

DYNAMIQUES HYDROLOGIQUES ET VARIABILITÉS DES QUALITÉS PHYSICO-CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DES PETITS LACS SAHÉLIENS : CAS DU PLAN D'EAU DE Koubia, NIAMEY, SUD-OUEST NIGER

Moussa BOUBACAR MOUSSA^{1,2,3*}, Elodie ROBERT²,
Amadou ABDOURHAMANE TOURE¹,
Abdoulatif NIANDOU HAMBADOU¹ et Manuela GRIPPA³

¹ Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Département de Géologie, PB 10662 Niamey, Niger

² Nantes Université, LETG-Nantes (UMR 6554), CNRS, BP 81227, 44312 Cedex 3, France

³ Université Paul Sabatier Toulouse III, Géosciences Environnement Toulouse (GET, UMR 5563 / CNRS / IRD / CNES), France

(reçu le 10 Mai 2025; accepté le 18 Juin 2025)

* Correspondance, e-mail : mboubacar63@gmail.com

RÉSUMÉ

Cette étude a pour objectif d'évaluer la dynamique temporelle de la qualité du plan d'eau de Koubia, situé dans la commune I de Niamey au Niger. Des mesures ont été, à cet effet conduites, entre 2022 et 2023, sur divers paramètres hydro-climatiques (limnimétrie, niveau piézométrique), physico-chimiques (température, pH, conductivité, oxygène dissous et la concentration en matières en suspension – MES) et microbiologiques (concentration en *E. coli*). La cote d'eau et le niveau piézométrique de la nappe au voisinage du plan d'eau de Koubia ont marqué des temps de réponses distincts par rapport au début de la saison des pluies : 3 mois pour le niveau piézométrique et 23 jours pour la cote du plan d'eau. Les paramètres physico-chimiques ont été conformes aux normes de l'OMS pour les eaux de boisson, à l'exception de la concentration en oxygène dissous, légèrement supérieure à la valeur de référence. La faible concentration en MES du plan d'eau de Koubia (concentration maximale : 0.14 g.L⁻¹) lui donne un aspect translucide. Les variations des concentrations ont été fortement corrélées aux concentrations en *E. coli* ($R^2 = 0.70$). Les concentrations en *E. coli* peuvent atteindre jusqu'à 20 000 NPP.100mL⁻¹, ce qui met en lumière la contamination fécale de ces eaux, dépassant les normes pour une utilisation domestique mais aussi à des fins récréatives avec des risques sanitaires pour la santé humaine. Ces résultats montrent l'urgence d'une gestion intégrée des ressources en eau dans ce contexte urbain.

Mots-clés : *qualité des eaux de surface, paramètres environnementaux, Escherichia coli, niveau piézométrique, limnimétrie.*

ABSTRACT

Physico-chemical and microbiological quality of small Sahelian lakes and Hydrological dynamics : case of the Koubia water body, Niamey, southwestern Niger

This study aimed to assess the temporal dynamics of the quality of the Koubia water body located in the city of Niamey. Measurements were carried out between 2022 and 2023 on various parameters: hydro-climatic (limnometry, piezometric levels), physico-chemical (temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen and suspended particulate matter concentration - SPM) and microbiological (*E. coli* concentration). The water body and the piezometric levels of the groundwater near the Koubia water body were characterized by distinct response times compared to the start of the rainy season: 3 months for the piezometric level and 23 days for the water body level. Physico-chemical parameters were in line with WHO drinking water standards, except for the dissolved oxygen, slightly higher than the reference value. Low SPM concentration of the Koubia water body (maximum concentration: 0.14 g.L^{-1}) gives it a translucent appearance. Temporal variation in these concentrations is strongly correlated with *E. coli* number ($R^2 = 0.70$). However, these *E. coli* numbers, reaching up to $20,000 \text{ MPN.100mL}^{-1}$, highlight the fecal contamination of these waters, exceeding the standards for domestic and recreational use with health risks for human. These results demonstrate the urgent need for integrated water resource management in this urban context.

Keywords : *surface water quality, environmental parameters, Escherichia coli, piezometric level, limnometry.*

I - INTRODUCTION

Les ressources en eau jouent un rôle important pour l'énergie, l'agroalimentaire, l'amélioration de l'assainissement et la santé humaine [1]. Elles doivent être gérées et protégées en raison de leur vulnérabilité, à la surexploitation et à la pollution dont elles peuvent faire l'objet [2]. La pollution de l'eau est principalement due aux activités anthropiques et à l'important phénomène d'urbanisation [3] avec l'absence souvent de traitements adaptés des eaux usées générées et leur rejet direct dans le milieu naturel. Les stratégies de gestion de l'eau établissent un ensemble de mesures politiques, sociales, économiques et administratives pour assurer un approvisionnement durable à divers niveaux [4]. La surveillance régulière de la qualité des eaux est primordiale afin de prévenir les maladies hydriques, de préserver les écosystèmes aquatiques et de résoudre les problèmes liés au transport sédimentaire, tels que la fixation et le transport de polluants divers : métaux

lourds, bactéries [5]. A travers le monde, en 2017, 780 millions de personnes ne bénéficiaient pas d'une eau propre et 2,5 milliards de personnes ne disposaient pas d'un assainissement de base [6]. En Afrique subsaharienne, une partie de la population a encore recours aux eaux de surface pour différentes activités : irrigation, pêche, baignade, lessive, vaisselle, et quelquefois pour la boisson [7]. La disponibilité d'une eau de qualité et d'un environnement de vie sain et hygiénique peuvent concourir à réduire les maladies hydriques, notamment les maladies diarrhéiques [8]. Les indicateurs de la qualité de l'eau sont évalués via, entre-autres, la mesure de paramètres physico-chimiques et microbiologiques : concentration en matières en suspension, pH, température, conductivité, concentration en *E. coli*, etc. La forte croissance démographique des pays d'Afrique a des répercussions sur l'environnement et les ressources hydriques [9]. Les activités anthropiques à caractère socio-économique associées aux processus naturels (érosion des sols, précipitation, évaporation, ruissellement des eaux fluviales) peuvent accélérer la dégradation des ressources d'eau de surface [10, 11]. Ces activités perturbent l'équilibre naturel et augmentent la charge organique de l'eau et des sédiments, ce qui entraîne un encombrement des ressources en eau, des problèmes d'eutrophisation, l'asphyxie de l'environnement aquatique et des problèmes de santé pour les populations [12]. Les périodes de sécheresse au Sahel (1970 - 1990) caractérisées par une baisse des précipitations d'environ 25 - 40 % par rapport à la période de 1930 - 1960 [13].

