soudanien. L'ensemble des travaux consultés montre que les ressources en eau en Afrique de l'Ouest sont fortement influencées par la variabilité climatique et les pressions anthropiques. Toutefois, peu d'études se sont spécifiquement intéressées aux petits bassins versant du sud-est sénégalais, en particulier au Niéri-ko, où les dynamiques locales restent peu documentées. Ce mémoire s'inscrit donc dans une perspective d'enrichissement des connaissances, en analysant l'impact du changement climatique sur la dynamique hydrologique du bassin et sur les activités socio-économiques qui en dépendent.

IV. Méthodologie

4.1. Revue documentaire

La première étape de cette étude a consisté en une revue documentaire approfondie, fondamentale pour mieux cerner la problématique et poser les bases théoriques et conceptuelles du travail. Cette revue a permis d'établir un état des lieux des connaissances existantes et d'identifier des pistes de recherche pertinentes. Elle a également contribué à une meilleure compréhension et définition des concepts clés liés à l'hydrologie et à la gestion des ressources en eau, en particulier dans le contexte du bassin versant du Niéri-ko.

Pour cela, plusieurs documents ont été consultés, englobant des ouvrages généraux et spécialisés, des articles scientifiques, des thèses et mémoires. Ces ressources ont été collectées dans plusieurs centres de documentation et bibliothèques universitaires, notamment à l'Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ) et à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), ainsi que via des plateformes numériques, moteurs de recherche académiques et bases de données de revues spécialisées.

4.2. Travaux de terrain

Les travaux de terrain représentent une étape essentielle dans une recherche en géographie, car ils permettent l'observation directe des phénomènes géographiques tels que la topographie, la végétation et l'utilisation des sols. Ces observations fournissent des données à la fois qualitatives et quantitatives, indispensables pour une analyse approfondie des dynamiques territoriales.

La collecte de ces données repose sur une approche intégrée combinant plusieurs méthodes adaptées aux objectifs de l'étude. Dans le cadre de ce travail, nous avons opté pour un échantillonnage aléatoire simple, méthode reconnue pour son efficacité à produire des résultats

fiables et valides, susceptibles de permettre des généralisations précises sur la population ou les éléments étudiés.

4.2.1. Enquêtes préliminaires

Cette phase a constitué une première approche permettant d'établir un contact avec les populations locales et de se familiariser avec le terrain d'étude. Réalisées sous forme d'échanges avec les chefs de villages et plusieurs notables, ces enquêtes ont fourni des informations précieuses sur la gestion de la ressource en eau dans le bassin, ainsi que sur les différentes activités économiques et sociales liées à l'eau dans les villages le long du cours d'eau.

4.2.2. Échantillonnage

Les données relatives à la situation socio-économique des populations du bassin ont été collectées selon une méthode d'échantillonnage aléatoire simple. La commune de Goumbayel, faisant partie intégrante du bassin versant et caractérisée par un relief fragile soumis à des pressions agricoles et à des enjeux hydrologiques importants, a été retenue comme zone d'étude principale. La collecte des données s'est concentrée sur huit villages sélectionnés en fonction de proximité avec le cours d'eau.

Tableau 1: Nombre de ménages pour chaque village dans la commune de Goumbayel

QUARTIERS/VILLAGES	CONCESSIONS	MENAGES	HOMMES	FEMMES	POPULATION
BAGADADJI	14	19	124	145	269
BALA FOULBE (BALA HAMADY BODIEL)	22	32	213	189	402
BALAM BOULOU	16	26	236	204	440
GOUMBAYEL	103	115	855	915	1770
HAMDALLAYE 2	14	23	170	132	302
KAGNIBE	45	53	334	322	656
MADINA DIOUNA (BAGADADJI DIOUNNA)	11	21	110	108	218
SABIKHASSE	9	20	137	156	293
Total	234	309	2179	2171	4350

Source : ANSD, 2023

L'échantillonnage a été réalisé en tenant compte de la taille des ménages dans les huit (8) villages ciblés de la commune, sélectionnés en fonction de leur proximité avec les cours d'eau. Pour déterminer la taille de l'échantillon, la formule d'échantillonnage STANDARD a été utilisée, selon l'équation suivante

$$n = \frac{Z^2 \times p (1 - p)}{\frac{\alpha^2}{\alpha^2 \times N}}$$

Où : n est la taille de l'échantillon ; N est la taille de la population mère (ou univers investigué) ; α correspond à la marge d'erreur exprimée en proportion ; Z est la valeur critique associée au

niveau de confiance choisi (par exemple, 1,96 pour 95%) ; p est la proportion estimée de la population présentant la caractéristique d'intérêt. En l'absence d'information, p=0,5 est utilisé, correspondant au cas le plus défavorable.

$$n = \frac{\frac{1,960^2 \times 0,5 (1 - 0,5)}{0,05^2}}{\frac{1,960^2 \times 0,5 (1 - 0,5)}{0,05^2 \times 309}}$$

Pour cette étude, la population mère (N) est constituée de 309 ménages répartis dans les huit villages sélectionnés. Le niveau de confiance choisi est de 95%, correspondant à Z=1,960, avec une marge d'erreur $\alpha=0,05$. En appliquant la formule, la taille de l'échantillon (n) est estimée à 211 ménages, soit environ 68% de la population totale.

Afin de répartir les 211 ménages à interroger entre les huit villages, un échantillonnage par quota a été adopté. Le nombre de ménages à enquêter dans chaque village est proportionnel à la taille relative de la population villageoise par rapport à l'ensemble étudié, calculé selon la formule :

$$\frac{\text{Nombre de ménages du village} \times 211}{\text{Nombre total de ménages des 8 villages}}$$

Tableau 2: Répartition de l'échantillonnage pour chaque village

Villages retenus	Nombre de ménages	Intervalle d'incertitude	Échantillonnage	Pourcentage
BAGADADJI	19	5%	13	6,1
BALA FOULBE (BALA HAMADY BODIEL)	32	5%	22	10,4
BALAM BOULOU	26	5%	18	8,4
GOUMBAYEL	115	5%	79	37,2
HAMDALLAYE 2	23	5%	16	7,4
KAGNIBE	53	5%	36	17,2
MADINA DIOUNA (BAGADADJI DIOUNNA)	21	5%	14	6,8
SABIKHASSE	20	5%	14	6,5
Total	309	5%	211	100

En définitive, cette méthode d'échantillonnage a permis de réaliser un bon maillage de la commune, assurant ainsi une représentativité fiable de la localité et des différents villages ciblés. Pour la sélection des ménages à interroger dans chaque village, un échantillonnage

aléatoire simple a été adopté. Cette méthode garantit que chaque ménage du village a une probabilité égale d'être inclus dans l'échantillon et d'être enquêté.

4.2.3. Enquêtes de ménages

Les enquêtes de terrain se sont déroulées entre le 18 décembre 2024 et le 05 janvier 2025. Elles ont été réalisées à l'aide d'un questionnaire soumis à tous les ménages présents dans chaque concession. Un total de 211 ménages répartis dans les huit villages sélectionnés a été interrogé. Le questionnaire comprenait 68 questions couvrant divers aspects socio-économiques et environnementaux. Par ailleurs, les données collectées sur le terrain ont été géoréférencées à l'aide d'un système de positionnement global (GPS).

4.3. Collectes et traitement des données

4.3.1. Données spatiales

Les données spatiales utilisées dans cette étude proviennent de plusieurs sources complémentaires, notamment Google Earth Engine (GEE), la Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques (DTGC, 2014), la base de données INP (Institut nationale de pédologie) (2019) pour les données sur les sols, ainsi que la mission topographique radar de la navette spatiale (STRM, 2000) (Nasa Earth data) pour le MNT (Modèle Numérique de Terrain).

Un MNT a d'abord été téléchargé sur le site : <https://srtm.csi.cgiar.org/> et traité avec ArcMap 10.8. Il a permis de délimiter précisément les contours du bassin versant et d'élaborer une carte altimétrique avec des intervalles d'altitude adaptés. Les données ainsi extraites ont ensuite été traitées sous Excel pour générer la courbe hypsométrique du bassin.

Google Earth Engine a été utilisé pour cartographier la dynamique de l'occupation du sol dans le bassin, à partir d'images satellitaires de Landsat pour les années 1986 (Landsat 5 TM), 2000 (Landsat 7 ETM+) et 2025 (Landsat 9 OLI-2). Ces dates ont été choisies pour capturer les étapes de la dynamique de l'occupation du sol liée au barrage de Manantali : 1986, période avant sa mise en service (inauguré en 1988) comme situation de référence ; 2000, une décennie après sa mise en place, pour évaluer les premiers impacts ; et 2025, l'année actuelle.

Le choix de Google Earth Engine (GEE) repose sur sa capacité à transformer le traitement de données massives en un processus rapide et accessible. C'est une plateforme cloud qui donne accès à un vaste catalogue de données d'observation de la Terre à l'échelle planétaire (Sy, Touré & Sow, 2025). GEE intègre des outils performants d'apprentissage automatique, tels que le classificateur Random Forest, largement mobilisé pour l'analyse spatio-temporelle des changements d'occupation du sol (Phan *et al.*, 2020). L'algorithme Random Forest (RF) a été

retenu comme méthode de classification en raison de sa précision élevée, de sa robustesse et de sa mise en œuvre relativement simple par rapport à d'autres modèles d'apprentissage automatique. Le Random Forest est un algorithme de Machine Learning polyvalent et robuste, fondé sur un ensemble d'arbres de décision dont les prédictions combinées permettent de mieux caractériser les propriétés du milieu étudié (Sy, Touré & Sow, 2025). De nombreuses études montrent qu'il fournit des résultats souvent plus précis que les machines à vecteurs de support (SVM), le k-plus proches voisins (kNN) ou le classificateur du maximum de vraisemblance (MLC) dans les applications de cartographie de l'occupation du sol (Phan *et al.*, 2020).

Les données fournies par la DTGC ont servi à la délimitation des communes et à la localisation des villages situés dans le bassin. Enfin, les informations issues de la base de données INP ont été utilisées pour la production de la carte pédologique du bassin, essentielle pour analyser la distribution des sols et leurs caractéristiques.

4.3.2. Données climatiques

Les données climatiques utilisées dans cette étude ont été collectées auprès de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM). Elles concernent les paramètres enregistrés à la station synoptique de Tambacounda, située à proximité du bassin versant étudié. Les variables climatiques prises en compte incluent la pluviométrie, les vents, la température, l'évaporation, l'insolation et l'humidité relative.

Pour analyser la variabilité pluviométrique dans le bassin du Niéri-ko, l'indice standardisé des précipitations (ISP) a été calculé, et des tests statistiques de rupture, notamment les tests de Pettitt et de Mann-Kendall, ont été appliqués. En s'appuyant sur les données de pluviométrie couvrant la période 1970-2021, ces analyses ont permis de déterminer l'année de changement significatif dans l'évolution des précipitations. Le traitement statistique a été réalisé à l'aide du logiciel XLSTAT 2014.

Pour évaluer l'impact du changement climatique dans le bassin, les données de simulation utilisées dans cette étude ont été extraites du site <https://climexp.knmi.nl/start.cgi>. Après sélection du projet CMIP6 et du modèle climatique MPI-ESM1-2-HR, nous avons téléchargé les séries de températures et de précipitations simulées pour le Niéri-ko, sur la période 1980-2100. Les scénarios climatiques SSP1-2.6 (optimiste) et SSP5-8.5 (pessimiste) ont été retenus afin d'analyser la sensibilité du bassin aux futurs changements. Le choix des scénarios climatiques repose sur deux principes complémentaires : représenter une trajectoire réaliste des émissions et explorer un futur extrême afin de couvrir la gamme des risques possibles¹.

¹ <https://www.carbone4.com/publication-scenarios-ssp-adaptation>

Pour représenter spatialement les données sur l'ensemble du Niéri-ko, quatre points distincts à l'intérieur du bassin ont été identifiés : P1 (14,54 ; -12,26), P2 (13,53 ; -12,86), P3 (13,22 ; -12,86) et P4 (13,81 ; -12,39). La moyenne des données de ces 4 points a été utilisée pour caractériser les tendances annuelles.

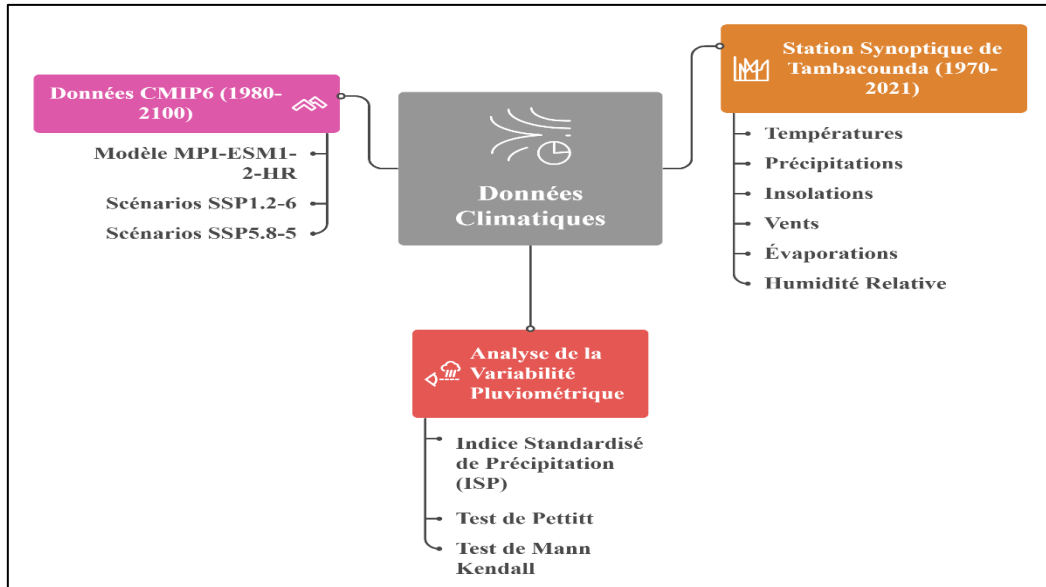


Figure 1: Données climatiques utilisées dans l'étude

4.3.3. Les données hydrométriques

Pour les données hydrométriques utilisées, elles proviennent de la station de Goumbayel, couvrant une période initiale large de 1970 à 2025. Toutefois, en raison de nombreuses lacunes et de discontinuités de la série sur l'ensemble de cette période, nous avons choisi une série constituée que d'années complètes. Ainsi, la série d'années continues et complètes de 1997 à 2009 a été retenue pour faire l'analyse de l'écoulement du bassin.

PREMIÈRE PARTIE : CARACTÉRISATION DU BASSIN VERSANT DU NIÉRI-KO

La présentation générale de la zone d'étude est une partie d'une importance capitale car elle permet de mieux connaître la zone d'étude (Gomis, 2017). Le bassin versant du Niéri-ko constitue une unité territoriale hydrologique complexe où s'articulent des caractéristiques physiques déterminantes et des dynamiques humaines dont l'analyse intégrée s'avère indispensable pour comprendre son fonctionnement écosystémique et orienter sa gestion durable. Dans cette partie consacrée à l'étude de l'ensemble des facteurs (l'hydrographie, la morphométrie, la pédologie, la végétation, le climat), il est question de déterminer les modalités d'écoulement dans le bassin versant du Niéri-ko.

CHAPITRE I : Caractéristiques physiques du bassin versant du Niéri-ko

L'analyse des caractéristiques physiques d'un bassin versant revêt un caractère important dans la mesure où les éléments qui le composent ont une influence non négligeable sur sa réponse hydrologique. La réponse hydrologique d'un bassin versant est conditionnée par les éléments morphologiques (forme, taille, pente, altitude...), pédologiques, la couverture végétale, ainsi que les éléments du réseau hydrologique.

1.1. Le réseau hydrographique du bassin versant du Niéri-ko

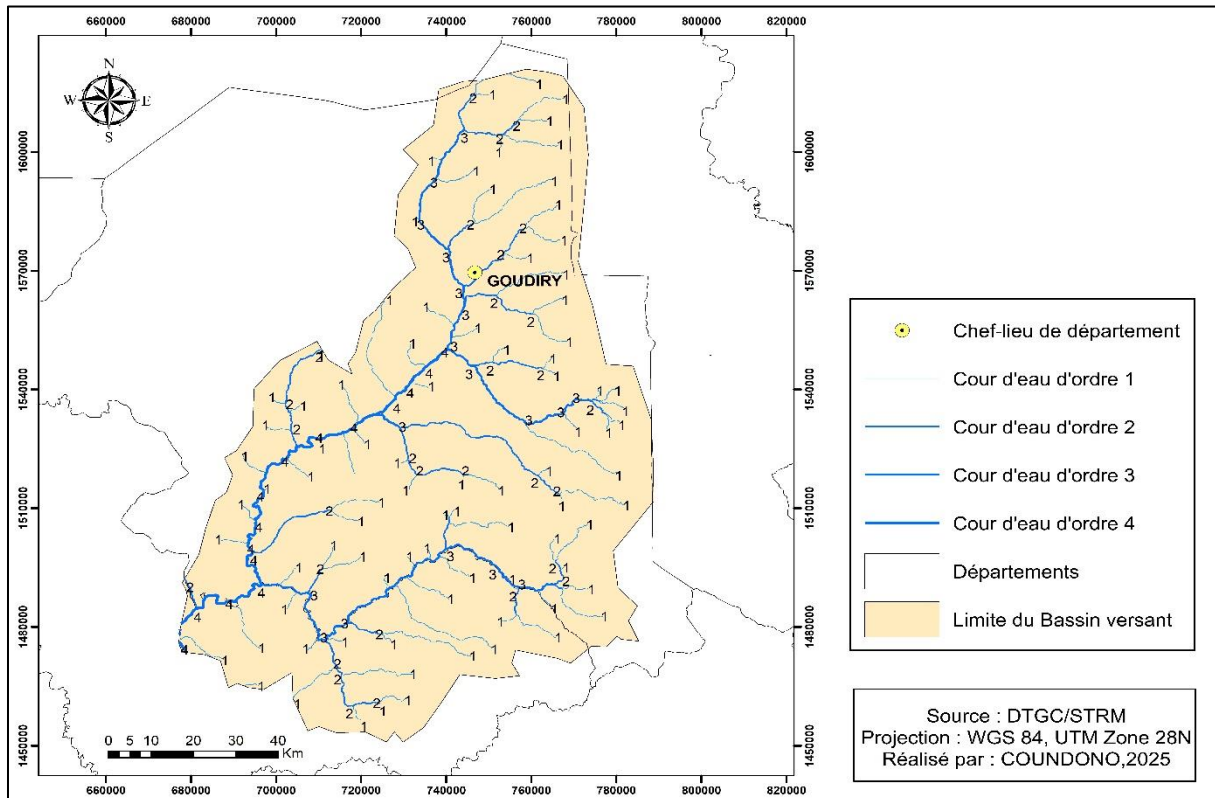
Selon Roche (1963), le réseau hydrographique est l'ensemble des canaux de drainage naturel, permanents ou temporaires, par où s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par la nappe souterraine. Celui-ci est un organisme d'écoulement d'importance très variable, formé par un ensemble d'éléments linéaires hiérarchisés. Le réseau hydrographique du bassin de Niéri-ko présente une configuration en arête de poisson. D'après Kaba (2008), le nom du « Niéri-ko » vient du manding qui signifie (Niéri = ancien province et Ko = rivière). C'est un affluent de la rive droite du fleuve Gambie qui se trouve dans le territoire du Sénégal, au sud-est et plus précisément dans la région de Tambacounda. Le cours d'eau prend sa source à une altitude de 110 mètres au Nord de Goudiry plus précisément à Toulékedi sur les plateaux gréseux du Continental Terminal (Kaba, 2008).

1.1.1. La classification du bassin versant du Niéri-ko avec la méthode de Strahler (1957)

Afin d'appréhender la complexité de sa ramification, les segments du réseau hydrographique du bassin du Niéri-ko doivent être soumis à une hiérarchisation méthodique, concept initialement développé par Gravelius en 1914. Cette approche systématique permet de structurer et de quantifier l'organisation spatiale des cours d'eau au sein de ce bassin versant. Plusieurs hydrologues de renom, notamment Horton (1945), Strahler (1957) et Shreve (1966), ont élaboré des méthodes de classification du réseau hydrographique dans un bassin versant. Ces approches méthodologiques constituent aujourd'hui les fondements de l'analyse morphométrique des réseaux de drainage.

De nos jours, la méthode de Strahler (1957) demeure la plus utilisée et la plus répandue dans les études hydrologiques contemporaines. Cette classification se base sur des règles hiérarchiques précises, appliquées d'amont en aval selon les principes suivants (Djoukbal, 2019).

Pour effectuer cette classification sur le bassin du Niéri-ko, nous avons utilisé des outils Hydrology du logiciel ArcMap 10.8 qui s'avèrent indispensables pour cette dernière. En appliquant ce principe de classification au bassin du Niéri-ko, l'analyse révèle un ordre de 4 à l'exutoire. Cette classification permet de définir le réseau du bassin versant du Niéri-ko comme un réseau de type dendritique. C'est-à-dire un type de drainage caractérisé par une structure semblable aux ramifications d'un arbre. La carte 2 illustre les résultats obtenus de cette classification du réseau hydrographique du bassin de Niéri-ko.



Carte 2 : Classification du réseau hydrographique du bassin versant du Niéri-ko par la méthode Strahler

1.1.2. La densité de drainage

Exprimée en km/km², la densité de drainage se définit comme le rapport entre la longueur totale des cours d'eau du réseau hydrographique ($\sum Lx$) et la superficie du bassin drainé (A). Cette mesure quantitative s'exprime par la méthode suivante (Rambert, 1973) :

$$Dd = \frac{\sum Lx}{A}$$

- Où Dd représente la densité de drainage,
- $\sum Lx$, la somme des longueurs de tous les cours d'eau en kilomètres,
- A , la superficie du bassin en kilomètres carrés (Km/Km²).

La densité de drainage dépend de plusieurs facteurs tels que la lithologie, la tectonique, l'exposition, le couvert végétal, les pentes et le climat d'après Thiam (2024). Les paramètres nécessaires au calcul de cette densité ont été déterminés à partir de l'exploitation d'un modèle numérique de terrain (MNT), à l'aide du logiciel ArcMap 10.8.

Le bassin du Niéri-ko, l'un des sous bassin du système hydrographique du fleuve Gambie, couvre une superficie d'environ 11320,34 Km². L'analyse morphométrique basée sur la classification de Strahler révèle un réseau hydrographique complexe de 278 cours d'eau répartis sur quatre (4) ordres hiérarchiques. La longueur totale cumulée des cours d'eau atteint 1470,694 Km (Tableau 3) permettant ainsi de calculer une densité de drainage de 0,1251 Km/Km² pour ce bassin.

L'analyse de la densité de drainage du bassin du Niéri-ko révèle une valeur de 0,1251 km/km², caractéristique des systèmes hydrographiques sahéliens sur substrat perméable. Cette faible densité résulte de l'interaction complexe entre les facteurs lithologiques, climatiques et morphologiques spécifiques au Sénégal oriental.

Tableau 3: Longueur des cours d'eau du bassin versant du Niéri-ko

Ordre	Nombre	Longueur (Km)	%
1	165	775,568	52,735
2	45	323,121	21,971
3	44	234,049	15,914
4	24	137,956	9,380
Total	278	1470,694	100

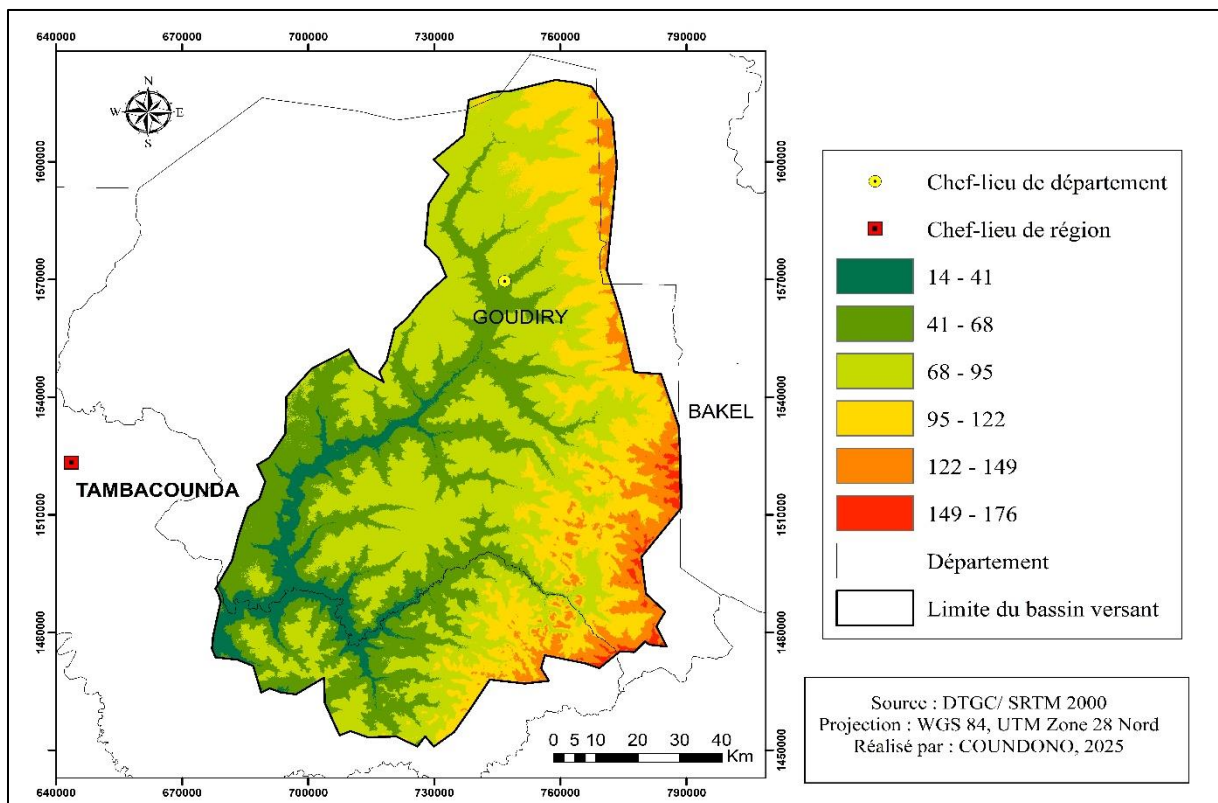
1.2. Le relief et les caractéristiques morphométriques du bassin de Niéri-ko

1.2.1. Le relief

Le relief joue un rôle fondamental dans la dynamique hydrologique d'un bassin versant, car il conditionne l'écoulement des eaux de surface, comme l'a souligné Leroux (1980). La pente topographique influence directement la vitesse et la quantité d'écoulement superficiel, impactant ainsi le temps de réponse du réseau hydrographique. L'analyse de la carte obtenue à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) tiré de l'INP 2019, révèle que les altitudes varient principalement entre 14 et 176 mètres. Les zones de plus basse altitude (14 à 41 m), représentées en vert foncé, se concentrent dans les secteurs de l'exutoire et le long des principaux axes de drainage, notamment au sud-ouest du bassin. Les altitudes les plus élevées (jusqu'à 176 m, en rouge) se situent aux marges nord-est du bassin.

Dans l'ensemble, le bassin du Niéri-ko présente une topographie relativement peu accidentée, caractérisée par de faibles pentes sur la majeure partie de sa surface, ce qui correspond à un plateau tabulaire. Cette configuration favorise un écoulement lent des eaux de surface, prolongeant le temps de réponse du bassin lors des précipitations. Les faibles altitudes moyennes, majoritairement inférieures à 95 m, confirment cette dominance de pentes douces, tandis que les zones de relief plus marquées restent localisées et marginales.

Ainsi, la morphologie du bassin du Niéri-ko, telle que représentée sur la carte, conditionne fortement la dynamique hydrologique locale, en limitant les vitesses d'écoulement et en influençant la répartition spatiale des apports hydriques.



Carte 3 : Plage d'altitude du bassin versant du Niéri-ko

1.2.2. La courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique traduit la variation de la surface (en Km² ou en % de la surface totale) du bassin versant en fonction des altitudes. Elle fournit une vue systématique de la pente du bassin et du relief (César, 2017). Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude (Musy, 2010). En outre, elle met en évidence la proportion de la superficie totale du bassin située à l'intérieur de chaque intervalle altitudinal. Pour cette étude, l'utilisation du logiciel ArcMap 10.8 a permis de classer les altitudes en différentes classes et de calculer la surface correspondante à chacune d'elles, comme le montre

le tableau 4. Ensuite, un cumul décroissant des pourcentages de surface a été réalisé pour construire la courbe hypsométrique, représentée graphiquement.

Tableau 4: Répartition de la superficie selon les tranches d'altitude dans le bassin versant du Nié-ko

Altitude (m)	Surface (Km ²)	Pourcentage (%)	Fréquence cumulé (FCD)
[14-41[	669	5,914	100,000
[41-68[	2950	26,063	94,086
[68-95[	4686	41,393	68,023
[95-122[	2199	19,423	26,629
[122-149[	737	6,508	7,207
[149-176[	79	0,698	0,698

L'analyse de cette courbe permet d'apprécier la morphologie du bassin du Niéri-ko. On observe que la majorité de la surface du bassin se situe entre 41 et 95 mètres d'altitude, représentant près de 68 % de la superficie totale. Les altitudes élevées (au-dessus de 122 m) ne concernent qu'une très faible part du bassin, tandis que les altitudes les plus basses (14-41 m) couvrent également une petite proportion. Cette distribution traduit un relief relativement peu accidenté, avec une dominance des terrains de basse et moyenne altitude. Ainsi, la courbe hypsométrique constitue un outil essentiel pour caractériser la topographie et le potentiel hydrologique du bassin du Niéri-ko.

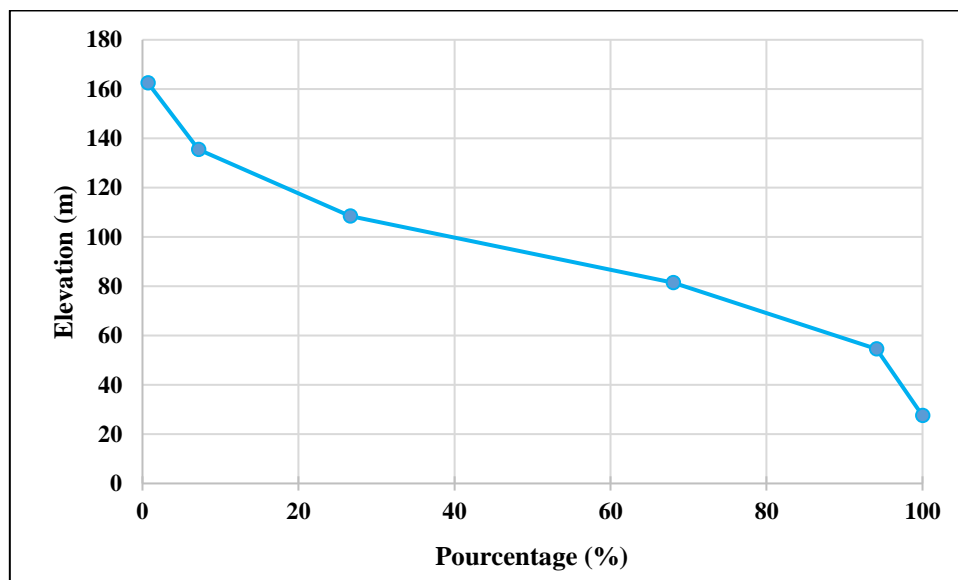


Figure 2: Courbe hypsométrique du bassin versant du Niéri-ko

Cette courbe permet de calculer la dénivelée (D), définie comme l'écart d'altitude entre les hauteurs correspondant aux percentiles 5% (H5%) et 95% (H95%), conformément aux travaux de Laborde (2000). La dénivelée s'exprime ainsi :

$$\text{Dénivelée (m)} = H(5\%) - H(95\%)$$

L'estimation a été réalisée à l'aide de l'outil Excel, ce qui a permis d'obtenir une valeur de 116,06 m pour la dénivelée. Le bassin versant du Niéri-ko présente ainsi une dénivelée de 116,06 m.

1.2.3. La forme du bassin

La forme du bassin joue un rôle important dans la mesure où elle exerce une influence sur l'écoulement global mais également sur l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire. Pour caractériser la forme d'un bassin versant, les hydrologues utilisent l'indice de compacité de Gravelius (KG) proposé en 1914 (Sène, 2021).

L'indice de compacité de Gravelius (1914), noté KG, constitue un paramètre de référence largement utilisé par les hydrologues pour quantifier la morphologie des bassins versants. La forme du bassin, en effet, conditionne de manière significative la dynamique de l'écoulement des eaux de surface. Le coefficient de compacité de Gravelius se définit comme le rapport entre le périmètre réel du bassin et la circonférence d'un cercle ayant une surface équivalente à celle du bassin (Faye *et al.*, 2021). Ce calcul s'effectue généralement à l'aide d'outils SIG tels qu'ArcMap, permettant une mesure précise du périmètre et de la superficie du bassin versant. Cet indice revêt une importance particulière dans l'analyse morphométrique, car il permet d'apprécier le degré de compacité du bassin et intervient également dans le calcul des dimensions du rectangle équivalent associé au bassin.

Tableau 5: Formule de calculs des paramètres avec KG

Paramètres	Formules de calcul avec KG	Paramètres	Formules de calcul avec KG
Longueur (L)	$L = \frac{(KG\sqrt{A})}{1,12} \times \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12^2}{KG}\right)} \right]$	Largeur (l)	$l = \frac{(KG\sqrt{A})}{1,12} \times \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12^2}{KG}\right)} \right]$
Périmètre (P)	$P = \frac{KG\sqrt{A}}{0,28}$	Surface (A)	$A = \left[\frac{P \times 0,28}{KG} \right]^2$

Le coefficient de compacité de Gravelius (KG) est déterminé par la formule suivante :

$$KG = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec P : Périmètre (Km), A : Surface (Km²)

Le coefficient de KG est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée (Faye, Diéye et Faye ; 2021).

Le coefficient de compacité de Gravelius du bassin versant du Niéri-ko est de 1,39. Cette valeur indique que le bassin n'est ni particulièrement ramassé, ni extrêmement allongé. Il s'agit donc d'une forme intermédiaire. Un bassin de forme intermédiaire aura généralement un temps de

concentration moyen, un écoulement des eaux ni trop rapide (comme un bassin très ramassé) ni trop étalé dans le temps (comme un bassin très allongé).

Tableau 6 : Paramètres morphométriques du bassin versant du Niéri-ko

Bassin du Niéri-ko	Rectangle équivalent				
Valeurs	KG	Surface (Km ²)	Périmètre (Km)	Longueur (Km)	Largeur (Km)
	1,39	11320,34	528,37	210,37	53,81

1.2.4. Indice de pente

Les indices de pente constituent des paramètres essentiels pour caractériser le relief d'un bassin versant et appréhender la dynamique de l'écoulement. Dans cette section, nous avons déterminé l'indice de pente global (**Ig**) ainsi que la dénivelée spécifique (**Ds**).

L'indice de pente global (**Ig**), tel que défini par Dubreuil (1974), correspond au rapport entre la dénivelée comprise entre les altitudes correspondant aux 5% et 95% des points du bassin et la longueur maximale du bassin (L). Exprimé en mètres par kilomètre (m/km), cet indice permet d'évaluer l'inclinaison moyenne du bassin versant. Il se calcule selon la formule suivante :

$$\mathbf{I_g} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} = \frac{D}{L}$$

Avec : **H** = Altitude (m), **L** = longueur du rectangle équivalent (Km)

Ainsi avec une dénivelée de 116,06 m, le bassin versant du Niéri-ko présente un indice de pente égal à 0,55 m/km.

Bien que l'indice de pente global soit un paramètre utile, il présente une limitation méthodologique majeure : sa valeur tend à diminuer avec l'accroissement de la superficie du bassin, ce qui peut biaiser les analyses comparatives. Pour pallier cette insuffisance, la dénivelée spécifique (**Ds**) constitue un indicateur plus robuste et pertinent pour comparer le relief de bassins versants de superficies différentes. Exprimée en mètres (m), elle s'obtient par la relation suivante :

$$\mathbf{D_s} = \mathbf{I_g} \times \sqrt{\mathbf{A}} = \frac{D}{L} \times \sqrt{L \times l}$$

Avec : **Ig** : indice de pente (m/Km) ; **A** : la surface du bassin (Km²) ; **L** : Longueur et **l** : largeur
La dénivelée spécifique calculée pour le bassin versant du Niéri-ko est de 58,697 m. Cette valeur permet de qualifier l'intensité du relief selon la classification de l'ORSTOM et d'appréhender les implications hydrologiques qui en découlent. D'après cette classification, si la dénivelée spécifique est comprise entre 50 m et 100 m, alors le relief est modéré.

Une dénivelée spécifique modérée génère des implications hydrologiques multiples sur le fonctionnement du bassin. Elle influence directement les processus d'écoulement, les mécanismes d'infiltration, la qualité des eaux et les activités humaines, notamment l'agriculture.

Tableau 7 : Indice de pente global du bassin versant du Niéri-ko

Dénivelée (m)	Dénivelée spécifique (m)	Indice de pente global (m/Km)
116,06 m	58,697	0,55

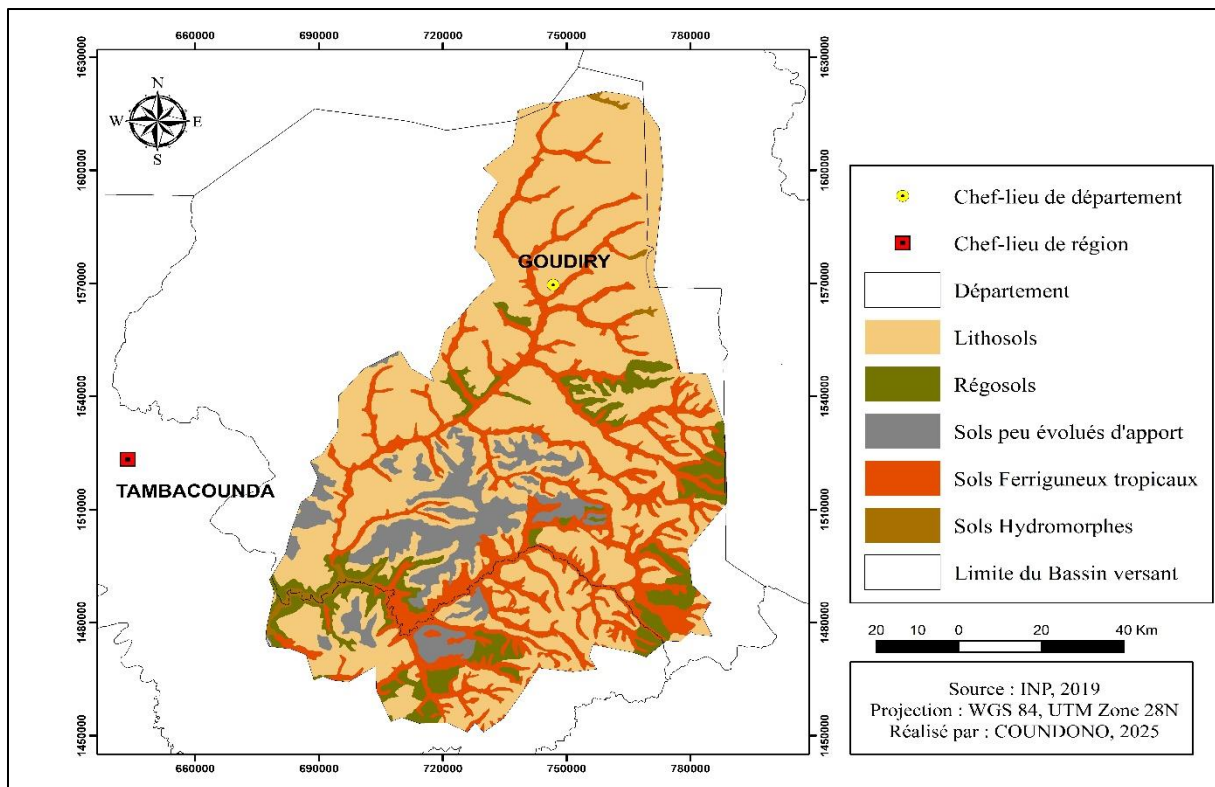
1.3. La pédologie et la formation végétale du bassin

Le sol et la végétation jouent un rôle fondamental dans l'écoulement des cours d'eau en influençant directement les processus hydrologiques, morphologiques et sédimentaires. Ces deux éléments agissent comme des régulateurs naturels qui modifient profondément la dynamique fluviale.