Ces sécheresses ont entraîné des dégâts considérables sur l'environnement avec la disparition de plusieurs millions d'arbres et d'arbustes [14]. D'après [15 - 17], la diminution de la végétation a eu des conséquences hydrologiques importantes, telles qu'une augmentation du ruissellement de surface et du niveau de la nappe phréatique. Depuis les années 1960, la région de Niamey a connu une hausse de la nappe phréatique, ce qui semble paradoxal avec la baisse des précipitations, mais qui est attribuable à l'augmentation du ruissellement de surface dans un contexte de rupture d'endoréisme [16, 18]. Cela a entraîné la création de lacs permanents depuis le début des années soixante [16]. Ces plans d'eau jouent un rôle important dans le développement socio-économique de la population environnante qui pratique entre-autres les cultures irriguées, la pêche, l'abreuvement des animaux et la baignade. Le plan d'eau de Koubia qui est devenu permanent au cours de la période récente (depuis 2020), a été choisi afin d'effectuer un premier suivi de la qualité des eaux. De plus, cette étude vise à combler les lacunes qui existent sur la connaissance de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de surface au Sahel en général et au Niger en particulier et ce en contexte urbain. Nous pouvons en effet citer seulement quelques études qui ont été menées sur ce sujet au Niger [5, 19, 20]. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la qualité des eaux du plan d'eau de Koubia. Il s'agit spécifiquement de : i) déterminer la qualité physico-chimique et microbiologique ; ii) caractériser les

dynamiques temporelles de la lame d'eau du plan d'eau et le niveau piézométrique de la nappe d'eau environnante au plan d'eau ; iii) déterminer les corrélations qui existent entre la contamination en *Escherichia coli* (*E. coli*), bactérie indicatrice fécale recommandée par l'OMS et les paramètres physico-chimiques, et l'impact des variables hydro-climatiques sur la qualité des eaux.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Zone d'étude

Le plan d'eau de Koubia est situé dans l'arrondissement communal Niamey I, au Nord-Ouest de la ville de Niamey. Il est compris entre les latitudes 13°33'51,83''N - 13°33'44,06''N et les longitudes 2°1'28,98''E - 2°1'22,68''E (**Figure 1**). Il se trouve dans la vallée d'un petit affluent fossile du fleuve Niger. Il a respectivement une longueur et largeur maximales de 311 m et 89 m, ainsi qu'une superficie nette de 2,07 ha en février 2023. L'espace occupé par le plan d'eau et ses alentours étaient dominés par des champs de culture entre 2002 et 2014. A partir de 2014, l'extension de la ville de Niamey a atteint la zone et des habitations ont progressivement occupé le site. A partir de 2018, une zone humide longue de près de 500 m est apparue à 300 m en amont du plan d'eau suite à la résurgence de la nappe phréatique [21]. Le plan d'eau de Koubia est devenu permanent à partir de la saison des pluies de 2020 ; une saison des pluies qui s'est caractérisée par une moyenne annuelle exceptionnelle dans toute la bande sahélienne [22]. Aucun affluent (ravin ou ruisseau) n'alimente le plan d'eau de Koubia via des écoulements de surface. Le plan d'eau joue un rôle important dans le développement socio-économique de la population environnante qui y pratique entre-autres la culture irriguée, la pêche, l'abreuvement des animaux, la baignade, le remplissage des camions citernes, etc. (**Figure 2**).

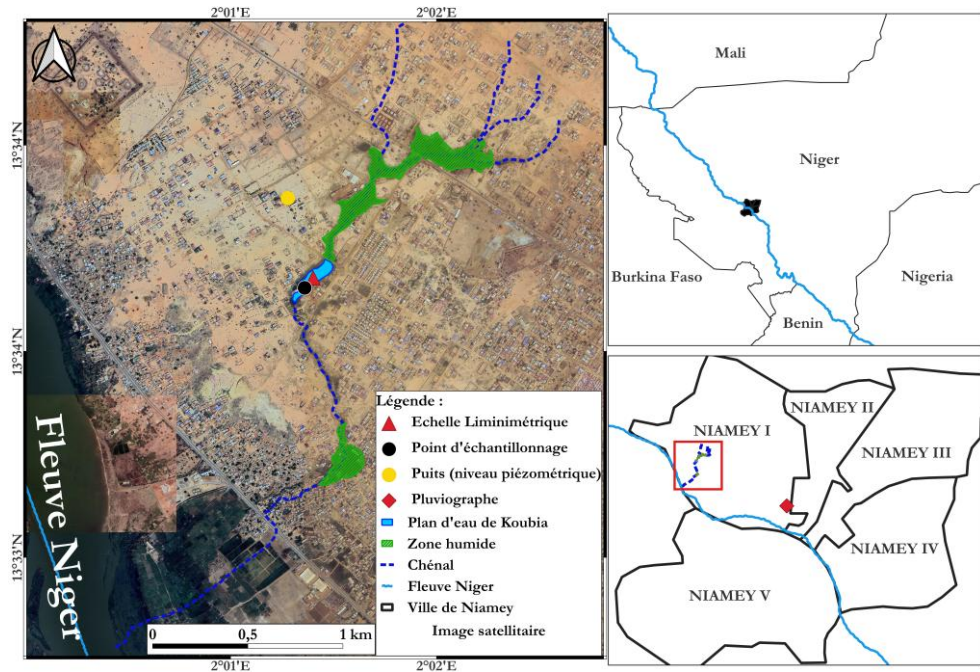


Figure 1 : Localisation du plan d'eau de Koubia



Figure 2 : Activités socio-économiques et récréatives autour du plan d'eau de Koubia : A et B) La pêche et C) baignade, D) maraichage

II-2. Échantillonnage, mesures de terrain et collecte des données

Les paramètres hydro-climatiques tels que la pluviométrie, l'épaisseur de la lame d'eau ainsi que le niveau piézométrique de la nappe phréatique ont été suivis dans la zone d'étude. La pluviométrie a été déterminée à l'aide d'un pluviographe à auget (capacité de 5 mL, pas de temps 5 minutes) installé au sol à une hauteur de 1,5 m au niveau de la représentation de l'Institut de Recherche pour le développement (IRD-Niger, **Figure 1**). La station pluviométrique est située à 8.5 km au Sud-Est du plan d'eau de Koubia. Les données de précipitations utilisées dans le cadre de ce travail ont couvert la période de mai 2022 à octobre 2023 et sont incluses dans la base de données de l'observatoire AMMA-CATCH [23]. Les données de pluies ont permis de déterminer le rôle des précipitations dans la dynamique des paramètres environnementaux mesurés. L'épaisseur de la lame d'eau du plan d'eau de Koubia a été suivie, à l'aide d'une souche d'arbre immergé sur laquelle a été placé un clou en guise de repère (**Figure 1 et 3a**). Les mesures ont été effectuées tous les jours entre mai et novembre 2023 et toutes les semaines entre décembre 2023 et février 2024. La lame d'eau (He) a été obtenue en retranchant la dénivelée entre la surface de l'eau et le repère (Hsr) de la hauteur entre le fond du lac et le repère (Hfr) (**Figure 3a et b, Équation 1**).

$$He = Hfr - Hsr \quad (1)$$

avec, He = Hauteur de la tranche d'eau, Hfr = Hauteur entre le fond du lac et le repère, Hsr = Hauteur entre la surface de l'eau et le repère.

Le niveau piézométrique de la nappe phréatique a également fait l'objet de mesures journalières entre juin et novembre 2023, et hebdomadaires entre décembre 2023 et février 2024 afin d'étudier la variabilité temporelle des eaux souterraines au niveau du site d'étude. Le suivi a été réalisé au niveau d'un puits situé à 400 m au Nord du plan d'eau (**Figure 1 et 3b**), à l'aide d'une sonde piézométrique sonneuse et lumineuse muni d'un câble long de 50 m (**Figure 3c et d, Équation 2**).

$$P = Hj - Hb \quad (2)$$

avec, P = niveau piézométrique, Hj = hauteur entre le niveau piézométrique et le haut de la buse, Hb = Hauteur de la buse.

Les paramètres physico-chimiques et microbiologiques du plan d'eau de Koubia ont été suivis entre mai et juin 2022 et mai et juillet 2024 afin de caractériser leur dynamique temporelle. Les données présentées dans le cadre de ce travail se limitent à l'année 2023. Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés directement dans le plan d'eau à l'aide d'un analyseur multi-

paramètres "WTW Multi-parameter portable meter MultiLine® Multi 3620 IDS SET G" [24]. Les paramètres mesurés étaient : le pH, la température, la conductivité électrique et l'oxygène dissous. Les sondes utilisées pour ces mesures ont été calibrées avant chaque mesure in situ. Les sondes de conductivité électrique et de pH ont été calibrées en laboratoire avec, respectivement, une solution tampon à $1\,000\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ et deux solutions tampons à pH égal à 4,1 et 7,1. La sonde d'oxygène dissous a été étalonnée sur le terrain. Un échantillon d'eau de 500 mL est prélevé après les mesures in situ à l'aide d'anciennes bouteilles d'eau minérale et conservé dans une glacière avant les analyses complémentaires au laboratoire « sol et érosion » de l'IRD de Niamey. Cet échantillon sert à mesurer la concentration en MES par la méthode de filtration (NF EN 872 / T90-105) [25]. Un filtre en microfibre de verre avec une porosité de $0,7\ \mu\text{m}$ a été utilisé pour séparer les phases solides et liquides d'un sous-échantillon de 50 mL d'eau. Le même échantillon a également été utilisé pour déterminer le nombre le plus probable (NPP) d'*E. coli*, par la culture microbienne à l'aide d'une microplaque MUG/EC (ISO 9308-3, [24, 26, 27]).

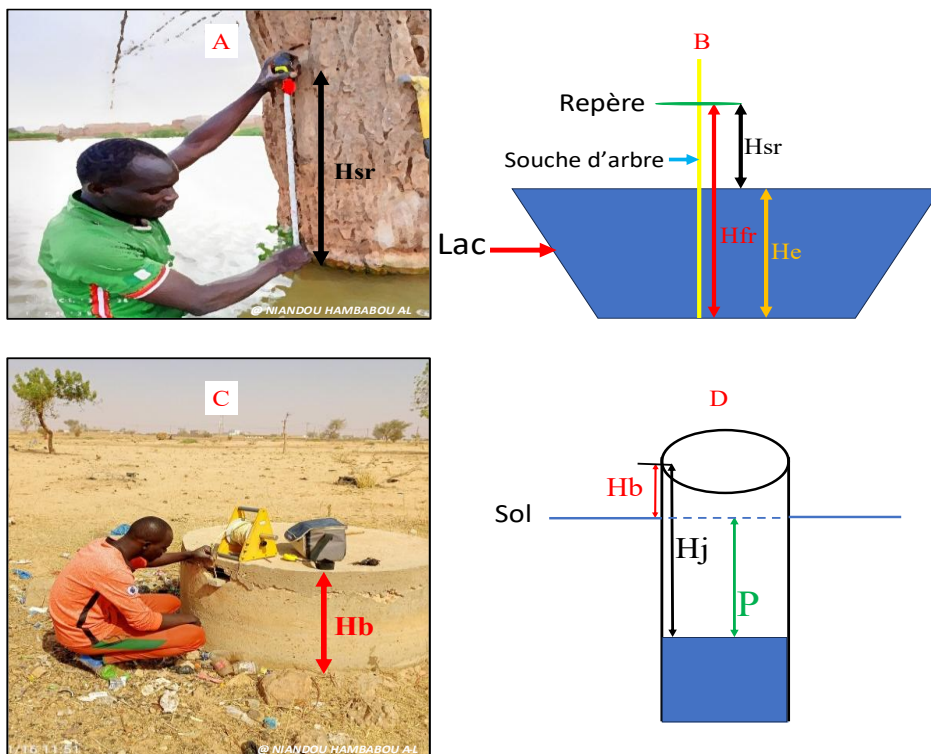


Figure 3 : Mesure de paramètres hydrodynamiques dans la zone du plan d'eau de Koubia : A) mesures de la hauteur entre la surface de l'eau et le repère, B) schéma conceptuel de la mesure de la lame d'eau, C) mesures de la hauteur entre le niveau piézométrique et le haut de la buse, D) schéma conceptuel de la mesure du niveau piézométrique

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Variabilité des paramètres hydro-climatiques

III-1-1. Pluviométrie

La dynamique temporelle des événements de pluies dans la zone de Niamey a montré un démarrage de la saison des pluies de mi-mai en 2022 et 2023. La durée de la saison des pluies, déterminée à partir du premier événement, a été de 155 jours en 2022 et 145 jours en 2023. Les cumuls annuels ont été de l'ordre de 435,22 mm et 452,5 mm respectivement en 2022 et 2023 pour des nombres d'événements respectifs de 40 et 41 (**Figure 4**). Ces cumuls annuels ont été déficitaires par rapport à la moyenne annuelle de pluie déterminée à Niamey entre 1970-2017, qui est de l'ordre de 527,36 mm [28]. Les cumuls mensuels et le nombre d'événements a varié d'un mois à un autre. Les mois les plus pluvieux ont été ceux d'août (256,04 mm) et de juillet (64,36 mm) pour 2022, et les mois de juillet (185,4 mm) et septembre (97,9 mm) pour l'année 2023. Dans la région de Niamey, [29] ont mis en évidence qu'un événement pluvieux minimal de 20 mm est nécessaire pour produire un ruissellement efficace. Huit événements pluvieux d'au moins 20 mm ont été enregistrés au cours de chacune des années 2022 et 2023. Par ailleurs, [30, 31] ont mis en évidence qu'une pluie minimale de 10 mm était en mesure de générer du ruissellement sur des sols humides. En 2022 et 2023 respectivement, ce sont 14 et 17 événements pluvieux qui atteignent ce seuil. Les intensités des événements ont varié entre 0.18 mm.h⁻¹ à 37.96 mm.h⁻¹ (moyenne = 6.55 mm.h⁻¹) et 0.47 mm.h⁻¹ à 30.75 mm.h⁻¹ (moyenne = 8.92 mm.h⁻¹) respectivement en 2022 et 2023. La dynamique temporelle des moyennes périodiques des intensités a montré une configuration similaire en 2022 et 2023 avec un début de saison des pluies caractérisé par de fortes intensités à modérées suivi par une courte période de faibles intensités puis d'une période de très fortes intensités. Néanmoins les comparaisons interannuelles ont montré des valeurs d'intensité plus importantes en 2023 comparativement à 2022 (**Figure 4**). La période de faible intensité au cœur de la saison des pluies correspond à une courte période d'environ 1 mois avant le saut de mousson qui s'accompagne de l'augmentation de l'intensité des événements [32].