1.3.1. Les caractéristiques pédologiques du bassin

La pédologie joue un rôle déterminant dans la réponse hydrologique du bassin versant du Niéri-ko dans la mesure où la nature diversifiée des sols influence directement la perméabilité de l'espace et les processus de transfert hydrique. Cette perméabilité différentielle constitue un paramètre fondamental qui nécessite une prise en considération approfondie dans la compréhension du cycle hydrologique, notamment dans les mécanismes d'infiltration, d'exfiltration et de ruissellement superficiel qui caractérisent ce territoire. En effet, plus un sol présente une perméabilité élevée, plus sa capacité d'infiltration s'avère importante, favorisant ainsi la recharge des nappes souterraines et la régulation des écoulements de surface. Inversement, les sols à faible perméabilité génèrent des coefficients de ruissellement élevés qui accentuent les risques de crues et modifient la dynamique temporelle des écoulements. Dans le bassin du Niéri-ko, l'analyse cartographique révèle une organisation pédologique complexe comprenant principalement les lithosols qui dominent l'espace territorial, les régosols localisées dans des secteurs spécifiques, les sols ferrugineux tropicaux présents dans la partie méridionale du bassin, les sols peu évolués d'apports concentrés dans les zones de bas-fond et les sols hydromorphes qui occupent les zones de convergence hydrique et les dépressions topographiques.

Cette diversité pédologique génère une mosaïque de comportements hydrauliques qui détermine la variabilité spatiale de la réponse hydrologique aux événements pluviométriques (Guillet, 1991).



Carte 4 : Les types de sols du bassin du Niéri-ko

1.3.1.1. Les lithosols

Les lithosols constituent des formations pédologiques très spécifiques qui se développent dans des conditions environnementales particulières et présentent des caractéristiques intrinsèques qui limitent considérablement leur utilisation agricole, tout en jouant un rôle écologique fondamental dans l'écosystème du bassin versant. Ces sols se forment dans les zones caractérisées par un climat tropical soudano-sahélien avec des alternances saisonnières marquées, où l'érosion hydrique constitue un processus géomorphologique dominant et récurrent.

La susceptibilité particulièrement élevée des lithosols à l'érosion hydrique rend leur conservation extrêmement difficile dans le contexte du bassin du Niéri-ko, ce qui limite drastiquement leur utilisation pour les pâturages extensifs et les autres activités agricoles traditionnelles².

En effet, du fait de leur superficialité caractéristique et de leur faible capacité à retenir l'eau et les nutriments essentiels, les lithosols ne présentent pas d'aptitudes favorables à l'agriculture intensive ou même extensive. De plus, ces sols sont généralement composés de matériaux grossiers incluant des graviers, des cailloux et des éléments de cuirasse ferrugineuse, créant des

² https://www.revues.scienceafrique.org/naaj/texte/sow_cisse_gaye2024/ consulté le 27/05/2025

conditions physiques particulièrement défavorables au développement racinaire des cultures et à la mécanisation agricole. Ces lithosols, classés dans la famille des cuirasses ferrallitiques sur schistes et grès argileux, sont à l’affleurement du Sénégal oriental (Maignien, 1965).

Dans le bassin versant du Niéri-ko, les lithosols représentent l'unité pédologique la plus étendue avec 59,35% de la superficie totale (6718,497 km² sur 11319,75 km²), dépassant largement la représentativité observée dans d'autres bassins versants sénégalais. Cette dominance spatiale confère au territoire des caractéristiques hydrologiques spécifiques, notamment des coefficients de ruissellement élevés et une faible capacité d'infiltration.

1.3.1.2. Les sols ferrugineux tropicaux

Les sols ferrugineux constituent une composante majeure des paysages pédologiques tropicaux, résultant de processus d'altération intense sous climat chaud et humide. Ces sols se caractérisent par une évolution ferrallitique qui atteint plusieurs degrés de différenciation morphologique et géochimique. Dans le bassin versant du Niéri-ko, ces sols occupent des positions topographiques intermédiaires, témoignant de conditions de drainage modéré à bon

La formation des sols ferrugineux s'inscrit dans le cadre de l'altération ferrallitique, processus complexe impliquant la décomposition quasi-complète des minéraux primaires altérables et la domination de la fraction argileuse par la kaolinite et les sesquioxydes³. Selon la FAO, ces sols se forment sur des matériaux parentaux géologiquement anciens dans des climats tropicaux humides, avec une végétation forestière dans l'état naturel⁴. Les propriétés agronomiques des sols ferrugineux présentent des caractéristiques contrastées. Bien qu'ils possèdent une fertilité chimique supérieure aux sols ferrallitiques stricto sensu, ils présentent souvent des déficiences en éléments nutritifs majeurs, notamment le phosphore, le potassium et l'azote. Ces sols conviennent particulièrement aux cultures tropicales telles que le coton, l'arachide, le maïs, le sorgho, le mil, l'igname, le manioc, le ricin et le tabac, sous réserve d'apports d'éléments nutritifs appropriés⁵.

Dans notre bassin, les sols ferrugineux constituent la deuxième unité pédologique en importance avec 2561,636 km² représentant 22,630% de la superficie. Leur distribution spatiale, concentrée principalement dans la partie méridionale du bassin, révèle des conditions de drainage modéré à bon et témoigne de processus d'altération ferrallitique caractéristiques des environnements tropicaux.

³ <https://www.fao.org/4/x5867e/x5867e03.htm> consulté le 28/05/2025

⁴ <https://www.britannica.com/science/Ferralsol> consulté le 28/05/2025

⁵ <https://www.fao.org/4/y3948f/y3948f05.htm> consulté le 28/05/2025

1.3.1.3. Les sols peu évolués d'apport

Les sols peu évolués d'apport représentent une catégorie pédologique caractérisée par leur formation récente à partir de matériaux transportés et déposés par les agents d'érosion. Dans les zones méditerranéenne et intertropicale, ces sols correspondent principalement à des zones rajeunies par l'érosion ou à des sols résultant d'apports par les cours d'eau, souvent d'origine alluviale, ou par les volcans (O.R.S.T.O.M. 1970). La caractérisation morphologique de ces sols révèle des profils peu différenciés, marqués par la présence de couches de sédimentation encore visibles. Selon les observations de terrain rapportées dans la documentation IRD, ces sols se développent souvent sur un substrat argileux à hydromorphie temporaire, présentant une couleur bariolée caractéristique. La texture sableuse de ces formations favorise une meilleure infiltration d'eau mais présente une faible capacité de rétention, nécessitant une gestion hydrique appropriée pour l'exploitation agricole (Razafimahatratra, 2020). La valeur agronomique de ces sols peut être exceptionnelle dans certains contextes géographiques. La faible évolution pédogénétique se traduit généralement par une richesse chimique considérable, offrant un potentiel agronomique intéressant sous réserve d'une gestion adaptée des ressources hydriques. Ces sols nécessitent l'apport de matière organique pour améliorer la structure du sol et augmenter la fertilité du sol.

Au Sénégal, ces types de sols sont plus remarquables dans la partie Sud-Est du pays (Khouma, 2000). Dans le bassin versant du Niéri-ko, les sols peu évolués d'apport occupent 1019,831 km² soit 9,009% de la superficie totale. Leur distribution spatiale, principalement concentrée dans les zones de bas-fonds et le long du réseau hydrographique, témoigne de l'activité sédimentaire du système fluvial du Niéri-ko. Ces sols résultent des processus de transport et de déposition par les cours d'eau, créant des formations alluviales récentes dans les zones de convergence hydrique.

1.3.1.4. Les régosols

Les régosols constituent un groupe de référence taxonomique particulier, regroupant tous les sols qui ne peuvent être accommodés dans les autres groupes de référence de la classification internationale. En pratique, les régosols sont des sols minéraux très faiblement développés dans des matériaux non consolidés, ne possédant qu'un horizon de surface ochrique et n'étant ni très peu profonds, ni sableux, ni dotés de propriétés fluviques⁶.

⁶ https://www.isric.org/sites/default/files/major_soils_of_the_world/set4/rg/regosol.pdf

Consulté le 28/05/2025

La formation des régosols résulte de conditions qui retardent la formation du sol, telles qu'un climat désertique chaud et sec, une troncature récente ou une exposition du matériau pédologique, ou encore un rajeunissement constant du matériau constitutif. Selon Britannica, les régosols sont caractérisés par des matériaux parentaux non consolidés, de texture moyenne à fine, et par l'absence de formation significative d'horizons due aux conditions climatiques sèches ou froides⁷. La faible cohérence du matériau matriciel rend la plupart des régosols des zones en pente sensible à l'érosion, tandis que leur faible capacité de rétention d'eau et leur forte perméabilité les rendent sensibles à la sécheresse.

Sur la carte du bassin versant du Niéri-ko, ces sols occupent des superficies considérables, particulièrement dans les zones de transition entre les reliefs accidentés et les plaines alluviales. Les régosols représentent 912,700 km² correspondant à 8,063% de la superficie. Leur répartition spatiale révèle des zones de transition entre les différentes unités géomorphologiques, particulièrement visibles dans les secteurs où les processus d'érosion et de sédimentation s'équilibrent. Ces sols témoignent de conditions qui retardent la formation pédologique, souvent liées à un rajeunissement constant du matériau constitutif.

1.3.1.5. Les sols hydromorphes

Les sols hydromorphes constituent une catégorie pédologique définie par leur saturation en eau pendant une partie plus ou moins longue de l'année, créant des conditions spécifiques d'oxydo-réduction qui marquent profondément leur morphologie. Ces sols présentent des signes caractéristiques d'engorgement par l'eau, phénomène connu sous le terme d'hydromorphie⁸. Ces sols se sont développés dans les zones inondables bordant les grands cours d'eau et leurs affluents. Les sols ont l'avantage d'être profonds, mais le manque de maîtrise des conditions de submersion constitue un facteur limitant majeur⁹. Selon la classification FAO, les gleysols, qui constituent la principale catégorie de sols hydromorphes, se forment sous des conditions d'engorgement produites par la remontée de la nappe phréatique.

La valorisation agricole des sols hydromorphes présente des potentialités spécifiques, particulièrement adaptées aux cultures de zones humides. Dans les régions tropicales et subtropicales, ces sols sont traditionnellement cultivés pour la riziculture ou, après drainage, pour les cultures de plein champ et l'arboriculture. Cependant, leur exploitation nécessite une gestion hydrique sophistiquée pour contrôler les niveaux d'engorgement et optimiser les conditions de croissance des cultures.

⁷ <https://www.britannica.com/science/Regosol> consulté le 28/05/2025

⁸ <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/5169/hydromorphe> consulté le 28/05/2025

⁹ <https://www.fao.org/4/y3948f/y3948f07.htm> consulté le 28/05/2025

Dans notre bassin, les sols hydromorphes constituent l'unité la moins représentée avec seulement 107,083 km² soit 0,946% de la superficie totale. Malgré leur faible extension spatiale, leur localisation dans les dépressions topographiques et les zones de convergence hydrique leur confère une importance particulière pour la compréhension de la dynamique hydrologique du bassin. Ces sols marquent les secteurs où l'engorgement hydrique influence significativement les processus pédogénétiques.

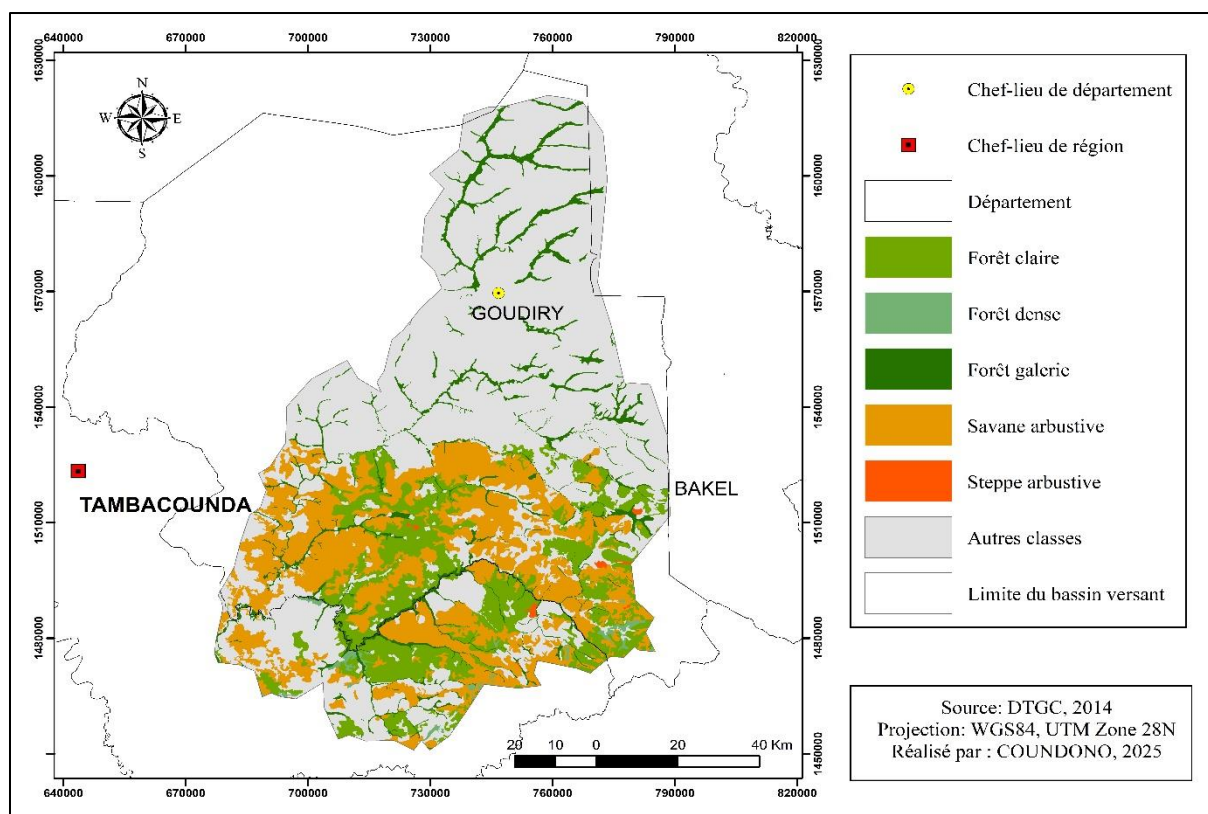
Tableau 8 : Répartition des types de sols dans le bassin versant du Niéri-ko

Types de sols	Surface (km ²)	%
Sols hydromorphes	107,083	0,946
Sols Ferrugineux	2561,636	22,630
Sols peu évolués d'apport	1019,831	9,009
Régosols	912,700	8,063
Lithosols	6718,497	59,352

En somme, l'analyse pédologique du bassin versant du Niéri-ko révèle une mosaïque complexe de types de sols reflétant la diversité des conditions géomorphologiques, climatiques et hydrologiques de cette région. La distribution spatiale des lithosols, régosols, sols peu évolués d'apport, sols ferrugineux et sols hydromorphes témoigne de l'interaction dynamique entre les processus d'érosion, de transport et de déposition des matériaux, ainsi que des variations topographiques et hydrologiques locales. Cette diversité pédologique présente des implications majeures pour la gestion des ressources naturelles et le développement agricole du bassin versant.

1.3.2. Les formations végétations du bassin

La formation végétale désigne une communauté d'espèces végétales qui définit un écosystème ou un biome particulier, reconnaissable par la physionomie et la structure générale de ses plantes. Dans le bassin versant du Niéri-ko, la végétation joue un rôle fondamental dans le maintien de l'équilibre écologique et influence de manière déterminante l'écoulement des eaux. Comme le montre la carte 5, les principales formations végétales du bassin de Niéri-ko sont constituées de forêts galeries, qui longent les cours d'eau, et de savanes arbustives, largement réparties dans la partie sud et centrale du bassin. Ces formations structurent le paysage et contribuent à la régulation hydrologique et à la préservation de la biodiversité locale.



Carte 5 : Formations végétales dans le bassin versant du Niéri-ko

1.3.2.1. La Savane arbustive

La savane arbustive est une formation végétale dominée par des graminées hautes, avec la présence d'arbustes disséminés. Elle se distingue de la savane herbeuse (sans arbres ni arbustes) et de la savane arborée (avec arbres)¹⁰. Les savanes, notamment arbustives, sont caractéristiques des milieux tropicaux/subtropicaux et jouent un rôle écologique important en tant que zones de transition entre forêts et steppes. Elles brûlent régulièrement en saison sèche, ce qui favorise leur renouvellement et limite la progression des forêts. Les savanes sont aussi des milieux riches en biodiversité et essentiels pour le pastoralisme (Konsala *et al.*, 2013). C'est le type de végétation le plus étendu du bassin, couvrant plus de la moitié de la surface totale (2 494,21 km²), soit 51,12% de la surface végétale du bassin.

1.3.2.2. La Forêt claire

La forêt claire est une formation forestière ouverte, typique des milieux tropicaux ou subtropicaux relativement secs. Elle se caractérise par des arbres espacés, de taille modeste, avec un couvert discontinu laissant place à une strate herbacée abondante¹¹. Ce sont des forêts qui sont souvent considérées comme des zones de transition entre la savane et la forêt dense.

¹⁰ <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8473259/savane> , consulté le 29/05/2025

¹¹ <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8479596/foret-claire> , consulté le 29/05/2025

En plus, elles abritent une grande diversité d'espèces végétales et animales adaptées à la sécheresse. Leur structure ouverte permet une forte pénétration de la lumière, favorisant la croissance de graminées et d'arbustes sous le couvert. Elle occupe 1 577,54 km² soit 32,33% de la végétation du bassin et est principalement localisée dans la partie sud et centrale du bassin.

1.3.2.3. La forêt galerie

La forêt galerie est une formation forestière étroite longeant les cours d'eau. Elle est associée à la présence permanente ou semi-permanente d'eau, ce qui permet le développement d'une végétation arborée même en zone de savane ou de steppe¹². Les forêts galeries jouent un rôle écologique fondamental : elles protègent les berges contre l'érosion, servent de corridors écologiques pour la faune, et maintiennent la biodiversité locale. Leur composition végétale est souvent proche de celle des forêts denses voisines, mais leur largeur reste limitée par la disponibilité en eau.

Les forêts galeries sont bien visibles sous forme de rubans étroits longeant les cours d'eau, surtout dans la moitié nord du bassin versant. Leur présence continue le long des rivières souligne leur rôle de corridor écologique et de protection des berges contre l'érosion. Elle couvre une superficie de 720,18 km², soit 14,76%.

1.3.2.4. La forêt dense

La forêt dense, ou forêt tropicale humide, est caractérisée par une forte densité d'arbres, une canopée fermée et une grande biodiversité. Elle se développe dans des conditions de forte humidité et de chaleur. En effet, ce sont des milieux contraignants pour l'installation humaine à cause de leur densité, de l'humidité et de l'isolement. Elles sont essentielles pour la régulation du climat, la conservation de la biodiversité et le cycle de l'eau¹³.

Les forêts denses apparaissent en très petites surfaces, dispersées dans le sud du bassin. Leur faible extension indique des conditions écologiques particulières (sols profonds, humidité élevée) ou des reliques de forêts primaires peu affectées par l'activité humaine. Elles ne représentent que 67,46 km² de la surface végétale du bassin versant.

1.3.2.5. La steppe arbustive

La steppe arbustive est une prairie naturelle à faible pluviométrie, dominée par des herbacées et des buissons, adaptée aux climats arides ou semi-arides. Elle se distingue de la savane par une végétation plus clairsemée et des graminées plus petite¹⁴. Elle occupe seulement 19,44 km²,

¹² <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/9384/foret-galerie> , consulté le 29/05/2025

¹³ <https://www.schoolmouv.fr/cours/habiter-un-espace-de-grande-biodiversite/fiche-de-cours>, consulté le 29/05/2025

¹⁴ <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/3991/steppe>, consulté le 29/05/2025

soit une part marginale et elle présente sous forme de petites poches isolées, principalement au sud-ouest du bassin versant.

Ce sont des écosystèmes fragiles, souvent soumis à des conditions climatiques extrêmes et à une forte variabilité saisonnière. Elles sont importantes pour le pâturage, mais leur faible densité végétale les rend vulnérables à la désertification et à la dégradation des sols.

Tableau 9: Répartition de la formation végétale

Type de Végétation	Surface (Km2)	%
Steppe arbustive	19,44	0,399
Savane arbustive	2494,21	51,123
Forêt galerie	720,18	14,761
Forêt dense	67,46	1,383
Forêt claire	1577,54	32,334

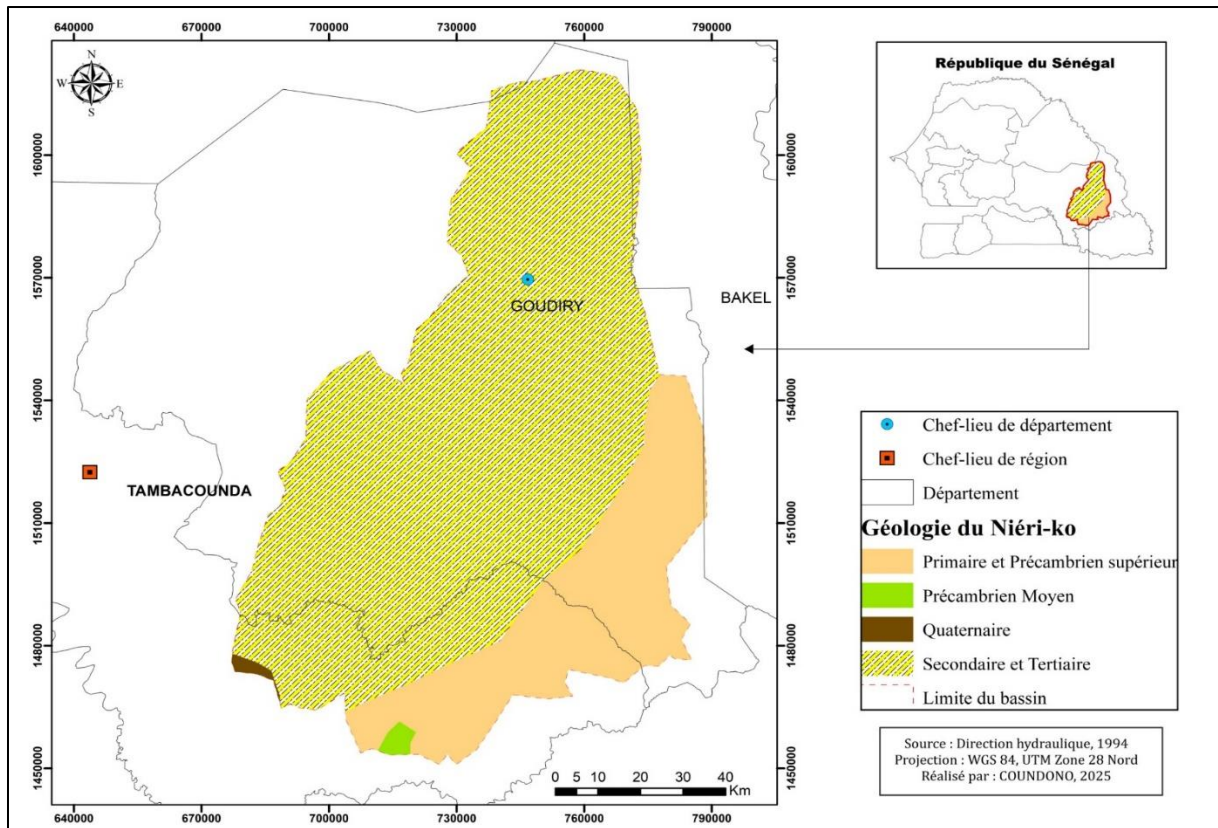
En somme, la carte 5 fait ressortir la diversité des formations végétales du bassin de Niéri-ko, structurée par le climat, l'hydrographie et probablement l'action humaine. Les zones de forêt galerie témoignent de l'importance des cours d'eau pour le maintien de la biodiversité, tandis que la dominance de la savane arbustive et de la forêt claire reflète un climat soudano-sahélien, avec une saison sèche marquée et des sols variés. La rareté des forêts denses souligne la vulnérabilité de ces milieux face à la déforestation et au changement climatique.

1.4. La géologie et l'hydrogéologie du bassin versant

L'étude de la géologie et de la géomorphologie nous amène à connaître la nature du sous-sol et à percevoir son rôle dans le stockage de l'eau, rôle important dans le soutien ou le renforcement des débits en période d'étiage et de comprendre le comportement du bassin (Gomis, 2017). La géologie du bassin versant du Niéri-ko reflète celle du Sénégal oriental dans son ensemble. L'hydrogéologie du bassin nous renseigne sur l'existence des nappes et leur capacité à soutenir l'écoulement (Kaba, 2008).

1.4.1. La géologie

La carte géologique du bassin versant du Niéri-ko illustre une structure géologique complexe et représentative des formations régionales, combinant à la fois des roches précambriennes anciennes et des ensembles sédimentaires plus récents. Cette diversité témoigne des processus géologiques étendus qui ont façonné cette partie du Sénégal.



Carte 6 : Formations géologiques du bassin versant de Niéri-ko

Tout d’abord, on note une large prédominance des formations secondaires et tertiaires qui correspond au Continental Terminal. Bassot (1966) souligne que ces formations sédimentaires, composées principalement de grès argilo-quartzitiques et de cuirasses ferrugineuses, constituent les plateaux dominants du Sénégal oriental. Ce socle sédimentaire est particulièrement important car il offre des réservoirs potentiels pour les eaux souterraines et présente une lithologie favorable à l’agriculture et à l’aménagement territorial (Bassot, 1966).

Ensuite, on a les terrains primaires et précambriens supérieurs qui représentent le vieux socle cristallin qui constitue le cœur géologique du Sénégal oriental. Bessoles (1977) décrit cet ensemble comme une partie intégrante du craton ouest-africain, caractérisé par des massifs granitiques et métamorphiques complexes, indiquant une histoire tectonique ancienne marquée par le plissement et la granitisation. Cette base précambrienne est importante pour la compréhension des ressources minérales localisées dans la région, ainsi que pour l’étude de la stabilité géologique et des potentialités hydrogéologiques.

En plus de cela, on a les affleurements isolés du précambrien moyen qui correspond à des formations granitiques souvent associées à des gisements miniers (or, fer). Ces zones sont

particulièrement importantes pour l'exploitation minière, comme l'ont démontré Dia (1988) et Dioh (1986) dans leurs analyses sur les massifs granitiques de Saraya et Kakadian. Elles témoignent également de la complexité lithologique et structurale du bassin.

Enfin, les dépôts quaternaires qui correspondent aux alluvions récentes dans les fonds de vallée et les lits fluviaux, zones dynamiques influencées par le régime hydrologique et les processus d'érosion. Ces dépôts ont été étudiés par l'IRD (1994) qui insiste sur leur rôle dans la recharge des nappes phréatiques et l'évolution des paysages fluviaux.

Après avoir décrit la composition géologique et les différentes formations du bassin versant de Niéri-ko, nous allons examiner comment ces caractéristiques lithologiques influencent la perméabilité du sous-sol du bassin.

1.4.2. La perméabilité du bassin

La perméabilité du bassin laisse entrevoir sa capacité à transférer les eaux reçues à la surface vers les horizons plus profonds du sol (Sène, 2021). Le bassin du Niéri-ko présente une diversité lithologique qui influe sur la perméabilité. Celle-ci peut s'apprécier à l'échelle hydrogéologique en fonction des unités lithologiques identifiées sur la carte 6.

Selon les travaux de Bassot (1966) et IRD (1994), les formations secondaires et tertiaires sont constituées essentiellement de sédiments gréseux, argileux et de cuirasses ferrugineuses. Leur perméabilité est généralement « moyenne à élevée », surtout dans les niveaux gréseux bien fracturés, offrant des aquifères productifs. Les cuirasses ferrugineuses, bien que compactes, peuvent être altérées, permettant une certaine infiltration. Les formations primaires et précambriennes supérieures, principalement constituées de granitiques, gneissiques et schisteuses, ont une perméabilité dite « faible à très faible » en milieu massif, en particulier lorsqu'elles sont non fracturées. Cependant, comme le soulignent Bessoles (1977) et Dia (1988), la présence de fractures, de failles ou de zones altérées dans ce socle peut créer des poches d'aquifères localisés avec une perméabilité accrue. Ces aquifères fissurés sont essentiels pour l'alimentation en eau des populations locales, même si leur productivité reste souvent limitée comparée aux sédiments tertiaires. Les affleurements localisés de précambrien moyen ont des caractéristiques hydrogéologiques proches du socle, avec une perméabilité faible en massif mais variable en zones fracturées (Dioh, 1986, Mabilia, 2000). Les dépôts quaternaires, bien que rares dans ce bassin, sont typiquement constitué de sédiments alluviaux meubles, à granulométrie variable, offrant une perméabilité élevée à très élevée, favorisant l'infiltration rapide et la recharge des nappes phréatiques locales (IRD, 1994).

En synthèse, on peut classer la perméabilité dans le bassin selon l'échelle suivante :

Tableau 10: Échelle de perméabilité des principales formations géologiques du bassin versant du Niéri-ko

Formation géologique	Perméabilité typique	commentaire
Sédiments secondaires et tertiaires	Moyenne à élevée	Grès fracturés et cuirasses altérées favorisent l'infiltration
Socle primaire et précambrien supérieur	Faible à très faible	Très peu perméable sauf zones fracturées
Précambrien moyen	Faible variable	Comparable au socle, plus perméable en zones fracturées
Dépôt quaternaires	Élevée à très élevée	Sables et graviers alluviaux très perméables

Conclusion partielle

L'analyse des caractéristiques du bassin versant du Niéri-ko révèle l'importance du relief, du réseau hydrographique, des types de sols, de la végétation et de la géologie dans le fonctionnement hydrologique du bassin. Le bassin se caractérise par un réseau dendritique à faible densité, un relief modéré avec des pentes faibles favorisant un écoulement lent et une diversité pédologique dominée par des sols peu perméables. La végétation, essentiellement composée de savanes et de forêts claires, joue un rôle clé dans la régulation de l'eau et la préservation des sols. Enfin, la géologie variée influence fortement la perméabilité du sous-sol et la dynamique des nappes souterraines. Cette compréhension intégrée des éléments physiques est essentielle pour mieux gérer les ressources en eau.

CHAPITRE II : Caractéristiques climatiques du bassin versant du Niéri-ko

Le climat joue un rôle fondamental dans l'étude des paramètres hydrologiques. Il constitue un facteur clé pour analyser les ressources en eau d'une région donnée. Le climat se définit comme la combinaison des conditions atmosphériques telles que les températures, les précipitations, les vents, etc... observées en un lieu précis sur une période déterminée (années, mois, jours...) (Gérard Beltrando, 2000).

Le bassin versant du Niéri-ko se trouve dans le domaine Nord-Soudanien continental, où les précipitations annuelles varient entre 500 et 1000 mm. Il est soumis à l'influence de deux flux climatiques majeurs : L'alizé continental ou Harmattan, provenant de l'anticyclone maghrébin, et la Mousson, issue de l'anticyclone de sainte Hélène. Ces conditions climatiques déterminent la disponibilité en eau et les dynamiques hydrologiques du bassin, tout en impactant les activités agricoles et la gestion des ressources naturelles dans la région.

L'étude climatique de ce bassin repose sur l'analyse de plusieurs paramètres physiques qui définissent son atmosphère. Pour cette analyse, la station météorologique de référence est celle de Tambacounda disposant de données relativement complètes. Les paramètres étudiés à savoir les températures, les précipitations, l'insolation, l'humidité relative, les vents et l'évaporation, jouent un rôle déterminant dans les caractéristiques du bassin influençant non seulement sa composition, son régime hydrologique mais aussi les modalités d'écoulement des eaux. Cette approche permet de mieux comprendre les interactions entre le climat et le fonctionnement hydrologique du bassin versant du Niéri-ko.

Après avoir situé le bassin et décrit ses influences climatiques majeures, il est pertinent d'analyser plus en détail les principaux paramètres météorologiques qui caractérisent cette région.

2.1. Les précipitations

Les précipitations est un facteur important dans le climat du bassin versant du Niéri-ko, influençant à la fois les ressources hydriques, la biodiversité et la dynamique des écosystèmes locaux. La variation des précipitations affecte directement la couverture végétale : les phases de pluies abondantes stimulent la croissance des plantes, tandis que les périodes de sécheresse provoquent leur déclin (Thiam, 2024).

Le régime pluviométrique du bassin peut être appréhendé à travers le cumul annuel des précipitations ainsi que la durée de la saison des pluies. Pour déterminer cette durée, nous nous sommes appuyés sur des critères agronomiques définissant le début et la fin de la saison

pluvieuse. Ainsi, le démarrage de la saison est fixé à partir du 1^{er} mai, lorsque le cumul pluviométrique atteint au moins 20 mm sur trois jours consécutifs, sans qu'aucune période sèche d'au moins d'une semaine minimum ne survienne dans les 30 jours suivants. Ce seuil repose sur des études réalisées sur le mil au Centre Sahélien de l'ICRISAT (Sivakumar, 1988 ; Gueye et Sivakumar, 1992 ; Balme *et al.*, 2005). Quant à la fin de la saison des pluies dans le bassin, elle est définie comme le dernier épisode pluvieux supérieur à 10 mm, qui soit suivi d'une période sèche d'au moins 20 jours à partir du 1er octobre (Gueye et Sivakumar, 1992). L'étude des données pluviométriques recueillies dans ce bassin permet de mettre en lumière des tendances ainsi que des événements exceptionnels, tels que les sécheresses ou les crues. Cette compréhension des fluctuations pluviométriques est importante pour évaluer les risques liés aux phénomènes climatiques extrêmes et pour développer des dispositifs d'alerte précoce et des mesures d'adaptation appropriées.

Dans le cadre de ce travail, l'analyse du régime pluviométrique a été réalisée à partir des données recueillies à la station de Tambacounda dont les caractéristiques climatiques sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 11: Situation et caractéristiques du domaine climatique à la station de Tambacounda

Station	Domaine climatique	Latitude (N)	Longitude (O)	Saison pluvieuse												Hauteur de pluie moyenne	
				J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Tambacounda	Nord soudanien continental	13°08 - 14°28	16°04 - 11°04														Entre 500 et 1000 mm

La station de référence est située dans le domaine Nord-Soudanien caractérisé par une pluviométrie annuelle comprise entre 500 et 1000 mm et répartie entre 6 mois au plus (Sène, 2021). L'étude de la variabilité des précipitations, sur la période 1970-2021, s'effectue à la fois à l'échelle mensuelle et annuelle.

2.1.1. La variabilité mensuelle de la pluie

Les données de la variabilité des pluies au cours des différents mois sont indiquées dans le tableau 12.

Tableau 12: Caractérisation de la pluie moyenne dans la station de Tambacounda (1970-2021)

Descripteurs	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN
Nombre d'observations	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	51	51	52
Observation manquantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2
Moyenne	0,03	0,25	0,23	0,43	16,51	88,66	168,07	216,27	172,61	59,27	2,56	0,36	725
Écart-type	0,12	1,23	0,74	2,33	23,04	43,82	66,11	84,02	80,32	51,05	9,21	1,32	164
Coefficient de variation	3,62	4,97	3,23	5,44	1,40	0,49	0,39	0,39	0,47	0,86	3,59	3,61	0,23
Maximum de la série (mm)	1	9	4	17	106	217	336	458	347	289	58	6	1067
Minimum de la série (mm)	0	0	0	0	0	20,6	56,8	3	55	0,6	0	0	434
Écart mm	1	9	4	17	106	196	279	455	292	288	58	6	633
coefficient pluviométrique en %	0,0	0,0	0,0	0,1	2,3	12,2	23,2	29,8	23,8	8,2	0,4	0,1	100,0
Début saison pluvieuse en %				9,6	63,5	26,9							100
Maximum saison pluvieuse en %							27	56	17				100
Fin saison pluvieuse en %										69	29		99

L'examen du tableau 12 met en exergue une pluviométrie annuelle moyenne de 725 mm à la station de Tambacounda sur la période 1970-2021 d'observation. Cette valeur traduit la quantité d'eau reçue annuellement dans la région, avec un écart-type de 164 mm, signalant une certaine variabilité interannuelle. La répartition des précipitations au cours de l'année est très marquée. Les mois de juin à octobre concentrent la quasi-totalité des pluies : par exemple, le mois d'août affiche la moyenne mensuelle la plus élevée (216,27 mm), suivi du mois de septembre (172,61 mm), juillet (168,07 mm) et juin (88,66 mm). Cette concentration est confirmée par les coefficients pluviométriques, qui atteignent leur maximum en août (29,8 %), septembre (23,8 %) et juillet (23,2 %). À l'inverse, les mois de novembre à mai enregistrent des moyennes très faibles, proches de zéro, ce qui souligne la forte saisonnalité des précipitations.

En ce qui concerne le déroulement de la saison des pluies, le tableau 12 montre que le début de la saison pluvieuse se produit principalement en mai (63,5 %), mais aussi en juin (26,9 %) et, dans une moindre mesure, en avril (9,6 %). Le maximum de la saison des pluies est observé en août (56 %), suivi de juillet (27 %) et septembre (17 %). La fin de la saison intervient surtout en

octobre (69 %), mais aussi en novembre (29 %), ce qui indique que la saison des pluies se termine rarement avant octobre.

La variabilité des précipitations est également bien illustrée dans le tableau 12 par les coefficients de variation. Ceux-ci sont très élevés en dehors de la saison des pluies (par exemple, 4,97 en février, 3,62 en janvier et 3,61 en décembre), ce qui traduit une grande irrégularité des précipitations durant ces mois ? En revanche, pendant la saison des pluies (juillet, août, septembre), les coefficients de variation sont très faibles (0,49 en juillet, 0,39 en août, 0,47 en septembre), indiquant une relative stabilité des précipitations au cœur de la saison. Ce constat rejoint l'observation de Sow (2006) selon laquelle « plus c'est pluvieux, moins c'est variable ». Enfin, la quasi-totalité des précipitations annuelles (97,2 %) est enregistrée entre mai et octobre. Cela confirme une forte saisonnalité du régime pluviométrique à Tambacounda. Cette caractéristique a des conséquences importantes pour la gestion de l'eau et les activités agricoles, qui dépendent fortement de la régularité et de la durée de la saison des pluies.

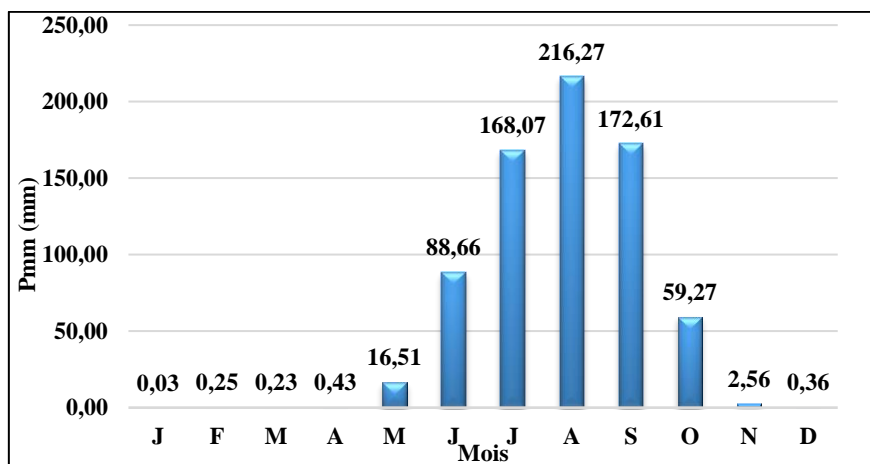


Figure 3 : Évolution moyenne mensuelle de la pluviométrie à la station de Tambacounda entre 1970 à 2021

L'analyse de la pluviométrie moyenne mensuelle met en évidence une alternance entre une saison humide et une saison sèche. En effet, les précipitations s'intensifient progressivement à partir du mois de mai, marquant le début de la saison des pluies, qui s'étend généralement jusqu'au mois d'octobre. Cette période, d'une durée de 5 à 6 mois, est caractérisée par un pic prononcé des précipitations en août, où la valeur maximale atteint environ 216,27 mm. La figure présente ainsi une seule phase ascendante et descendante, traduisant une répartition unimodale des pluies au cours de l'année. À l'inverse, la période allant de novembre à avril se distingue par des précipitations quasi inexistantes, illustrant la saison sèche. Cette configuration reflète un régime pluviométrique typique du Nord Soudanien, avec une saison pluvieuse concentrée et une saison sèche de durée équivalente.

2.1.2. La variabilité annuelle de la pluie

L'évolution des précipitations de 1970 à 2021 à la station de Tambacounda a été déterminée à l'aide de l'Indice Standardisée des Précipitations (ISP). Pour approfondir cette analyse, des méthodes statistiques telles que le test de rupture de Pettitt et le test de tendance de Mann-Kendall ont été appliquées afin de détecter d'éventuels changements ou tendances significatives au cours de la période étudiée.

2.1.2.1. L'analyse de l'homogénéité de la pluie avec le test de Pettitt

Le test de Pettitt réalisé avec le logiciel XLSTAT 2014 permet de déterminer s'il existe une année à partir de laquelle un changement significatif se manifeste dans l'évolution des données pluviométriques de la série analysée, qui couvre la période de 1970 à 2021. Les résultats du test de rupture pour notre zone, présentés dans le tableau 13, indiquent une rupture à partir de l'année 2002, avec un niveau de confiance de 99%, suivi d'une hausse significative des précipitations.

Tableau 13 : Les résultats du test de Pettitt sur la pluviométrie annuelle de la station de Tambacounda (1970-2021)

STATION	Statistique (1970-2021)						Test de Pettitt	
	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type	Min/Max	CV	Rupture	Probabilité
Tambacounda	433,60	1066,70	725	164	0,406	0,226	2002	99%

Cette analyse a mis en évidence l'existence de deux périodes bien distinctes dans la dynamique des précipitations : une première phase caractérisée par un climat sec, suivie d'une seconde où les conditions étaient plus favorables à l'humidité.

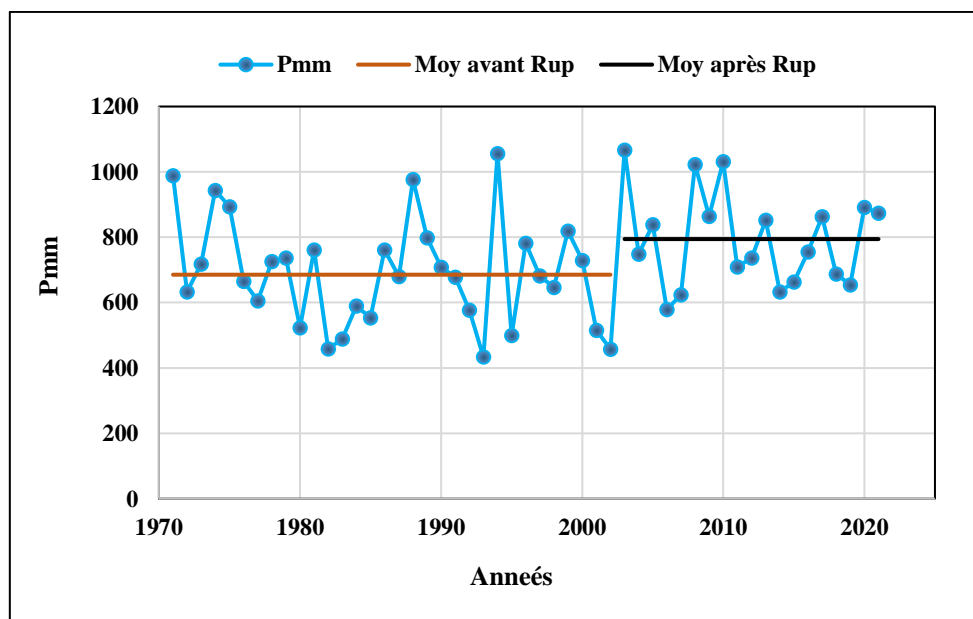


Figure 4 : Rupture dans l'évolution pluviométrique (1970-2020) selon le test de Pettitt

L'application du test de Pettitt à la série annuelle des précipitations de Tambacounda sur la période 1970-2021 nous a permis de mettre en évidence deux grandes phases dans l'évolution des précipitations :

La première phase, correspondant à la période sèche (1970-2002), se distingue par une majorité d'années où les cumuls pluviométriques sont inférieurs à la moyenne de la série. Cette tendance est bien visible sur le graphique par la courbe des précipitations (Pmm) qui oscille en dessous de la moyenne avant la rupture. Durant cette période, les extrêmes sont atteints en 1994 avec un maximum de 1055,7 mm et en 1993 avec un minimum de 433,6 mm.

La deuxième phase commence à partir de 2003 et marque une nette transition vers une période humide, marquée par des cumuls annuels généralement supérieurs à la moyenne de la série. Cette phase s'étend jusqu'à 2021 et se caractérise par une prédominance d'années excédentaires. Le maximum de cette période est enregistré en 2003 avec 1066,7 mm, tandis que le minimum survient en 2006 avec 578,9 mm. Cette analyse comparative des moyennes avant et après rupture nous a révélé une hausse significative des précipitations après 2002, avec une augmentation de 15,90%.

Tableau 14 : Évolution pluviométrique de la station de Tambacounda suivant le test de Pettitt

Référence	Avant la rupture		Après la rupture		Évolution %
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	
2002	685,38	162,93	794,94	144,73	15,90

2.1.2.2. L'analyse de la tendance avec le test de Mann-Kendall

Le test non paramétrique de Mann-Kendall est un test statistique qui permet de détecter l'existence ou non d'une tendance linéaire dans une série chronologique avec un niveau de signification donné. Il s'effectue en l'absence de toute saisonnalité ou autres cycles (Touré *et al.*, 2022). Elle a été largement utilisée comme outil pour détecter les changements dans les données de séries chronologiques climatiques et hydrologiques telles que les précipitations (Marinah *et al.*, 2024).

Dans l'analyse des précipitations annuelles de Tambacounda entre 1970 et 2021, le test de Mann-Kendall a été appliqué pour vérifier s'il existait une tendance significative à la hausse ou à la baisse des précipitations sur cette période. Le coefficient Tau de Kendall obtenu est de 0,1388, indiquant une faible corrélation positive, c'est-à-dire une légère tendance à l'augmentation des précipitations. Cependant, le p-value est de 0,1487, supérieure au seuil de 0,05, ce qui signifie que cette tendance n'est pas statistiquement significative. En d'autres termes, on ne peut pas affirmer avec confiance qu'il y a un changement réel dans les

précipitations annuelles. La pente de Sen, qui quantifie l'amplitude de la tendance, est positive (2,5341 mm/an) mais son intervalle de confiance est très large et inclut zéro (-60,6438 ; 62,7875). Cela confirme que la tendance observée pourrait être due au hasard et qu'aucune évolution nette des précipitations annuelles n'a été détectée sur la période 1970-2021.

Tableau 15 : Les résultats du test de Mann-Kendall de la pluviométrie annuelle de la station de Tambacounda (1970-2021)

Variable	Tau de Kendall	p-value	alpha	Pente de Sen	Intervalle de confiance
	0,1388	0,1487	0,05	2,5341	(-60,6438 ; 62,7875)

2.1.2.3. L'analyse de l'Indice Standardisé de Précipitations (ISP)

Pour mieux comprendre la variabilité interannuelle des précipitations, l'analyse de l'Indice Standardisé de Précipitation (ISP) offre une estimation précise des périodes de déficit ou d'excédent pluviométrique. Cet indice constitue un outil fondamental pour évaluer et suivre les conditions de sécheresse ou d'humidité en se basant uniquement sur les données de précipitations. Il permet ainsi d'appréhender clairement les fluctuations annuelles du régime des pluies (Ba *et al.*, 2018). L'ISP compare la quantité de précipitations observée sur la période donnée aux valeurs moyennes historiques, ce qui facilite la détection des anomalies pluviométriques, qu'il s'agisse d'excès ou de manque, sur différentes échelles temporelles (OMM, 2012). Cet indice exprime ainsi la différence entre le cumul pluviométrique d'une année et la pluviométrie moyenne de la série, divisée par l'écart-type de l'année concernée. Il est déterminé par la formule suivante :

$$ISP = \frac{Xi - Xm}{\sigma}$$

Avec : Xi (mm) = cumul pluviométrique d'une année i ; Xm (mm) = pluviométrie moyenne de la série ; et σ = écart-type de la période.

Après avoir examiné les tendances générales, l'utilisation de l'Indice Standardisé de Précipitation permet d'affiner l'analyse en identifiant les épisodes spécifiques de sécheresse ou d'humidité.

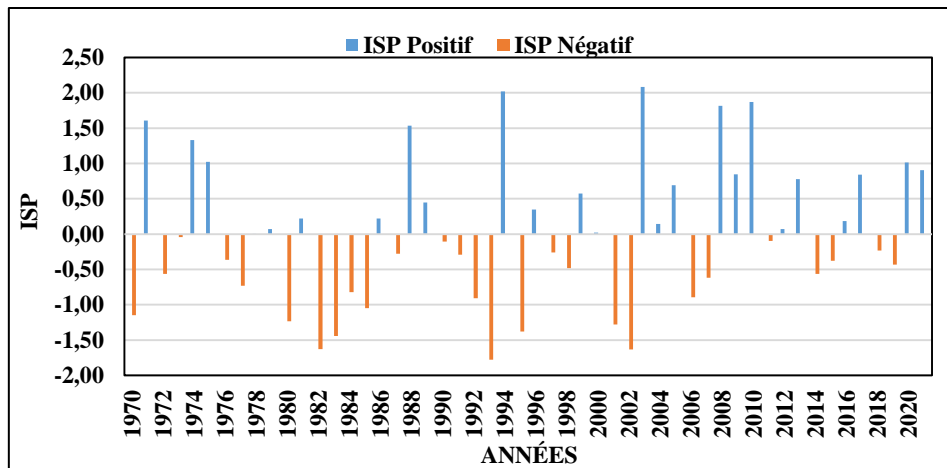


Figure 5 : Variabilité interannuelle de la pluviométrie, selon les ISP de la station de Tambacounda, entre 1970 et 2021

L'analyse de cette figure met en évidence l'alternance entre les années sèches et humides révélant la complexité du régime des précipitations dans cette région. En effet, l'observation montre que la période sèche domine une grande partie de la série, caractérisée par la prépondérance des ISP négatifs. Ce déficit pluviométrique, persistant sur plusieurs décennies, traduit une vulnérabilité accrue du territoire face à la sécheresse. Toutefois, cette phase n'est pas homogène car des années singulièrement humides émergent, comme 1988 et 1994, où l'ISP atteint des valeurs nettement positives, illustrant ainsi des épisodes de précipitations exceptionnelles même au sein d'une période globalement déficitaire. À l'inverse, la période humide, amorcée principalement à partir des années 2000, se distingue par une fréquence accrue d'années à ISP positif. Cela témoigne d'un retour progressif à des conditions pluviométriques excédentaires. Néanmoins, cette amélioration n'est pas linéaire : plusieurs années récentes (2006, 2007, 2011, 2014, 2015, 2018 et 2019) affichent encore des ISP négatifs, prouvant que des épisodes de sécheresse ponctuels persistent malgré la tendance générale humide.

Tableau 16 : Statistique des Séquences des Indices Standardisés de Précipitation

Classe de l'indice	Séquences	Nombre	Fréquence
$2,00 < ISP$	Extrêmement humide	2	3,85
$1,50 < ISP < 1,99$	Sévèrement humide	4	7,69
$1,00 < ISP < 1,49$	Modérément humide	3	5,77
$0,00 < ISP < 0,99$	Légèrement humide	16	30,77
$-0,99 < ISP < 0,00$	Légèrement sèche	18	34,62
$-1,49 < ISP < -1,00$	Modérément sèche	6	11,54
$-1,99 < ISP < -1,50$	Sévèrement sèche	3	5,77
$ISP < -2,00$	Extrêmement sèche	0	0,00
Total		52	100,00

L'examen de ce tableau 16 permet de préciser la répartition des épisodes de sécheresse et d'humidité, mettant en perspective leur intensité et leur fréquence. Les résultats montrent que les épisodes de sécheresse sont largement majoritaires sur la période étudiée (1970-2021). La région présente une prédominance de sécheresses légères (34,64%), suivies de sécheresses modérées (11,54%) et sévères (5,77%). Aucune sécheresse extrême n'a été enregistrée. À l'inverse, les conditions humides sont dominées par les épisodes légèrement humides (30,77%), tandis que les épisodes extrêmement humides (3,85%), sévèrement humides (7,69%) et modérément (5,77%) sont moins fréquents.

Au total, les séquences de sécheresse représentent 51,92% des fréquences, dépassant la fréquence cumulée des conditions humides qui est de 47,05%.

L'évolution annuelle des précipitations se caractérise par une forte variabilité d'une année à l'autre, avec des alternances marquées entre années sèches et humides. Cette irrégularité est perceptible tout au long de la période 1970-2021, sans qu'aucune phase ne soit totalement homogène. Toutefois, on observe une tendance globale à la hausse des précipitations au fil des années, traduisant un retour progressif vers des niveaux pluviométriques plus proches de la normale après plusieurs décennies de déficit.

2.2. La température

Selon Leroux (1980), les variations de température au Sénégal résultent principalement du déplacement apparent du soleil, de la position géographique du pays ainsi que de divers éléments météorologiques tels que les précipitations et la couverture nuageuse. Les données issues de la station de Tambacounda, illustrées par le tableau ci-dessous permettent de dégager plusieurs tendances majeures sur l'évolution mensuelle des températures maximales (Tmax), minimales (Tmin) et de l'amplitude thermique (AT) dans le bassin versant du Niéri-ko.

Tableau 17 : Températures moyennes mensuelles Maximales et Minimales à la station de Tambacounda de 1970 à 2021

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T max	34,5	37,0	39,2	41,0	40,5	37,0	33,2	32,0	32,9	35,5	37,0	34,9
T min	18,0	20,1	23,0	25,4	26,5	25,4	23,7	23,0	22,6	22,9	19,8	18,0
AT	16,5	16,9	16,2	15,6	14,0	11,6	9,5	8,9	10,2	12,6	17,2	17,0

L'analyse du tableau 17 met en évidence l'influence déterminante du positionnement continental sur les variations de température dans le bassin versant du Niéri-ko. Les températures maximales mensuelles atteignent leur valeur la plus élevée en avril, avec 41,0°C, tandis que les températures minimales culminent en mai à 26,5°C. Ces valeurs élevées reflètent

une forte insolation et une faible influence océanique, typiques d'un climat continental marqué. L'amplitude thermique (AT) est un excellent indicateur de l'influence continentale. Elle est maximale en saison sèche (jusqu'à 17,2°C en novembre) et minimale en saison des pluies (seulement 8,9°C en août)

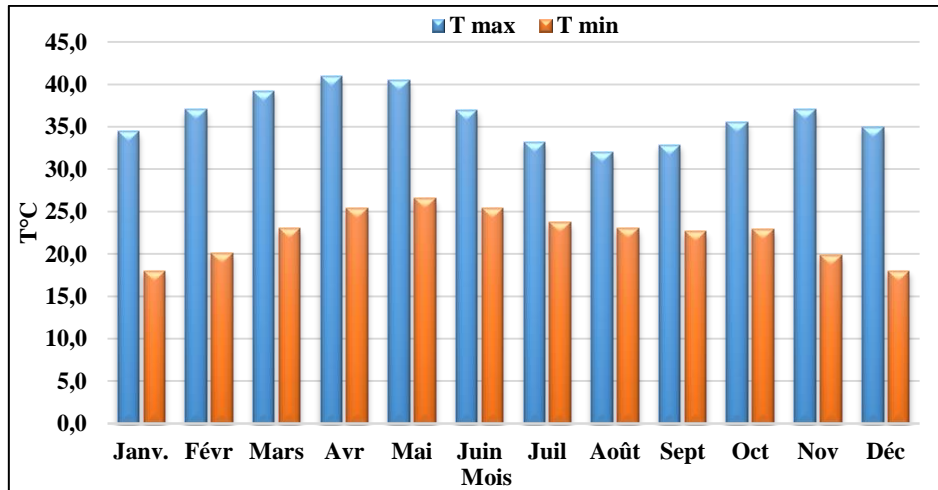


Figure 6 : Évolution des températures moyennes mensuelles maximales et minimales à la station de Tambacounda (1970-2021)

Les observations de la figure montrent que les températures maximales sont particulièrement élevées de février à mai, avec un pic en avril (41,0°C). Cette période correspond à la fin de la saison sèche. Elle est caractérisée par une forte insolation intense et une absence quasi-totale de précipitations. L'air sec et la forte exposition solaire expliquent ces valeurs extrêmes, typiques des régions continentales sahéliennes. À partir de juin, les Tmax chutent nettement pour atteindre leur minimum annuel en août (32°C). Cette diminution s'explique par l'arrivée de la mousson ouest-africaine, qui apporte humidité, nuages et précipitations, limitant ainsi le réchauffement. Cette période correspond à la saison humide où l'atmosphère est plus tempérée malgré une chaleur toujours présente. Les températures minimales, quant à elles, suivent une évolution similaire, avec des valeurs plus basses en janvier (18,0°C). Les Tmin augmentent progressivement pour culminer en mai (26,5°C), avant de redescendre légèrement durant la saison des pluies, sous l'effet de l'humidité et de la couverture nuageuse.

Dans la station de Tambacounda, l'influence continentale se manifeste par des extrêmes thermiques marqués et une forte amplitude thermique en saison sèche. Cette dynamique thermique a des implications importantes sur l'agriculture, la disponibilité en eau et sur la vie quotidienne des populations locales.

2.3. La durée d'ensoleillement

Les données mensuelles de la durée d'ensoleillement à la station de Tambacounda montrent globalement des valeurs élevées comme l'illustre la figure 7. Les valeurs maximales sont

observées entre février et mai, avec un pic atteignant 9,46 heures d'ensoleillement par jour en avril. Cette période correspond à la saison sèche caractérisée par un ensoleillement intense sous un ciel dégagé et l'absence de précipitations. À l'inverse, les valeurs les plus basses sont enregistrées durant la saison des pluies, de juin à septembre, avec un minimum noté en août (7,032 heures par jour). Cette forte diminution s'explique par la présence d'une couverture nuageuse dense liée à la mousson. À partir d'octobre, l'insolation reprend progressivement, en lien avec la fin de l'hivernage et la diminution des précipitations.

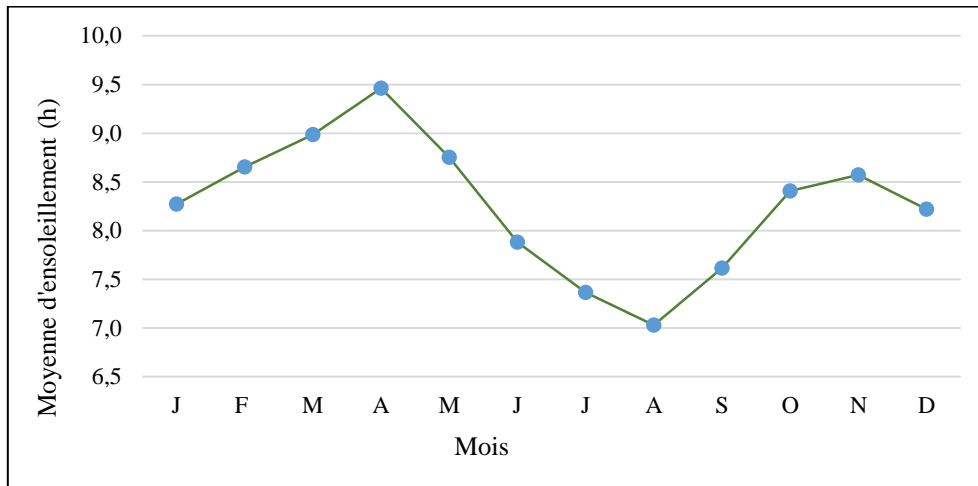


Figure 7 : Évolution de la durée moyenne d'ensoleillement à la station de Tambacounda (1970-2021)

2.4. L'évaporation

L'évaporation joue un rôle central dans l'étude des ressources hydriques d'un bassin versant, car elle représente une part significative des pertes d'eau par transformation en vapeur. Son importance se manifeste notamment dans le bilan hydrologique, où elle est opposée aux apports, principalement la pluviométrie.

Le graphique ci-dessous illustre l'évolution mensuelle de l'évaporation (E, en mm) à la station de Tambacounda. Il met en évidence une dynamique saisonnière très marquée. On observe que les valeurs les plus élevées d'évaporation se situent en février et mai, atteignant son maximum au mois de mars-avril, où l'évaporation dépasse les 500 mm (mars, 533,9 mm et avril, 527,3 mm). Cette période correspond à la saison sèche, caractérisée par la prédominance de l'harmattan, un vent continental chaud et sec. Ce vent, en plus d'augmenter la température de l'air, réduit l'humidité relative, créant ainsi des conditions particulièrement favorables à l'évaporation. À l'inverse, la période de juillet à septembre enregistre les valeurs d'évaporation les plus faibles, inférieures à 180 mm, avec un minimum en septembre avec 97 mm. Cette chute s'explique par la saison des pluies, durant laquelle les vents d'ouest chargés d'humidité dominant. Ainsi l'augmentation de l'humidité de l'air et la baisse des températures limitent

alors le phénomène d'évaporation. Le graphique montre également une remontée progressive de l'évaporation à partir d'octobre, traduisant, ainsi, une transition vers la saison sèche et le retour des conditions propices à l'évaporation. Cette évolution mensuelle de l'évaporation suit une tendance similaire à celle des températures mensuelles, ce qui confirme la corrélation entre ces deux paramètres climatiques.

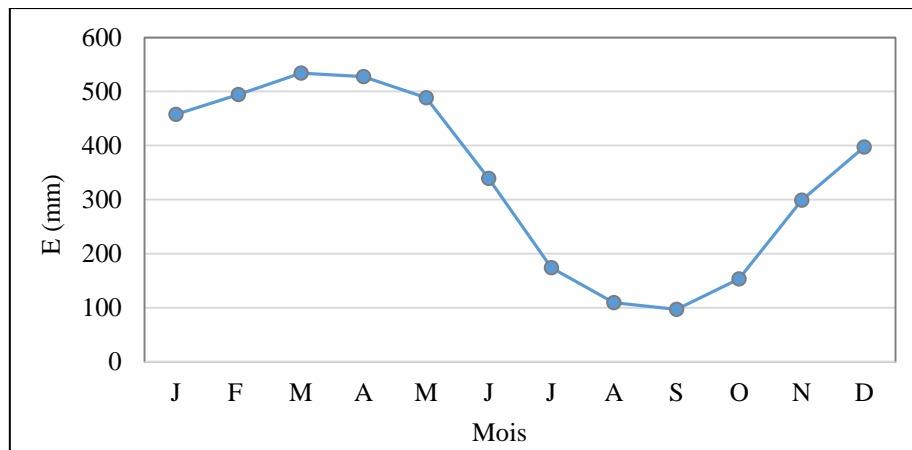


Figure 8 : Évolution moyenne mensuelle de l'évaporation à la station de Tambacounda entre 1970 et 2021

2.5. L'humidité relative

Concernant l'humidité relative à la station de Tambacounda, le graphique met en évidence une évolution saisonnière très marquée, à la fois pour les valeurs maximales (U_{max}) et minimales (U_{min}). D'après le graphique, on observe que les valeurs d'humidité sont relativement faibles en début de l'année, avec un minimum en février : l'humidité maximale atteint 37% et l'humidité minimale, 14%. Cette période correspond à la saison sèche, dominée par l'influence des masses d'air continental et le recul du front intertropical. L'air est alors particulièrement sec, ce qui se traduit par une faible humidité relative, tant pour les valeurs maximales que minimales. À partir du mois de mai, les courbes d'humidité commencent à s'élever, traduisant l'arrivée progressive de la saison des pluies et l'influence croissante des vents de sud, chargés d'humidité (la mousson). Le pic est atteint en août et septembre où l'humidité maximale dépasse 95% et celle minimale atteint 64%. Cette période coïncide avec la saison des pluies, durant laquelle l'air devient saturé en vapeur d'eau sous l'effet des précipitations abondantes et de la dominance des vents humides.

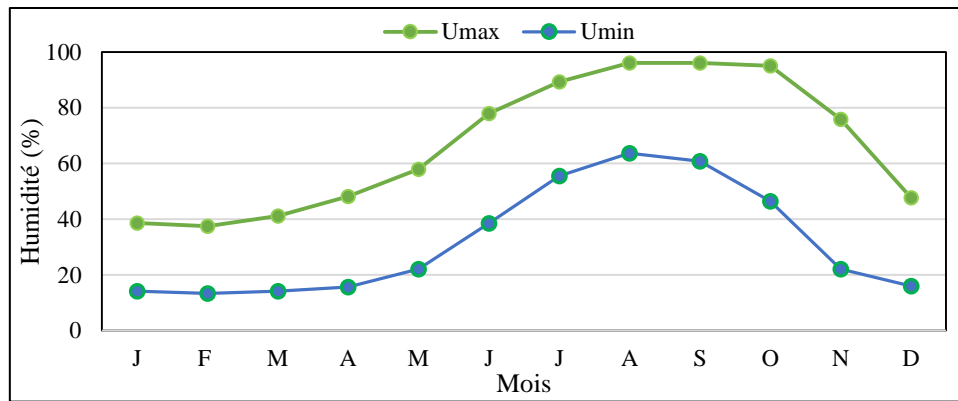


Figure 9 : Variation mensuelle de l’humidité relative maximale et minimale à la station de Tambacounda (1970-2021)

2.6. Les vents

Le climat dans la zone intertropicale est assez complexe parce qu’il dépend de plusieurs zones importantes qui influencent le mouvement de l’air. Ces zones se trouvent notamment près de Sainte-Hélène dans l’Atlantique Sud, des Açores dans l’Atlantique Nord, et dans la région saharo-libyenne en Afrique du Nord-Est (Leroux, 1983). Les vents que l’on ressent au sol sont en fait le résultat de ces grands mouvements d’air dans l’atmosphère. Pour les étudier, on mesure leur vitesse moyenne chaque mois, en mètres par seconde (m/s) de la période 1980 à 2021.

Tableau 18 : Vitesses moyennes mensuelles du vent à Tambacounda (1980-2021)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An
Vitesse des vents (m/s)	3,23	3,19	2,97	2,77	3,02	3,25	3,55	3,01	2,90	2,73	3,12	3,76	3,12
Direction dominantes	NE	NE	NE	W	W	W	SW	SW	S	W	E	E	

À la station de Tambacounda, la vitesse du vent varie tout au long de l’année entre 2,73 m/s et 3,76 m/s, avec une moyenne annuelle de 3,12 m/s (voir tableau 18). Ces variations reflètent l’influence des deux grandes saisons climatiques de la région : la saison sèche et la saison humide.

Durant la saison sèche, qui s’étend approximativement de novembre à mars, les vents dominants viennent principalement de l’Est et du Nord-Est. Cette période est marquée par des vitesses élevées, avec un pic en décembre atteignant 3,76 m/s, la valeur la plus forte de l’année. En janvier et février, les vitesses restent soutenues à respectivement 3,23 m/s et 3,19 m/s. Ces vents secs et puissants sont liés à l’influence des masses d’air sahariennes, qui renforcent les alizés continentaux et favorisent un climat sec et venteux.

Pendant la saison humide, qui s'étend d'avril à octobre, la dynamique des vents est plus variable. Au début de cette saison, en avril et mai, les vents proviennent majoritairement de l'Ouest avec des vitesses plus faibles, comprises entre 2,77 m/s et 3,02 m/s, traduisant une période plus calme. À partir de juin, les vents tournent vers le Sud-ouest et le Sud, avec une augmentation progressive de la vitesse jusqu'à un second pic en juillet à 3,55 m/s. Ce renforcement est lié à la mousson africaine, qui apporte des vents plus humides et dynamiques. Ensuite, la vitesse du vent diminue progressivement en août (3,01 m/s) et septembre (2,90 m/s), avant d'atteindre son minimum annuel en octobre (2,73 m/s), période de transition vers la saison sèche.

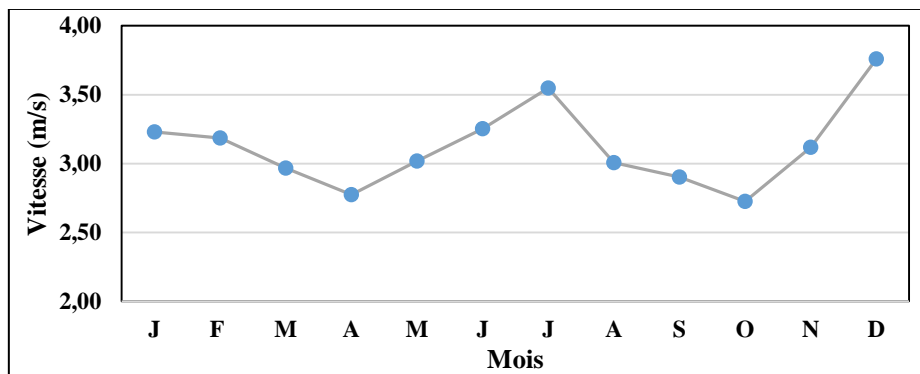


Figure 10 : Variations de la vitesse moyenne mensuelle du vent à la station de Tambacounda (1980-2021)

Au regard de la figure 12, nous constatons une relation entre les précipitations, l'évaporation et l'insolation. Ces trois paramètres interagissent étroitement et leur évolution mensuelle permet de mieux comprendre les processus hydrologiques locaux.

Durant la saison sèche, qui s'étend de novembre à avril, les précipitations sont quasi nulles. Cette absence de pluie s'accompagne d'une insolation très élevée, dépassant 400 heures par mois avec un maximum en avril (444,7 heures). L'énergie solaire disponible est donc maximale, ce qui favorise des températures élevées et, surtout, une évaporation très intense. Les valeurs d'évaporation atteignent leur pic entre mars et avril (plus de 500 mm/mois). Cette forte évaporation accentue le déficit hydrique des sols et des réserves d'eau. Ce phénomène est particulièrement marqué par la concordance des courbes d'insolation et d'évaporation : plus l'ensoleillement est important, plus l'évaporation augmente. Cette relation directe confirme le rôle moteur de l'ensoleillement dans le processus d'évaporation, comme le soulignent Dione (1997) et Sané (2003). À partir de mai, la situation s'inverse : les précipitations augmentent, atteignant leur maximum en août (216,3 mm). Cette période correspond à la saison humide. Parallèlement, l'insolation diminue nettement (344,6 heures en août), principalement à cause de l'augmentation de la couverture nuageuse. À son tour, l'évaporation chute fortement (109,3

mm en août). Cette baisse s'explique par la diminution de l'énergie solaire disponible, mais aussi par l'augmentation de l'humidité relative de l'air. En octobre, les précipitations diminuent à nouveau (59,3 mm), marquant la fin de la saison humide. L'insolation et l'évaporation repartent en hausse, suivant la diminution progressive de la couverture nuageuse et la remontée des températures.

En somme, il convient de retenir que l'évaporation suit de très près l'évolution de l'insolation, tandis que les précipitations présentent un cycle opposé. Lorsque l'insolation est maximale, l'évaporation l'est aussi, mais les précipitations sont quasi absentes. À l'inverse, lorsque les précipitations sont abondantes, l'insolation et l'évaporation diminuent.

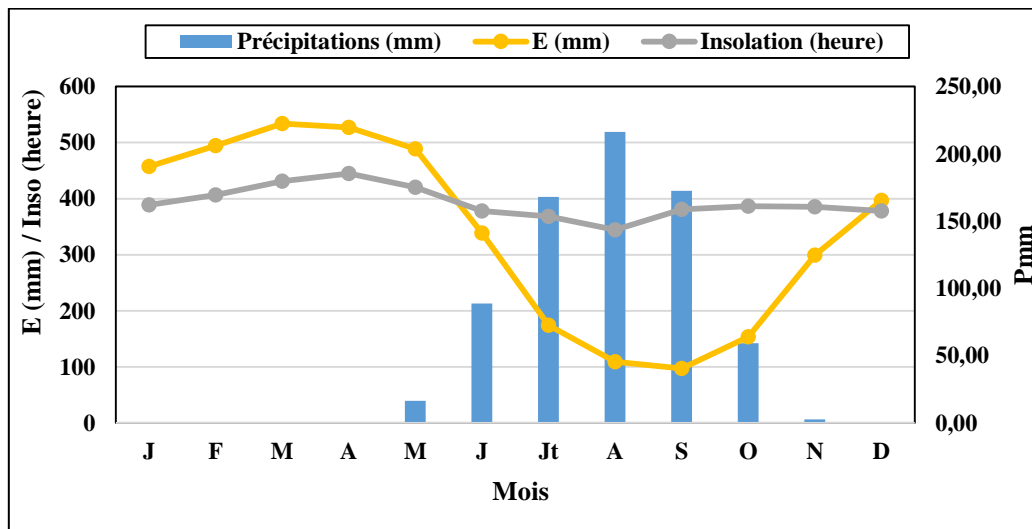


Figure 11 : Variations saisonnières des précipitations, de l'évaporation et de l'insolation à la station de Tambacounda (1970-2021)





Le tableau suivant présente une synthèse des principaux paramètres climatiques de la zone. Il illustre un climat nord-soudanien, marqué par une alternance nette entre une saison sèche, dominée par la chaleur, l'insolation et l'évaporation, et une saison des pluies, caractérisée par l'humidité et la recharge hydrique. Il en ressort, ainsi, deux caractéristiques saisonnières typiques :

- **Saison sèche (novembre à avril-mai)** : Précipitations quasi nulles, températures et insolation élevées, forte évaporation, faible humidité.
- **Saison des pluies (juin à octobre)** : Précipitations abondantes, températures plus modérées, insolation et évaporation en baisse, humidité élevée.

Tableau 19 : Synthèse mensuelle des paramètres climatiques (précipitations, températures, évaporation, insolation, humidité) à la station nord-soudanienne (1970-2021)

Paramètre / Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	AN
Précipitations (mm)	0,0	0,2	0,2	0,4	16,5	88,7	168,1	216,3	172,6	59,3	2,6	0,4	60,4
Mois sec													
Mois humide													
T max °C	34,5	37,0	39,2	41,0	40,5	37,0	33,2	32,0	32,9	35,5	37,0	34,9	36,2
Mois chaud													
Mois frais													
T min °C	18,0	20,1	23,0	25,4	26,5	25,4	23,7	23,0	22,6	22,9	19,8	18,0	22,4
Mois chaud													
Mois frais													
E (mm)	457,5	494,4	533,9	527,3	488,6	338,9	174,0	109,3	97,0	153,4	299,1	397,1	4070,3
Mois sec													
Mois humide													
Ins (heure)	388,9	406,8	431,4	444,7	420,2	378,3	368,2	344,6	380,7	386,7	385,7	378,1	392,9
Mois chaud													
Mois frais													
U max	38,7	37,5	41,2	48,2	58,0	77,9	89,3	96,1	96,1	95,0	75,9	47,8	66,8
Mois sec													
Mois humide													
U min	14,2	13,3	14,1	15,6	22,1	38,5	55,6	63,7	60,8	46,4	22,1	16,0	31,9
Mois sec													
Mois humide													

T max °C = température maximale ; T min °C = température minimale ; Pmm= pluviométrie ;
 E= évaporation ; U max = Humidité relative maximale ; U min = Humidité relative minimale.
 Ins (heure) = insolation par heure.

	Mois secs
	Mois Humides
	Mois frais
	Mois chaud

Conclusion partielle

L'analyse des données climatiques du bassin versant du Niéri-ko, à partir des observations de la station de Tambacounda sur la période 1970-2021, met en évidence une alternance bien marquée entre une longue saison sèche et une saison des pluies concentrée sur quelques mois, typique du climat nord-soudanien. Les précipitations, très variables d'une année à l'autre, tombent presque exclusivement entre juin et octobre, ce qui rend la disponibilité en eau très dépendante de cette courte période. Les tendances pluviométriques observées montrent qu'après plusieurs décennies dominées par une sécheresse persistante à partir des années 1970,

on observe un retour progressif à des conditions plus humides dès le début des années 2000. Cependant, même dans cette phase plus favorable, des épisodes de déficit hydrique continuent de se produire, rappelant la fragilité du bassin face aux aléas climatiques.

Parallèlement, la hausse des températures, l'augmentation de l'évaporation et la baisse de l'humidité relative renforcent la pression sur les ressources en eau, en particulier pendant la saison sèche. Ces éléments soulignent l'importance de bien comprendre la dynamique climatique locale pour anticiper les périodes à risque et améliorer la gestion de l'eau.

Conclusion de la partie I

L'analyse des caractéristiques physiques et climatiques du bassin versant du Niéri-ko révèle un système hydrologique complexe dont le fonctionnement dépend étroitement de l'interaction entre les facteurs naturels et climatiques. Sur le plan physique, le bassin se caractérise par un réseau hydrographique dendritique à faible densité de drainage ($0,1251 \text{ km/km}^2$), un relief modéré avec des pentes faibles favorisant un écoulement lent, une diversité pédologique dominée par des sols peu perméables, et une végétation de savanes et forêts claires jouant un rôle clé dans la régulation de l'eau. La géologie variée influence fortement la perméabilité du sous-sol et la dynamique des nappes souterraines. Sur le plan climatique, les observations de la station de Tambacounda (1970-2021) montrent une alternance marquée entre une longue saison sèche et une saison des pluies concentrée sur quelques mois (juin à octobre). Les précipitations, très variables d'une année à l'autre, rendent la disponibilité en eau très dépendante de cette courte période. Les tendances pluviométriques observées montrent qu'après plusieurs décennies dominées par une sécheresse persistante à partir des années 1970, on observe un retour progressif à des conditions plus humides dès le début des années 2000, avec une rupture climatique identifiée en 2002. Cependant, même dans cette phase plus favorable, des épisodes de déficit hydrique continuent de se produire, rappelant la fragilité du bassin face aux aléas climatiques. Parallèlement, la hausse des températures, l'augmentation de l'évaporation et la baisse de l'humidité relative renforcent la pression sur les ressources en eau, en particulier pendant la saison sèche. Ces éléments physiques et climatiques, combinés, conditionnent fortement la dynamique hydrologique du bassin

DEUXIÈME PARTIE : DYNAMIQUE HYDROLOGIQUE ET PROJECTIONS CLIMATIQUES DANS LE BASSIN VERSANT DU NIÉRI-KO

Cette partie se consacre d'abord à l'étude de la dynamique hydrologique actuelle, à partir des observations réalisées à la station de Goumbayel. Elle analyse la saisonnalité des écoulements, la répartition des crues et des étiages et la variabilité interannuelle. Les méthodes mobilisées suivent les recommandations de Faye (2015) pour l'analyse quantitative des modules, CMD et extrêmes. La projection des évolutions futures repose sur les scénarios climatiques du CMIP6 (GIEC, 2021), en particulier les trajectoires SSP1-2.6 et SSP5-8.5, qui traduisent respectivement une atténuation ambitieuse et une aggravation des émissions et des extrêmes climatiques. Les données de simulations utilisées ont été extraites via l'Explorateur climatique du KNMI (<https://climexp.knmi.nl/start.cgi>), une plateforme scientifique de référence internationalement reconnue pour l'accès et le traitement des ensembles multi-modèles CMIP6, validés par le World Climate Research Program et le GIEC. Ce travail permet d'identifier les principaux risques hydrologiques liés aux changements climatiques, d'anticiper les défis pour la gestion des ressources et de fournir des pistes pour une adaptation durable du bassin du Niéri-ko.

Chapitre III : Analyse de l'écoulement dans le bassin versant du Niéri-ko

Le régime hydrographique d'un bassin versant décrit la variation des débits mensuels observés dans le cours d'eau. Comme le souligne Faye (2013), il correspond à la réponse du bassin versant aux facteurs physiques constants ainsi qu'aux fluctuations climatiques. Ce régime se caractérise par des périodes de montées des eaux, appelées hautes eaux (HE), durant lesquelles les débits augmentent et des périodes de baisse des débits, nommées Basses eaux (BE) (Sène, 2021). Si le cours d'eau présente une seule période d'HE et une seule période de BE, son régime est dit unimodal, monomodal ou simple. À l'inverse, s'il est caractérisé par plusieurs périodes d'HE et de BE, alors son régime est bimodal ou complexe. Cependant, le régime du bassin de Niéri-ko varie dans le temps et l'espace, rendant son évaluation parfois complexe. Pour analyser ce régime, il est nécessaire de considérer différents indicateurs, tels que le module, la crue, l'étiage et le tarissement entre autres. Ainsi, cette approche nous permettra de mieux comprendre la dynamique hydrologique du bassin versant du Niéri-ko et ses réponses aux conditions environnementales.

3.1. Le régime fluvial dans le bassin versant du Niéri-ko

En zone tropicale, les cours d'eau dépendent exclusivement des précipitations pour leur alimentation. C'est pourquoi l'année hydrologique commence en mai et s'achève en avril de l'année suivante (Sène, 2021). L'année hydrologie correspond à une période de 12 mois, comprise entre deux périodes de basses eaux. Elle diffère donc de l'année civile qui débute en janvier et se termine en décembre. Comme le souligne Sène (2021), dans les bassins tropicaux, les basses eaux surviennent généralement à la fin de la saison sèche, entre avril et mai. Ainsi, l'année hydrologique s'étend du 1^{er} mai au 30 avril de l'année suivante.

L'étude des variations mensuelles des débits sur une longue période permet de déterminer le régime hydrologique moyen d'un cours d'eau. Pour cela, on calcule la moyenne des débits mensuels sur une période donnée, ce qui permet d'identifier les variations saisonnières systématiques. Cela nécessite en premier lieu le calcul des coefficients mensuels de débits (CMD) qui est définis comme le rapport entre le débit moyen d'un mois donné et le débit moyen annuel appelé module. Ces coefficients permettent de distinguer les périodes de hautes eaux (HE) et de basses eaux (BE). Selon la classification de Pardé (1968), un CMD supérieur ou égal à 1 correspond à une période de hautes eaux, tandis qu'un CMD inférieur à 1 indique une période de basses eaux. Par ailleurs, des auteurs comme Sow (2007) et Faye (2013) ont précisé qu'en zone tropicale à alimentation pluviales, quatre types de régimes hydrologiques peuvent

être identifiés en fonction de la latitude et du nombre de mois de hautes eaux : le régime guinéen (avec 5 mois de HE) ; le régime tropical pur (avec trois (3) mois de HE) ; le régime sahélien (avec deux (2) mois de HE).