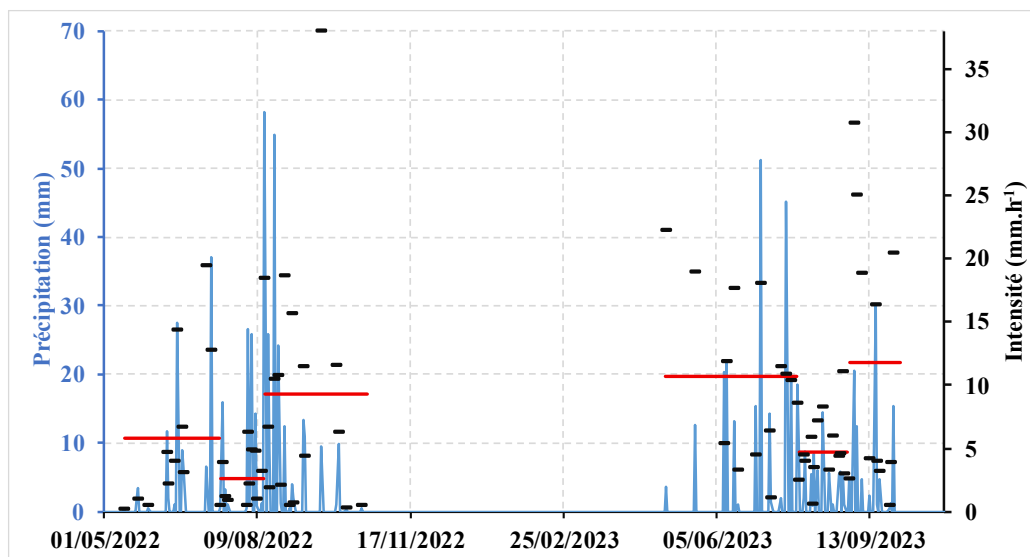


Figure 4 : *Dynamique des précipitations (bleu), intensités des évènements (tirets noirs) et moyennes périodiques des intensités (rouge) au niveau de la station pluviométrique de l'IRD*

III-1-2. Dynamique du niveau piézométrique de la nappe et de la hauteur d'eau du plan d'eau de Koubia

La dynamique temporelle de l'épaisseur de la lame d'eau du plan d'eau de Koubia a globalement été marquée, en 2023 par une phase de basses eaux (niveau à environ 107 cm) pendant la saison sèche et en début de la saison des pluies (**Figure 5**). La dynamique globale du niveau des eaux a ensuite été caractérisée par une phase de crue qui a débuté au mois de juillet, précisément 23 jours après l'installation de la saison des pluies. Par ailleurs, au cours de la phase de crue, la dynamique de la lame d'eau a également été marquée par des crues événementielles coïncidant avec les précipitations dans la zone. Ces crues événementielles ont été suivies par une vidange rapide via un drainage hydrique vers l'aval (situé au sud-est du plan d'eau). La phase de crue a atteint son paroxysme autour du mois d'octobre avec un niveau moyen d'environ 125 cm soit une différence de 18 cm avec la période de basses eaux. Cette variation de la lame d'eau entre la saison sèche et la saison des pluies a été 11 et 9 fois moins importante que celle enregistrée au niveau des lacs de Yaboni [33] et de Bangou Bi [14] localisés à l'Est de la ville de Niamey. La phase de décrue s'est amorcée quelques jours avant la fin de la saison des pluies avec une vitesse moyenne de 0.08 cm.jr^{-1} . La décrue est essentiellement due à l'évaporation intense qui caractérise la zone de Niamey. En effet l'ETP à Niamey atteint en moyenne $2\,500 \text{ mm.an}^{-1}$ [34]. La dynamique temporelle du niveau piézométrique au voisinage du plan d'eau de Koubia a été marquée par de

faibles niveaux (moyenne d'environ 310 cm) jusqu'à la fin de juillet alors que la saison des pluies était bien avancée. Ainsi la phase de crue de la nappe phréatique a connu un décalage d'environ trois mois par rapport au démarrage de la saison des pluies. Il s'agit d'un temps de réponse équivalent à celui observé au niveau de la zone de Banizoumbou localisé à 70 km à l'Est de Niamey (2 à 4 mois, [34]) et supérieur à celui enregistré pour au niveau du site de Saga Gorou situé à 15 km à l'Est de Niamey (2 mois, [35]). Aussi, la phase crue s'est opérée en 60 jours avec une vitesse d'augmentation d'environ 0.38 cm.jr^{-1} . La phase de décrue s'est amorcée légèrement après la décrue de la lame d'eau avec une vitesse moyenne de 0.15 cm.jr^{-1} (**Figure 5**).

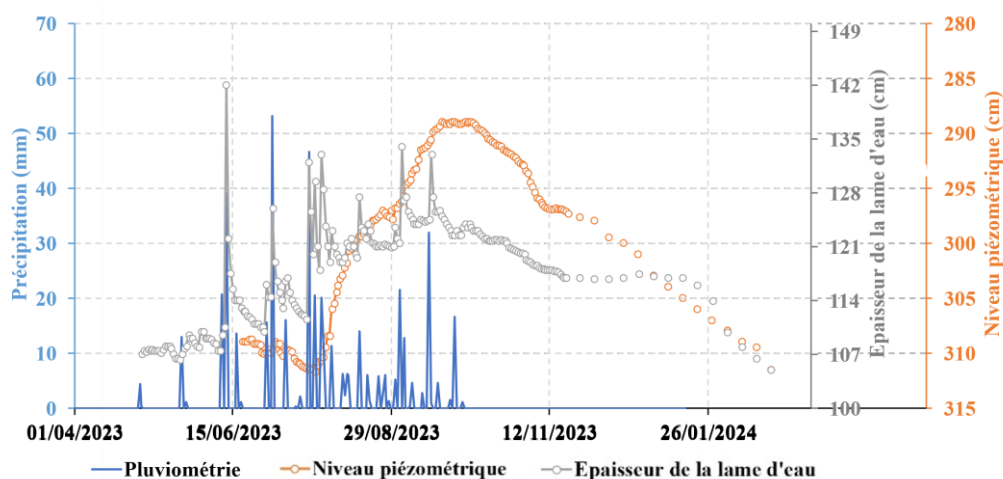


Figure 5 : *Dynamique temporelle des précipitations (bleu), de la lame d'eau du plan d'eau de Koubia (gris) et de la nappe phréatique au voisinage du plan d'eau de Koubia (orange)*