L'analyse du régime hydrologique du bassin de Niéri-ko a été réalisée à partir des données issues de la station de Goumbayel. Cependant, en raison du manque de données régulières, nous avons choisi une série d'années allant de 1997 à 2009. Ainsi les caractéristique spécifiques d'analyser le régime du bassin sont fournie dans le tableau suivant :

Tableau 20 : Périodes de hautes et basses eaux selon le coefficient mensuel de débit (1997-2009)

Station de Goumbayel	M	J	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
Débits moyens mensuels (m ³ /s)	0,08	0,09	0,68	0,85	2,35	0,83	0,30	0,24	0,14	0,11	0,10	0,09	0,49
CMD	0,15	0,19	1,40	1,74	4,81	1,71	0,62	0,49	0,28	0,23	0,20	0,18	
	Basses eaux		Hautes eaux				Basses eaux						

L'analyse des coefficients mensuels de débits dans le bassin du Niéri-ko révèle une période de hautes eaux qui s'étend sur quatre (4) mois, de juillet à octobre, caractérisée par des CMD supérieur ou égaux à 1, avec un pic au mois de septembre (CMD = 4,8). Cette période correspond à la saison des pluies, tandis que les huit (8) autres mois, de novembre à juin, représentent la saison des basses eaux, avec des CMD inférieurs à 1 et des débits très faibles. Ainsi ce régime est de type fluvial tropical de transition, marqué par une forte saisonnalité.

La variabilité interannuelle des débits est également marquée, avec des années sèches comme 2005-2006 où le débit est quasi nul sur la majeure partie de l'année et des années plus humides comme 2008-2009 où des crues importantes sont observées. Cette variabilité souligne l'influence directe de l'alimentation pluviale sur le régime hydrologique du Niéri-ko. Pour mieux analyser l'écoulement du bassin dans le régime fluvial de tropical de transition, il est nécessaire d'étudier son régime moyen, sa variabilité ainsi que son évolution journalière.

3.1.1. Le régime moyen

L'analyse du régime fluvial de transition de la station de Goumbayel montre que la phase de montée des eaux commence au mois juin et se poursuit jusqu'au mois de septembre où il atteint son pic. Ensuite, la phase de descente qui vient au maximum jusqu'au mois de mai (tableau 21).

Tableau 21 : Évolution des débits moyens mensuels et des CMD dans le bassin versant du Niéri-ko à la station de Goumbayel (1997-2009)

Station de Goumbayel	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
Débit (m ³ /s)	0,076	0,092	0,682	0,847	2,345	0,834	0,304	0,241	0,136	0,110	0,099	0,087	0,49
Évolution Brute	0,01	0,02	0,59	0,16	1,50	1,51	0,53	0,06	0,10	0,03	0,01	0,01	
Évolution %	0,50	0,71	25,17	7,03	63,87	64,43	22,61	2,69	4,47	1,10	0,48	0,50	
CMD	0,15	0,19	1,40	1,74	4,81	1,71	0,62	0,49	0,28	0,23	0,20	0,18	
	Phase de descente	Phase de montée				Phase de descente							

3.1.1.1. La phase de montée des eaux

L'analyse de la phase de montée des eaux dans le bassin versant du Niéri-ko nous montre que cette phase débute en juin et finit en septembre.

En mai, le débit moyen est très faible, à environ 0,076 m³/s. Ce débit marque une faible sortie de la saison sèche. En juin, le débit augmente légèrement à 0,092 m³/s, ce qui représente une hausse relativement modérée par rapport au mois de mai. À partir de juin, la montée des eaux s'accélère : le débit passe de 0,092 m³/s en juin à 0,68 m³/s en juillet, soit une augmentation de 0,59 m³/s ce qui représente 25,17%. Cette importante augmentation se confirme en août avec 0,847 m³/s et surtout en septembre (2,355 m³/s), soit 63,87%. Ce qui correspond à la période de crue, avec une croissance progressive du débit favorable aux conditions climatiques (pluies abondantes, faible évaporation). La montée des eaux atteint, ainsi, son cumul au mois de septembre avant d'entamer une phase de descente. Ainsi la phase de montée est construite sur quatre (4) mois (Juin à Septembre) avec une évolution rapide de cette dernière.

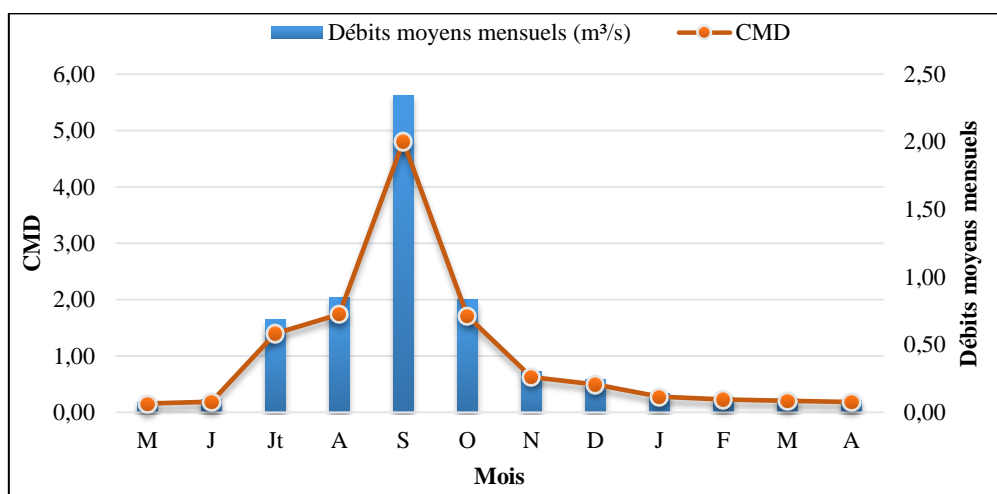


Figure 12: Évolution mensuelle des débits moyens et des CMD du bassin versant du Niéri-ko à la station de Goumbayel (1997-2009)

3.1.1.2. La phase de descente des eaux

La phase de descente des eaux dans le bassin versant du Niéri-ko, à la station de Goumbayel, s'installe après le pic des crues observé en septembre. En effet, le mois de septembre marque la période où le débit est le plus élevé, avec une moyenne de 2,35 m³/s et des conditions climatiques favorables. À partir d'octobre, le débit commence à diminuer de manière significative passant de 2,35 m³/s en septembre à 0,834 m³/s en octobre, soit une diminution de 64,43%. Cette baisse marque le début de la phase de descente, qui se poursuit dans les mois suivants. En novembre, le débit descend encore plus bas, autour de 0,304 m³/s, puis il diminue progressivement au fil des mois pour atteindre les plus faibles valeurs de la sèche en avril et en mai avec des débits respectifs 0,087 m³/s et 0,076 m³/s. Il faut noter que le mois de mai est considéré comme un prolongement de la phase de descente. Cela permet de mieux saisir la transition qui existe entre la fin de la saison sèche et le début de la saison pluvieuse.

Cette diminution des débits traduit la fin de la saison des pluies et le commencement de la saison sèche. Elle est liée à la baisse des précipitations, à l'augmentation de l'évaporation et à la réduction des apports hydrologiques dans le bassin. C'est une période où le cours d'eau de son volume et où l'écoulement ralentit considérablement. De ce fait, la phase de descente est construite entre (octobre et mai).

Après avoir étudié les différentes phases des eaux et leur évolution au fil de la saison, il est essentiel de voir sur la relation qui existe entre les débits du cours d'eau et la pluviométrie, afin de mieux comprendre comment les précipitations influencent le comportement hydrologique du bassin (voir figure 14).

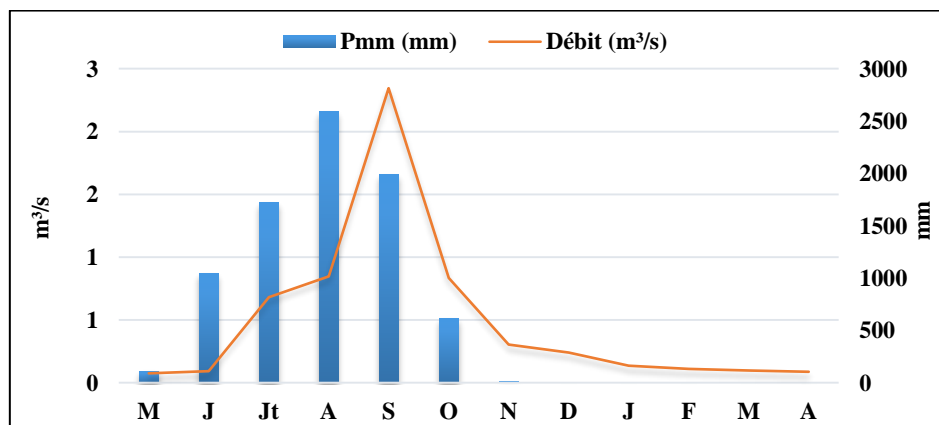


Figure 13 : Évolution mensuelle des débits moyens et des précipitations dans le bassin versant du Niéri-ko (1997-2009)

L'analyse de cette figure nous permet de voir clairement que les précipitations façonnent le rythme des débits. En effet, en début de saison, au mois de mai, les pluies sont encore faibles, avec une moyenne autour de 112 mm, tout comme le débit du cours d'eau qui est très bas avec

0,076 m³/s. Au fil des mois, la pluviométrie augmente fortement jusqu'à atteindre son pic en août avec 2596 mm. Les débits suivent cette même tendance, augmentant progressivement pour atteindre leur pic en septembre avec 2,345 m³/s. Ce décalage entre le pic des précipitations et celui des débits s'explique par le temps que met l'eau à s'écouler dans le bassin. Ensuite, dès octobre, la pluviométrie chute rapidement passant de 1993 mm en septembre à 613 mm en octobre. Les débits aussi amorcent aussi une forte diminution, descendant à environ 0,834 m³/s en octobre, puis diminue progressivement jusqu'à atteindre ses plus faibles valeurs durant la saison sèche, vers avril, avec un débit moyen de 0,087 m³/s.

Cette relation entre les précipitations et les débits moyens montre à quel point les eaux de pluie sont l'élément moteur de l'écoulement dans le bassin du Niéri-ko. La réponse du bassin est rapide et directe, ce qui est typique des régions tropicales.

3.1.2. La variabilité du régime hydrologique moyen du bassin du Niéri-ko

La variabilité de l'écoulement dans le bassin versant du Niéri-ko peut être analysée sur différentes échelles : journalière, mensuelle et annuelles.

3.1.2.1. La variabilité journalière de l'écoulement dans le bassin du Niéri-ko

La figure 15 illustre le comportement des débits moyens journaliers à la station de Goumbayel sur la période 1997 à 2009. Les débits observés restent globalement faibles, ce qui s'explique par le cumul d'années sèches enregistrées au cours de cette période. Cette situation explique le tarissement précoce du cours d'eau, remarqué dès le début de la saison sèche, ainsi que la faible recharge de la nappe phréatique dans le bassin.

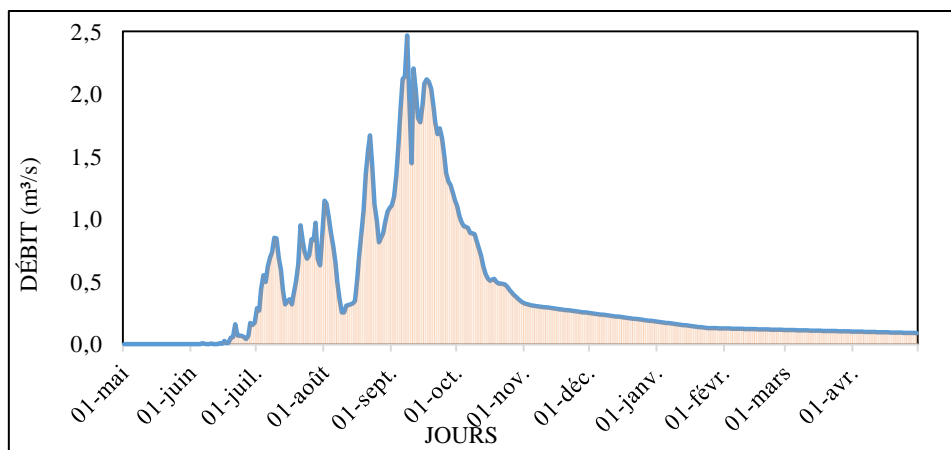


Figure 14 : Évolution des débits moyens journaliers à la station de Goumbayel (1997-2009)

Trois phases distinctes se dégagent clairement : la phase de montée (la crue), la phase de descente (décrue) et la phase de tarissement (le tarissement).

3.1.2.1.1. La phase de montée ou la crue

Pour analyser les ressources en eau d'un bassin fluvial, il est indispensable de prendre en compte les extrêmes hydrologiques comme les crues et les étiages (Sadio, 2024). Cette démarche permet de mieux comprendre l'écoulement du bassin versant du Niéri-ko, surtout dans le contexte marqué par de fortes perturbations climatiques et humaines. D'après Bodian (2014), la crue correspond au débit le plus élevé enregistré chaque année, principalement pendant la saison des hautes eaux que l'on rencontre dans les régions tropicales. Selon Faye (2013), ce phénomène se produit lorsque toutes les conditions nécessaires sont réunies : les sols et l'atmosphère sont saturés, l'évaporation est faible, les températures sont basses et les précipitations sont abondantes.

Dans le bassin du Niéri-ko, l'évolution de la crue présente une grande irrégularité, caractérisée par plusieurs fausses crues au cours de la période (1997-2009). La montée commence le 14 juin, avec un débit initial très faible de 0,008 m³/s, pour atteindre son maximum le 8 septembre avec un débit de 2,468 m³/s. Cette crue est considérée comme médiocre, ayant une puissance évaluée à 0,023. De plus cette phase de montée de la crue s'étale sur une durée de 87 jours, ce qui indique une montée progressive mais instable avant le pic principal (tableau 22)

Tableau 22 : Caractéristique de la phase de montée à la station de Goumbayel (1997-2009)

Crue			(1997-2009)
Date			08-sept
Valeurs			2,468
Puissance de la crue			0,023
Caractère de la puissance de la crue			Médiocre
Courbe de montée	début	date	14-juin
		débit	0,008
	fin	date	08-sept
		débit	2,468
	temps		87
	taux d'augmentation		0,03

3.1.2.1.2. La phase de descente ou l'étiage : décroue

L'étiage est un phénomène extrême lié à l'écoulement. Il survient durant la saison sèche, période correspondant aux basses eaux. Dans les zones tropicales de transition, il résulte d'une évaporation intense associée à des températures élevées. Selon Sow (2007), cette période peut durer plusieurs jours voire plusieurs mois et se caractérise par un faible écoulement. D'après Kaba (2008), l'étiage représente le débit minimal absolu journalier ou mensuel, atteint par l'écoulement. Au cours de l'étiage, les débits diminuent progressivement jusqu'à atteindre le

débit minimal journalier annuel (Faye, 2013). Les étiages se différencient notamment par leur date d'apparition, leur débit minimal, leur volume et leur durée.

À la station de Goumbayel dans le bassin, la courbe de descente reflète la baisse des débits journaliers après la courbe de la crue. Elle débute juste au pic, le 8 septembre avec un débit de 2,468 m³/s, puis diminue progressivement jusqu'au 30 avril om le débit atteint 0,089 m³/s. La durée moyenne de l'étiage est de 235 jours (tableau 23).

Tableau 23 : Les caractéristiques de la courbe de descente à la station de Goumbayel (1997-2009)

Étiage			1997-2009
Date			30-avr
Valeurs			0,089
Courbe de l'étiage	début	date	08-sept
		débit	2,468
	fin	date	30-avr
		débit	0,089
	temps		235
	taux de diminution		0,010

3.1.2.1.3. La phase du tarissement

Le tarissement est cet écoulement qui intervient lorsque les précipitations cessent. Il correspond à la période de vidange des nappes souterraines provoquant, ainsi, une diminution des réserves souterraines qui alimentent le cours d'eau en période non pluvieuse (Kaba, 2008). Il commence à partir du jour où on note une décroissance progressive des débits jusqu'à la fin. À la station de Goumbayel, le tarissement commence le 18 octobre avec un débit de 0,523 m³/s et dure jusqu'au 30 avril avec un débit de 0,089 m³/s. Ainsi, le bassin versant du Niéri-ko tarit pendant 195 jours, avec un coefficient de tarissement de 0,009 et un volume de soutien des nappes de 58 m³/s. Comme l'écoulement est saisonnier, la durée pendant laquelle il est nul à également été déterminée : elle est de 44 jours, ce qui souligne un faible écoulement durant cette période.

Tableau 24 : Les caractéristiques de la courbe de descente à la station de Goumbayel (1997-2009)

Tarissement			1997-2009
Courbe de tarissement	début	date	18-oct
		débit	0,523
	fin	date	30-avr
		débit	0,089
	temps		195
Coefficient de tarissement (K)		0,009	
Volume de soutien des nappes		58	
Si écoulement est saisonnier			(1997-2009)
Date de début des débits nuls		01-mai	
Date de fin des débits nuls		13-juin	
Temps où l'écoulement est à sec		44	

En somme, l'analyse des débits journaliers de la station de Goumbayel dans le bassin du Niéri-ko présente une forte variabilité des débits avec des crues faibles et irrégulières suivies d'étiages longs et marqués par de faibles apports en eau. Le tarissement est important et l'écoulement est très saisonnier, ce qui souligne une vulnérabilité du bassin face aux sécheresses et aux perturbations climatiques.

3.1.3. La variabilité saisonnière de l'écoulement du bassin versant du Niéri-ko

La variabilité du régime saisonnier est le reflet de la variabilité mensuelle et annuelle des précipitations (Kaba, 2008). Cette variabilité est montrée dans l'analyse du tableau 20 mais on y reviendra avec le tableau 25.

L'analyse du tableau 25 montre que les débits moyens mensuels varient selon les saisons. Ils sont très faibles pendant la majeure partie de l'année, avec des valeurs proches de zéro. En revanche, on note une augmentation des débits à partir de juin (0,092 m³/s) pour culminer en septembre avec un pic de 2,345 m³/s, qui correspond à la saison des pluies. Le coefficient de variation, qui mesure la variabilité des débits, est élevé en mai, février, mars et avril (3,45), ce qui signifie que les débits varient beaucoup durant ces mois dû à l'absence de pluie. En saison pluvieuse, cette variabilité diminue, indiquant les débits plus stables durant les mois de juillet et août. L'écart-type, qui indique la dispersion des valeurs autour de la moyenne, est plus important en septembre avec une valeur de 2,84. Ce qui traduit un grand écart entre les débits minimums et maximums. Cela se confirme avec le maximum de la série en septembre qui atteint 8,313 m³/s, indiquant une crue importante. En revanche, les minimums restent proches de zéro durant toute l'année, indiquant des périodes d'étiage voire de tarissement. L'écart de la série,

qui est la différence entre le maximum et le minimum de la série, est aussi très marqué en septembre. Ce qui confirme l'idée d'une forte variation des débits en saison des pluies.

Tableau 25 : Variabilité du régime moyen à la station de Goumbayel (1997-2009)

Station de Goumbayel	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
Débit (m ³ /s)	0,076	0,092	0,682	0,847	2,345	0,834	0,304	0,241	0,136	0,110	0,099	0,087	0,49
CMD	0,15	0,19	1,40	1,74	4,81	1,71	0,62	0,49	0,28	0,23	0,20	0,18	
Écart-type	0,26	0,19	0,63	0,83	2,84	1,02	0,61	0,50	0,42	0,38	0,34	0,30	
Coefficient de variation	3,45	2,08	0,92	0,98	1,21	1,22	2,00	2,07	3,08	3,45	3,45	3,45	
Maximum de la série	0,902	0,675	1,871	3,116	8,313	3,035	1,746	1,604	1,460	1,321	1,186	1,044	1,347
Minimum de la série	0,000	0,000	0,000	0,001	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
Écart de la série	0,902	0,675	1,871	3,115	8,288	3,035	1,746	1,604	1,460	1,321	1,186	1,044	1,342

3.1.4. La variabilité annuelle de l'écoulement dans le bassin du Niéri-ko

La variabilité annuelle de l'écoulement du bassin se comprend en analysant les coefficients d'hydraulicité et les années extrêmes.

3.1.4.1. La variabilité interannuelle de l'écoulement dans le bassin du Niéri-ko

La variabilité interannuelle de l'écoulement est étroitement liée à la variabilité des précipitations de cette période. Cette variabilité put être perçue à travers l'analyse des modules annuels et l'hydraulicité. L'hydraulicité permet d'observer les fluctuations d'une année à l'autre en identifiant les années où le débit est inférieur ou supérieur à la moyenne. Il correspond au pourcentage obtenu en divisant le débit moyen d'une année par le module moyen sur toute la période étudiée (tableau 26).

Tableau 26 : Hydraulicité en pourcentage à la station de Goumbayel (1997-2009)

Année hydrologique	Module moyen annuel	Hydraulicité %
1997-98	0,43	87,87
1998-99	0,19	38,90
1999-00	0,13	27,67
2000-01	0,10	20,99
2001-02	0,65	132,67
2002-03	1,07	218,46
2003-04	0,15	30,47
2004-05	0,46	94,72
2005-06	0,01	1,10
2006-07	0,08	17,19
2007-08	1,24	253,80
2008-09	1,35	276,17
Moyenne de la série	0,49	100,00

L'analyse de ce tableau montre que les débits varient beaucoup d'une année à une autre. Certaines années, comme 2002-03 (218,46%), 2007-08 (253,80%) et 200-09 (276,17%), ont des hydraulicités très élevées par rapport au débit moyen annuel. Ces années correspondent à des années humides avec d'importants écoulements. À l'opposé, des années comme 2005-06 (1,10%) ou 2000-01 (20,99%) ont des hydraulicités très faibles. Cela indique des débits très réduits, témoignant des périodes sèches et de faible disponibilité en eau. Néanmoins, on note des valeurs intermédiaires où le débit était proche de la moyenne, comme 1997-98 (87,87%) et 2004-05 (94,72%). Ainsi ce tableau illustre une alternance entre années sèches à faibles débits et années humides à débits abondants. Cela souligne une forte variabilité interannuelle de l'écoulement dans le bassin.

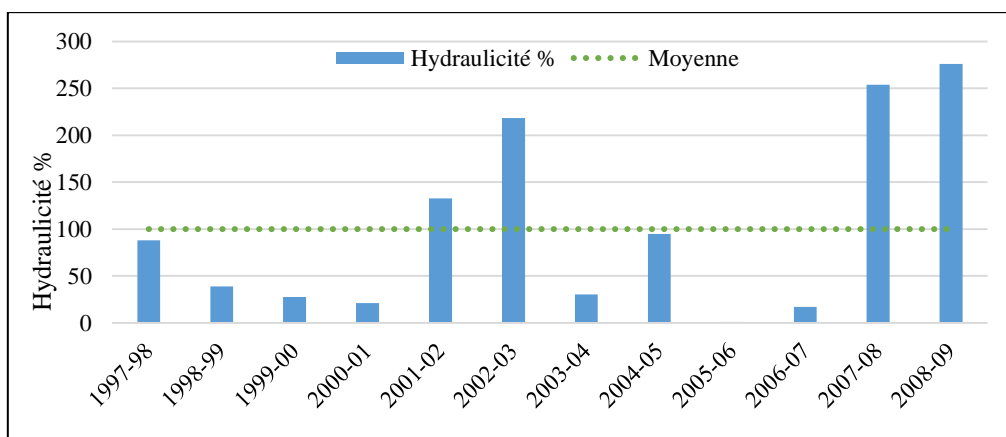


Figure 15 : Évolution de l'hydraulicité à la station de Goumbayel (1997-2009)

3.1.4.2. La variabilité annuelle des années extrêmes dans le bassin du Niéri-ko

La figure 17 montre les débits moyens annuels correspondant à chaque année hydrologique de la série.

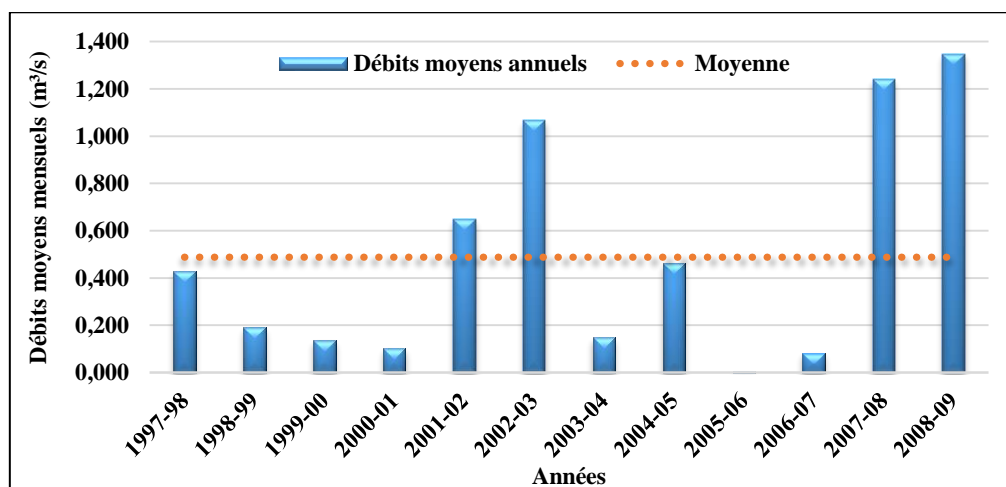


Figure 16 : Évolution des débits moyens annuels à la station de Goumbayel de 1997 à 2009

L'analyse de cette figure montre clairement que l'année 2008-09 est la plus humide, avec un débit moyen de 1,34 m³/s, tandis que l'année 2000-06 est la plus sèche, avec un débit moyen très faible de 0,005 m³/s. Cette distinction met en évidence un écart significatif entre l'année la plus riche en écoulement et l'année la plus pauvre. Pour mieux comprendre ces variations, les débits mensuels correspondant à ces années extrêmes sont détaillés dans le tableau 27.

Tableau 27 : Débits moyens annuels des années extrêmes à la station de Goumbayel (1997-2009)

Station de Goumbayel	M	J	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Années	Écart (%)
Année humide (2008-09)	0,90	0,68	1,10	1,10	8,31	3,03	0,52	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	1,35	176,2
Moyenne (1997-2009)	0,08	0,09	0,68	0,85	2,35	0,83	0,30	0,24	0,14	0,11	0,10	0,09	0,49	0,0
Année sèche (2005-06)	0,004	0,001	0,034	0,001	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	-98,9

L'écart à la moyenne entre l'année la plus humide (2008-09) et l'année la plus sèche (2005-06) est particulièrement marqué. En effet, l'année la plus humide affiche un débit moyen annuel supérieur à 176,2% à la moyenne de la série, alors que l'année sèche enregistre un déficit de 98,9% par rapport à la même moyenne. Cette différence s'explique principalement par les conditions pluviométriques très favorables lors de l'année 2008-09, qui se traduisent par des débits très élevés, notamment en septembre avec 8,31 m³/s et octobre, 3,03 m³/s. À l'inverse, lors de l'année 2005-06, les précipitations ont été très faibles, ce qui a induit des débits quasi nuls sur l'ensemble de l'année. En plus de cela, il en ressort aussi que l'année humide se distingue non seulement par des pics élevés au cours de la saison des pluies, mais aussi par des débits mensuels supérieurs à ceux de la moyenne pendant toute la période des hautes eaux. Quant à l'année sèche, même le maximum relevé en septembre (0,0025 m³/s) reste inférieur à la moyenne mensuelle de la série. Par ailleurs, le nombre de mois de hautes eaux varie également : l'année humide enregistre quatre mois de hautes tandis que celle sèche n'enregistre aucun mois de hautes eaux. Ce constat révèle ainsi la nature très irrégulière de la distribution de l'eau d'une année à une autre. La figure 18 illustre leur évolution.

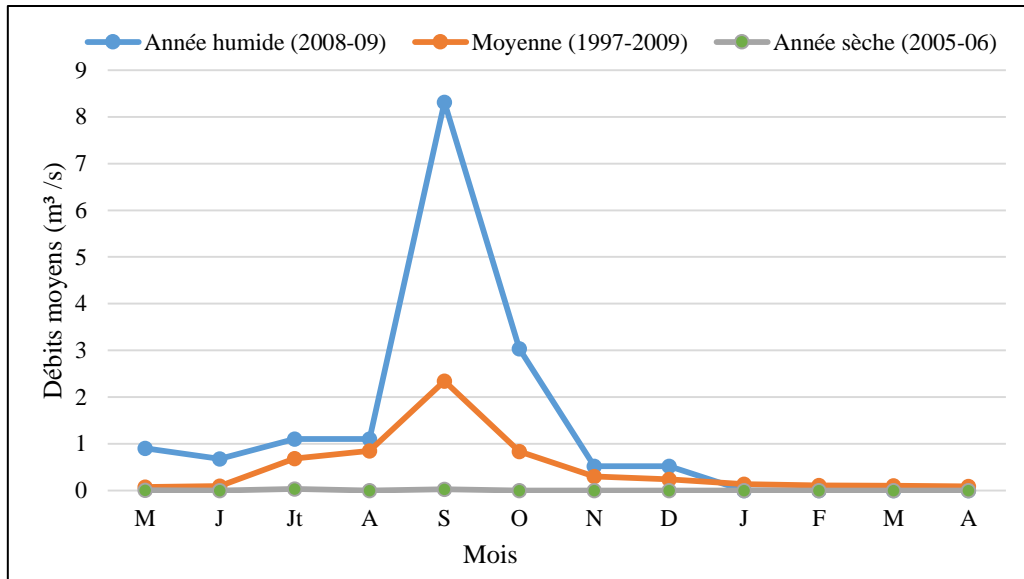


Figure 17 : L'évolution des années extrêmes à la station de Goumbayel (1997-2009)

3.2. Le bilan hydrologique dans le bassin du Niéri-ko

Les ressources en eau disponibles dans une zone donnée, sur une période spécifique, peuvent être évaluées grâce à l'analyse du bilan hydrologique. Ce bilan met en lumière l'équilibre entre les eaux reçues, sous forme de précipitations et les eaux qui sortent, que ce soit par écoulement, évaporation ou stockage. D'après Faye (2009), le bilan hydrologique consiste à quantifier l'ensemble des entrées et des sorties dans une zone donnée sur une période définie, souvent l'année hydrologique. Les principaux éléments du bilan sont : la lame d'eau précipitée (Pmm), la lame d'eau écoulee (Qmm), la lame d'eau évaporée (Emm) ainsi que les variations des réserves d'eau dans le sol ou les nappes souterraines notées comme $-\Delta Rmm$ (eau stockée) et $+\Delta Rmm$ (eau restituée). Le bilan peut donc s'écrire par la formule :

$$Pmm = Q (mm) + E (mm) \pm \Delta R (mm)$$

Pour calculer la lame d'eau écoulee (Qmm), on utilise la formule suivante : $Qmm = \frac{Qm^3/s \times t(s)}{A \times 10^3}$

Avec : Q m³/s : le débit moyen ; t (s) : le temps en seconde et A : la surface du bassin en km²

À partir de ces données, il est possible de calculer plusieurs indicateurs importants comme : le volume d'écoulement par an (en m³/an), le coefficient d'écoulement (exprimé en %) qui correspond au rapport entre la lame d'eau écoulee et la lame d'eau précipitée multiplié par 100, le déficit d'écoulement (DEmm), qui représente la différence entre la pluie reçue et l'eau écoulee, souvent liée aux pertes par évaporation, ainsi que les débits spécifiques qui

$$Vm^3/an = Qm^3/s \times t(s), CE \% = \frac{Qmm}{Pmm} \times 100 ; DEmm = Pmm - Qmm, Ds l/s/km^2 = \frac{Qm^3/s \times 1000}{A (km^2)}$$

Dans cette étude, l'analyse des ressources en eau dans le bassin du Niéri-ko est réalisée en prenant en compte la moyenne de la série (1997-2009). Cela permettra ainsi une compréhension complète de la disponibilité en eau durant cette période.

3.2.1. Le bilan moyen de l'écoulement

Le bilan moyen est analysé à partir des données climatiques issues de la station de Tambacounda et des données hydrométriques de la station de Goumbayel sur la période 1997 à 2009. Durant cette période, la pluviométrie moyenne reçue dans le bassin varie entre 500 et 1000 mm.

Tableau 28 : Caractéristique du bilan hydrologique à la station de Goumbayel (1997-2009)

Paramètre	Pmm	ETP	Module	Qmm	DEmm	CE%	Vm ³ /an	Ds l/s/km ²
Période (ans)	12	12	12	12	12	12	12	12
Moyenne	675	1548	0,49	1	674	0,21	15385987	0,043
Écart-type	83	14	0,48	1,3	84	0,20	15149637	0,042
Coefficient de variation	0,12	0,01	0,98	0,98	0,12	0,98	0,98	0,98
Maximum	882,22	1574,22	1,35	3,75	881,84	0,55	42492097,870	0,12
Minimum	561	1528	0,005	0,015	560	0,002	169537	0,0005
Écart	322	46	1	4	322	0,55	42322561	0,12

Le tableau 28 donne une vue claire du bilan hydrologique du bassin de Niéri-ko sur la période 1997 à 2009. En effet, la pluviométrie moyenne annuelle (Pmm) est de 675 mm, ce qui indique une abondance pluviométrique modérée, bien que cette valeur connaisse une variation importante, avec un minimum de 561 mm et le maximum 882 mm. Cette variabilité se traduit par un coefficient de variation de 0,12, indiquant une relative stabilité pluviométrique. Par contre, l'évapotranspiration est beaucoup plus importante, avec une moyenne de 1548 mm, dépassant largement la pluviométrie. Ce déséquilibre climatique signifie que l'eau disponible pour l'écoulement superficiel est fortement limitée par la perte d'eau atmosphérique, rendant l'eau rare dans le bassin. En d'autres termes, beaucoup d'eau s'évapore avant même de pouvoir alimenter les cours d'eau. Le débit moyen (le module) est assez faible, à 0,49 m³/s, mais il varie d'une année à une autre, avec des périodes où le débit est presque nul. Cela signifie que l'écoulement dans le bassin est irrégulier et qu'il y a des moments où l'eau se fait vraiment rare. La lame d'eau écoulée (Qmm), qui mesure la hauteur d'eau restituée à travers les cours d'eau, est également très faible, avec une moyenne de 1 mm. Ce faible rendement hydrique est confirmé par le déficit d'écoulement (DEmm) qui s'élève à 674 mm en moyenne. Cela indique qu'une très grande majorité d'eau est absorbée ou évaporée avant de rejoindre les cours d'eau. Le coefficient d'écoulement (CE%), qui mesure quel pourcentage des précipitations est transformé en écoulement, n'est que de 0,21 %. Cela confirme que seule une faible fraction des

eaux pluviales alimente directement le réseau hydrographique. En termes de volumes, le volume annuel moyen d'eau écoulé ($V_{m^3/an}$) est d'environ 15 millions de m^3 , mais les variations extrêmes vont de 169537 m^3 à plus de 42 millions de m^3 . Enfin, le débit spécifique (D_s) moyen de 0,043 l/s/ km^2 montre une faible productivité hydrologique du bassin, bien qu'il existe une forte variation annuelle. Ce tableau montre clairement la nature fragile de la ressource en eau dans le bassin. Malgré une pluviométrie non négligeable, la forte évaporation et la faible capacité d'écoulement limitent fortement la disponibilité en eau et rendent la gestion de cette ressource cruciale, surtout pour les périodes de sécheresse.

Après avoir examiné le bilan hydrologique global du bassin lors de cette période, il serait pertinent de se penser plus précisément sur le volume écoulé ($V_{m^3/an}$) et la lame d'eau écoulée (Q_{mm}). Cela permettra de vérifier la cohérence entre ces deux indicateurs et d'évaluer la proportion réelle de pluie qui contribue à l'écoulement dans le bassin (figure 19).

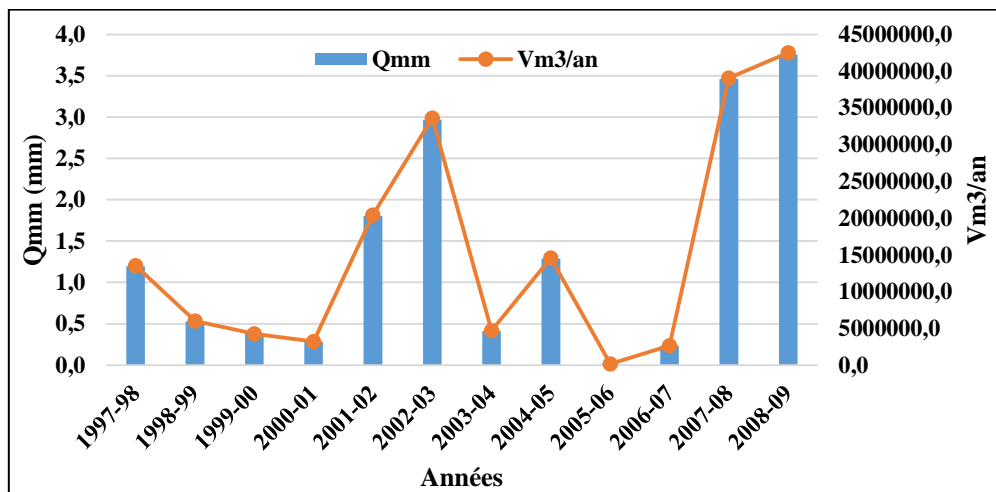


Figure 18 : Évolution annuelle de la lame d'eau écoulée et du volume d'eau dans le bassin versant du Niéri-ko (1997-2009)

D'après la figure 19, on remarque que chaque fois que la lame d'eau écoulée est élevée, le volume d'eau est aussi élevé. Par exemple, en 2002-03 et 2008-09, on a des pics très marqués sur les deux courbes. À l'inverse, quand la lame d'eau est très faible, comme 2005-06, le volume est aussi très bas. Cette concordance montre que la lame d'eau écoulée est un bon indicateur pour estimer le volume total d'eau qui s'écoule dans le bassin du Niéri-ko. En résumé, quand il y a plus d'eau qui coule en hauteur (Q_{mm}), le bassin déverse plus d'eau en volume.

En plus de cela, il est essentiel d'approfondir l'analyse en comparant les précipitations annuelles à la lame d'eau écoulée (figure 20).

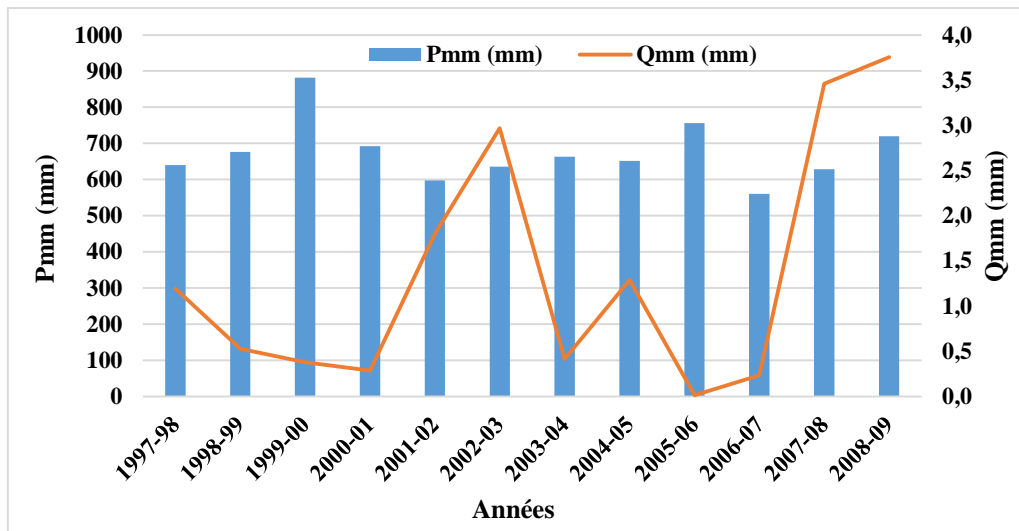


Figure 19 : Évolution annuelle de la lame d'eau écoulee et des précipitations dans le bassin versant du Niéri-ko (1997-2009)

À première vue, on peut observer que les deux courbes évoluent dans le même sens : les années où les précipitations sont élevées correspondent le plus souvent à des pics dans la lame d'eau écoulee. On peut prendre l'exemple des années comme 2002-03, 2007-08 et 2008-09. Cependant, en y regardant de plus près, plusieurs nuances apparaissent. Par exemple, certaines années comme 1999-00 ou 2004-05 présentent des précipitations importantes, mais la lame d'eau écoulee reste faible. Cela démontre que toute la pluie reçue ne se transforme pas en écoulement. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ce phénomène. D'une part, l'évapotranspiration est très élevée dans cette région, ce qui provoque une perte importante d'eau avant qu'elle n'atteigne les cours d'eau. D'autre part, l'infiltration dans le sol et la végétation dense peuvent retenir une bonne partie des précipitations, limitant ainsi le ruissellement. Globalement, les deux courbes suivent la même tendance, même si elles ne sont pas toujours parfaitement alignées. Même si la pluie est un facteur principal, d'autres éléments comme le climat, le sol ou la végétation influencent aussi le débit d'eau qui sort du bassin.

Conclusion partielle

La caractérisation du régime hydrologique du bassin versant du Niéri-ko révèle un fonctionnement marqué par une forte saisonnalité liée aux précipitations tropicales. Le régime observé s'inscrit dans le cadre d'un régime fluvial de transition tropicale, avec quatre mois de hautes eaux concentrés entre juillet et octobre, dominés par un pic de débits en septembre. En dehors de cette période, le bassin connaît des basses eaux prolongées, avec des débits très faibles, voire un tarissement durant la saison sèche. Cette variation illustre la forte dépendance

du bassin aux précipitations tropicales, ainsi qu'aux variations climatiques, notamment illustrée par l'alternance entre années sèches et années humides.

La disponibilité en eau du bassin varie d'une année à une autre, avec des années très humides où les débits sont importants et d'autres plus sèches où l'eau se fait rare. Le bilan hydrologique montre que malgré une pluviométrie modérée, la majorité de l'eau est perdue par évaporation, ce qui limite fortement le volume d'eau qui alimente les cours d'eau. Ces caractéristiques soulignent la fragilité des ressources en eau dans le bassin, rendant indispensable une gestion adaptée pour faire face aux aléas climatiques et aux périodes de sécheresse.

CHAPITRE IV : Évolution des températures et des précipitations sous les scénarios climatiques SSP1-2.6 et SSP5-8.5 dans le bassin versant du Niéri-ko

Dans un contexte où le changement climatique bouleverse les équilibres environnementaux mondiaux, comprendre l'évolution des températures et des précipitations au sein du bassin versant du Niéri-ko devient un enjeu important. Les projections issues de la GIEC (2021) indiquent que l'Afrique de l'Ouest pourrait voir ses températures augmenter de manière significative d'ici la fin du siècle, couplée à une plus grande variabilité des pluies. Cette tendance est confirmée par les travaux de Gaye (2022), qui met en lumière la vulnérabilité accrue des bassins sahéliens face à des extrêmes climatiques de plus en plus fréquents. Il met en avant que la fréquence et l'intensité des événements extrêmes, qu'il s'agisse de sécheresses ou d'inondations, tendent à s'accroître avec le scénario SSP5-8.5, tandis que le SSP1-2.6 offre des perspectives plus stables pour les systèmes agricoles et hydriques. Les travaux de *Sylla et al.* (2020), bien qu'appliqués à la Côte d'Ivoire sous les équivalents RCP, démontrent que les scénarios d'émissions élevées accentuent l'intensité des précipitations extrêmes durant la saison des pluies et modifient la répartition temporelle des périodes sèches, avec des conséquences contrastées selon le contexte local. Ce chapitre vise ainsi à interroger, à partir des modèles climatiques et des projections, les tendances futures des températures et des précipitations sous SSP1-2.6 et SSP5-8.5 dans le Niéri-ko afin d'éclairer les choix nécessaires en matière de gestion intégrée de la ressource en eau et d'adaptation environnementale.

4.1. Évolution des précipitations

4.1.1. Évolution annuelle des précipitations

L'examen de la variation annuelle des précipitations dans le bassin du Niéri-ko, sur la période 1980-2100, montre des dynamiques contrastées selon la période historique et les scénarios climatiques futurs SSP1-2.6 et SSP5-8.5. Sur la période historique (1980-2020), les précipitations oscillent entre 811 mm en 2011 et 1399 mm en 2006. Cette variation relativement large atteste d'une forte variabilité interannuelle, caractéristique des régions soudano-sahéliennes : les années humides alternent avec des phases de déficit, imposant aux acteurs locaux une gestion adaptative des ressources en eau.

Lorsque l'on considère le scénario SSP1-2.6, qui repose sur une trajectoire d'atténuation ambitieuse des émissions de gaz à effet de serre, une certaine stabilité semble s'installer dès 2020. Les précipitations annuelles restent le plus souvent comprises entre 1 000 et 1 200 mm. Toutefois, le minimum atteint de 692 mm en 2080 indique que des épisodes de sécheresse

prononcée demeurent possibles, témoignant de la présence continue de la variabilité climatique. Ce scénario met en avant un contexte pluviométrique généralement similaire à la période historique, avec quelques années plus sèches, mais une fréquence moindre des extrêmes.

En revanche, l'évolution sous le scénario SSP5-8.5 est particulièrement marquée par une accentuation des écarts. Au début du siècle, le bassin enregistre des années très pluvieuses, culminant jusqu'à 1 436 mm en 2023, mais également des périodes de forte sécheresse, notamment 570 mm en 2067. Cette variabilité accrue traduit les effets d'un réchauffement climatique non maîtrisé et d'une intensification des phénomènes extrêmes, déjà anticipée par les travaux du GIEC (2021). À mesure que le siècle avance, la courbe des précipitations sous SSP5-8.5 montre une tendance générale à la baisse, les valeurs faibles deviennent récurrentes vers la fin de la période.

En synthèse, la comparaison entre la période historique et les projections futures révèle un affaiblissement global des précipitations à l'horizon 2100, plus marqué dans le scénario de faibles émissions (SSP1-2.6). Le scénario SSP5-8.5, quant à lui, expose le bassin à une plus grande variabilité et à une multiplication des années de déficit, accentuant ainsi les risques de sécheresse et les défis pour la gestion prospective des ressources hydriques.

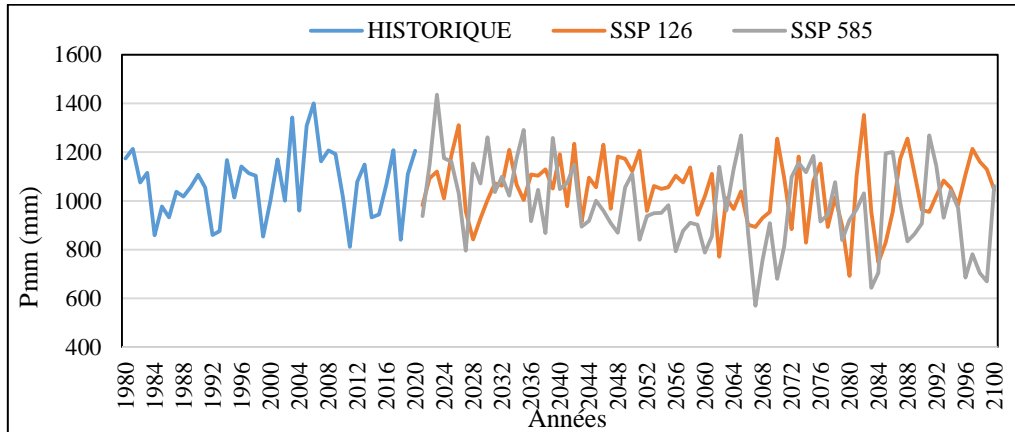


Figure 20 : Évolution des précipitations dans le bassin versant du Niéri-ko selon les scénarios sur la période 1980-2100

L'évolution des précipitations dans le bassin du Niéri-ko, selon les deux scénarios climatiques, montre des différences remarquables lorsque l'on compare chaque période à la moyenne historique observée entre 1980 et 2020 qui était de 1069 mm par an.

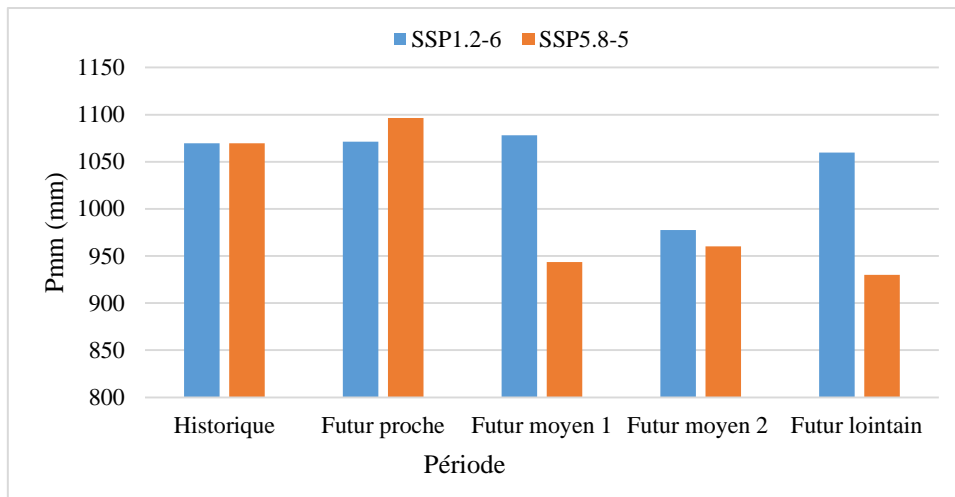


Figure 21 : Évolution annuelle des précipitations dans le bassin du Niéri-ko (1980-2100) selon les scénarios climatiques historiques, SSP1-2.6 et SSP5-8.5

Dans le futur proche (2021-2040), les précipitations restent assez similaires à ce qu'on a connu historiquement : pour le scénario SSP1-2.6, la hausse n'est que de 0,2 %, et pour SSP5-8.5, elle est de 2,5 %. Autrement dit, à court terme, il n'y aurait pas de changement majeur pour la gestion de l'eau ou de l'agriculture. Les pluies commencent réellement à changer à partir de 2041. Le scénario SSP1-2.6 reste encore stable, avec une petite hausse de 0,8 %. Mais le scénario SSP5-8.5, qui représente une trajectoire avec beaucoup d'émissions de gaz à effet de serre, affiche déjà une baisse de près de 12 % des précipitations par rapport à la période historique. Cela signifie qu'on peut s'attendre à une augmentation de la fréquence des années sèches. Entre 2061 et 2080, la tendance s'inverse également pour SSP1-2.6, qui passe à moins de 8,6 % de précipitations par rapport à la moyenne de référence. SSP5-8.5 garde une diminution importante (-10,2 %), traduisant un climat de plus en plus sec dans les deux cas, mais surtout dans le scénario le plus pessimiste. À la fin du siècle (2081-2100), le scénario « optimiste » SSP1-2.6 limite la baisse, avec seulement -0,9 % par rapport au niveau historique. En revanche, SSP5-8.5 atteint -13 % : c'est une baisse très nette, qui laisserait le bassin du Niéri-ko beaucoup plus exposé au manque d'eau.

Tableau 29: Variation annuelle future de la pluviométrie (en %) sur les quatre périodes dans le bassin du Niéri-ko

	1980-2020	2021-2040	Évolution (%)	2041-2060	Évolution (%)	2061-2080	Évolution (%)	2081-2100	Évolution (%)
SSP126	1069,62	1071,45	0,17	1078,05	0,79	977,49	-8,61	1059,86	-0,91
SSP585	1069,62	1096,48	2,51	943,53	-11,79	960,09	-10,24	930,01	-13,05

La comparaison des précipitations pour les différentes périodes futures et scénarios, par rapport à la période historique de référence (1980-2020), qui affiche une moyenne de 1 069,62 mm, montre une évolution contrastée selon les choix de trajectoire.

Pour le scénario SSP1-2.6, on constate une stabilité en début de période, avec une très légère hausse de 0,17 % sur la période 2021-2040, suivie d'une petite progression de 0,79 % lors du futur moyen 1 (2041-2060). Cependant, la tendance s'inverse entre 2061 et 2080 avec une diminution de -8,61 % des précipitations, puis se redresse en fin de siècle où la baisse n'est plus que de -0,91 % par rapport à la référence. Cela signifie que, dans ce scénario d'émissions maîtrisées, la pluviométrie annuelle resterait globalement similaire à la période récente, malgré quelques périodes plus sèches vers le milieu du siècle.

Le scénario SSP5-8.5, quant à lui, montre au début une augmentation des précipitations : 2,51 % de plus sur 2021-2040. Cette hausse s'effondre rapidement, cédant la place à une baisse marquée de -11,79 % pour la période 2041-2060. Cette tendance négative se poursuit, atteignant -10,24 % entre 2061 et 2080, puis s'aggrave dans le futur lointain (2081-2100) avec une diminution de -13,05 % par rapport à la période de référence. En d'autres termes, ce scénario pessimiste expose le bassin à un risque croissant de sécheresses et de déficit hydraulique au fil du siècle.

4.1.2. Évolution mensuelle des précipitations

À l'échelle mensuelle, les précipitations du bassin du Niéri-ko dessinent, quel que soit le scénario futur, une courbe unimodale caractéristique des zones soudano-sahéliennes, elles sont concentrées entre juillet et septembre. Cette structuration saisonnière reste vraie dans toutes les projections climatiques, mais l'intensité des pluies et la répartition entre ces trois mois évoluent différemment selon la trajectoire envisagée (tableau 30).

Dans le **scénario optimiste (SSP1-2.6)**, le mois d'août se maintient tout au long du siècle comme le mois le plus pluvieux. Les quantités moyennes dépassent 397 mm sur chaque période, atteignant même plus de 407 mm lors du futur moyen 1 (2041-2060). Cette constance fait d'août le pilier de la saison des pluies, essentiel pour la recharge des réserves d'eau, la croissance des cultures et le maintien des écosystèmes. Juillet, plus variable, connaît un creux au milieu du siècle (230 mm), avant de remonter vers 265 mm en fin de période. Septembre, de son côté, présente une relative stabilité, oscillant entre 254 et 269 mm d'une période à l'autre, ce qui témoigne d'une saison des pluies globalement équilibrée et d'un cycle agricole prévisible, malgré la variabilité naturelle.

Le **scénario pessimiste (SSP5-8.5)** montre une évolution considérablement différente : les pluies de juillet et d'août diminuent notablement au fil du siècle. Juillet passe de 262 mm à

moins de 189,10 mm, et août chute de 421 mm à seulement 308 mm, soit une perte de plus de 100 mm entre le début et la fin de la période analysée. À l'inverse, septembre enregistre une hausse continue des cumuls, passant de 273 mm à près de 300 mm. Ce basculement du maximum vers la fin de la saison se traduit non seulement par une intensification des épisodes pluvieux tardifs mais aussi par une transformation profonde de la dynamique des moussons, probablement liée à des changements dans la circulation atmosphérique et à l'humidification tardive liée au changement climatique. Dans les deux scénarios, la saison reste donc centrée sur ces trois mois, mais leur poids relatif se modifie : avec l'option la plus optimiste, pour préserver la régularité et les repères agricoles ; avec la trajectoire la plus carbonée, on risque de voir la saison des pluies se désorganiser, concentrant les risques d'inondation en septembre et compliquant la réussite des semis précoces.

Tableau 30: Distribution des précipitations mensuelles du Niéri-ko selon différents scénarios climatiques

SSP 1.2-6												
Période	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
2021-2040	0,00	0,00	0,01	0,02	0,75	44,96	276,63	397,17	257,62	84,15	9,12	1,02
2041-2060	0,02	0,00	0,00	0,03	0,85	29,77	265,95	407,60	269,39	95,30	9,12	0,01
2061-2080	0,01	0,00	0,31	0,01	0,07	17,65	231,00	382,15	266,25	74,28	5,76	0,02
2081-2100	0,00	0,00	0,00	0,04	0,26	49,58	264,92	398,73	253,93	84,39	8,00	0,00
SSP 5.8-5												
Période	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
2021-2040	0,00	0,00	0,25	0,30	0,45	47,21	262,62	421,25	272,81	83,96	6,35	1,28
2041-2060	0,01	0,00	0,02	0,20	2,80	36,47	206,99	324,32	285,59	84,60	2,52	0,00
2061-2080	0,00	0,01	0,02	0,21	3,36	36,05	218,92	300,04	296,06	100,72	4,68	0,00
2081-2100	0,00	0,00	0,00	0,30	1,21	25,18	189,10	308,42	298,42	101,19	6,18	0,00

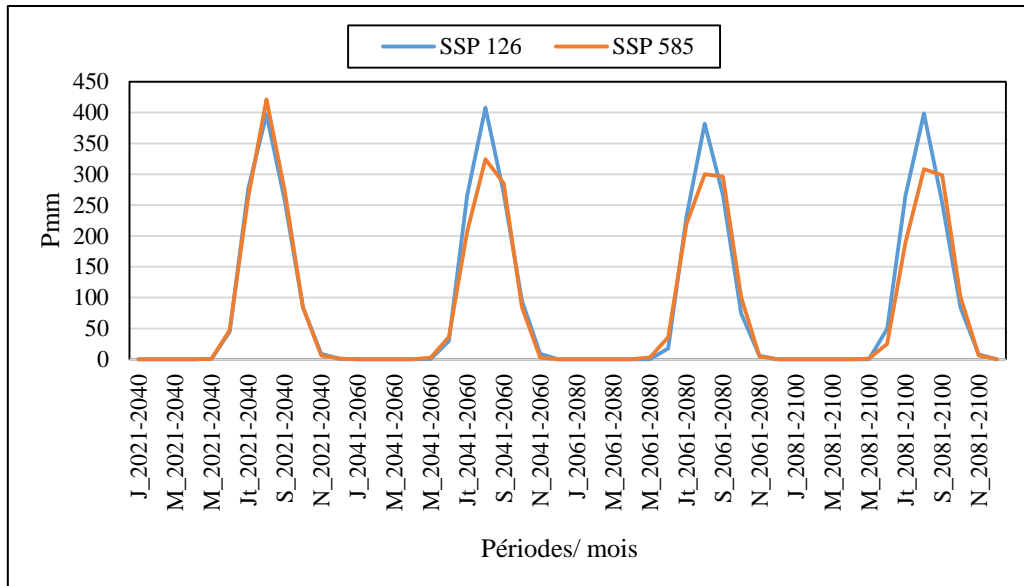


Figure 22: Évolution mensuelle des précipitations selon les scénarios climatiques dans le bassin du Niéri-ko

4.2. Évolution des températures

Dans cette partie, l'analyse repose sur les températures moyennes, maximales et minimales enregistrées dans le bassin versant du Niéri-ko. Ces paramètres ont été retenus car ils offrent une représentation précise des tendances globales liées au réchauffement climatique au sein du bassin.

4.2.1. Évolution annuelle

L'analyse annuelle des températures maximales, minimales et moyennes, comparées à la période de référence 1980-2020, révèlent une hausse régulière de tous les indices thermiques. Cette augmentation s'intensifie nettement à l'approche de 2100, notamment sous les scénarios climatiques à fortes émissions comme le SSP5-8.5. Cette évolution, qui touche l'ensemble de la gamme thermique (T_{max} , T_{min} , T_{moy}), illustre l'accélération attendue du réchauffement climatique et la nécessité d'anticiper des impacts majeurs sur les sociétés et les milieux naturels à l'horizon du XXI^e siècle.

4.2.1.1. Températures moyennes

L'analyse annuelle des températures moyennes montre une évolution nette et préoccupante du climat local sous l'effet du réchauffement climatique. D'après les données, la température moyenne annuelle historique s'élève à 28,97 °C. Cette valeur correspond aux observations enregistrées dans le passé et constitue le point de référence pour l'évaluation de l'évolution climatique future. Déjà élevée pour une région tropicale ou subtropicale, cette moyenne traduit la réalité thermique du climat local actuel. Lorsque l'on s'intéresse aux scénarios prospectifs, l'intensité du réchauffement devient manifeste :

- Sous le scénario d'atténuation ambitieuse SSP1-2.6, la température moyenne annuelle atteint 29,73 °C. Malgré la modération du scénario, on observe une hausse de l'ordre de +0,76 °C par rapport à la période historique. Cette élévation a un impact sur les processus écologiques, la disponibilité en eau et l'activité agricole régionale.
- La situation se détériore nettement avec le scénario pessimiste SSP5-8.5 : ici, la température moyenne annuelle grimpe à 31,02 °C. Par rapport à la période historique, la hausse atteint donc +2,05 °C, ce qui annonce une transformation significative et rapide du climat à l'horizon 2100.

Cette dynamique s'inscrit clairement dans une accélération du réchauffement climatique si aucune action n'est engagée, accentuant ainsi les menaces pour la santé, l'agriculture et l'environnement.

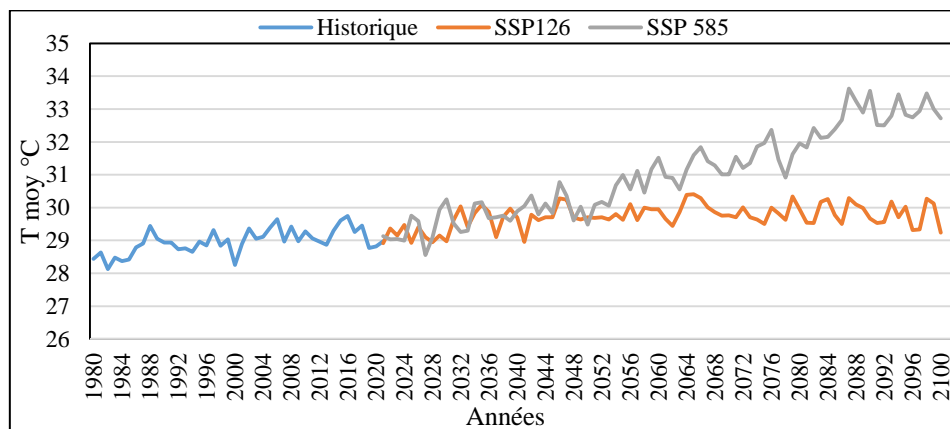


Figure 23: Évolution des températures moyennes dans le bassin versant du Niéri-ko selon les scénarios sur la période 1980-2100

Cette tendance croissante, conforme aux prédictions du GIEC sur les régions tropicales, démontre que peu importe le scénario, la hausse de température est inéluctable. Le GIEC souligne dans ses rapports que « l'Afrique est le continent le plus vulnérable aux changements climatiques » (GIEC, 2014) en raison de la hausse rapide des températures et de ses impacts transversaux sur l'environnement, l'agriculture et la sécurité alimentaire¹⁵. Des chercheurs renommés comme Arona Diédhiou, directeur de recherche à l'IRD et auteur au sein du GIEC, insistent que « l'Afrique n'est responsable que de 3,8 % des émissions mondiales, mais subit de plein fouet la hausse des températures et la multiplication des extrêmes climatiques »¹⁶. Toutefois, l'ampleur du réchauffement est fortement dépendante du choix de trajectoire socio-économique : la différence entre les deux scénarios atteint +1,29 °C, preuve que les décisions

¹⁵ <https://books.openedition.org/irdeditions/9773?lang=fr%5D.%5B1>

¹⁶ <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/lafrique-une-proie-du-rechauffement-climatique-75772/>

actuelles en matière de politiques climatiques peuvent limiter ou au contraire amplifier les effets des changements à venir.

Le tableau 31 montre l'évolution progressive du climat pour la période 2021-2100, selon les scénarios d'émissions prévus. La période historique (1980-2020) sert de référence aux projections climatiques futures. Dans le scénario optimiste SSP1-2.6, la hausse reste modérée : le futur proche (2021–2040) atteint 29,41°C, soit une augmentation de 1,52 % par rapport à l'historique. Cette progression se poursuit au fil des décennies, avec 2,76 % pour le futur moyen et un pic de 3,18 % au futur moyen 2, avant une légère stabilisation à 2,90 % au futur lointain. À l'inverse, le scénario pessimiste SSP5-8.5 révèle une dynamique radicalement différente. Dès le futur proche, la température grimpe à 29,52 °C, soit une augmentation de 1,90 %, mais la cadence s'accélère rapidement à 4,80 % au futur moyen, 8,39 % au futur moyen 2, pour culminer à 13,19 % au futur lointain. Ce scénario expose le bassin à une surchauffe continue et à des hausses annuelles qui dépassent largement le seuil de tolérance des écosystèmes et des infrastructures locales. En somme, le SSP1-2.6 limite l'élévation à moins de 3 % en fin de siècle, le SSP5-8.5 multiplie l'écart par quatre, franchissant le seuil des 13 %. Cette différence, croissante avec le temps, souligne l'urgence d'une mobilisation pour que la trajectoire future ne débouche pas sur un climat local radicalement transformé et difficilement habitable.

Tableau 31: Variation annuelle future de la température moyenne (en %) sur les quatre périodes dans le bassin du Niéri-ko

	1980-2020	2021-2040	Évolution (%)	2041-2060	Évolution (%)	2061-2080	Évolution (%)	2081-2100	Évolution (%)
SSP126	28,97	29,41	1,53	29,77	2,76	29,89	3,16	29,81	2,88
SSP585	28,97	29,54	1,97	30,36	4,80	31,40	8,37	32,79	13,19

4.2.1.2. Les températures minimales

Les températures minimales annuelles montrent une évolution climatique similaire à celles des températures moyennes.

La période historique a établi une température minimale annuelle moyenne de 24,19 °C. Cette valeur, déjà considérable pour un minimum thermique, témoigne du caractère essentiellement chaud du climat tropical humide local. Lorsque l'on s'intéresse aux scénarios prospectifs, l'intensité du réchauffement devient manifeste :

Sous le scénario d'atténuation ambitieuse SSP1-2.6, la température minimale annuelle atteindrait 25,06 °C en moyenne sur 2021-2100. La hausse serait donc enregistrée de 0,86 °C par rapport à la période historique.

La situation devient bien plus préoccupante sous le scénario pessimiste SSP5-8.5 : la température minimale annuelle pourrait augmenter jusqu'à 26,43 °C en moyenne au XXI^e siècle, soit une différence de 2,23 °C par rapport à l'époque de référence. En fin de siècle, la hausse atteindrait même 3,9 °C dans la période 2081-2100.

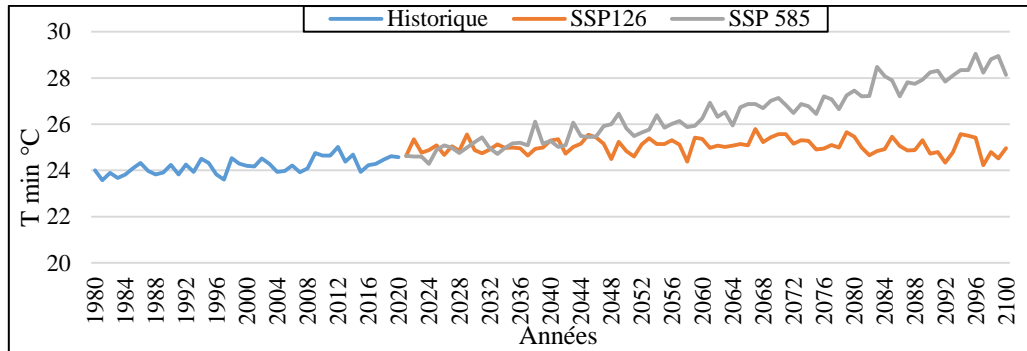


Figure 24: Évolution des températures minimales dans le bassin versant du Niéri-ko selon les scénarios sur la période 1980-2100

Le tableau des températures minimales annuelles montre l'évolution du climat pour la période 2021-2100 par rapport à la période historique 1980-2020 comme référence. Dans le scénario SSP1-2.6, la hausse reste modérée : Le futur proche (2021-2040) enregistre une température minimale de 24,96 °C, soit une augmentation de 3,18 % par rapport à la température historique qui est de 24,19 °C. Cette progression se poursuit : le futur moyen atteint 25,10 °C, le futur moyen 2 monte à 25,24 °C, avant une légère stabilisation à 24,93 °C au futur lointain. Ainsi, même en contexte d'atténuation ambitieuse, l'élévation des températures minimales franchit le seuil de plus de 3 à 4 % à l'horizon 2100.

À l'inverse, le scénario SSP5-8.5 révèle une dynamique bien plus alarmante : Dès le futur proche, la température minimale grimpe à 25,01 °C. Le futur moyen accélère à 25,78 °C, suivi d'un bond à 26,80 °C pour le futur moyen 2. Enfin, le futur lointain affiche 28,10 °C, franchissant largement le seuil de tolérance thermique pour les écosystèmes et les infrastructures.

En somme, le SSP1-2.6 limite l'élévation à moins de 4 % à l'horizon 2100, alors que le SSP5-8.5 multiplie l'écart par quatre et franchit le seuil des 16 %.

Tableau 32: Variation annuelle future de la température minimale (en %) sur les quatre périodes dans le bassin du Niéri-ko

Périodes	1980-2020	2021-2040	Évolution (%)	2041-2060	Évolution (%)	2061-2080	Évolution (%)	2081-2100	Évolution (%)
SSP126	24,19	24,96	3,18	25,10	3,73	25,24	4,32	24,93	3,05
SSP585	24,19	25,01	3,35	25,78	6,55	26,80	10,78	28,10	16,13

4.2.1.3. Températures maximales

Comme pour les températures minimales et moyennes, les températures maximales montrent une dynamique de réchauffement accentuée à mesure que l'on avance dans le siècle et que les émissions de gaz à effet de serre restent élevées. Sur la période historique, la température maximale annuelle moyenne enregistrée s'élève à 34,43 °C, supérieure à celles moyennes et minimales. Sous SSP1-2.6, la température maximale annuelle serait en moyenne de 34,98 °C entre 2021 et 2100, soit une hausse de 0,55 °C par rapport à la période historique. Sous SSP5-8.5, la situation devient plus préoccupante : la température maximale pourrait grimper à 36,31 °C en moyenne au XXI siècle, soit plus de 1,27 °C et au-delà de 38 °C en fin de siècle soit plus de 3,18 °C par rapport à la période historique. Cette augmentation des températures extrêmes s'accompagne d'un risque cumulé : vagues de chaleur plus longues et intenses, tensions sur les ressources hydriques, impacts majeurs sur l'agriculture, la santé et la vie quotidienne.

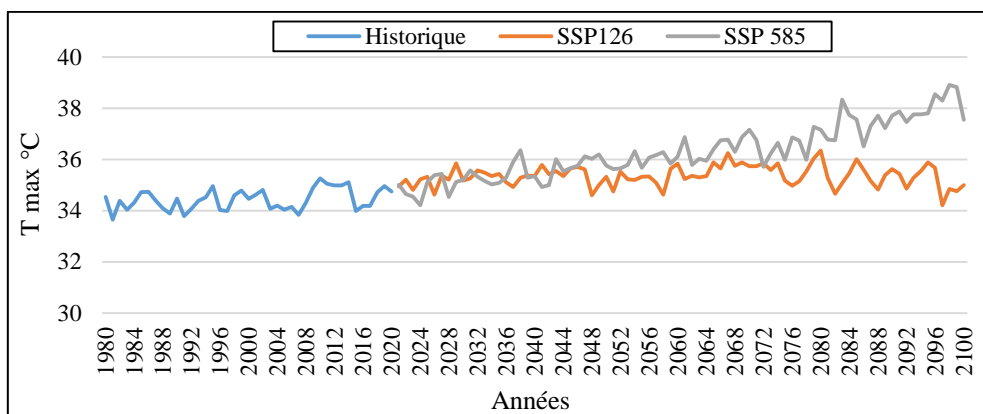


Figure 25: Évolution des températures maximales dans le bassin versant du Niéri-ko selon les scénarios sur la période 1980-2100

Le tableau des températures maximales annuelles montre l'évolution du climat pour la période 2021-2100 en référence à la période historique 1980-2020. Dans le scénario SSP1-2.6, la hausse reste modérée : Le futur proche (2021-2040) enregistre une température maximale annuelle moyenne de 34,86 °C, soit une augmentation de 1,24 % par rapport à la température historique de 34,43 °C. Cette progression se poursuit, le futur lointain (2081-2100) atteint 35,58 °C, soit 3,33 % de plus qu'à l'époque de référence. Ainsi, même sous un scénario d'atténuation ambitieuse, l'élévation des températures maximales franchit le seuil des 3 à 4 % à l'horizon 2100. À l'inverse, le scénario SSP5-8.5 montre une dynamique bien plus préoccupante. Dès le futur proche (2021-2040), la température maximale grimpe à 35,32 °C, soit une hausse de 2,57 % par rapport à l'historique. Le futur lointain (2081-2100) affiche 37,62 °C, soit 9,23 % au-dessus de la valeur de référence.

Tableau 33 : Variation annuelle future de la température maximales (en %) sur les quatre périodes dans le bassin du Niéri-ko

Périodes	1980-2020	2021-2040	Évolution (%)	2041-2060	Évolution (%)	2061-2080	Évolution (%)	2081-2100	Évolution (%)
SSP126	34,43	35,24	2,35	35,33	2,59	35,63	3,47	35,23	2,30
SSP585	34,43	35,18	2,15	35,82	4,04	36,51	6,03	37,72	9,54

4.2.2. Évolution mensuelle

4.2.2.1. Températures moyennes

L'évolution mensuelle des températures offre une perspective détaillée sur la dynamique du réchauffement climatique au niveau intra-annuel et révèle des changements saisonniers qui vont bien au-delà de la simple hausse annuelle des moyennes.

On observe que les températures moyennes mensuelles progressent de manière régulière sur l'ensemble de la période 2021-2100, avec une intensification selon les scénarios. Sous le scénario SSP1-2.6, les températures de janvier évoluent de 26,66 °C à 27,11 °C et celles d'avril passent de 35,74 °C à 36,02 °C entre le futur proche et le futur lointain. Les mois les plus chauds (mars-juin) affichent des valeurs moyennes très élevées : au-delà de 34 °C pour mars et jusqu'à 36 °C pour avril et 33°C juin, dans le même scénario. Ce pic de chaleur saisonnier, qui progresse sur chaque période, montre un allongement et une intensification de la période de stress thermique, avec des conséquences sur l'évapotranspiration, la demande hydrique et les risques agricoles. Ce phénomène est encore amplifié dans le scénario SSP5-8.5, où l'ensemble des températures mensuelles est rehaussé : janvier dépasse 29 °C, avril grimpe à près de 39 °C, et décembre atteint jusqu'à 28 °C au futur lointain.

Tableau 34 : Variations inter-mensuelles des températures moyennes mensuelles du Niéri-ko selon différents scénarios climatiques

SSP 1.2-6												
Période	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
2021-2040	26,66	30,47	34,13	35,74	35,22	32,74	27,88	26,02	26,11	26,92	26,59	24,77
2041-2060	26,77	30,98	34,36	35,88	35,43	33,07	28,23	26,10	26,40	27,49	27,12	25,42
2061-2080	27,05	31,08	34,49	36,04	35,45	33,38	28,46	26,47	26,63	27,50	26,81	25,30
2081-2100	27,11	31,12	34,74	36,02	35,48	33,23	28,32	26,40	26,44	27,31	26,66	24,84
SSP 5.8-5												
Période	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
2021-2040	26,51	30,42	34,10	35,88	35,32	32,66	27,97	26,03	26,33	27,34	26,65	25,02
2041-2060	27,13	31,41	35,14	36,57	36,17	33,98	29,24	26,99	26,97	27,88	27,63	25,52
2061-2080	28,00	32,44	36,20	37,70	37,02	34,75	30,11	28,00	27,75	29,26	28,93	26,61
2081-2100	29,90	33,88	37,69	38,93	37,98	36,05	31,54	29,13	28,93	30,37	30,70	28,41

La courbe mensuelle des températures moyennes, analysée selon les scénarios SSP1-2.6 et SSP5-8.5, montre un profil saisonnier similaire pour chaque période : la température augmente

progressivement de janvier à un maximum en avril-mai, puis baisse jusqu'au minimum en décembre. Avec le scénario optimiste SSP1-2.6, la hausse reste modérée mais visible sur toute la courbe. En revanche, sous le scénario pessimiste SSP5-8.5, la courbe est nettement plus élevée, chaque mois étant plus chaud, et le pic annuel plus accentué. De ce fait, tous les scénarios confirment une accentuation du réchauffement tout au long de l'année (voir figure 27).

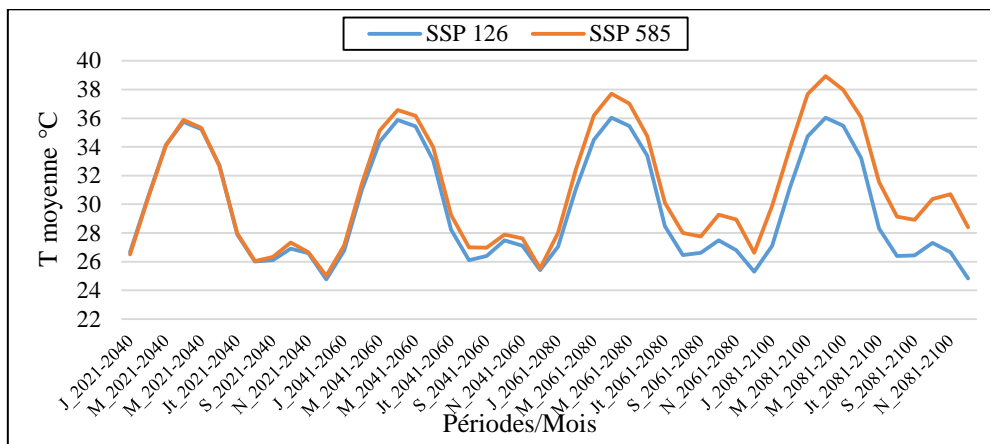


Figure 26 : Évolution mensuelle des températures moyennes selon les scénarios climatiques dans le bassin du Niéri-ko

4.2.2.2. Températures minimales

Lorsque l'on étudie l'évolution des températures minimales mensuelles, on remarque une hausse continue au fil des décennies. Ce réchauffement, présent dans tous les mois de l'année, dépend fortement du scénario climatique considéré.

Le **scénario SSP1-2.6** montre tout de même une hausse : par exemple, les températures minimales de janvier passent peu à peu au-dessus de 21 °C, et celles d'avril restent stables autour de 30 °C. Les mois de mars à juin affichent des valeurs élevées proches de 28 à 30 °C. Cela signifie que même en limitant les émissions de gaz à effet de serre, la région subira un climat plus chaud, mais dans une mesure encore gérable pour l'environnement et les populations.

En revanche, avec le **scénario pessimiste SSP5-8.5**, la situation devient beaucoup plus préoccupante. Les températures minimales s'élèvent bien plus : janvier peut dépasser 23 °C, et avril atteint facilement 33 °C. De mars à juin, la température va augmenter, dépassant les 30°C au futur lointain. En décembre, la température minimale ne descend plus en dessous de 22 °C.

Tableau 35: Variations inter-mensuelles des températures minimales mensuelles du Niéri-ko selon différents scénarios climatiques

SSP 1.2-6												
Période	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
2021-2040	21,01	24,93	28,56	30,16	29,61	28,51	25,16	23,51	23,50	23,70	21,46	19,44
2041-2060	21,06	25,28	28,72	30,34	29,78	28,87	25,32	23,74	23,60	23,61	21,56	19,30
2061-2080	21,29	25,17	28,87	30,36	29,74	29,07	25,75	23,88	23,63	23,90	21,58	19,52
2081-2100	20,92	25,16	28,55	30,21	29,66	28,45	25,16	23,62	23,46	23,58	21,32	19,07
SSP 5.8-5												
Période	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
2021-2040	21,00	25,13	28,45	30,22	29,91	28,62	25,27	23,70	23,59	23,53	21,43	19,21
2041-2060	21,41	25,66	29,70	31,06	30,57	29,46	26,25	24,53	24,30	24,54	22,39	19,72
2061-2080	22,44	26,17	30,58	32,21	31,55	30,40	27,28	25,65	25,26	25,48	23,86	20,75
2081-2100	23,99	27,94	31,87	33,36	32,38	31,17	28,20	26,57	26,21	26,99	25,73	22,73

La courbe mensuelle des températures minimales, tout comme celle des températures moyennes, présente un profil saisonnier marqué : les valeurs augmentent progressivement de janvier jusqu'à un pic en mars-avril, puis diminuent jusqu'au minimum en décembre.

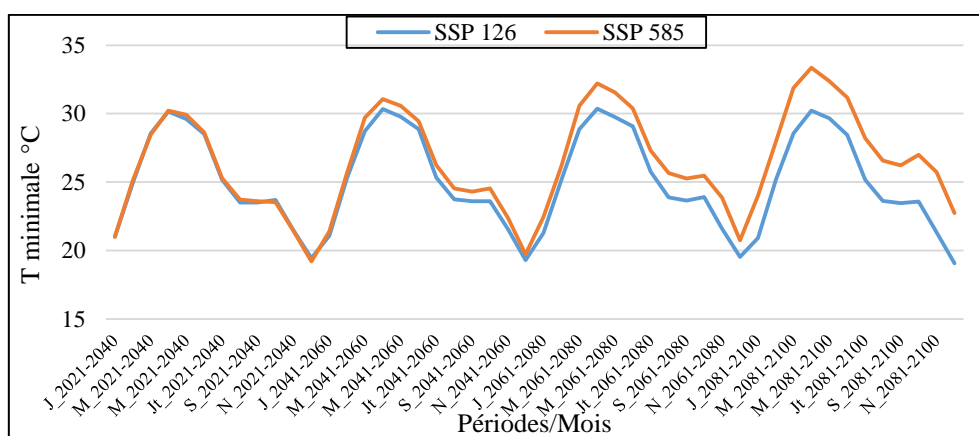


Figure 27 : Évolution mensuelle des températures minimales selon les scénarios climatiques dans le bassin du Niéri-ko

4.2.2.3. Températures maximales

L'évolution mensuelle des températures maximales offre une perspective très fine sur la dynamique du réchauffement climatique à l'échelle intra-annuelle, révélant des transformations saisonnières qui dépassent la simple hausse annuelle des moyennes. Les températures maximales progressent régulièrement sur toute la période 2021-2100, et leur intensification dépend directement du scénario d'émissions envisagé.