III-2. Dynamique des paramètres physico-chimiques du plan d'eau de Koubia

Les valeurs de pH du plan d'eau de Koubia ont été similaires pour les mesures de 2022 et 2023. Ainsi, le pH a varié entre 7.22 et 8.45 (moyenne = 7.92) pour les mesures de mai à juin 2022, et entre 7.53 et 8.41 (moyenne = 8.11) pour les mesures de 2023 (**Figure 6a**). Les eaux tendent donc vers la basicité, mais restent conformes aux normes de l'OMS pour les eaux de boissons (6.5 – 8.5, [36]) et pour la conservation des organismes aquatiques [37]. Les valeurs de température mesurées in situ ont également été du même ordre pour les mesures de 2022 et 2023. Ainsi, les températures du plan d'eau de Koubia ont varié de 26.8°C à 33.1°C (moyenne = 29.7°C) entre mai-juin 2022, et entre 28.2°C à 30.3°C (moyenne = 29.3°C) entre mai-juin 2023 (**Figure 6b**). Cependant, les valeurs de température ont montré une dispersion plus importante en 2022. En effet, les mesure de 2022 ont été effectuées à des

moments différents de la journée contrairement à celles de 2023 où elles ont été réalisées à 7 heures du matin. Les valeurs de températures pour les mêmes périodes (mai-juin 2022 et mai-juin 2023) ont été supérieures à 25°C, valeur préconisée par l'OMS pour les eaux de boisson [36]. La conductivité a varié entre 326 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ et 398 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (moyenne = 367.5 $\mu\text{S.cm}^{-1}$) entre mai à juin 2022, et entre 353 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ et 476 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (moyenne = 430.25 $\mu\text{S.cm}^{-1}$) entre mai-juin 2023 (**Figure 6c**). La différence des valeurs de conductivité pourrait s'expliquer par un effet de concentration avec des volumes d'eau moins importants 2023 comparativement à 2022. [38] ont montré qu'une diminution des niveaux d'eau entraîne une augmentation de la conductivité des eaux. La dynamique temporelle de la conductivité a montré, en 2023, des valeurs plus importantes en début de saison des pluies (mai – juin) comparativement à la mi-juillet. Cette diminution de la conductivité s'explique par un effet de dilution par des apports hydriques de surface liés aux événements de pluies [39]. L'ensemble des valeurs mesurées ont été inférieur à 500 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, valeur seuil préconisée par l'OMS pour les eaux de boisson [36]. Les concentrations en oxygène dissous du plan d'eau de Koubia ont présenté des valeurs différentes en 2022 et 2023. Ainsi, la concentration en oxygène dissous a varié entre 7.59 et 10.29 mg. L⁻¹ (moyenne = 8.5 mg.L⁻¹) entre mai et juin 2022, et entre 7.17 et 7.97 mg.L⁻¹ (moyenne = 7.5 mg.L⁻¹) entre mai et juin 2023 (**Figure 6d**).

La différence de concentration en oxygène dissous pourrait s'expliquer, comme pour la température, par le fait que les mesures aient été effectuées à des heures différentes en 2022 comparativement à 2023. Comparativement à la norme de l'OMS pour les eaux de boisson (7,5 mg.L⁻¹) les valeurs d'oxygène dissous mesurées au niveau du plan d'eau de Koubia ont été légèrement plus importantes en 2022 et toujours supérieures en 2023 [36]. Globalement, les concentrations en MES du plan d'eau de Koubia ont présenté de faibles valeurs et similaires pour les périodes de mesures des deux années. Les concentrations en MES ont varié entre 0.07 et 0.14 g.L⁻¹ (moyenne = 0,10 g.L⁻¹) entre mai-juin 2022, et 0.03 et 0.14g/L⁻¹ (moyenne = 0.06 g.L⁻¹) entre mai-juin 2023. Les valeurs maximales de concentration en MES ont été enregistrées, au cours du mois de juin, après les premiers événements de pluies en 2022 (11.75 mm) et 2023 (20.7 mm). La faible concentration en MES du lac est probablement due au fait qu'il est alimenté essentiellement par les eaux de la nappe, tout comme Bangou Bi et contrairement par exemple à Bangou Kirey qui reçoit une quantité importante de flux hydriques venant des koris latéraux en saison de pluies [14, 40] et présentant une concentration en MES largement plus élevée.

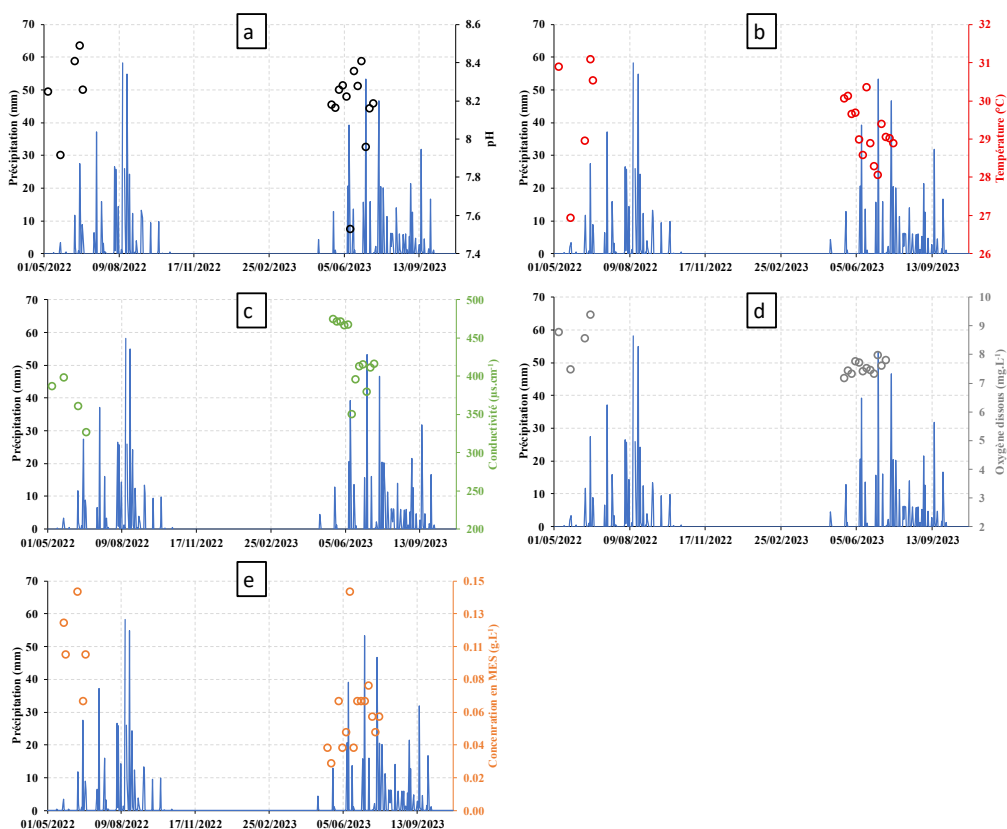


Figure 6 : *Dynamique temporelle des précipitations et des paramètres physico-chimiques des eaux du plan d'eau de Koubia. a) pH, b) Température, c) Conductivité, d) Oxygène dissous, e) Concentration en matières en suspension (MES)*

III-3. Dynamique temporelle des concentrations en *E. coli* du plan d'eau de Koubia

Les concentrations en *E. coli* mesurées au niveau du plan d'eau de Koubia ont varié entre 160 à 18 000 NPP.100 mL⁻¹ (moyenne = 4 176 NPP.100 mL⁻¹) entre mai – juin 2022, et entre 76 et 20 000 NPP.100 mL⁻¹ (moyenne = 2 696 NPP.100 mL⁻¹) pour la période de mai – juin 2023 (**Figure 7**). Globalement, 86 % de l'ensemble des concentrations mesurées ont été supérieures à la norme de l'OMS pour les eaux de baignade (200 NPP.100 mL⁻¹, [41]). Aussi 100 % des valeurs ont été supérieures à la norme pour les eaux de boisson (0 NPP.100 mL⁻¹, [36]). Les valeurs maximales ont été atteintes en saison des pluies mettant ainsi en lumière le rôle des précipitations dans la dégradation de la qualité de ce plan d'eau. Ces maximums de concentration en *E. coli* ont été enregistrés aux mêmes dates que les maximums de concentrations en MES.