Sous le scénario SSP1-2.6, les maximales de janvier évoluent de 33,48 °C à 33,61 °C du futur proche au futur lointain, tandis qu'avril passe de 41,65 °C à 41,84 °C. Les mois les plus chauds (mars à juin) voient leurs maximums dépassant les 40 °C : le mois de mars atteint 40,52 °C à 40,58 °C, le mois de mai reste autour de 41 °C et juin approche 38 °C. Ce phénomène est beaucoup plus marqué sous le scénario SSP5-8.5 : les températures maximales de janvier

atteignent jusqu'à 35,99 °C, celles d'avril grimpent à plus de 44 °C, et décembre approchent 34,66 °C en fin de siècle. Les extrêmes saisonniers se renforcent : mars dépasse 43 °C, mais se situe à près de 44 °C, ce qui bouleverse totalement le rythme climatique local et augmente les épisodes de stress thermique.

Tout comme pour les températures moyennes et minimales, l'évolution des maximales mensuelles montre une hausse continue et une modification du climat, avec des records de chaleur de plus en plus fréquents et persistants.

Tableau 36: Variations inter-mensuelles des températures maximales mensuelles du Niéri-ko selon différents scénarios climatiques

SSP 1.2-6												
Période	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
2021-2040	33,48	37,35	40,52	41,65	41,10	38,02	32,13	29,68	30,57	32,34	33,72	32,35
2041-2060	33,78	37,51	40,33	41,94	41,28	38,38	32,25	29,80	30,51	32,22	33,50	32,42
2061-2080	34,06	37,52	40,79	42,02	41,36	38,80	32,83	30,05	30,58	32,73	33,92	32,88
2081-2100	33,61	37,39	40,58	41,84	41,23	37,81	32,11	29,72	30,50	32,33	33,50	32,10
SSP 5.8-5												
Période	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
2021-2040	33,47	37,16	40,35	41,61	41,24	37,93	32,17	29,78	30,34	32,09	33,49	32,18
2041-2060	33,77	37,73	41,16	42,43	41,79	38,96	33,19	30,35	30,81	33,01	34,24	32,46
2061-2080	34,67	38,26	41,88	43,31	42,50	39,72	34,05	31,20	31,12	33,42	35,00	33,00
2081-2100	35,99	39,46	43,14	44,23	43,80	40,79	35,19	32,02	32,18	34,69	36,48	34,67

La courbe mensuelle des températures maximales illustre, au même titre que les minimales et moyennes, la profonde transformation du cycle thermique annuel sous l'effet du réchauffement climatique (figure 29)

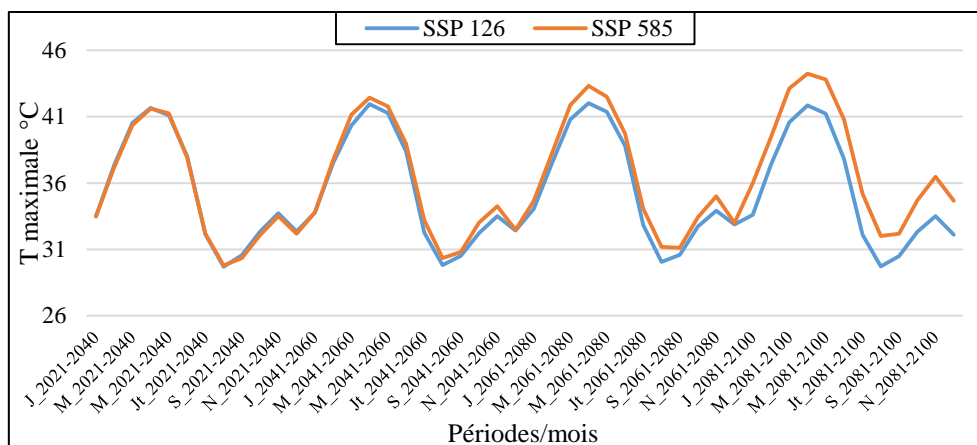


Figure 28 : Évolution mensuelle des températures maximales selon les scénarios climatiques dans le bassin du Niéri-ko

Conclusion partielle

L'analyse des évolutions climatiques dans le bassin versant du Niéri-ko révèle des transformations significatives des précipitations et des températures sous l'effet du changement climatique. Les projections démontrent une diminution globale des précipitations à l'horizon 2100, particulièrement marquée sous le scénario SSP5-8.5 (-13,05 %), où l'absence de politiques d'atténuation conduit à une désorganisation progressive du régime saisonnier avec un basculement du maximum pluviométrique vers septembre. Le scénario SSP1-2.6, bien que limitant cette diminution à -0,91 %, n'échappe pas à une certaine variabilité interannuelle caractéristique des zones soudano-sahéliennes.

Parallèlement, les températures montrent une hausse continue et généralisée, affectant l'ensemble des indicateurs thermiques. La température moyenne annuelle augmente de +0,76 °C sous SSP1-2.6 et de +2,05 °C sous SSP5-8.5 par rapport à la période historique (28,97 °C). Les températures maximales durant les mois de mars à juin dépasseront systématiquement 40 °C, atteignant jusqu'à 44 °C sous le scénario pessimiste, créant des conditions de stress thermique extrême pour les écosystèmes et les populations (Sylla *et al.*, 2016 ; GIEC, 2021). Ces résultats soulignent l'urgence de développer des stratégies d'adaptation climatique dans le bassin du Niéri-ko, notamment pour la gestion intégrée des ressources en eau et l'atténuation des impacts sur les activités agricoles.

Conclusion de la partie II

L'analyse du régime hydrologique à partir des données de Goumbayel (1997-2009) révèle un régime fluvial de transition tropicale marqué par une forte saisonnalité : quatre mois de hautes eaux (juillet-octobre) avec un pic en septembre, suivis de basses eaux prolongées avec des débits très faibles (module moyen de 0,49 m³/s) et un coefficient de ruissellement très faible (0,21 %), traduisant une importante perte d'eau par évaporation (Faye, 2013 ; Sène, 2021). Les projections CMIP6 (modèle MPI-ESM1-2-HR) prévoient une diminution des précipitations à l'horizon 2100, variant de -0,91 % (SSP1-2.6) à -13,05 % (SSP5-8.5), accompagnée d'une hausse des températures de +0,76 °C à +2,05 °C par rapport à la période historique. Les températures maximales dépasseront 40 °C durant les mois de mars à juin, créant des conditions de stress thermique extrême (Sylla *et al.*, 2016 ; GIEC, 2021). Ces évolutions soulignent l'urgence de développer des stratégies d'adaptation climatique pour la gestion intégrée des ressources en eau face aux aléas climatiques et aux périodes de sécheresse.

TROISIÈME PARTIE : IMPACT DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE ET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE MILIEU ET LES STRATÉGIES D'ADAPTATION DANS LE BASSIN VERSANT DU NIERI-KO

Le bassin versant du Niéri-ko présente des ressources hydriques principalement constituées d'eaux souterraines et d'eaux de pluie, tandis que les eaux de surface, quoique disponibles, se manifestent essentiellement durant la saison des pluies. Cette dynamique hydrique particulière est fortement influencée par une variabilité climatique et les effets croissants du changement climatique, qui modifient la disponibilité et la répartition spatiale et temporelle des ressources en eau (OSS, 2022).

Les enquêtes réalisées auprès des populations locales confirment que cette dépendance aux eaux souterraines et pluviales expose les communautés à une vulnérabilité accrue, et surtout en saison sèche lorsque les eaux de surface se raréfient, affectant directement les pratiques agricoles, l'élevage et les usages domestiques. La variabilité des précipitations, notamment les retards dans l'installation des saisons des pluies, ainsi que l'augmentation de la fréquence des sécheresses et des événements extrêmes, ont exacerbé ces contraintes hydriques (UNCCD, 2022). La majorité de la population du bassin, vivant essentiellement de l'agriculture et de l'élevage, entretient un rapport étroit avec l'environnement et dépend fortement des ressources naturelles, en particulier de l'eau. Cette disponibilité de l'eau est intimement liée aux événements météorologiques et à la variabilité climatique (Diatta, 2000 ; Dione, 2010).

Au fil du temps, cette dépendance a rendu le bassin particulièrement vulnérable face aux effets cumulatifs du changement climatique et de la pression démographique, lesquels affectent directement les écosystèmes, réduisent la disponibilité des ressources naturelles et compromettent la sécurité alimentaire et hydrique des communautés locales (GIEC, 2018 ; UNFCCC, 2025).

Le changement climatique impacte également la qualité de l'eau par l'augmentation des pollutions liées aux phénomènes extrêmes et à la dégradation des écosystèmes, ce qui a des répercussions directes sur la santé humaine et la résilience des systèmes socio-économiques locaux (GIEC, 2018). La réduction de la pluviométrie, l'irrégularité des pluies et l'accroissement de la demande en eau exacerbent les tensions autour des usages agricoles, pastoraux et domestiques. Les impacts sur le milieu et les activités socio-économiques se traduisent notamment par la fluctuation des rendements agricoles, la raréfaction des pâturages et la détérioration des conditions de vie.

Dans ce contexte, il apparaît essentiel d'examiner de près les effets du changement climatique sur la dynamique des ressources en eau, de comprendre les évolutions de l'occupation des sols et d'évaluer la vulnérabilité et la capacité d'adaptation des systèmes socio-environnementaux (Mathevet & Gobet, 2015).

Ainsi, cette partie s'attache à analyser les effets du changement climatique sur les principales activités socio-économiques d'une part, et d'autre part à mettre en lumière des solutions adaptées pour une gestion durable et résiliente des ressources hydriques face aux défis posés par les transformations environnementales et démographiques.

CHAPITRE V : Ressources en eau et usages dans le bassin versant du Niéri-ko

Le bassin du Niéri-ko bénéficie d'importantes potentialités hydriques, principalement constituées d'eaux pluviales, d'eaux souterraines et d'eaux de surface à caractère saisonnier. En effet, les eaux de surface émergent surtout pendant la saison des pluies, alors qu'elles tarissent pendant la saison sèche, ce qui reflète la forte influence de la variabilité climatique sur la ressource hydrique (OSS, 2022). La pluviométrie annuelle, comprise entre 500 et 1000 mm, alimente ces réserves et conditionne ainsi les usages locaux de l'eau, liés à l'occupation des sols, à l'évolution des activités économiques ainsi qu'à la croissance démographique et à sa répartition spatiale (UNCCD, 2022).

L'usage de l'eau se définit comme l'ensemble des pratiques mobilisant cette ressource pour satisfaire divers besoins, incluant l'agriculture, l'élevage, les usages domestiques et parfois industriels (Margat et Cottez, 1995). L'importance de chaque usage est largement déterminée par la disponibilité en eau en quantité et en qualité, laquelle fluctue selon les saisons, rendant la gestion de la ressource particulièrement complexe. La population du bassin, en croissance constante, est donc dépendante de cette ressource soumise à une forte variabilité climatique (GIEC, 2021). Pour mieux comprendre ces usages, il est nécessaire d'étudier la répartition démographique du bassin, les activités socio-économiques des habitants, ainsi que leurs impacts sur les ressources en eau.

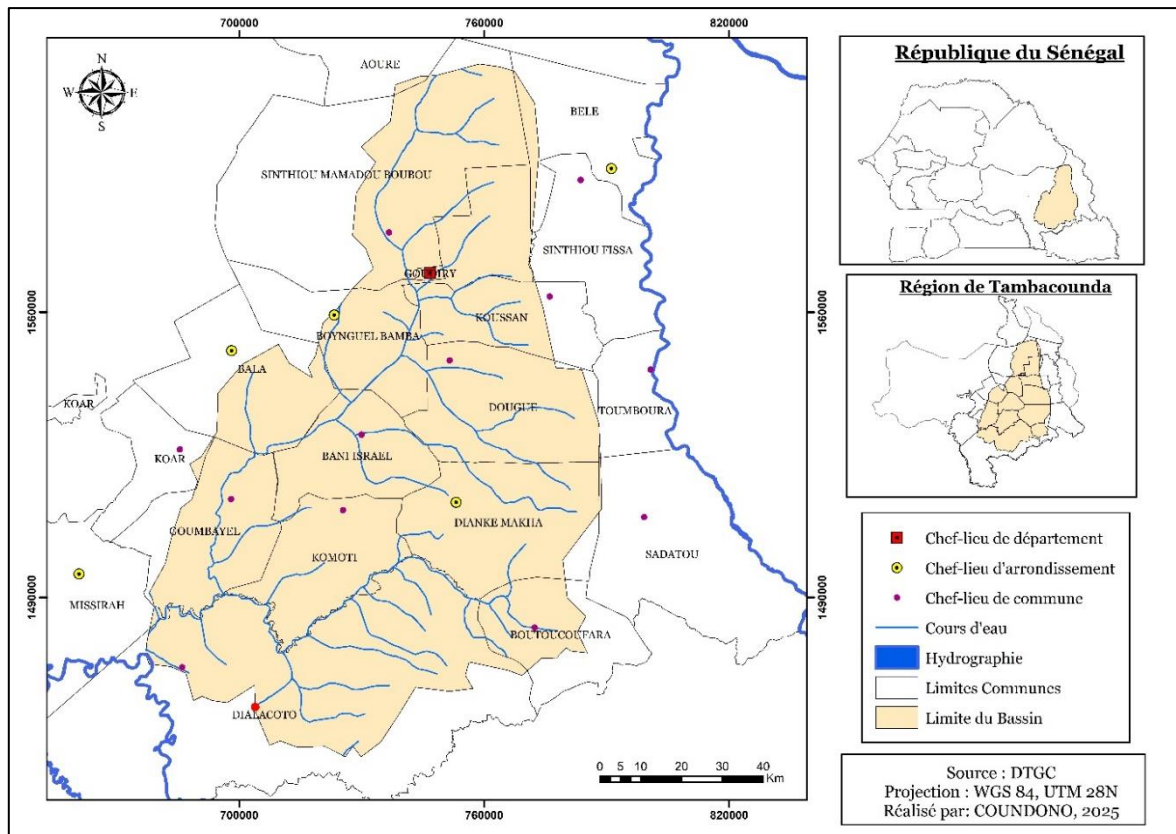
5.1. Bassin versant du Niéri-ko : Population et activités socio-économiques

Le bassin du Niéri-ko connaît une dynamique de transformation permanente liée à l'augmentation de la population et à la diversité des activités économiques qui s'y déroulent. Cette évolution est particulièrement notée dans la commune de Goumbayel, un acteur clé dans l'économie locale dans la région. Pour cette étude, nous nous sommes appuyés sur les données socio-économiques recueillies directement sur le terrain à partir d'un questionnaire et auprès des acteurs locaux.

5.1.1. La population du bassin versant du Niéri-ko

Le bassin du Niéri-ko, tel qu'il apparaît sur la carte 7, rassemble une diversité de communes aux profils variés, réparties autour des principaux cours d'eau qui irriguent le bassin. On y trouve à la fois des localités urbaines et rurales réparties sur 20 communes dont Goumbayel, Missirah, Koar, Kothiary, Goudiry et bien d'autres. Toutefois, nous constatons qu'il y a des communes à l'instar d'Aoure, Sadatou, Sinthiou Fissa, Toumboura, Missirah, Kaor, Sinthiou Mamadou Boubou, Dioulacoto et Bele, qui sont partiellement dans le bassin, néanmoins nous

les intégrons dans l'analyse de la démographie du bassin. Chacune de ces communes occupe une place stratégique souvent en lien avec les cours d'eau. La commune de Goumbayel, située dans la partie Ouest du bassin, fait partie intégrante de cette zone où l'hydrographie joue un rôle important dans les activités socio-économiques. Cette position favorise un accès suffisant aux ressources naturelles nécessaires à l'agriculture et aux activités liées.



Carte 7 : Répartition des communes du bassin versant du Niéri-ko

La population totale des 20 communes prise en compte dans le bassin est estimée à 229.733 habitants par l'ANSD lors du recensement de 2013. En 2023, cette population a augmenté de manière significative dans l'ensemble des 20 communes, passant de 229.733 habitants à 345.574 habitants, soit une augmentation de 50,42%. Par ailleurs, chaque commune affiche sa propre dynamique. Par exemple Goumbayel et Sadatou affichent les augmentations les plus élevées, proche de 75% montrant un fort dynamisme tandis que d'autres communes, comme Dougué, enregistrent une hausse plus modérée, autour de 28% mais qui reste tout de même progressive. Cette diversité dans la croissance traduit les dynamiques locales propres à chaque commune, liées aux ressources, aux conditions de vie et aux opportunités qu'elles offrent (tableau 37).

Tableau 37 : Répartition de la population dans le bassin du Niéri-ko

COMMUNE	Population 2013	Population 2023	EVOLUTION (%)
DOUGUE	7250	9275	27,93
MISSIRAH	41666	57580	38,19
KOAR	8510	12165	42,95
KOUSSAN	7700	11022	43,14
BOYNGUEL BAMBA	11578	16616	43,51
TOUBOURA	3483	5028	44,36
KOMOTI	8413	12179	44,76
KOTHIARY	4244	6157	45,08
BOUTOUCOUFARA	5729	8454	47,57
DIALACOTO	16448	24519	49,07
BELE	16984	25861	52,27
GOUDIRY	6867	10540	53,49
DIANKE MAKHA	7115	10949	53,89
SINTHIOU FISSA	8329	12900	54,88
SINTHIOU MAMADOU BOUBOU	13687	21666	58,30
AOURE	35137	55799	58,80
BALA	6151	9799	59,31
BANI ISRAEL	5381	8681	61,33
GOUMBAYEL	5219	9125	74,84
SADATOU	9842	17259	75,36
TOTAL	229733	345574	50,42

Source : ANSD (2013 ; 2023)

Les données de L'ANSD (2019) sur les différentes ethnies dans la région de Tambacounda montrent une prédominance des Peuls et des Mandingues. Par la suite, d'autres ethnies comme les wolofs, les Soninkés, les Bassaris, les Diolas, les Bambaras et les sérères sont venus (ANSD, 2012).

Les résultats de nos enquêtes, faites dans la commune de Goumbayel, ont révélé que la population est à la fois diverse et hétérogène. On distingue plusieurs ethnies : les *Peuls*, les *Soninkés*, les *Socé*, les *Wolofs* et les *Bambaras*. On retrouve également plusieurs minoritaires, telles que les Sérères, les Diolas, les *Diakhankés* entre autres. Parmi ces groupes, les *Peuls* dominant largement avec 51,66 %, suivis des *Socé* avec 15,17 %

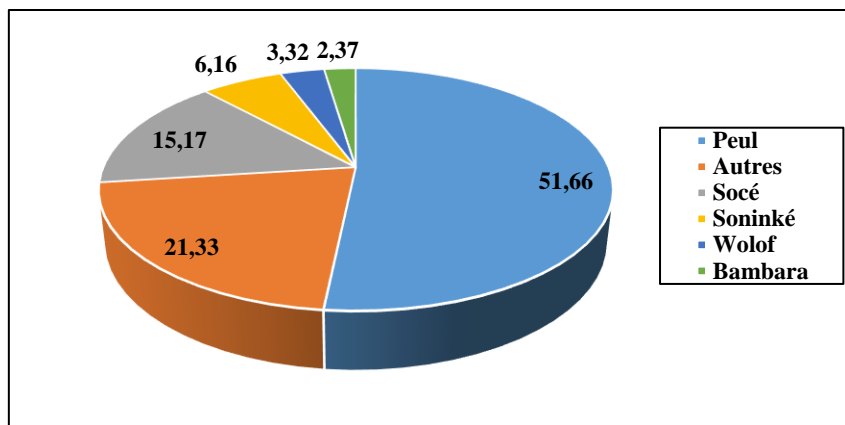


Figure 29 : Répartitions des différentes ethnies dans la zone d'étude (Source : résultat d'enquêtes, 2024)

Dans le bassin versant du Niéri-ko, les activités principales des ménages sont l'agriculture et l'élevage. En effet, selon les données collectées auprès de 211 ménages, 97,6% pratiquent l'agriculture. Cette proportion montre que l'agriculture est la base des activités économiques locales. Parallèlement, 96,7% des enquêtés déclarent également exercer l'élevage. Ces chiffres confirment que la majorité des ménages combinent ces deux activités pour assurer leurs revenus et leur subsistance. En plus de ces activités traditionnelles, le commerce constitue une source importante de revenus. Environ 73,5% des ménages interrogés y participent, ce qui démontre une diversification des activités économiques. De plus, l'exploitation forestière est également pratiquée par 48,8% des ménages.

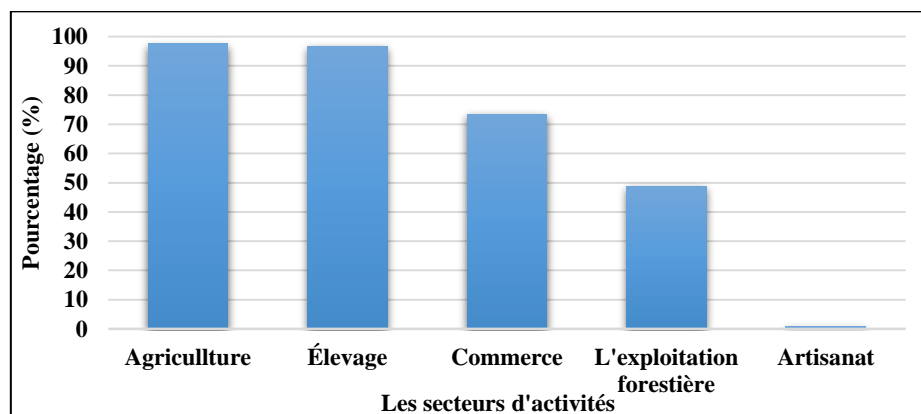


Figure 30 : Répartition des secteurs d'activités dans le bassin versant du Niéri-ko (Source : résultat d'enquêtes, 2024)

5.1.2. L'agriculture

L'agriculture est l'activité prédominante dans le bassin versant du Niéri-ko. Selon les résultats de l'enquête réalisée auprès des 211 ménages, 97,6% pratiquent l'agriculture, ce qui traduit une dépendance presque générale à cette activité comme base des moyens de subsistance locaux. Cette prévalence élevée correspond à la rapide composante rurale et agropastorale de la région,

où l'agriculture pluviale constitue le principal système de production (SustainSahel, zone Tambacounda)¹⁷.

Les cultures dominantes dans le bassin sont adaptées aux conditions agro-climatiques locales et intègrent principalement les céréales telles que le mil (80%), le maïs (85,8%) et le sorgho (46%) ainsi que la culture de l'arachide (95,7%), qui reste la culture de rente incontournable dans cette région ainsi qu'à l'échelle nationale (Rapport Enquête Agricole Annuelle 2022-2023). Par contraste, la culture du riz reste marginale (moins de 1%) en raison probablement des conditions hydriques moins favorables ou des contraintes liées à la maîtrise de l'eau. La figure 32 montre ces spéculations cultivées durant la période pluvieuse.

Les activités agricoles dans le bassin reposent principalement sur l'agriculture pluviale, avec une forte dépendance aux précipitations saisonnières. Cependant, le rôle du bassin versant du Nié-ko dans l'agriculture locale est perçu comme limité par la majorité des agriculteurs, avec environ 91,5% des enquêtés estimant qu'il joue un rôle « pas important » dans les activités agricoles. Cette perception s'explique par le caractère intermittent et saisonnier du cours d'eau qui n'offre pas une ressource hydrique stable toute l'année pour l'irrigation.

Quant au maraîchage, est très peu développé dans la zone enquêtée. Il ne représente que 7,1% des cultures pratiquées. Cette faible proportion peut s'expliquer par plusieurs facteurs : la vulnérabilité des cultures maraîchères aux aléas climatiques comme les fortes pluies et la canicule, la disponibilité limitée d'eau en période sèche ou le manque d'équipement adapté à l'irrigation. Le maraîchage nécessite un suivi constant, de l'entretien des cultures à la gestion précise de l'eau, ce qui peut constituer un obstacle pour les producteurs aux ressources financières limitées.

Ces cultures, robustes face aux aléas climatiques, sont typiquement pluviales et cultivées sur des exploitations de taille modeste, majoritairement comprises entre 1 et 5 hectares (69,6% des cas). Cette structure agraire à petite échelle est classique pour les zones rurales sénégalaises et reflète une agriculture familiale de subsistance et semi-commerciale (ANSD, Tambacounda 2019).

Le maintien des pratiques agricoles traditionnelles est évident, avec 70,6% des agriculteurs exploitant des méthodes ancestrales, lesquelles reposent sur un travail manuel et une gestion extensive des terres. L'usage de techniques modernes ou mixtes reste limité (29,4%) en raison des contraintes d'accès aux innovations agricoles et aux infrastructures, notamment hydrauliques, dans cette zone (Plan National d'adaptation, UNFCCC ; 2025). De plus, le

¹⁷ <https://www.sustainsahel.net/fr/senegal/zone-3-tambacounda.html>

changement climatique exerce une pression manifeste sur la production agricole locale. Une très large majorité des agriculteurs soit 97% constate une baisse des rendements, liée en grande partie à la baisse et la vulnérabilité des précipitations ainsi qu'à la dégradation des sols (Rapport Enquête Agricole Annuelle 2022-2023). Cette situation conduit à une réduction des superficies cultivées (80,5%) et une modification des cycles de production (40%). La vulnérabilité accrue face à la sécheresse est relevée par plus de la moitié des producteurs (53,5%).

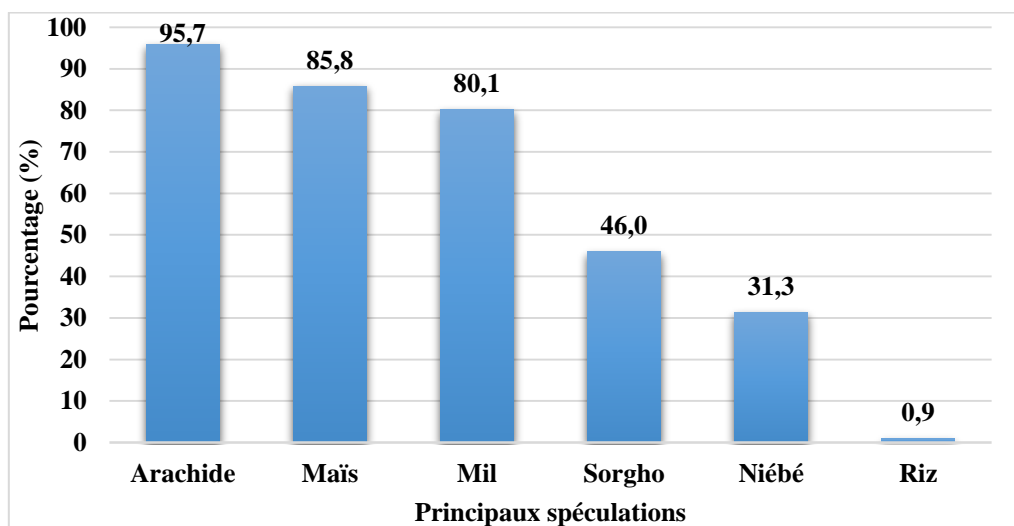


Figure 31 : Les principales spéculations cultivées dans le bassin versant du Niéri-ko (source : résultats d'enquêtes, 2024)

Tableau 38 : Perception de la population sur les caractéristiques de l’agriculture dans le bassin versant du Niéri-ko (Source : résultats d’enquêtes, 2024)

Quelles sont les différentes activités économiques pratiquées dans la localité ?			Quels types de cultures pratiquez-vous ?		
Valeur	Fréquence	Pourcentage	Valeur	Fréquence	Pourcentage
Agriculture	206	97,63	Sous pluie	206	97,63
Élevage	204	96,68	Maraîchage	15	7,11
Commerce	155	73,46	Autre	5	2,37
Autres	103	48,82		Autre	
Artisanat	2	0,95	Utilisez-vous de grandes superficies pour pratiquer l’agriculture ?		
Quelles sont les méthodes utilisez-vous pour pratiquer l’agriculture ?			Valeur	Fréquence	Pourcentage
Valeur	Fréquence	Pourcentage	Oui	184	87,20
Traditionnelles	149	70,62	Non	27	12,80
Mixtes	62	29,38	Si oui, quelle est la superficie des champs que vous cultivez ?		
	211		Valeur	Fréquence	Pourcentage
Quelles sont les spéculations que vous cultivez dans la localité ?			1 ha - 2 ha	75	35,55
Valeur	Fréquence	Pourcentage	2 ha - 5 ha	72	34,12
Arachide	202	95,73	Moins d'1 ha	34	16,11
Maïs	181	85,78	5 ha - 10 ha	26	12,32
Mil	169	80,09	Plus de 10 ha	4	1,90
Sorgho	97	45,97	Comment appréciez-vous le rôle du Niéri-ko sur l’agriculture ?		
Autres	66	31,28	Valeur	Fréquence	Pourcentage
Riz	2	0,95	Pas important	193	91,47
			Important	12	5,69
			Très important	6	2,84

5.1.3. L'élevage

L'élevage occupe une place majeure dans les activités socio-économiques du bassin versant du Niéri-ko, avec une large participation des ménages enquêtés : environ 96,7% des ménages déclarent pratiquer l'élevage. Cette prédominance se traduit par une complémentarité traditionnellement forte entre l'agriculture et l'élevage dans cette région rurale et agropastorale de Tambacounda (Sow *et al.*, 2023). Les élevages sont diversifiés dominés par les ovins (79,6%), suivis des caprins (67,3%), des volailles (52%), des bovins (47,4%) et des équins (40%), reflétant à la fois une adaptation aux contraintes environnementale locales et les choix socio-économiques des ménages (voir tableau 39).

Néanmoins, l'élevage dans cette zone fait face à de fortes pressions liées aux changements climatiques. Une majorité d'éleveurs rapporte une réduction notable des pâturages (84%) et des difficultés accrues pour l'abreuvement des animaux (76%). La qualité et la disponibilité des fourrages naturels se dégradent également, impactant près de 59% des éleveurs, tandis que l'émergence de nouvelles pathologies touche environ 31% des troupeaux, ce qui exerce une pression supplémentaire sur la productivité et la santé animale. Ces facteurs accentuent la vulnérabilité des systèmes pastoraux, déjà fragilisés par les aléas environnementaux et la rareté des ressources naturelles.

La pression liée à la multiplication des usages de la terre (agriculture, habitations) réduit encore plus les espaces de pâturage. Cette situation complique la vie des éleveurs qui voient leurs terres diminuer. Comme dans d'autres zones de la région de Tambacounda, la plupart des éleveurs utilisent les points d'eau villageois pour abreuver leur bétail, car il n'existe pas suffisamment d'infrastructures hydrauliques adaptées. Pour s'adapter à ces limites, beaucoup pratiquent la transhumance saisonnière. Grâce à cette mobilité, ils peuvent faire face aux changements dans la disponibilité des ressources naturelles.

Quant au rôle du bassin versant de Niéri-ko dans l'élevage, les perceptions sont mitigées : environ 60,6% des répondants estiment que ce bassin joue un rôle « pas important » dans cette activité. Cependant le Niéri-ko contribue indirectement à l'alimentation des ressources en eau, notamment par la recharge des nappes phréatiques et la fourniture saisonnière d'eau aux points d'abreuvement pendant la période pluvieuse. Cette situation met en lumière un potentiel encore insuffisamment exploité, qui pourrait améliorer l'accès à l'eau pour le bétail et atténuer certains risques liés à l'élevage dans la région.

Tableau 39 : Perception de la population sur les caractéristiques de l'élevage dans le bassin versant du Niéri-ko (Source : résultats d'enquêtes, 2024)

Quels sont les principales catégories d'animaux que vous élevez ?			Comment voyez-vous l'évolution de la ressource en eau sur l'élevage dans les années à venir ?		
Valeur	Fréquence	Pourcentage	Valeur	Fréquence	Pourcentage
Ovins	168	79,62	Une baisse	136	64,45
Caprins	142	67,30	Une augmentation	53	25,12
Volailles	110	52,13	Une stabilité	22	10,43
Asins	107	50,71			
Bovins	100	47,39			
Équins	85	40,28	Quels sont les impacts du changement climatique sur l'élevage ?		
Autres (pas d'animaux)	12	5,69	Valeur	Fréquence	Pourcentage
Comment appréciez-vous le rôle du Niéri-ko sur l'élevage ?			Basse des zones de pâturages	178	84,36
Valeur	Fréquence	Pourcentage	Difficulté d'abreuvement du bétail	161	76,30
Pas important	128	60,7	Qualité et disponibilité des aliments	125	59,24
Important	80	37,9	Émergence de nouvelles maladies	65	30,80
Très important	3	1,4	Autres	9	4,26

En dehors de l'agriculture et de l'élevage, d'autres activités économiques secondaires comme le commerce, l'exploitation forestière et l'artisanat sont également présentes, bien qu'elles concernent une part limitée de la population active.

Le commerce (73,46%) est largement pratiqué, notamment par la vente de produits agricoles, d'animaux ou bien manufacturés sur les marchés locaux. Cette activité permet d'écouler les excédents de produits et de diversifier les sources de revenu, contribuant, ainsi, à la sécurité économique des familles rurales.

L'exploitation forestière (48,8%), notamment le ramassage et la vente de bois de chauffage, la production artisanale de charbon de bois, ainsi que la collecte de produits forestiers non ligneux comme le miel, les fruits et la gomme, constitue également une source de revenus essentielle. Quant à l'artisanat, il occupe une place très faible sur les activités socio-économique avec 0,95%.

5.2. Perceptions locales de la dynamique des ressources en eau dans le bassin versant du Niéri-ko

Les ressources en eau dans le bassin versant du Niéri-ko sont fortement influencées par la variabilité du climat et le changement climatique (tableau 40). Selon notre enquête, les

ressources en eau sont principalement composées d'eau souterraines, comme les forages et les puits, ainsi que d'eaux de pluies, toutes deux reconnues par les habitants interrogées (100%). Les eaux de surface, comme les fleuves, rivières ou lacs, sont beaucoup moins utilisées, seulement 28% des personnes y ont recours. Cette configuration est conforme aux situations décrites par l'UNESCO (2021), qui souligne que dans de nombreuses zones semi-aride, les ressources souterraines représentent la principale réserve d'eau disponible.

Quant à la perception de la disponibilité de l'eau est assez partagée, mais globalement préoccupante. En effet, seulement 18% des personnes interrogées estiment que l'eau est suffisante, tandis que 36% la jugent peu suffisante et 46% la trouvent insuffisante. Cette situation s'explique surtout par la forte dépendance à la quantité d'eau de pluie reçue chaque saison, qui varie beaucoup d'une année à une autre. Cette variabilité de la ressource en eau rend la gestion de l'eau plus complexe et impacte fortement les activités qui en dépendent.

En outre, la perception des changements climatiques joue un rôle important dans l'appréciation de la disponibilité. Plus de 94,8% des enquêtés sont conscients des changements climatiques locaux, mentionnant une augmentation des températures (96,7%) et une modification des régimes précipitations, ce qui impacte directement la ressource en eau. Ces changements aggravent donc la variabilité naturelle, rendant la gestion et la prévision de l'eau encore plus complexe. Les fluctuations saisonnières, caractérisées par des périodes de forte pluviométrie et des saisons sèches prolongées, accentuent les difficultés d'accès à une eau suffisante et de bonne qualité, nécessitant des stratégies de gestion adaptées (PNUD, 2020)

Tableau 40 : Perception de la population sur les ressources en eaux dans le bassin versant du Niéri-ko (Source : résultats d'enquêtes, 2024)

Quels sont les différents types de ressources en eau disponibles ?			Comment appréciez-vous la disponibilité des ressources en eau dans votre localité ?		
Valeur	Fréquence	Pourcentage	Valeur	Fréquence	Pourcentage
Eau souterraine	211	100	Insuffisante	97	46,0
Eau de pluie	211	100	Peu suffisante	76	36,0
Eau de surface	59	28,0	Suffisante	38	18,0
Quels changements climatiques avez-vous observés localement ?			Êtes-vous conscient du changement climatique ?		
Valeur	Fréquence	Pourcentage	valeur	Fréquence	Pourcentage
Augmentation des températures	204	96,7	Oui	200	94,8
Modification des régimes de précipitations	184	87,2	Non	11	5,2

5.3. Changements observés dans la disponibilité de l'eau

Dans le bassin versant du Niéri-ko, des changements ont été notés dans la disponibilité de l'eau. Lors de nos enquêtes, la grande majorité des habitants (95%) ont remarqué que la disponibilité de l'eau a changé au fil du temps. Parmi eux, tous ont observé que la quantité d'eau disponible variait de plus en plus, souvent à la baisse. Cette diminution est surtout liée à la raréfaction des pluies et à la surexploitation des sources d'eau, comme le montrent des études récentes sur les régions semi-arides (UNESCO, 2022). Par ailleurs, environ 23,7% des personnes interrogées ont constaté que l'accès à l'eau est devenu plus difficile à l'instar des villages comme Bala Foulbé, Balam Boulou, Hamdallaye 2 ou encore Madina Diouna. Cela s'explique souvent par des infrastructures insuffisantes ou vieillissantes, obligeant à parcourir de plus longues distances ou à faire face à des coupures plus fréquentes.

La saisonnalité des ressources en eau, c'est-à-dire la différence entre les saisons pluvieuses et sèches, est aussi un facteur important mentionné par près de 18% des répondants. Cette variation limite fortement la disponibilité de l'eau pendant les périodes sèches et complique la planification des activités agricoles et domestiques.

Enfin, la qualité de l'eau semble moins affectée pour le moment, puisque seulement 5% des enquêtés ont perçu des changements à ce niveau. Cela pourrait indiquer que les problèmes de qualité sont encore limités ou peu ressentis par la population, même si la pollution des eaux reste un risque identifié dans d'autres études régionales (Banque mondiale, 2021) : World Bank Group. (2021). Climate Change and Water Security in West Africa. Washington, DC: World Bank.

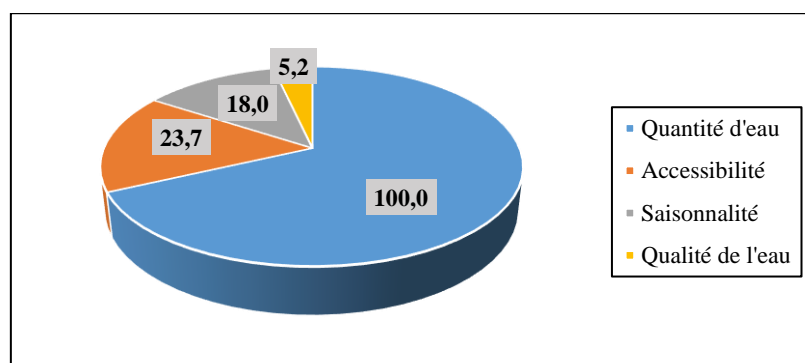


Figure 32 : Perceptions locales sur les changements de la disponibilité de l'eau dans le bassin versant du Niéri-ko (Source : résultats d'enquêtes, 2024)

5.4. Usages des différentes ressources en eau dans le bassin versant du Niéri-ko

Dans les localités enquêtées dans le bassin versant du Niéri-ko, les principaux types de ressources en eau sont l'eau souterraine (forages et puits), l'eau de pluie et, dans une moindre

mesure, l'eau de surface (fleuves, rivières, lacs). Chaque type de ressource a un usage spécifique qui répond aux besoins essentiels des populations.

5.4.1. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines constituent la principale ressource en eau pour les localités étudiées, utilisées par 100% des répondants de l'enquête, en particulier via des puits et forages. Elles jouent un rôle central dans la vie quotidienne, assurant en priorité la consommation humaine, les travaux domestiques, ainsi que les besoins en élevage. Elle est perçue comme une ressource plus stable et plus fiable comparée à l'eau de surface ou à l'eau de pluie, notamment en raison de sa moindre vulnérabilité aux fluctuations saisonnières. Cette situation est typique des zones semi-arides et soudaniennes où les nappes phréatiques constituent une réserve vitale en période de sécheresse (UNESCO, 2021).

Selon le rapport de la Banque mondiale (2021) consacré à la sécurité de l'eau en Afrique de l'Ouest, la gestion durable des eaux souterraines est un enjeu clé, car ces ressources fournissent plus de 60% de l'eau potable en milieu rural. L'accès aux forages et aux puits permet à la population d'éviter les contraintes liées au tarissement rapide des eaux de surface, souvent intermittentes.

Les enquêtes révèlent que l'eau souterraine est utilisée à 100% pour la consommation directe, à 96% pour les tâches domestiques et à environ 60% pour l'élevage. Quant à l'usage agricole, il est marginal et n'occupe que 0,95% des répondants.



Photo 1 : Forage équipé de robinets servant à l'approvisionnement en eau potable dans le village de Balam Boulou (cliché COUNDONO, décembre 2024)



Photo 2 : Puits traditionnel utilisé pour les besoins domestiques dans le village de Medina Diouna (cliché COUNDONO, décembre 2024)

Cependant, malgré cette stabilité apparente, les enquêtes révèlent que 94,79% des répondants ont constaté une diminution ou un changement dans la disponibilité de l'eau. Cette tendance inclut notamment des inquiétudes relatives à l'épuisement rapide des nappes phréatiques, mentionné par plusieurs habitants, ainsi qu'à la profondeur accrue nécessaire pour atteindre l'eau (environ 10,9% ont cité la profondeur croissante). Ces observations sont en ligne avec les analyses régionales, qui indiquent que la surexploitation des eaux souterraines, associée à la variabilité climatique, conduit à l'assèchement progressif des aquifères dans plusieurs régions semi-aride d'Afrique de l'Ouest (World Bank, 2021).

Tableau 41 : Perceptions locales sur les eaux souterraines (Source : résultats d'enquêtes, 2024)

Eau souterraine			Avez-vous observé des changements dans la disponibilité en eau ?		
Valeur	Fréquence	Pourcentage	Valeur	Fréquence	Pourcentage
Puits	211	100	Oui	200	94.79
Forage	211	100	Non	11	5.21

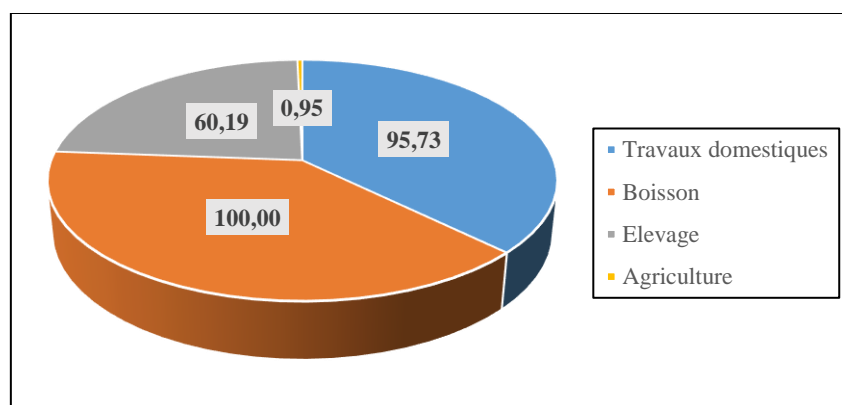


Figure 33 : Perceptions locales sur les différents usages des eaux souterraines dans le bassin versant du Niéri-ko (Source : résultats d'enquêtes, 2024)

5.4.2. Les eaux pluviales : une ressource essentielle mais vulnérable

Dans la localité étudiée à la commune de Goumbayel, l'eau de pluie constitue une ressource hydrique majeure, reconnue et utilisée par 100% des répondants. Son importance est particulièrement marquée dans le secteur agricole, où près de 94,3% des enquêtés l'utilisent pour les activités agricoles, ainsi que pour l'élevage (64,5%) et parfois des travaux domestiques (29,8%). Cet usage traduit un système fortement dépendant de la pluviométrie locale, où les précipitations sont une source directe d'innombrables usages et d'activités génératrices de revenus.

Tableau 42 : Perceptions locales sur les différents usages des eaux des pluies (Source : résultats d'enquêtes, 2024)

À quelle fin utilisez-vous les eaux de pluie ?		
Valeur	Fréquence	Pourcentage
Agriculture	199	94,31
Élevage	136	64,45
Travaux domestiques	63	29,86
Pas d'utilisation	3	1,42
Boisson	2	0,95

En zones rurales d'Afrique de l'Ouest, l'agriculture pluviale est la principale forme d'agriculture vivrière. Comme le souligne la FAO (2018), environ 95% des terres cultivées en Afrique subsaharienne dépendent des précipitations saisonnières, ce qui rend la pluie indispensable pour assurer la production alimentaire et les revenus des populations rurales. La dépendance à l'eau de pluie implique cependant une grande vulnérabilité. Les fluctuations interannuelles et intra-annuelles des précipitations génèrent des périodes de stress hydrique, limitant la production agricole et accroissant l'insécurité alimentaire (GIEC, 2022). La variabilité climatique récente accentue l'insécurité alimentaire, notamment par les sécheresses plus fréquentes et intenses.

L'eau de pluie, en plus d'alimenter directement les champs, est parfois captée via des systèmes de récupération en complément des ressources souterraines. Cette gestion mixte est recommandée par des organismes comme le PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) pour améliorer la résilience des communautés rurales face aux aléas climatiques (UNEP, 2021).

Comme en témoignent les données d'enquêtes, l'eau de pluie est un pilier des pratiques agricoles et d'élevage. Toutefois, cette ressource reste saisonnière et insuffisante en période sèche, obligeant à recourir à l'eau souterraine. La rareté et l'irrégularité des pluies rendent indispensable le développement de techniques d'irrigation et de conservation des eaux.

En plus de cela, 94% des répondants sont conscients du changement climatique, pointant notamment une modification des régimes de précipitations dans 87% des cas. Cette modification affecte directement la disponibilité et la fiabilité de l'eau de pluie.

5.4.3. Les eaux de surface : une ressource limitée et très saisonnière

Les eaux de surface (les fleuves, rivières et lacs) représentent une ressource hydrique importante dans divers contextes, mais peu exploitée localement. Selon les enquêtes menées, seulement 28% des répondants déclarent les utiliser comme source d'eau, avec un usage principalement orienté

vers l'élevage (24,6%) et dans une moindre mesure vers l'agriculture (3,3%). Cette faible exploitation s'explique principalement par la forte saisonnalité. En effet, ces ressources s'épuisent rapidement dès la fin de la saison des pluies. Entre les saisons, leur volume baisse considérablement, ce qui limite leur emploi pour les besoins quotidiens tout au long de l'année.

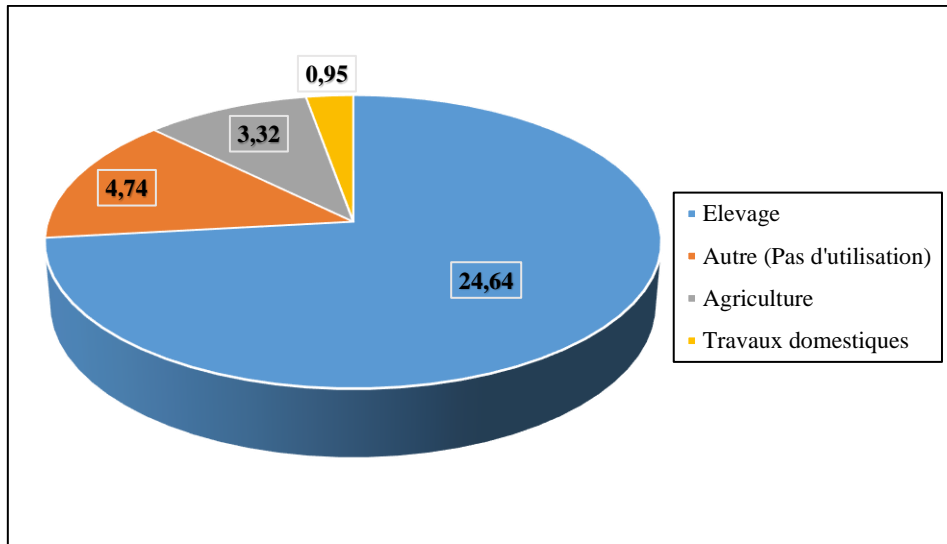


Figure 34 : Perceptions locales des différents usages des eaux de surface (Source : résultats d'enquêtes, 2024)

Cette situation est typique des zones semi-arides telles que celles d'Afrique de l'Ouest, où les précipitations sont irrégulières et souvent concentrées sur quelques mois seulement. L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) souligne que cette disponibilité très variable rend nécessaire une gestion particulière des eaux de surface, notamment par la construction de dispositifs de stockage ou par la protection des bassins versants afin de maximiser la rétention d'eau en saison humide (FAO, 2021).

Par ailleurs, la qualité de ces eaux peut être affectée par le ruissellement, la pollution agricole ou domestique. Cela complique leur mise à disposition pour la consommation sans traitement préalable, surtout dans les zones rurales (Banque Africaine de Développement, 2011). Toutefois, dans la localité étudiée, peu d'habitants signalent des problèmes de qualité, ce qui s'explique soit par un usage limité à l'élevage, soit par une perception moindre des risques sanitaires.

Enfin, les variations climatiques récentes accentuent le tarissement précoce de ces ressources. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) note que la fréquence et la sévérité des sécheresses augmentent en Afrique de l'Ouest, réduisant ainsi la stabilité des eaux de surface et rendant leur gestion d'autant plus cruciale (GIEC, 2022).



Photo 3 : Situation du bassin versant du Niéri-ko en période sèche dans la commune de Goumbayel (cliché COUNDONO, décembre 2024)

Conclusion partielle

L'analyse des données fait apparaître clairement que le bassin versant du Niéri-ko est un territoire en plein développement où les activités socio-économiques, notamment l'agriculture et l'élevage, jouent un rôle central. Cependant, les ressources en eau, indispensables à ces activités, sont soumises à une pression croissante liée à l'augmentation démographique, aux différents usages et aux variations climatiques. La surexploitation des eaux souterraines conduit à une réduction préoccupante de leur disponibilité, tandis que les eaux de surface, bien que présentes, restent peu utilisées en raison de leur caractère saisonnier. Ces constats soulignent l'urgence de mettre en œuvre des stratégies d'adaptation efficaces et durables, visant à mieux gérer les ressources hydriques et à renforcer la résilience des communautés face aux effets du changement climatique.

CHAPITRE VI : Les impacts de la dynamique des ressources en eau sur les activités socio-économiques et les stratégies d'adaptation dans le bassin versant du Niéri-ko

L'eau représente le pilier central du développement économique et social au Sénégal. Cependant, le bassin versant du Niéri-ko, tout comme la plupart des bassins versant dans le pays, traverse aujourd'hui une période particulièrement critique. D'un côté, la pression sur les ressources en eau s'intensifie avec la croissance démographique et l'expansion des activités économiques. De l'autre, le changement climatique et les variabilités climatiques réduisent les précipitations affectant aussi bien les eaux de surface que les eaux souterraines. Cette double contrainte crée un cercle vicieux : moins de pluie signifie moins d'eau disponible, tandis que les besoins ne cessent d'augmenter. Comme le soulignent Funk *et al.* (2019), « *la plupart des populations vulnérables vivent en Afrique, en Amérique centrale ou en Asie du Sud-Ouest. Lorsque les pluies manquent, les revenus diminuent tandis que les prix alimentaires augmentent*¹⁸ ». La dégradation progressive des sols amplifie encore ces difficultés, mettant en péril la survie des communautés locales ainsi que leurs activités. Le phénomène est d'autant plus complexe qu'il présente des paradoxes hydrologiques surprenant. Selon Descroix *et al.* (2018), « *dans le Sahel ouest-africain, deux comportement hydrologiques paradoxaux se sont produits au cours des cinq dernières décennies* », notamment une augmentation du ruissellement pendant la période de grande sécheresse des années 1968-1990, suivie d'une poursuite de cette tendance malgré la récupération des précipitations depuis les années 1990¹⁹. Face à ces défis, les populations ont mis en place des stratégies d'adaptation pour préserver et mieux gérer leurs ressources hydriques. Dans ce chapitre, nous allons étudier la dynamique de l'environnement et des activités humaines dans le bassin versant et ensuite examiner les solutions que les populations ont mises en place pour s'adapter et mieux gérer les ressources en eau.

6.1. Impacts de la variabilité et du changement climatique sur les activités socio-économiques et sur le milieu

La variabilité et le changement climatique exercent aujourd'hui une pression croissante sur les écosystèmes naturels et les activités humaines, en particulier dans le bassin versant du Niéri-ko. Ces phénomènes modifient les conditions climatiques, entraînant des perturbations sur la disponibilité des ressources en eau ainsi que sur les pratiques agricoles et pastorales. Les

¹⁸ <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/100/6/bams-d-17-0233.1.xml> consulté le 15 août 2025

¹⁹ <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/6/748> consulté le 15 août 2025

populations locales, dont les moyens de subsistance dépendent étroitement de ces ressources, voient leurs activités socio-économiques affectées par cette évolution climatique.

6.1.1. Impacts sur les activités socio-économiques

Dans le bassin versant du Niéri-ko, les effets de la variabilité et du changement climatique se font ressentir sur toutes les activités en lien direct ou indirect à la ressource en eau, comme on peut le voir dans le tableau 43. En effet, la majorité des activités dans le bassin versant repose sur les ressources en eau. Ainsi, lorsque le cycle de l'eau est perturbé par le changement climatique, cela affecte directement des secteurs comme l'agriculture et l'élevage qui ont besoin d'un accès régulier à l'eau et indirectement d'autres activités telles que le commerce. Cette raréfaction de la ressource crée une forte concurrence entre les différents utilisateurs, d'autant plus que le changement climatique vient amplifier ces tensions.

Tableau 43 : Les causes et impacts de la variabilité et du changement climatique sur les activités socio-économiques du bassin versant du Niéri-ko (Source : enquête, décembre 2024)

Causes	Impacts
Sur le secteur de l'agriculture	
<ul style="list-style-type: none"> • Diminution et irrégularité des précipitations (87,2%) • Augmentation des températures (96,7%) • Sécheresse (45,5%) • Modification des cycles de cultures (40,3%) 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des rendements agricoles (97,2%) • Baisse de productivité (78,7%) • Vulnérabilité accrue à la sécheresse (53,5%) • Réduction des surfaces cultivées (80,5%)
Sur le secteur de l'élevage	
<ul style="list-style-type: none"> • Diminution des points d'eau • Baisse du nombre de bétail • Dégradation des pâturages (84,4%) • Apparition des nouvelles maladies (30,8%) 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté d'abreuvement du bétail (76,3%) • Baisse de la production animale • Augmentation des conflits liés aux ressources • Hausse de la mortalité du cheptel
Sur l'accès à l'eau potable et l'usage domestique	
<ul style="list-style-type: none"> • Forte diminution et irrégularité de la disponibilité en eau (94,8%) • Infrastructures souvent inadéquates (81%) • Augmentation de la demande liée à la croissance démographique • Problèmes de qualité de l'eau perçus par une minorité (11%) 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de l'accès à l'eau potable • Hausse du coût et des tarifs de la production de l'eau potable • Apparition et développement de maladies hydriques
Sur le commerce	
<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté d'approvisionnement liée aux contraintes climatiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Baisse des revenus liée à la baisse de la production agricole et animale (73,5% pratiquent le commerce, impact indirect)
Sur l'exploitation forestière	
<ul style="list-style-type: none"> • Pression sur la végétation liée aux pratiques et au climat 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des produits forestiers (49%) • Diminution des produits forestiers disponibles

L'analyse de ce tableau 43 montre une forte interdépendance entre les phénomènes climatiques et les conditions socio-économiques locales dans le bassin versant du Niéri-ko.

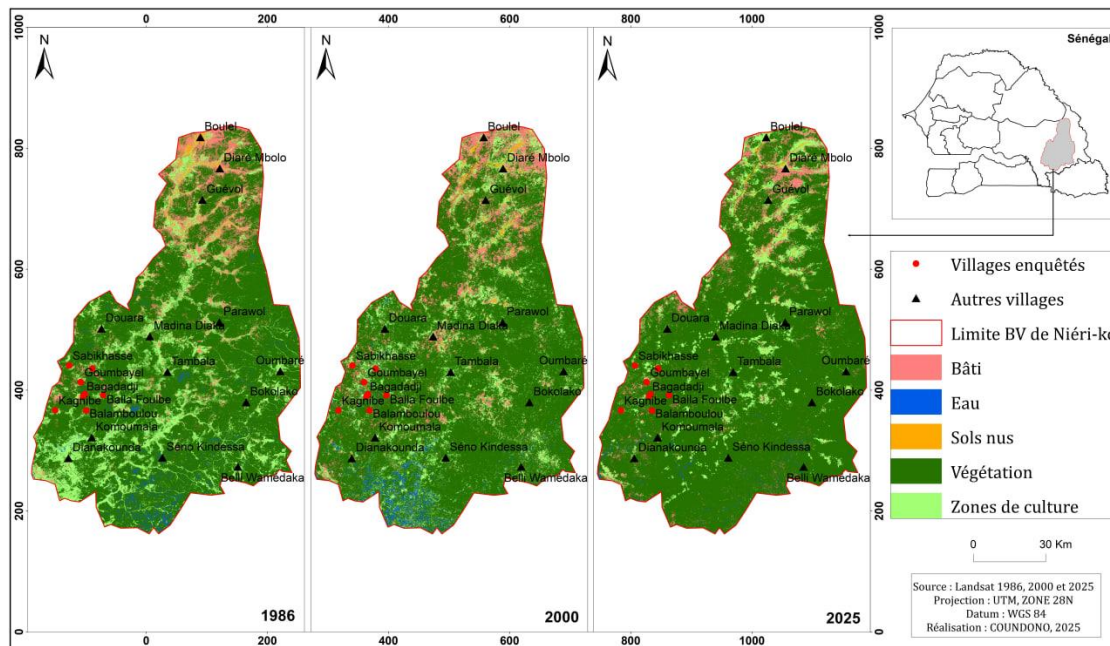
Tout d'abord, le secteur agricole est le premier à ressentir les effets de la variabilité et changement climatique, notamment à travers la diminution et l'irrégularité des précipitations (87,2%) et l'augmentation des températures (96,7%) d'après les résultats des enquêtes. Ces aléas climatiques engendrent une sécheresse (45,5%) et obligent à modifier les cycles de cultures (40,3%). En conséquence, on observe une réduction des rendements agricoles (97,2%), une baisse de la productivité (78,7%), une vulnérabilité accrue à la sécheresse (53,5%) et une réduction des surfaces cultivées (80,5%). L'insécurité alimentaire devient donc une menace pour les populations du bassin.

Ensuite, pour le secteur de l'élevage, les points d'eau deviennent de plus en plus rares, ce qui accentue la difficulté d'abreuvement du bétail (76,3% d'après les enquêtes). La dégradation des pâturages (84,4%) et l'apparition de nouvelles maladies (30,8%) entraînent une baisse de la production animale et une hausse de la mortalité du cheptel. Cette situation favorise, par conséquent, l'augmentation des conflits liés aux ressources. La compétition pour l'eau et les pâturages devient de plus en plus forte face à la raréfaction de ces ressources essentielles.

Enfin, pour ce qui est de l'accès à l'eau potable et aux usages domestiques, le changement climatique se manifeste à travers une forte diminution et irrégularité de la disponibilité en eau (94,8). Ce phénomène est accentué par des infrastructures inadéquates (81%) et une hausse de la demande liée à la croissance démographique. Quant au secteur du commerce, les effets indirects des contraintes climatiques sont non négligeables. En effet, la difficulté d'approvisionnement en produits agricoles et animaux provoque une baisse des revenus chez les commerçants (73,5% pratiquant le commerce). Cela menace la stabilité économique des familles et accentue la pauvreté. Pour l'exploitation forestière, la pression sur la végétation liée aux pratiques et au climat engendre une réduction des produits forestiers (49%) et une diminution des produits forestiers disponibles. Cela touche non seulement la biodiversité mais aussi les ressources pour les populations dépendantes de la forêt.

6.1.2. Étude des changements d'occupation du sol (1986-2025)

Les unités d'occupation du sol du bassin versant du Niéri-ko présentent des évolutions contrastées entre 1986 et 2025, avec des variations dans leur répartition spatiale et leur étendue. Le tableau des surfaces (tableau 44) montre ces transformations quantitatives, tandis que la carte permet de visualiser clairement ces changements sur la période étudiée.



Carte 8 : Changement d'occupation du sol dans le bassin versant du Niéri-ko entre 1986-2025

D'abord, la végétation connaît une croissance significative sur cette période, passant de 812 248 ha en 1986 à 954 525 ha en 2025, soit une augmentation de plus de 17%. Cette progression s'explique principalement par le recul des surfaces agricoles, preuve d'un phénomène de déprise rurale. Ce constat s'inscrit dans le cadre plus large observé dans le sud du Sénégal et l'Afrique de l'Ouest, où l'abandon des terres cultivées favorise la régénération de la végétation (Sow *et al.*, 2024). L'expansion de la végétation contribue ainsi à stabiliser les sols, réduire l'érosion et améliorer la biodiversité locale.

Parallèlement, les zones de cultures déclinent de manière significative, diminuant de près de 49,21% entre 1986 et 2025. Cette réduction traduit des changements dans les modes de vie ruraux, avec des migrations vers les centres urbains (Faye, 2013). Cette tendance élimine des pratiques agricoles traditionnelles au profit d'un retour à une occupation plus naturelle du sol, renforcée également par la rareté des ressources en eau.

La surface des sols nus, souvent signe de dégradation ou d'érosion active, diminue aussi fortement, passant de 12169,3 ha en 1986 à 6428,9 ha en 2025, soit une diminution de 47%. Cette diminution indique que des processus de stabilisation des terres sont à l'œuvre (Sow *et al.*, 2024). La réduction des sols nus au profit de la végétation ou d'autres usages est un signe encourageant de résilience paysagère.

En ce qui concerne, les surfaces en eau, une augmentation est observée entre 1986 et 2000 avec un taux d'évolution de 21%, suivie d'une chute drastique de 80% en 2025. Cette fluctuation s'explique par les aléas climatiques et l'exploitation des ressources hydriques, un phénomène

décrit dans les bassins versants ouest-africains soumis à de fortes variations pluviométriques (IRD, 2012). Ces changements peuvent affecter la disponibilité de l'eau pour l'agriculture et les populations locales, renforçant, ainsi, les vulnérabilités socio-environnementales.

Entre 1986 et 2000, les surfaces bâties ont augmenté, passant de 94077,1 ha à 108191,2 ha, soit une hausse de 15%. Cependant, cette tendance s'inverse entre 2000 et 2025, avec une baisse notable à 67128,9 ha, ce qui représente une diminution d'environ 38%. Cette situation pourrait refléter un déplacement des populations, une concentration des habitats ou les effets combinés des problèmes économiques et démographiques observés dans les zones rurales sénégalaises.

Tableau 44 : Statistiques des classes d'occupation du sol dans le bassin versant du Niéri-ko de 1986 à 2025

Classes	Surface (ha)					
	1986	2000	Évolution (1986-2000)	2025	Évolution (2000-2025)	Évolution (1986-2025)
Eau	15377,9	18638,4	21,20	3749,2	-79,88	-75,62
Bâties	94077,1	108191,2	15,00	67128,9	-37,95	-28,64
Sols nus	12169,3	9650,7	-20,70	6428,9	-33,38	-47,17
Végétations	812248,0	842603,0	3,74	954525,3	13,28	17,52
Zones de cultures	199038,0	153826,1	-22,72	101085,6	-34,29	-49,21

Plusieurs études scientifiques sur les bassins versants d'Afrique de l'Ouest montrent que ces dynamiques se produisent là où la pression des activités agricoles recule (par changement de pratiques ou exodes), permettant une régénération naturelle. Les modifications climatiques et la gouvernance locale jouent également un rôle, car elles influencent la disponibilité de l'eau, la gestion des terroirs et la redistribution des ressources. De plus, la tendance à la baisse des zones bâties et de cultures indique que les transformations démographiques influent directement sur la structure spatiale du bassin versant de Niéri-ko.

6.2. Perception de la population sur les stratégies de gestion de l'eau dans le bassin versant du Niéri-ko

La gestion des ressources d'un bassin versant est fondamentale pour sauvegarder les écosystèmes, assurer la disponibilité de l'eau et favoriser le développement des activités socio-économiques. Ces actions visent à organiser l'utilisation des ressources afin de satisfaire les besoins variés de la population. D'après les résultats de l'enquête, la gestion de l'eau est surtout assurée par la communauté villageoise, qui représente plus de 96 % des personnes responsables. Ce sont principalement le maire et le chef de village qui coordonnent cette gestion avec un rôle moindre pour les notables, les ONG et le préfet. La grande majorité des habitants (près de 97%) participent activement à la gestion de l'eau. Cependant, à peine la moitié des personnes

interrogées disent qu'il existe un système de suivi et d'évaluation pour mieux gérer cette ressource. Un peu plus de la moitié des personnes ont développé des initiatives pour gérer l'eau, tandis que les autres n'en ont pas encore. Pour faire face au changement climatique, la plupart ont choisi de diversifier les cultures et beaucoup participent à des campagnes de sensibilisation et de formation. Pour mieux gérer l'eau, la population souhaite surtout que le gouvernement investisse davantage dans les infrastructures et organise plus de programmes de sensibilisation.

Tableau 45 : Perception de la population sur les stratégies de gestion de l'eau dans le bassin versant du Niéri-ko

Qui est le responsable de gestion des ressources en eau dans la localité ?			Qui est le coordinateur de la gestion ?		
Valeur	Fréquence	Pourcentage	Valeur	Fréquence	Pourcentage
Communauté villageoise	203	96,209	Maire	110	52,133
Autre	5	2,370	Chef de village	97	45,972
Projet	2	0,948	Notable	2	0,948
ONG	1	0,474	ONG	1	0,474
La communauté locale est-elle impliquée dans la gestion de la ressource ?			Préfet	1	0,474
Avez-vous développé des initiatives de gestion des ressources en eau ?					
Valeur	Fréquence	Pourcentage	Valeur	Fréquence	Pourcentage
Oui	204	96,682	Oui	122	57,820
Non	7	3,318	Non	89	42,180
Y a-t-il un système de suivi-évaluation dans le cadre de la gestion de l'eau ?					
Valeur	Fréquence	Pourcentage	Valeur	Fréquence	Pourcentage
Non	111	52,607	Quelles sont les principales mesures mises en place pour s'adapter au changement climatique ?		
Oui	100	47,393	Diversification des cultures	200	94,787
Quelles politiques gouvernementales aimeriez-vous voir mise en place pour gérer les ressources en eau ?			Sensibilisation et formation	90	42,654
Valeur	Fréquence	Pourcentage	Techniques de conservation de l'eau	62	29,384
Investissements dans les infrastructures	208	98,578	Amélioration des infrastructures hydrauliques	62	29,384
Programme de sensibilisation	189	89,573	Autres		
Réglementation stricte de l'utilisation de l'eau	70	33,175		13	6,161

6.3. Stratégies communautaire d'adaptation aux impacts du changement climatique sur les ressources en eau et sur les activités socio-économiques

Dans le contexte actuel du changement climatique, les stratégies adoptées par les populations locales autour des ressources en eau ainsi que les activités socio-économiques révèlent une dynamique d'adaptations mais aussi des défis importants à surmonter.

6.3.1. Stratégies autour des ressources en eau

La gestion des ressources en eau est majoritairement communautaire, avec près de 96% des responsabilités assumées par la communauté villageoise. Cette gestion locale s'appuie sur plusieurs stratégies dont la plus importante est l'installation de robinets munis de compteurs pour facturer la consommation d'eau (22%). Cette mesure vise à responsabiliser les usagers en les incitant à limiter leur usage pour préserver la ressource, particulièrement dans un contexte où 46% des répondants jugent la disponibilité en eau insuffisante. Cette stratégie est surtout observée dans les localités comme Goumbayel et Kagnibé, où les forages sont disponibles. En revanche, d'autres villages tels que Bala Foulbé, Balam Boulou, Hamdallaye 2 ou encore Madina Diouna en sont dépourvus et doivent se tourner vers les forages et les puits. La différenciation des usages est également une stratégie essentielle : l'eau de forage et de robinet est réservée exclusivement à la consommation humaine, tandis que l'eau des puits et de pluie sert principalement à l'abreuvement du bétail et aux tâches domestiques. Cette distinction optimise l'utilisation et réduit les pressions sur les ressources les plus sensibles. Toutefois, cette différenciation n'est pas toujours maintenue tout au long de l'année, car lors des périodes de rareté, les habitants doivent parfois utiliser les mêmes ressources (forages ou puits) pour la consommation et l'abreuvement.

Malgré ces efforts, l'insuffisance des ressources financières demeure la principale limitation, qui affecte directement la capacité à investir dans des infrastructures adaptées. Le manque d'information et la résistance au changement sont aussi des freins notables, tandis qu'à peine 29% des enquêtés ont adopté des techniques de conservation de l'eau et moins de 30% ont bénéficié d'amélioration des infrastructures hydrauliques. Cela montre l'importance d'un soutien externe, que ce soit par des programmes de sensibilisation massifs (souhaités par 90% des enquêtés) ou par de nouveaux investissements.

6.3.2. Adaptations agricoles face au changement climatique

L'agriculture est la principale activité économique, avec une large prédominance des cultures pluviales comme l'arachide, le maïs, le mil et le sorgho. Ce mode de culture traditionnel, pratiqué majoritairement avec des méthodes traditionnelles (71%), est fortement sensible aux aléas climatiques. En réponse, une panoplie de stratégies agricoles d'adaptation a émergé : la diversification des cultures est la mesure la plus adoptée (78%), permettant de répartir les risques liés aux variations climatiques. De plus, 81% des répondants réduisent les surfaces cultivées, probablement pour mieux gérer la ressource en eau et la fertilité du sol limités par la sécheresse et les précipitations irrégulières. Le changement de cultures vers des espèces mieux adaptées au climat actuel est aussi significatif (65%). Toutefois, l'adoption de techniques plus

modernes, comme l'irrigation améliorée, est encore limitée (2%), dévoilant un champ d'intervention potentiel pour les politiques agricoles. En plus, l'évolution de la ressource en eau est perçue comme un facteur déterminant pour l'avenir de l'agriculture avec 61,6% prévoyant qu'elle aura un impact majeur, ce qui appelle à renforcer les efforts pour améliorer l'accès à l'eau et la conservation dans les pratiques agricoles.

6.3.3. Stratégies dans l'élevage face au changement climatique

Pour l'élevage, il est la deuxième activité principale avec l'agriculture. Il est profondément affecté par les conditions climatiques changeantes. Les difficultés principales sont la réduction des zones de pâturages, entraînant une pression accrue sur les espaces disponibles, ainsi que des défis importants liés à l'abreuvement du bétail. La qualité et la disponibilité des aliments pour animaux sont également compromises, comme en témoignent 59% des personnes interrogées. Pour pallier ces problèmes, certaines mesures d'adaptations se dessinent, même si elles sont encore peu structurées : gestion plus raisonnée des terres pastorales et ajustement des pratiques d'élevage. Cependant, la majorité des élevages dépend encore fortement des ressources naturelles, ce qui les rend vulnérables. Le rôle du Niéri-ko est diversement apprécié ; une grande partie de la population le juge peu ou pas important. Cela suggère la nécessité d'une meilleure intégration du bassin versant dans le soutien au secteur de l'élevage.

6.4. La gouvernance de l'eau dans la commune de Goumbayel

La gouvernance de l'eau dans la commune de Goumbayel repose essentiellement sur une organisation communautaire solide, où la gestion est assurée par la communauté villageoise dans près de 96% des cas. Cette approche reflète une tradition d'autonomie dans la gestion des ressources naturelles et constitue une réponse pragmatique aux contraintes liées au manque d'infrastructures et de financements.

Parmi les initiatives concrètes mises en place, l'installation de robinets équipés de compteurs pour facturer la consommation d'eau occupe une place centrale. Cette solution encourage une utilisation plus responsable de l'eau. On la retrouve dans certaines localités qui disposent de ces infrastructures, tandis que d'autres villages doivent recourir aux forages et puits, surtout en période de sécheresse lorsque l'eau se fait plus rare. La facturation à l'aide des compteurs, l'ajustement des tarifs selon la consommation et la cotisation collective, comme la participation financière de chaque femme, sont autant de stratégies qui participent à la pérennité et à la bonne gestion de la ressource.

Un autre aspect important est la différenciation des usages de l'eau : l'eau provenant des forages et des robinets est réservée à la consommation humaine, tandis que celle des puits et de la pluie

est essentiellement utilisée pour abreuver le bétail et parfois pour les travaux domestiques. Cette organisation spatiale et fonctionnelle traduit une gestion réfléchie, même si elle est mise à rude épreuve lors de la saison sèche, période durant laquelle la ressource devient particulièrement rare. Cependant, cette gouvernance communautaire fait face à plusieurs défis majeurs : le manque de ressources financières limite les investissements nécessaires pour améliorer les infrastructures, le déficit d'information freine l'adoption des techniques modernes, et la résistance au changement ralentit la mise en œuvre des nouvelles pratiques.

Cette gouvernance locale s'inscrit dans la lignée d'autres expériences menées dans plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest, où les comités locaux de l'eau jouent un rôle déterminant dans la prévention des conflits d'usage et la répartition équitable des ressources. Ces exemples montrent que le renforcement institutionnel et technique est indispensable pour accroître la résilience des communautés face aux bouleversements climatiques (Rapport IWRM, 2018).

En ce qui concerne la cartographie des acteurs, on peut identifier plusieurs groupes :

- La communauté villageoise représente 96,2% de l'implication dans la gestion.
- Le comité de pilotage local (0,8%), qui coordonne et supervise,
- Les projets de développement (0,95%) apportant ressources et expertise,
- Les ONG (0,47%) pour l'accompagnement, formation et sensibilisation,
- Les autres groupes (2,4%) intervenant ponctuellement,
- Et les zones sans organisation formelle (0,2%).

Conclusion partielle

Le bassin versant du Niéri-ko fait face à de nombreux défis liés au changement climatique, qui impactent fortement les ressources en eau et les activités de ses habitants, notamment l'agriculture et l'élevage. La diminution des précipitations, la hausse des températures et la raréfaction de l'eau créent une pression constante sur les moyens de subsistance, provoquant des difficultés d'accès à l'eau potable, une baisse des productions agricoles et animales, ainsi qu'une augmentation des conflits autour des ressources. Par ailleurs, l'analyse des changements d'occupation du sol révèle un recul des surfaces cultivées et bâties avec une expansion de la végétation, signe d'une certaine résilience écologique mais aussi d'évolutions sociodémographiques importantes. Face à ces défis, la gouvernance de celle-ci repose essentiellement sur les communautés villageoises qui adoptent diverses stratégies d'adaptation, telles que la diversification des cultures et la différenciation des usages de l'eau, malgré des ressources financières et techniques limitées. Ces résultats soulignent la nécessité d'un soutien

renforcé, notamment par des investissements dans les infrastructures, une meilleure organisation institutionnelle et des programmes de sensibilisation, afin d'assurer une gestion durable des ressources hydriques et de préserver le bien-être des populations dans le bassin.

Conclusion de la partie III

Le bassin versant du Niéri-ko, territoire en développement où l'agriculture et l'élevage sont les principales activités, subit une forte pression sur ses ressources en eau liée à la croissance démographique (+50 % entre 2013-2023) et au changement climatique (Diatta, 2000 ; Dione, 2010). Les impacts sont majeurs sur les activités socio-économiques : 97,2 % des agriculteurs constatent une baisse des récoltes, 80,5 % réduisent leurs surfaces cultivées, tandis que 84,4 % des éleveurs observent une diminution des pâturages (GIEC, 2018 ; UNFCCC, 2025). L'analyse diachronique de l'occupation des sols (1986-2025) confirme ces tendances avec un recul significatif des surfaces cultivées (-49,21 %) et en eau (-75,62 %), signes d'évolutions sociodémographiques importantes.

Face à ces défis, les communautés villageoises développent diverses stratégies d'adaptation, notamment la diversification des cultures (94,8 % des agriculteurs), la gestion collective de l'eau (96,2 % des communautés) et l'installation de compteurs, malgré des ressources financières et techniques limitées. Cependant, ces initiatives restent insuffisantes face à l'ampleur des défis posés par le changement climatique. Un soutien renforcé s'avère indispensable, notamment par des investissements dans les infrastructures hydrauliques, une meilleure organisation institutionnelle et le développement de politiques d'adaptation climatique intégrées (OSS, 2022 ; UNCCD, 2022), afin d'assurer une gestion durable des ressources hydriques et de renforcer la résilience des populations dans le bassin.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de cette recherche consacrée au bassin versant du Niéri-ko, il ressort que la dynamique spatio-temporelle des ressources en eau conditionne le rythme du développement et des activités socio-économiques locales. La forte croissance démographique (+50% entre 2013 et 2023), conjuguée à des variations climatiques de plus en plus imprévisibles, accentue la pression exercée sur les ressources en eau, rendant les populations plus vulnérables face aux aléas climatiques.

Les diverses analyses menées confirment que les facteurs physiques (géologie, relief, structures du sol et végétations) exercent une influence majeure sur la réponse hydrologique du bassin. La faiblesse de la pente (0,55 m/km) dans le bassin et la nature des sols favorisent les pertes d'eau par évaporation et limitent les écoulements.

L'analyse de la variabilité climatique telles que les précipitations et les températures sur la période 1970 à 2021 et les projections issues des scénarios climatiques SSP1-2.6 et SSP5-8.5 ont montré une augmentation des températures et une irrégularité, voire une diminution des précipitations annuelles. Les tests statistiques de Pettitt et de Mann-Kendall confirment la présence de rupture en 2002 dans les régimes pluviométriques et d'une tendance accrue aux phénomènes extrêmes. Ainsi ces résultats confirment la première hypothèse selon laquelle « *La variabilité et le changement climatique se traduit par une hausse des températures et une baisse des précipitations dans le bassin versant du Niéri-ko* ».

L'analyse des débits grâce aux données de la station de Goumbayel sur la période 1997 à 2009 révèle une régression de l'écoulement et un coefficient de ruissellement faible sur la période étudiée. Cette baisse est aggravée par une évapotranspiration importante et un déficit progressif en eau de surface et souterraines, validant ainsi la deuxième hypothèse : « *La dynamique hydrologique est régressive, entraînant une baisse de la disponibilité en eau dans le bassin versant du Niéri-ko* ».

Les enquêtes de terrain menées dans les huit (8) villages dans la commune de Goumbayel révèlent une vulnérabilité importante des activités agricoles (réductions des surfaces cultivées et des rendements), des contraintes accrues pour l'élevage avec la diminution des pâturages, la mortalité animale ou conflit d'usage, et des difficultés croissantes d'accès à l'eau potable. Cette réalité est en cohérence avec la troisième hypothèse qui stipule que « *La diminution des ressources en eau impacte négativement les activités socio-économiques majeures du bassin, notamment l'agriculture et l'élevage* ».

Bien que diverses stratégies d'adaptation existent comme la gestion communautaire, installations de compteurs, utilisation différenciée des ressources en eau, recours aux forages et puits..., l'analyse montre que ces réponses restent limitées par le manque de ressources techniques, financières et organisationnelles. Ainsi la capacité d'adaptation quoique dynamique, demeure encore insuffisante face aux exigences imposées par la variabilité et le changement climatique, validant la quatrième hypothèse, selon laquelle « *Les stratégies mises en place pour préserver les ressources en eau et soutenir les activités socio-économiques majeures du bassin sont insuffisantes face à l'ampleur des défis posés par le changement climatique* ».

Ce travail de recherche représente un véritable apport scientifique, en ce qu'il éclaire sur les effets de la variabilité et du changement climatique sur la gestion des ressources en eau dans le bassin de Niéri-ko. Elle contribue de manière significative à la compréhension des mécanismes hydrologiques à l'œuvre dans le contexte de mutations environnementales, tout en mettant en relation la complexité des interactions entre climat et dynamiques socio-économiques.

Comme toute œuvre scientifique, ce travail présente des limites comme : les lacunes dans les séries pluviométriques et hydrométriques (données manquantes), les incertitudes liées aux données de simulations, les risques de biais dans l'échantillonnage et la collecte des données socio-économiques. Pour approfondir cette recherche, nous prévoyons d'utiliser un modèle hydrologique tel que le modèle GR2M et d'élargir l'analyse dans l'ensemble du bassin versant du Niéri-ko afin de pouvoir comparer les stratégies d'adaptations mis en œuvre par les communes face aux impacts du changement climatique. En outre, comparer la situation du Niéri-ko à celle d'autres bassins versants sénégalais soumis à des contraintes similaires pour identifier des modèles adaptatifs transférables.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdou, H., Adamou Karimou, I., Harouna, B. K., & Zataou, M. T. (2020). *Perception du changement climatique des éleveurs et stratégies d'adaptation aux contraintes environnementales : Cas de la commune de Filingué au Niger*. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 73(2), 81-90. <https://doi.org/10.19182/remvt.31873>

Adzandeh, N. A., & Acheampong, E. O. (2023). *Assessment of Shared Socioeconomic Pathway (SSP) Climate Scenarios and its Impacts on the Greater Accra Region*. *Climate Risk Management*, 40, 100536.

Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD). (2021). *Situation économique et sociale de la région de Tambacounda, édition 2019*. Ministère de l'Économie, du Plan et de la Coopération, Sénégal.

Aka, K. S. R., Akpavi, S., Dibi, N. H., Kabo-Bah, A. T., Gylbag, A., & Boamah, E. (2023). *Toward understanding land use land cover changes and their effects on land surface temperature in yam production area, Côte d'Ivoire, Gontougo Region, using remote sensing and machine learning tools (Google Earth Engine)*. *Frontiers in Remote Sensing*, 4, Article 1221757. <https://doi.org/10.3389/frsen.2023.1221757>.

Andrianasolo, H., et al. (2014). *Comparing impacts of climate change on streamflow in four large African river basins*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(4), 1305–1321.

Ardoin-Bardin, S., Dezetter, A., Servat, E., Mahé, G., Paturel, J. E., Dieulin, C., & Casenave, L. (2005). *Évaluation des impacts du changement climatique sur les ressources en eau d'Afrique de l'Ouest et Centrale*.

Banque Africaine de Développement (BAD). (2016). *Deuxième plan d'action sur le changement climatique pour la période 2016–2020* [Rapport].