Les MES jouent un rôle important dans la protection des bactéries contre les prédateurs [42] et les effets antiseptiques des rayons UV du soleil [43]. Les sédiments offrent également aux micro-organismes une concentration d'éléments nutritifs supérieure à celle de la colonne d'eau [44]. Par ailleurs, les fortes concentrations en *E. coli* enregistrées pendant la saison de pluie indiquent que le plan d'eau reçoit de fortes charges de pollution fécale externe provenant de la zone humide en amont, qui correspond à une aire de pâturage et également une zone de défécation à l'air libre de la part de certains riverains. Les concentrations en *E. coli* du plan d'eau de Koubia ont été moins importantes que celles enregistrées dans le lac de Bangou Kirey situé à l'Est de la ville de Niamey, mais plus importantes que les concentrations de Bangou Bi [5].

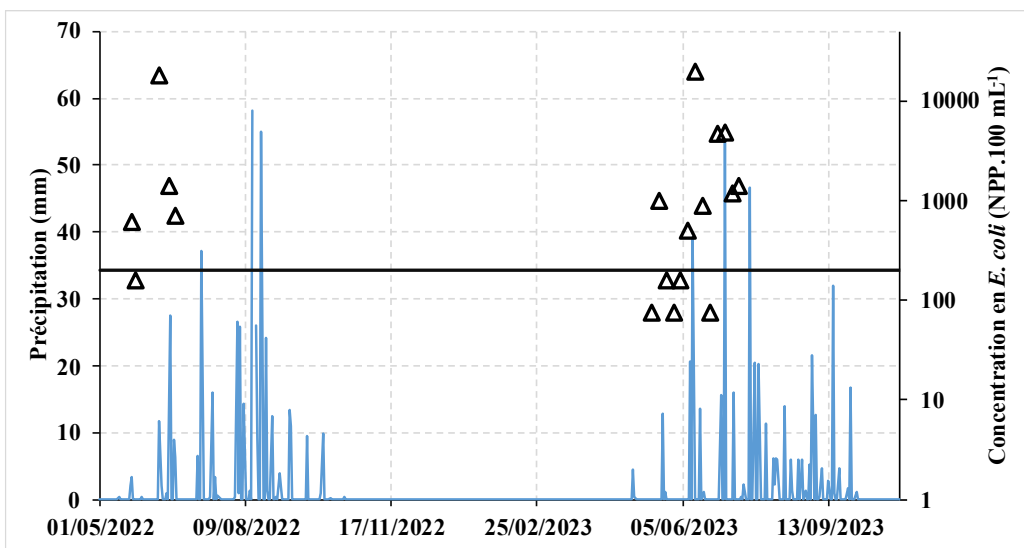


Figure 7 : Dynamique temporelle de la concentration en *E. coli* du plan d'eau de Koubia

III-4. Relations entre les paramètres environnementaux du plan d'eau de Koubia

La matrice de corrélation a permis d'identifier les relations linéaires qui ont caractérisées les paramètres physico-chimiques (MES, pH, température, conductivité, oxygène dissous) et microbiologiques (*E. coli*). Ainsi, les concentrations en *E. coli* ont été fortement et positivement corrélées avec les concentrations en MES ($R^2 = 0.7$ significatif, **Figure 8**). Les concentrations en *E. coli* ont été négativement corrélées avec la conductivité des eaux ($R^2 = -0.56$, significatif), la température ($R^2 = -0.28$, non significatif) et le pH ($R^2 = -0.42$, non significatif, **Figure 8**). En effet, le pH peut être un facteur de réduction de certaines bactéries, il a un effet toxique sur *E. coli* et sur *Salmonella spp* [45]. L'impact de la température sur la survie bactérienne

dépend de plusieurs facteurs tels que les disponibilité nutriments dans le milieu. Ainsi, dans un milieu aquatique avec un fort taux de nutriments, la survie voire même la croissance bactérienne se produisent si les températures sont proches de la température optimale de croissance des bactéries [46]. A l'inverse lorsque les nutriments font défaut, la survie est alors favorisée par les basses températures qui limitent les dépenses énergétiques des bactéries par une diminution de son activité métabolique [46]. Les cumuls des précipitations sur 7 jours précédant les mesures ont été positivement corrélés aux concentrations en MES ($R^2 = 0.25$, non significatif), *E. coli* ($R^2 = 0.33$, non significatif) et négativement corrélés à la conductivité électrique des eaux ($R^2 = -0.57$, significatif) et au pH ($R^2 = -0.42$, non significatif). [47] ont également montré des corrélations positives entre le cumul des précipitations et les concentrations en MES et *E. coli* au niveau du lac de Bagré (Cumul 5 jours) au Burkina Faso et du lac de Kongou (Cumul 8 jours) situé au Nord-Est de la ville de Niamey. De plus, [47] ont montré des corrélations négatives entre les cumuls des pluies avec la conductivité, la température de l'eau, l'oxygène dissous et le pH pour le lac Bagré et le lac de Kongou à l'exception de la température de l'eau qui était positivement corrélée. Par ailleurs, une étude sur une plus grande période que celle du présent travail permettrait de mieux explorer les différentes corrélations étudiées.

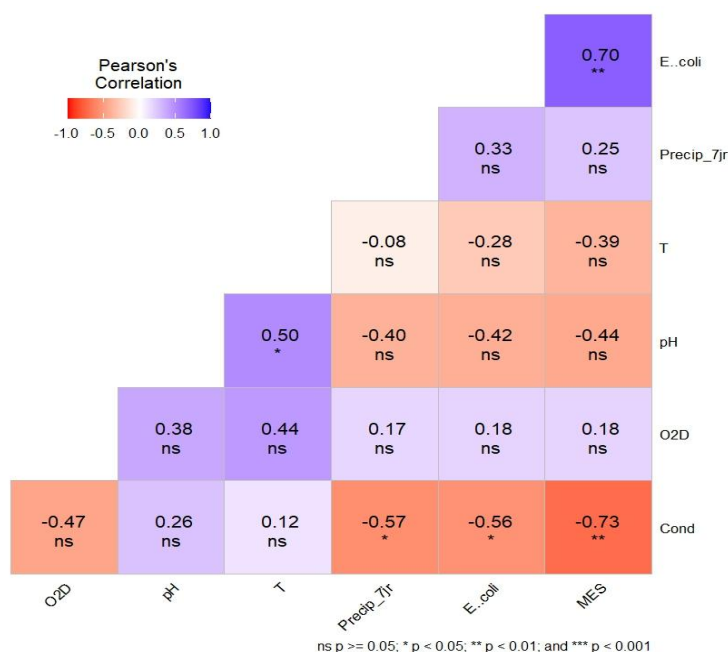


Figure 8 : Matrice de corrélation du cumul de précipitations sur les sept jours précédents la mesure, des différents paramètres physico-chimiques, et microbiologiques mesurés au niveau du plan d'eau de Koubia