Bardin, S. A., Dezetter, A., & Casenave, L. (2005). *Évaluation des impacts du changement climatique sur les ressources en eau d'Afrique de l'Ouest et Centrale*. Document IAHS. Récupéré de <https://www.scinapse.io>

Bassot, J. P. (1966). *Étude géologique du Sénégal oriental et de ses confins guinéo-maliens* [Thèse]. BRGM.

Bates, B., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., & Palutikof, J. (2008). *Le changement climatique et l'eau*. Rapport du GIEC.

- Bessoles, B.** (1977). *Géologie de l'Afrique : le craton ouest africain* [Mémoire]. BRGM.
- Blot, A.** (1980). *L'altération climatique des massifs de granite du Sénégal* (Travaux et Documents de l'O.R.S.T.O.M., N° 114). O.R.S.T.O.M., Paris.
- Carbone4.** (2022). *Les scénarios SSP : décryptage et recommandations d'utilisation*. Carbone4.
- CCNUCC. (2005).** Chapitre 6 : Ressources en eau. Dans *Guide méthodologique pour l'évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation au changement climatique*. https://unfccc.int/sites/default/files/ch6_water_resources_fr_handbook.pdf
- Cheikh, F., Sidy, D., & Guilgane, F.** (2021). *Analyse morphométrique et hydrologique du sous-bassin versant du Niaoulé (bassin de la Gambie) à l'aide de techniques SIG*. *Algerian Journal of Arid Environment (AJAE)*, 11(1).
- Chen, H., Zhou, J., Liu, J., Li, X., et Zhang, Y. (2021).** Comparaison de dix modèles ISIMIP pour la simulation des processus hydrologiques dans le contexte du changement climatique. *Science of the Total Environment* 751, 141894. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141894>
- Conseil National pour la Sauvegarde de la Patrie (CNSP).** (2025). *Rapport sur les informations relatives aux impacts du changement climatique et à l'adaptation au titre de l'Article 7 de l'Accord de Paris sur le Climat*. Secrétariat Exécutif du CNEDD, Niger.
- Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification CNULCD.** (2017). *Regards et perspectives sur les terres du monde | Chapitre 8 | Ressources en eau*. <https://www.climate-chance.org/bibliotheque/regards-perspectives-terres-monde/>
- Cunha, C. S., Guasselli, L. A., Belloli, T. F., & Korb, C. C. (2023). Classification of Potential Wetlands using the Random Forest in Google Earth Engine in Geomorphological Units - Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Cartografia*. <https://doi.org/10.14393/revbrascartogr>.
- DAPSA (Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles).** (2023). *Rapport de l'Enquête Agricole Annuelle (EAA) 2022-2023* [Rapport annuel].
- Dia, A.** (1988). *Études minérales des massifs granitiques du Sénégal oriental*.
- Dieng, M.** (1965). *Contribution à l'étude géologique du Continental Terminal du Sénégal* [Mémoire inédit]
- Dioh, E. H.** (1986). *Minéralisations du Précambrien au Sénégal oriental*.

Dione, P. M. (2024). *Dynamique des ressources en eau et des terroirs dans le bassin versant d'Aga-Foua-Djillas face à la variabilité climatique et au changement climatique* [Thèse de doctorat, Université Assane Seck de Ziguinchor]. <http://rivieresdusud.uasz.sn/xmlui/handle/123456789/2335>

Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles. (2023). *Rapport de l'Enquête Agricole Annuelle (EAA) 2022-2023*. Ministère de l'Agriculture, Sénégal.

Drias-Climat. (2016). *Les scénarios SSP*.

Faye, C. (2013). *Évaluation et gestion intégrée des ressources en eau dans un contexte de variabilité hydroclimatique : Cas du bassin versant de la Falémé* [Thèse].UCAD. <https://hdl.handle.net/20.500.12177/9749>

Faye, C. (2018). *Caractérisation d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morphométriques : Cas du bassin versant de la Gambie (bassin continental Guineo-Sénégalais)*. <http://rivieresdusud.uasz.sn/xmlui/handle/123456789/324>

Faye, C., & Mendy, A. (2018). *Variabilité climatique et impacts hydrologiques en Afrique de l'Ouest : Cas du bassin versant de la Gambie (Sénégal)*. EWASH & TI Journal, 2(1), 54–66.

Faye, C., Dièye, S., Fall, A., & Solly, B. (2021). *Cartographie des risques d'inondation à l'échelle du bassin fluvial à l'aide de l'indice de potentiel d'inondation : Cas du sous-bassin du Niéri-Ko (Bassin de la Gambie)*. <http://rivieresdusud.uasz.sn/xmlui/handle/123456789/1473>

Faye, C., Diop, E. H. S., & Mbaye, I. (2015). *Impacts des changements de climat et des aménagements sur les ressources en eau du fleuve Sénégal : Caractérisation et évolution des régimes hydrologiques de sous-bassins versants naturels et aménagés*. *Belgeo*, 4. <https://doi.org/10.4000/belgeo.17626>

Frieler, K., Lange, S., et al. (2017). *Évaluation des impacts du changement climatique dans le protocole ISIMIP2b*. *Earth System Dynamics*, 8 (3), 895–908. <https://www.isimip.org/>

Gaaloul, N., Habaieb, H., Nasr, Z., Hachicha, M., Hlaoui, Z., Kharroubi, A., Hermassi, T., Sellami, M. H., Belaid, H., Katlane, R., Traoré, I. A., et al. (2021). *Comité Scientifique International (CSI-EC'2021)*. *Journal International Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement*, VI(1), 1-xx.

Gaye, A. (2022). *Évolutions climatiques et leurs impacts en Afrique de l'Ouest selon les modèles CMIP6 et scénarios GIEC*. Atelier CECC.

GIZ. (2022). *Profil de risque climatique : Sénégal*. GIZ/Adaptation Community.

Gomis, C. (2017). *Eau et activités socio-économiques dans le bassin versant de Goudomp*. <http://rivieresdusud.uasz.sn/xmlui/handle/123456789/1232>

Goula, B. T. A., Savane, I., Konan, B., Fadika, V., & Kouadio, G. B. (2006). *Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide)*. *Vertigo*, 7-1. <https://doi.org/10.4000/vertigo.2038>

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2021). *Changement climatique 2021 : Les bases scientifiques. Résumé à l'intention des décideurs*

Guillet, F. (1991). *Étude et modélisation hydro-pédologique d'un bassin versant : concepts, organisation et spatialisation des volumes hydro-pédologiques*. Montpellier : CIRAD, Agritrop
Impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin versant de la Seine. (s. d.). Consulté le 8 mai 2025, sur <https://agris.fao.org/search/en/providers/122439/records/669e7c6800eb85b7d72ba3b4>

IPCC/CDKN. (2022). *Sixième rapport d'évaluation GIEC – Fiche régionale Afrique de l'Ouest*.

Kaba, M. (2008). *Étude des crues et des étiages dans le bassin versant du Niéri-Ko* [Mémoire] UCAD. <https://www.chatpfe.com/etude-des-crues-et-des-etiages-dans-le-bassin-versant-du-nieri-ko/>

Kohnert, D. (2023). *L'eau, une bénédiction et une malédiction : Comment résoudre les conflits liés à l'eau en Afrique de l'Ouest ?* GIGA Institute for African Affairs. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-88149-7>

Konaté, L. (1997). *Les bas-fonds dans le réseau hydrographique du fleuve Gambie : cartographie, régime hydrologique, valorisation agricole et typologie* [Thèse de Troisième Cycle]

Kouassi, AM, Mouelhi, S., Ardoin, C., & et al. (2012). *Application de la méthode des simulations croisées à l'analyse de tendances dans la relation pluie-débit à partir du modèle GR2M : Cas du bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire)*. *Comptes Rendus Géoscience*, 344 (5), 324-335.

Mabiala, C. E. (2000). *Caractérisation des sols du Sénégal oriental en vue de leur mise en valeur : Cas des sols de Tinkoto* [Mémoire].UCAD.

Mballo, I., & Sy, O. (2022). *Dynamiques spatio-temporelles des paysages agraires de la Haute Casamance (Sénégal)*. UASZ, Sénégal.

Morel, J. (2007). *Les ressources en eau sur Terre : Origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique – Un tour d’horizon de la littérature* [Note de synthèse]. HAL Id : halshs-00134979.

Ndiaye, A. (2020). *Variabilité et changement hydro-climatiques dans le bassin versant du Ferlo (Sénégal)* [Mémoire] UASZ. <http://rivieresdusud.uasz.sn/xmlui/handle/123456789/890>

Obahoundje, S., Diedhiou, A., Ofosu, E. A., Anquetin, S., François, B., Adoukpe, J., Amoussou, E., Kouame, Y. M., Kouassi, K. L., Nguessan Bi, V. H., & Youan Ta, M. (2018). *Assessment of spatio-temporal changes of land use and land cover over south-western African basins and their relations with variations of discharges. Hydrology, 5(4), 56.* <https://doi.org/10.3390/hydrology5040056>

Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS). (2022). *Plan d’adaptation au changement climatique pour le complexe WAP* [Rapport de projet AdaptWAP].

Office, U. N. D. P., & H. D. R. (2021). *Rapport sur le développement humain 2020 : La prochaine frontière - le développement humain... et l’anthropocène*. United Nations.

Ogouwale, S., Capo Atidegla, S., & Sintondji, L. O. C. (2022). *Étude de l’impact de la dynamique de l’occupation du sol sur les ressources naturelles dans le sous-bassin de l’Okpara à Nano au Nord Bénin. European Scientific Journal, ESJ, 18(17), 1.* <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p1>

Ogouwale, S., Séraphin, C. A., & Sintondji, L. O. C. (2022). *Étude de l’impact de la dynamique de l’occupation du sol sur les ressources naturelles dans le sous-bassin de l’Okpara à Nano au Nord Bénin. European Scientific Journal, ESJ, 18(17), 1.* <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p1>

Ouattara, D. L. (2024). *Coordinateur scientifique.* <https://africanshapers.com/union-africaine-le-dr-tidiane-ouattara-nomme-responsable-de-la-division-de-la-science-de-la-technologie-et-de-lespace/>

Ouranos. (2025). *Comprendre la science du climat - modélisation climatique.*

Papy, L. (1975). *Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie, d'après P. Michel.* Cahiers d'outre-mer, 28(109), 92–96

Paturel, JE, Mahé, G. et Servat, E. (2014). *Exercice de scénarisation hydrologique en Afrique de l'Ouest—Bassin du Bani.* *Journal des sciences hydrologiques*, 59 (7-8), 1338-1352. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.834340>

Phan, T. N., Kuch, V., & Lehnert, L. W. (2020). *Land Cover Classification using Google Earth Engine and Random Forest Classifier—The Role of Image Composition.* *Remote Sensing*, 12(15), 2411. <https://doi.org/10.3390/rs12152411>.

Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD). (2021). *Rapport annuel 2020.* New York, NY : PNUD. <https://www.undp.org/fr/publications/rapport-annuel-2020>

PSEAU. (2019). *Principales ressources et qualité de l'eau au Sénégal (Newsletter Sénégal n°8).* https://www.pseau.org/sites/default/files/0_repertoire_fichiers/1_pages_pays/senegal/ps-eau_newsletter_senegal_ndeg8_2019_vf.pdf

Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2022 : Eaux souterraines : rendre visible l'invisible. (2022). UNESCO.

Revue des sciences de l'eau. (1992). *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science* [Revue]

Rodella, A.-S., Zaveri, E., & Bertone, F. (2023). *La richesse cachée des nations : L'économie des eaux souterraines à l'heure du changement climatique.* Banque mondiale.

Saadi, H. (2020). *L'eau, une source de vie et d'insécurité au Sahel* (Note d'analyse politique N°115). Observatoire des enjeux géopolitiques, sécuritaires et socio-politiques du Sahel. Thinking Africa.

Sadio, C. A. A. S. (2024). *Caractérisation hydrologique et gestion des ressources en eau dans un contexte de variabilité et de changement climatique : Cas des bassins versants de la Casamance en amont de Kolda et de la Kayanga-Géva en amont de Wassadou* [Thèse de doctorat]. UASZ.

Sagna, A. (2019). *Dynamique des écoulements dans le Kamobeul bolong (Basse Casamance) et impacts environnementaux et socio-économiques.*

<http://rivieresdusud.uasz.sn/xmlui/handle/123456789/1247>

Séné, S. M. K. (2021). *Dynamique des ressources en eau et impacts sur les activités socio-économiques : Cas du bassin versant de Niaoulé (Tambacounda)* [Mémoire] UASZ. <http://rivieresdusud.uasz.sn/xmlui/handle/123456789/1277>

Simon, P. Y., & Guichard, F. (1997). *La dynamique du temps et du climat*. Paris : Elsevier Masson

Solly, B., Dièye, E. H. B., Sy, O., Jarju, A. M., & Tidiane, S. (2021). *Détection des zones de dégradation et de régénération de la couverture végétale dans le sud du Sénégal à travers l'analyse des tendances de séries temporelles MODIS NDVI et des changements d'occupation des sols à partir d'images LANDSAT*. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 223, 1-15. <https://doi.org/10.52638/rfpt.2021.580>

Sonwa, D. J., Scholte, P., Pokam, W., Schauerte, P., Tsalefac, M., Biona, C. B., Peach, C., Haensler, A., Ludwig, F., Mkankam, F. K., Mosnier, A., Moufouma-Okia, W., & Nga, F. (2014). *Changement climatique et adaptation en Afrique Centrale : Passé, scénarios et options pour le futur*. In C. de Wasseige, J. Flynn, D. Louppe, F. Hiol Hiol, & Ph. Mayaux (Eds.), *Les forêts du bassin du Congo État des Forêts 2013* (pp. 99-119). CIFOR. <https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/5320>

Soubeyroux, J.-M. (2023). *L'impact du changement climatique sur le cycle de l'eau à partir du nouveau portail DRIAS-Eau*. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 112(4), 13-17. <https://doi.org/10.3917/re1.112.0013>

Sow, S. A., Cissé, A., & Gaye, M. (2024). *Estimation des pertes en sols par érosion hydrique à travers les trames bleues du bassin versant de Niaoulé (Sénégal Oriental) dans un contexte de variabilité pluviométrique*. *NAAJ. Revue africaine sur les changements climatiques et les énergies renouvelables*, 3(1), 99-131. <https://doi.org/10.46711/naaj.2024.3.1.5>

Sy, B., Sow, M., & Toure, L. (2025). *Analyse spatiotemporelle par Google Earth Engine de l'extension de la ville de Saint-Louis, Sénégal de 1980 à 2024*. *European Scientific Journal*, 21(14), 135. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n14p135>

Sylla, M. B., Nikiema, P. M., Gibba, P., Kebe, I., & Klutse, N. A. B. (2018). *Projected changes in extreme precipitation intensity and dry spell length in Côte d'Ivoire under future climates*. *Theoretical and Applied Climatology*, 134(1), 529–543

Vatan, A. (1957). *Péetrographie sédimentaire* (279 p.). Publications de l'Institut français du pétrole

WEBOGRAPHIE

- [Bibliothèque Numérique Université Cheikh Anta DIOP](#) (Consulté le 10 novembre 2024)
- <http://rivieresdusud.uz.zn/xmlui/handle/123456789/1277> (Consulté le 12 avril 2025)
- <http://rivieresdusud.uz.zn/xmlui/handle/123456789/890> (Consulté le 12 avril 2025)
- <https://africanshapers.com/union-africaine-le-dr-tidiane-ouattara> (Consulté le 15 octobre 2025)
- https://cdkn.org/sites/default/files/202204/IPCC%20Regional%20Factsheet%202_We%20Africa%20E2%80%93FR_web.pdf ((Consulté le 20 octobre 2025)
- <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03124-4>
- <https://hess.copernicus.org/articles/18/1305/2014/hess-18-1305-2014.pdf> (Consulté le 20 octobre 2025)
- <https://ird.fr>
- <https://ird.fr/publications>
- <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1240130797815403> (Consulté le 22 octobre 2025)
- <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212095523000263> (Consulté le 22 octobre 2025)
- <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-88149-7>
- <https://unesco.org>
- https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2022/09/GIZ_Climate-Risk-Profile_Senegal_FR.pdf
- <https://www.anacim.sn/meteo>
- <https://www.ansd.sn>
- <https://www.aquaportail.com>
- <https://www.britannica.com/science/Ferralsol> (consulté le 28/05/2025)
- <https://www.britannica.com/science/Regosol> (consulté le 28/05/2025)
- https://www.carbone4.com/files/Publication_Carbone_4_Decryptage_SSP_et_recommandations.pdf (25 octobre 2025)
- <https://www.chatpfe.com> (Consulté le 20 mars 2025)
- <https://www.dapsa.gov.sn> (Consulté le 22 octobre 2025)
- <https://www.drias-climat.fr/accompagnement/section/339> (Consulté le 15 septembre 2025)
- <https://www.fao.org> (Consulté le 15 Août 2025)
- https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SummaryVolume_French.pdf (Consulté le 01 octobre 2025)
- <https://www.ouranos.ca/fr/science-du-climat-modelisation-climatique> (Consulté le 15 octobre 2025)
- https://www.projetcecc.org/wpcontent/uploads/3.Presentation_Amadou_Gaye_Atelier_CECC.pdf (Consulté le 15 octobre 2025)
- https://www.revues.scienceafrique.org/naaj/texte/sow_cisse_gaye2024/
- <https://www.undp.org/fr/publications/rapport-annuel-2020> (Consulté le 20 Août 2025)
- <https://www.worldbank.org> (Consulté le 15 Août 2025)

ANNEXES

Annexe 1 : Liste des cartes, des figures, des tableaux et des photos

Annexe 2 : Le questionnaire

Annexe 1 : Liste des cartes, des figures, des tableaux et des photos

Liste des cartes

Carte 1 : La localisation du bassin versant du Niéri-ko	10
Carte 2 : Classification du réseau hydrographique du bassin versant du Niéri-ko par la méthode Strahler	31
Carte 3 : Plage d'altitude du bassin versant du Niéri-ko	33
Carte 4 : Les types de sols du bassin du Niéri-ko	38
Carte 5 : Formations végétales dans le bassin versant du Niéri-ko	43
Carte 6 : Formations géologiques du bassin versant de Niéri-ko	46
Carte 7 : Répartition des communes du bassin versant du Niéri-ko	101
Carte 8 : Changement d'occupation du sol dans le bassin versant du Niéri-ko entre 1986-2025	119

Liste des figures

Figure 1 : Données climatiques utilisées dans l'étude	28
Figure 2 : Courbe hypsométrique du bassin versant du Niéri-ko	34
Figure 3 : Évolution moyenne mensuelle de la pluviométrie à la station de Tambacounda entre 1970 à 2021	52
Figure 4 : Rupture dans l'évolution pluviométrique (1970-2020) selon le test de Pettitt	53
Figure 5 : Variabilité interannuelle de la pluviométrie, selon les ISP de la station de Tambacounda, entre 1970 et 2021	56
Figure 6 : Évolution des températures moyennes mensuelles maximales et minimales à la station de Tambacounda (1970-2021)	58
Figure 7 : Évolution de la durée moyenne d'ensoleillement à la station de Tambacounda (1970-2021)	59
Figure 8 : Évolution moyenne mensuelle de l'évaporation à la station de Tambacounda entre 1970 et 2021	60
Figure 9 : Variation mensuelle de l'humidité relative maximale et minimale à la station de Tambacounda (1970-2021)	61
Figure 10 : Variations de la vitesse moyenne mensuelle du vent à la station de Tambacounda (1980-2021)	62
Figure 11 : Variations saisonnières des précipitations, de l'évaporation et de l'insolation à la station de Tambacounda (1970-2021)	63
Figure 12 : Évolution mensuelle des débits moyens et des CMD du bassin versant du Niéri-ko à la station de Goumbayel (1997-2009)	69
Figure 13 : Évolution mensuel des débits moyens et des précipitations dans le bassin versant du Niéri-ko (1997-2009)	70
Figure 14 : Évolution des débits moyens journaliers à la station de Goumbayel (1997-2009)	71
Figure 15 : Évolution de l'hydraulicité à la station de Goumbayel (1997-2009)	76
Figure 16 : Évolution des débits moyens annuels à la station de Goumbayel de 1997 à 2009	76
Figure 17 : L'évolution des années extrêmes à la station de Goumbayel (1997-2009)	78
Figure 18 : Évolution annuelle de la lame d'eau écoulée et du volume d'eau dans le bassin versant du Niéri-ko (1997-2009)	80
Figure 19 : Évolution annuelle de la lame d'eau écoulée et des précipitations dans le bassin versant du Niéri-ko (1997-2009)	81
Figure 20 : Évolution des précipitations dans le bassin versant du Niéri-ko selon les scénarios sur la période 1980-2100	84
Figure 21 : Évolution annuelle des précipitations dans le bassin du Niéri-ko (1980-2100) selon les scénarios climatiques historiques, SSP1-2.6 et SSP5-8.5	85

Figure 22: Évolution mensuelle des précipitations selon les scénarios climatiques dans le bassin du Niéri-ko -----	88
Figure 23: Évolution des températures moyennes dans le bassin versant du Niéri-ko selon les scénarios sur la période 1980-2100 -----	89
Figure 24: Évolution des températures minimales dans le bassin versant du Niéri-ko selon les scénarios sur la période 1980-2100 -----	91
Figure 25: Évolution des températures maximales dans le bassin versant du Niéri-ko selon les scénarios sur la période 1980-2100 -----	92
Figure 26 : Évolution mensuelle des températures moyennes selon les scénarios climatiques dans le bassin du Niéri-ko -----	94
Figure 27 : Évolution mensuelle des températures minimales selon les scénarios climatiques dans le bassin du Niéri-ko -----	95
Figure 28 : Évolution mensuelle des températures maximales selon les scénarios climatiques dans le bassin du Niéri-ko -----	96
Figure 29 : Répartitions des différentes ethnies dans la zone d'étude (Source : résultat d'enquêtes, 2024) -----	103
Figure 30 : Répartition des secteurs d'activités dans le bassin versant du Niéri-ko (Source : résultat d'enquêtes, 2024) -----	103
Figure 31 : Les principales spéculations cultivées dans le bassin versant du Niéri-ko (source : résultats d'enquêtes, 2024) -----	105
Figure 32 : Perceptions locales sur les changements de la disponibilité de l'eau dans le bassin versant du Niéri-ko (Source : résultats d'enquêtes, 2024) -----	110
Figure 33 : Perceptions locales sur les différents usages des eaux souterraines dans le bassin versant du Niéri-ko (Source : résultats d'enquêtes, 2024) -----	112
Figure 34 : Perceptions locales des différents usages des eaux de surface (Source : résultats d'enquêtes, 2024) -----	114

Liste des tableaux

Tableau 1: Nombre de ménages pour chaque village dans la commune de Goumbayel -----	24
Tableau 2: Répartition de l'échantillonnage pour chaque village -----	25
Tableau 3: Longueur des cours d'eau du bassin versant du Niéri-ko -----	32
Tableau 4: Répartition de la superficie selon les tranches d'altitude dans le bassin versant du Nié-ko -----	34
Tableau 5: Formule de calculs des paramètres avec KG -----	35
Tableau 6 : Paramètres morphométriques du bassin versant du Niéri-ko -----	36
Tableau 7 : Indice de pente global du bassin versant du Niéri-ko -----	37
Tableau 8 : Répartition des types de sols dans le bassin versant du Niéri-ko -----	42
Tableau 9: Répartition de la formation végétale -----	45
Tableau 10: Échelle de perméabilité des principales formations géologiques du bassin versant du Niéri-ko -----	48
Tableau 11: Situation et caractéristiques du domaine climatique à la station de Tambacounda -----	50
Tableau 12: Caractérisation de la pluie moyenne dans la station de Tambacounda (1970-2021) -----	51
Tableau 13 : Les résultats du test de Pettitt sur la pluviométrie annuelle de la station de Tambacounda (1970-2021) -----	53
Tableau 14 : Évolution pluviométrique de la station de Tambacounda suivant le test de Pettitt -----	54
Tableau 15 : Les résultats du test de Mann-Kendall de la pluviométrie annuelle de la station de Tambacounda (1970-2021) -----	55
Tableau 16 : Statistique des Séquences des Indices Standardisés de Précipitation -----	56
Tableau 17 : Températures moyennes mensuelles Maximales et Minimales à la station de Tambacounda de 1970 à 2021 -----	57
Tableau 18 : Vitesses moyennes mensuelles du vent à Tambacounda (1980-2021) -----	61
Tableau 19 : Synthèse mensuelle des paramètres climatiques (précipitations, températures, évaporation, insolation, humidité) à la station nord-soudanienne (1970-2021) -----	64

Tableau 20 : Périodes de hautes et basses eaux selon le coefficient mensuel de débit (1997-2009)---	68
Tableau 21 : Évolution des débits moyens mensuels et des CMD dans le bassin du Niéri-ko à la station de Goumbayel (1997-2009)-----	69
Tableau 22 : Caractéristique de la phase de montée à la station de Goumbayel (1997-2009) -----	72
Tableau 23 : Les caractéristiques de la courbe de descente à la station de Goumbayel (1997-2009)--	73
Tableau 24 : Les caractéristiques de la courbe de descente à la station de Goumbayel (1997-2009)--	74
Tableau 25 : Variabilité du régime moyen à la station de Goumbayel (1997-2009)-----	75
Tableau 26 : Hydraulicité en pourcentage à la station de Goumbayel (1997-2009)-----	75
Tableau 27 : Débits moyens annuels des années extrêmes à la station de Goumbayel (1997-2009) --	77
Tableau 28 : Caractéristique du bilan hydrologique à la station de Goumbayel (1997-2009) -----	79
Tableau 29 : Variation annuelle future de la pluviométrie (en %) sur les quatre périodes dans le bassin du Niéri-ko-----	85
Tableau 30 : Distribution des précipitations mensuelles du Niéri-ko selon différents scénarios climatiques-----	87
Tableau 31 : Variation annuelle future de la température moyenne (en %) sur les quatre périodes dans le bassin du Niéri-ko-----	90
Tableau 32 : Variation annuelle future de la température minimale (en %) sur les quatre périodes dans le bassin du Niéri-ko-----	91
Tableau 33 : Variation annuelle future de la température maximales (en %) sur les quatre périodes dans le bassin du Niéri-ko-----	93
Tableau 34 : Variations inter-mensuelles des températures moyennes mensuelles du Niéri-ko selon différents scénarios climatiques -----	93
Tableau 35 : Variations inter-mensuelles des températures minimales mensuelles du Niéri-ko selon différents scénarios climatiques -----	95
Tableau 36 : Variations inter-mensuelles des températures maximales mensuelles du Niéri-ko selon différents scénarios climatiques -----	96
Tableau 37 : Répartition de la population dans le bassin du Niéri-ko-----	102
Tableau 38 : Perception de la population sur les caractéristiques de l’agriculture dans le bassin versant du Niéri-ko (Source : résultats d’enquêtes, 2024) -----	106
Tableau 39 : Perception de la population sur les caractéristiques de l’élevage dans le bassin versant du Niéri-ko (Source : résultats d’enquêtes, 2024) -----	108
Tableau 40 : Perception de la population sur les ressources en eaux dans le bassin versant du Niéri-ko (Source : résultats d’enquêtes, 2024)-----	109
Tableau 41 : Perceptions locales sur les eaux souterraines (Source : résultats d’enquêtes, 2024)---	112
Tableau 42 : Perceptions locales sur les différents usages des eaux des pluies (Source : résultats d’enquêtes, 2024)-----	113
Tableau 43 : Les causes et impacts de la variabilité et du changement climatique sur les activités socio-économiques du bassin versant du Niéri-ko (Source : enquête, décembre 2024)-----	117
Tableau 44 : Statistiques des classes d’occupation du sol dans le bassin versant du Niéri-ko de 1986 à 2025 -----	120
Tableau 45 : Perception de la population sur les stratégies de gestion de l’eau dans le bassin versant du Niéri-ko -----	121

Liste des photos

Photo 1 : Forage équipé de robinets servant à l’approvisionnement en eau potable dans le village de Balam Boulou (cliché COUNDONO, décembre 2024)-----	111
Photo 2 : Puits traditionnel utilisé pour les besoins domestiques dans le village de Madina Diouna (cliché COUNDONO, décembre 2024) -----	111
Photo 3 : Situation du bassin versant du Niéri-ko en période sèche dans la commune de Goumbayel (cliché COUNDONO, décembre 2024)-----	115

Annexe 2 : Le questionnaire

Sujet : Changement climatique et impact sur la dynamique des ressources en eau et des activités socio-économiques dans le bassin versant du Niéri-ko (Bassin versant de la Gambie, Sénégal)

Questionnaire

Commune :
Nom de la localité :
Date :

Numéro de questionnaire :

Identifiant de l'enquêteur :

1. Prénom(s) : Nom :

2. Age

- 20 ans
- 20 - 40 ans
- + 40ans

3. Genre

- Masculin
- Féminin

4. Ethnies

- Peuhl
- Soqé
- Bambara
- Soninké
- Autres

5. Profession

- Fonctionnaire
- Agriculteur
- Eleveur
- Pêcheur
- Autres :

6. Situation Matrimoniale

- Célibataire
- Marié(e)
- Autre :

7. Niveau d'instruction

- Aucun
- Primaire
- Secondaire
- Universitaire

Connaissances et perceptions

8. Etes-vous conscient des changements climatiques ?

1. Oui 2. Non

9. Comment avez-vous appris le changement climatique ?

- Médias
- Ecole
- Communauté
- Autres (Précisez)

10. Quels changements climatiques avez-vous observés dans votre localité ?

- Augmentation des températures
- Changement dans les régimes de précipitation
- Evénement climatiques extrêmes (inondation, sécheresse)
- Autres (à préciser)

11. A quelle fréquence observez-vous des événements climatiques extrêmes dans votre localité

- Jamais
- Rarement
- Parfois
- Souvent
- Très souvent

Impacts socio-économiques

20. Quelles sont les différentes activités socio-économiques pratiquées dans ce bassin ?

- Agriculture
- Pêche
- Elevage
- Autres (à préciser)

21. Quelles sont les méthodes utilisées pour pratiquer l'agriculture ?

- Les méthodes traditionnelles
- Les méthodes modernes

22. Quels types de cultures sont principalement cultivés dans le bassin ?

- Mil
- Maïs
- Coton
- Arachide
- Autres (à préciser)

23. Comment appréciez-vous le rôle du bassin sur l'agriculture ?

- Pas important
- Peu important
- Important
- Très important

24. Quel est l'impact du changement climatique sur les cultures pluviales ?

- Diminution de la productivité agricole
- Diminution des rendements
- Vulnérabilité à la sécheresse
- Autres (à préciser)

25. Avez-vous modifié vos pratiques agricoles en raison du changement climatique ?

- Oui
- Non

26. Si oui, quelles modifications avez-vous apportées ? (cochez toutes les réponses pertinentes)

- Changement de cultures
- Utilisation de techniques d'irrigation plus efficaces
- Réduction des surfaces cultivées
- Autres (à préciser)

27. Comment l'élevage est-il pratiqué dans votre localité ?

28. Comment le changement climatique impacte-t-il la santé du bétail ?

- Diminution des espaces de pâturages
- Diminution de la disponibilité de l'eau pour abreuver le bétail
- Augmentation des maladies liées à la chaleur et à l'eau
- Autres (à préciser)

29. Pratiquez-vous la pêche dans le bassin versant du Niéri-ko ?

- OUI
- NON

30. Quelles sont les différentes espèces halieutiques pêchées dans le bassin ?

- Diminution des espèces halieutiques
- Disparition de certaines espèces halieutiques
- Autres

32. Comment le changement climatique a-t-il affecté vos activités socio-économiques ?

- Diminution des revenus
- Changement dans les méthodes de production
- Augmentation des coûts
- Aucun impact
- Autres (à préciser)

33. Avez-vous constaté une augmentation des prix des denrées alimentaires ?

- OUI
- NON

Impact sur les ressources en eau

12. Quels sont les différents types de ressources en eau disponibles ?

- Eau pluviale
- Eau souterraine
- Eau superficielle

13. Avez-vous remarqué une variation dans la disponibilité de l'eau dans votre localité ?

- OUI
- NON

14. Si oui, quelle est la principale source d'eau dans votre localité ?

- Fleuve
- Rivière
- Puits
- Nappe souterraines
- Autres (à préciser)

15. Comment évaluez-vous l'impact du changement climatique sur la qualité de l'eau ?

- Très élevé
- Elevé
- Modéré
- Faible
- Aucun impact

16. Avez-vous constaté une augmentation de la pollution de l'eau ?

- OUI
- NON

17. Si oui, quelles sont les principales causes de cette pollution ? (Cochez les réponses pertinentes)

- Activités industrielles
- Agriculture
- Déchets domestiques
- Autres (à préciser)

18. Avez-vous accès à l'eau potable ?

- OUI
- NON

19. Si non, quelles sont les difficultés que vous rencontrez pour accéder à de l'eau potable ? (cochez les réponses pertinentes)

- Qualité de l'eau
- Distance
- Le coût
- Autres (à préciser)

34. Si oui, quelles sont les denrées alimentaires sont les plus touchées ? (cochez toutes les réponses pertinentes)

- Céréales
- Légumes
- Fruits
- Autres (à préciser)

35. Comment la disponibilité en eau influence-t-elle sur la production agricole ?

- Très fortement
- Fortement
- Modérément
- Faiblement
- Pas du tout

Adaptation et solutions

36. Quelles mesures d'adaptation avez-vous mises en place pour faire face aux impacts du changement climatique ? (cochez toutes les réponses pertinentes)

- Amélioration des infrastructures hydrauliques
- Sensibilisation et formation
- Diversification des cultures
- Autres (à préciser)

37. Etes-vous impliqué dans des initiatives locales concernant la gestion des ressources en eau ?

- OUI
- NON

38. Si oui, quelles initiatives ? (cochez toutes les réponses pertinentes)

- Projet de conservation de l'eau
- Programme d'éducation
- Autres (à préciser)

39. Quelles politiques gouvernementales aimeriez-vous voir mise en place pour gérer les ressources en eau ? (cochez toutes les réponses pertinentes)

- Réglementation stricte de l'utilisation de l'eau
- Investissements dans les infrastructures
- Programme de sensibilisation
- Autres (à préciser)

40. Quels sont, selon vous, les principaux obstacles à l'adaptation au changement climatique dans votre localité ? (cochez toutes les réponses pertinentes)

- Manque de ressources financières
- Manque d'informations
- Résistance au changement
- Autres (à préciser)

Table de matière

DÉDICACE	1
REMERCIEMENTS	2
SOMMAIRE	4
RÉSUMÉ	5
ABSTRACT	6
SIGLES ET ABRÉVIATIONS	7
INTRODUCTION	8
I. Problématique	10
1.1. Contexte :	10
1.2. Justification	12
1.3. Questions de recherche	13
1.4. Objectifs de recherche	13
1.5. Hypothèses de recherche	14
II. Analyse conceptuelle	14
2.1. Bassin versant	14
2.2. Dynamique	15
2.3. Ressource en eau	16
2.4. Impact	16
2.5. Changement climatique	17
III. État de l'art	17
IV. Méthodologie	23
4.1. Revue documentaire	23
4.2. Travaux de terrain	23
4.2.1. Enquêtes préliminaires	24
4.2.2. Échantillonnage	24
4.2.3. Enquêtes de ménages	26
4.3. Collectes et traitement des données	26
4.3.1. Données spatiales	26
4.3.2. Données climatiques	27
4.3.3. Les données hydrométriques	28
PREMIÈRE PARTIE : CARACTÉRISATION DU BASSIN VERSANT DU NIÉRI-KO	29
CHAPITRE I : Caractéristiques physiques du bassin versant du Niéri-ko	30
1.1. Le réseau hydrographique du bassin versant du Niéri-ko	30
1.1.1. La classification du bassin versant du Niéri-ko avec la méthode de Strahler (1957)	30
1.1.2. La densité de drainage	31
1.2. Le relief et les caractéristiques morphométriques du bassin de Niéri-ko	32
1.2.1. Le relief	32

1.2.2.	La courbe hypsométrique-----	33
1.2.3.	La forme du bassin-----	35
1.2.4.	Indice de pente-----	36
1.3.	La pédologie et la formation végétale du bassin-----	37
1.3.1.	Les caractéristiques pédologiques du bassin-----	37
1.3.1.1.	Les lithosols-----	38
1.3.1.2.	Les sols ferrugineux tropicaux-----	39
1.3.1.3.	Les sols peu évolués d'apport-----	40
1.3.1.4.	Les régosols-----	40
1.3.1.5.	Les sols hydromorphes-----	41
1.3.2.	Les formations végétations du bassin-----	42
1.3.2.1.	La Savane arbustive-----	43
1.3.2.2.	La Forêt claire-----	43
1.3.2.3.	La forêt galerie-----	44
1.3.2.4.	La forêt dense-----	44
1.3.2.5.	La steppe arbustive-----	44
1.4.	La géologie et l'hydrogéologie du bassin versant-----	45
1.4.1.	La géologie-----	45
1.4.2.	La perméabilité du bassin-----	47
	Conclusion partielle-----	48
	CHAPITRE II : Caractéristiques climatiques du bassin versant du Niéri-ko-----	49
2.1.	Les précipitations-----	49
2.1.1.	La variabilité mensuelle de la pluie-----	50
2.1.2.	La variabilité annuelle de la pluie-----	53
2.2.	La température-----	57
2.3.	La durée d'ensoleillement-----	58
2.4.	L'évaporation-----	59
2.5.	L'humidité relative-----	60
2.6.	Les vents-----	61
	Conclusion partielle-----	64
	Conclusion de la partie I-----	65
	DEUXIÈME PARTIE : DYNAMIQUE HYDROLOGIQUE ET PROJECTIONS CLIMATIQUES DANS LE BASSIN VERSANT DU NIÉRI-KO-----	66
	Chapitre III : Analyse de l'écoulement dans le bassin versant du Niéri-ko-----	67
3.1.	Le régime fluvial dans le bassin versant du Niéri-ko-----	67
3.1.1.	Le régime moyen-----	68
3.1.2.	La variabilité du régime hydrologique moyen du bassin du Niéri-ko-----	71
3.1.3.	La variabilité saisonnière de l'écoulement du bassin versant du Niéri-ko-----	74
3.1.4.	La variabilité annuelle de l'écoulement dans le bassin du Niéri-ko-----	75
3.2.	Le bilan hydrologique dans le bassin du Niéri-ko-----	78

3.2.1. Le bilan moyen de l'écoulement -----	79
Conclusion partielle-----	81
CHAPITRE IV : Évolution des températures et des précipitations sous les scénarios climatiques SSP1-2.6 et SSP5-8.5 dans le bassin versant du Niéri-ko-----	83
4.1. Évolution des précipitations -----	83
4.1.1. Évolution annuelle des précipitations -----	83
4.1.2. Évolution mensuelle des précipitations-----	86
4.2. Évolution des températures -----	88
4.2.1. Évolution annuelle -----	88
4.2.2. Évolution mensuelle -----	93
Conclusion partielle-----	97
TROISIÈME PARTIE : IMPACT DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE ET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE MILIEU ET LES STRATÉGIES D'ADAPTATION DANS LE BASSIN VERSANT DU NIERI-KO -----	98
CHAPITRE V : Ressources en eau et usages dans le bassin versant du Niéri-ko -----	100
5.1. Bassin versant du Niéri-ko : Population et activités socio-économiques -----	100
5.1.1. La population du bassin versant du Niéri-ko -----	100
5.1.2. L'agriculture -----	103
5.1.3. L'élevage -----	106
5.2. Perceptions locales de la dynamique des ressources en eau dans le bassin versant du Niéri-ko -----	108
5.3. Changements observés dans la disponibilité de l'eau -----	110
5.4. Usages des différentes ressources en eau dans le bassin versant du Niéri-ko -----	110
5.4.1. Les eaux souterraines-----	111
5.4.2. Les eaux pluviales : une ressource essentielle mais vulnérable-----	112
5.4.3. Les eaux de surface : une ressource limitée et très saisonnière -----	113
Conclusion partielle-----	115
CHAPITRE VI : Les impacts de la dynamique des ressources en eau sur les activités socio-économiques et les stratégies d'adaptation dans le bassin versant du Niéri-ko-----	116
6.1. Impacts de la variabilité et du changement climatique sur les activités socio-économiques et sur le milieu-----	116
6.1.1. Impacts sur les activités socio-économiques -----	117
6.1.2. Étude des changements d'occupation du sol (1986-2025)-----	118
6.2. Perception de la population sur les stratégies de gestion de l'eau dans le bassin versant du Niéri-ko-----	120
6.3. Stratégies communautaire d'adaptation aux impacts du changement climatique sur les ressources en eau et sur les activités socio-économiques -----	121
6.3.1. Stratégies autour des ressources en eau-----	122
6.3.2. Adaptations agricoles face au changement climatique -----	122
6.3.3. Stratégies dans l'élevage face au changement climatique-----	123
6.4. La gouvernance de l'eau dans la commune de Goumbayel -----	123
Conclusion partielle-----	124

CONCLUSION GENERALE -----	126
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES -----	128
ANNEXES -----	136
Annexe 1 : Liste des cartes, des figures, des tableaux et des photos -----	137