IV - CONCLUSION

Le présent travail visait à étudier la dynamique temporelle de la qualité physico-chimique et microbiologique du plan d'eau de Koubia en lien avec les variables hydro-climatiques. Les mesures limnimétriques et piézométriques ont montré une dynamique marquée par des crues en saison des pluies et des décrues pendant la saison sèche. Les paramètres physico-chimiques mesurés ont été pour leur majorité conformes à la norme de l'OMS pour les eaux de boisson à l'exception de l'oxygène dissous qui a ponctuellement présenté des valeurs supérieures à cette norme surtout en 2022. Les concentrations en *E. coli* mesurées en saison des pluies ont été caractérisées par des valeurs beaucoup plus importantes comparativement aux mesures effectuées en saison sèche. Les tests de Pearson ont montré des corrélations positives et significatives entre les concentrations en *E. coli* et les concentrations en MES et négatives avec la conductivité des eaux. Il serait intéressant de poursuivre la mesure des différents paramètres suivis dans le cadre de cette étude sur une période plus longue et un pas de temps plus fin afin d'établir un meilleur diagnostic de la qualité du plan d'eau et de déterminer les sources de contamination. La caractérisation des sources de contamination pourrait se faire à travers l'étude de l'impact des activités socio-économiques sur la qualité du plan d'eau de Koubia. Enfin, une étude de la qualité des eaux souterraines serait également intéressante afin d'établir l'état de la qualité de ces dernières.

RÉFÉRENCES

- [1] - Y. LEVI, "Eau et Santé Publique," *L'EAU*, (2007) 11 p., Accessed : Jun. 2025. [Online]. Available : https://aueg.org/wp-content/uploads/2016/10/rapport_eau_cognet.pdf#page=11
- [2] - O. OSUOLALE and A. OKOH, "Human enteric bacteria and viruses in five wastewater treatment plants in the Eastern Cape, South Africa," *J. Infect. Public Health*, Vol. 10, N° 5, (2017) 541 - 547 p., doi: 10.1016/j.jiph.2016.11.012
- [3] - J. G. T. YOUMBI, R. FEUMBA, V. T. NJITAT, G. De MARSILY and G. E. EKODECK, "Pollution de l'eau souterraine et risques sanitaires à Yaoundé au Cameroun," *C. R. Biol.*, Vol. 336, N° 5 - 6 (2013) 310 - 316, doi: 10.1016/j.crv.2013.04.013
- [4] - F. MOLLE, "Gouvernance de l'eau," *Hypergeo*, (2020) 4 p., Accessed, Jun. 2025. [Online]. Available: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers21-01/010080191.pdf

- [5] - M. BOUBACAR MOUSSA, “Qualité des eaux de surface de la zone de Niamey : caractérisation physico-chimique, dynamique spatio-temporelle des concentrations en matières en suspension (MES) et en bactéries d’origine fécale (*E. coli*),” phdthesis, Université Paul Sabatier - Toulouse III ; Université Abdou Moumouni, (2023). Accessed: Apr. 2025. [Online]. Available: <https://theses.hal.science/tel-04257708>
- [6] - MHA, “rapport annuel d’activités 2020 du ministère de l’hydraulique et de l’assainissement”, (2020) 56 p.
- [7] - “NEXUS PROFILE // NIGER BASIN | NEXUS FR.”, (2018), Accessed: Jul. 2025. [Online]. Available: <https://www.water-energy-food.org/fr/resources/nexus-profile-niger-basin>
- [8] - WATERAID, “Au-delà de l’accès : La qualité de l’eau, de la ressource à l’usager – Note d’orientation,” Rapport technique, (2021). Accessed: Jun. 2025. [Online]. Available: <https://washmatters.wateraid.org/sites/g/files/jkxoof256/files/au-del-de-laccs-la-qualit-de-leau-de-la-ressource--lusager---note-dorientation.pdf>
- [9] - F. E. DOVONOU, E. M. ALLADASSIVO, J. M. KOUKPO, L. SINTONDJI and N. YALO, “Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l’eau du lac Azili dans la commune de Zangnanado au centre du Bénin,” *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, Vol. 16, N° 2, Art. N° 2 (Jul. 2022), doi: 10.4314/ijbcs.v16i2.28
- [10] - H. SAMAKÉ, “Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S. des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001,” thesis, Université de Bamako, (2002). Accessed : Jun. 2025. [Online]. Available : <https://www.bibliosante.ml/handle/123456789/6735>
- [11] - B. ALHOU, Impact des rejets de la ville de Niamey (Niger) sur la qualité des eaux du fleuve Niger. Presses universitaires de Namur, (2007). Accessed: Jul. 2025. [Online]. Available: https://dial.uclouvain.be/downloader/downloader.php?pid=boreal:4238&datastream=PDF_01
- [12] - C. H. BABADJIDÉ, “Pollution, ses conséquences, ses causes et ses incidences sur la santé humaine dans le bassin du fleuve Mono au Bénin,” Thèse de doctorat, Université d’Abomey-Calavi, (2011) 222 p.
- [13] - P. OZER and D. PERRIN, “Eau et changement climatique. Tendances et perceptions en Afrique de l’Ouest”, (2014), Accessed: Jun. 2025. [Online]. Available: <https://orbi.uliege.be/handle/2268/156390>
- [14] - A. ABDOURHAMANE TOURÉ, “Erosion en milieu sableux cultivé au Niger : dynamique actuelle et passée en liaison avec la pression anthropique et les changements climatiques,” phdthesis, Université de Bourgogne, (2011). Accessed: Apr. 2025. [Online]. Available: <https://theses.hal.science/tel-00833028>

- [15] - C. LEDUC, G. FAVREAU, and P. SCHROETER, "Long-term rise in a Sahelian water-table: the Continental Terminal in South-West Niger," *J. Hydrol.*, Vol. 243, N° 1 (2001) 43 - 54 p., doi: 10.1016/S0022-1694(00)00403-0
- [16] - M. J. LEBLANC, G. FAVREAU, S. MASSUEL, S. O. TWEED, M. LOIREAU and B. CAPPELAERE, "Land clearance and hydrological change in the Sahel: SW Niger," *Glob. Planet. Change*, Vol. 61, N° 3 (2008) 135 - 150 p., doi: 10.1016/j.gloplacha.2007.08.011
- [17] - L. DESCROIX *et al.*, "Spatio-temporal variability of hydrological regimes around the boundaries between Sahelian and Sudanian areas of West Africa: A synthesis," *J. Hydrol.*, Vol. 375, N° 1 (2009) 90 - 102 p., doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.12.012
- [18] - L. GAL, M. GRIPPA, P. HIERNAUX, L. PONS and L. KERGOAT, "The paradoxical evolution of runoff in the pastoral Sahel: analysis of the hydrological changes over the Agoufou watershed (Mali) using the KINEROS-2 model," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, Vol. 21, N° 9 (2017) 4591 - 4613 p., doi: 10.5194/hess-21-4591-2017
- [19] - H. AMADOU, M. S. LAOUALI and A. S. MANZOLA, "Évaluation des rejets d'eaux usées de la ville de Niamey dans le fleuve Niger," *Afr. Sci. Rev. Int. Sci. Technol.*, Vol. 7, N° 2, Art. N° 2 (2011), Accessed: Jun. 2025. [Online]. Available : <https://www.ajol.info/index.php/afsci/article/view/87696>
- [20] - B. ALHOU, I. BOUKARI and F. DARCHAMBEAU, "Apports En Carbone Et Azote Dans Le Fleuve Niger À Tondibia (Niamey): Résultats De Deux (2) Ans D'observations," *Eur. Sci. J.*, Vol. 12, N° 21 (2016), Accessed: Jun. 2025. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/236413371.pdf>
- [21] - A.-L. NIANDOU HAMBABOU, "Dynamiques hydrologiques, qualités physico-chimique et bactériologique du plan d'eau de Koubia (Niamey, Sud-ouest Niger)," Mémoire de Master 2, Abdou Moumouni de Niamey, (2024)
- [22] - G. PANTHOU, T. LEBEL and T. VISCHÉL, "Inondations en Afrique : une nouvelle ère hydroclimatique," *The Conversation*, (2020), Accessed: Jul. 2025. [Online]. Available: <http://theconversation.com/inondations-en-afrique-une-nouvelle-ere-hydroclimatique-148739>
- [23] - AMMA-CATCH, "Precipitation dataset (5 minutes rainfall), 30 long-term stations over the Niamey square degree site (16 000 km²), Niger." IRD, CNRS-INSU, OSUG, OMP, OREME, (1990). doi: 10.17178/AMMA-CATCH.CL.RAIN_N
- [24] - M. BOUBACAR MOUSSA *et al.*, "*Escherichia coli* in the Niger River: Links to environmental variables and anthropogenic activities in Niamey city, Niger," *J. Hydrol. Reg. Stud.*, vol. 59, p. 102328, (2025), doi: 10.1016/j.ejrh.2025.102328

- [25] - M. BOUBACAR MOUSSA *et al.*, “Spatio-temporal dynamics of suspended particulate matter in the middle Niger River using in-situ and satellite radiometric measurements,” *J. Hydrol. Reg. Stud.*, Vol. 41, (2022) 101106 p., doi: 10.1016/j.ejrh.2022.101106
- [26] - P. NAKHLE *et al.*, “Effects of hydrological regime and land use on in-stream *Escherichia coli* concentration in the Mekong basin, Lao PDR,” *Sci. Rep.*, Vol. 11, N° 1 (2021) 3460 p., doi: 10.1038/s41598-021-82891-0
- [27] - E. ROBERT *et al.*, “Environmental determinants of *E. coli*, link with the diarrheal diseases, and indication of vulnerability criteria in tropical West Africa (Kapore, Burkina Faso),” *PLoS Negl. Trop. Dis.*, Vol. 15, N° 8 (2021) e0009634 p., doi: 10.1371/journal.pntd.0009634
- [28] - B. HAMADOU YOUNOUSSA, T. H. YAOU, A. A. TOURE, A. M. ISSAKA, and B. HASSANE, “Dynamique récente et actuelle de l'érosion en nappe aux abords du fleuve Niger ”, (2020)
- [29] - H. LUBÈS-NIEL, L. SÉGUIIS and R. SABATIER, “Étude de stationnarité des caractéristiques des évènements pluvieux de la station de Niamey sur la période 1956–1998,” *Comptes Rendus Académie Sci. - Ser. IIA - Earth Planet. Sci.*, Vol. 333, N° 10 (2001) 645 - 650 p., doi: 10.1016/S1251-8050(01)01690-1
- [30] - M. MATHLOUTHI and F. LEBDI, “Modélisation de la relation pluie-ruissellement par durée d'épisode pluvieux dans un bassin du nord de la Tunisie,” *Hydrol. Sci. J.*, Vol. 55, N° 7 (2010) 1111 - 1122 p., doi: 10.1080/02626667.2010.512471
- [31] - C. PEUGEOT, M. ESTEVES, S. GALLE, J. L. RAJOT and J. P. VANDERVAERE, “Runoff generation processes: results and analysis of field data collected at the East Central Supersite of the HAPEX-Sahel experiment,” *J. Hydrol.*, Vol. 188 - 189, (1997) 179 - 202 p., doi: 10.1016/S0022-1694(96)03159-9
- [32] - B. SULTAN and S. JANICOT, “The West African monsoon dynamics. Part II: The ‘preonset’ and ‘onset’ of the summer monsoon,” *J. Clim.*, Vol. 16, N° 21 (2003) 3407 - 3427 p., Accessed: Jul. 2025. [Online]. Available: https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/16/21/1520-0442_2003_016_3407_twamdp_2.0.co_2.xml
- [33] - M. A. A. ABDOU, Z. GARBA and A. A. TOURE, “dynamique de la conductivité dans les eaux de surface et souterraines du sud-ouest du niger: cas du lac et puits de yaboni”, (2029) Accessed: Jun. 2025. [Online]. Available: https://revist.net/REVIST_34/REVIST_34_24.pdf
- [34] - W. MARTIN-ROSALES and C. LEDUC, “Dynamiques de vidange d'une mare temporaire au Sahel : l'exemple de Banizoumbou (Sud-Ouest du Niger),” *Comptes Rendus Geosci.*, Vol. 335, N° 5 (2003) 461 - 468 p., doi: 10.1016/S1631-0713(03)00059-2

- [35] - G. FAVREAU, “Caractérisation et modélisation d’une nappe phréatique en hausse au Sahel: dynamique et géochimie de la dépression piézométrique naturelle du kori de Dantiandou (sud-ouest du Niger),” Thèse de doctorat, Paris 11, (2000). Accessed: Apr. 2025. [Online]. Available: <https://theses.fr/2000PA112333>
- [36] - ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, « *Directives sur la qualité de l’eau de boisson* », 4e éd., Intégrant le premier additif. Genève: Organisation mondiale de la Santé, (2017). Accessed: Jun. 2025. [Online]. Available: <https://iris.who.int/handle/10665/258887>
- [37] - CRITÈRES DE QUALITÉ DE L’EAU DE SURFACE AU QUÉBEC. Québec: Le Ministère, (2009). Accessed: June. 2025. https://www.obvcapitale.org/wp-content/uploads/MDDEP_criteres-de-qualite-de-leau-de-surface.pdf
- [38] - K. STEFANIDIS and E. PAPASTERGIADOU, “Effects of a long term water level reduction on the ecology and water quality in an eastern Mediterranean lake,” *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.*, no. 411, p. 05, (2013), doi: 10.1051/kmae/2013072
- [39] - K. CANO-PAOLI, G. CHIOGNA, and A. BELLIN, “Convenient use of electrical conductivity measurements to investigate hydrological processes in Alpine headwaters,” *Sci. Total Environ.*, vol. 685, pp. 37–49, (2019), Accessed: Jul. 2025. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719321941>
- [40] - M. BOUBACAR MOUSSA *et al.*, “Physicochemical and bacteriological quality of small peri-urban Sahelian water bodies: Bangou bi and Bangou Kirey,” En préparation
- [41] - OMS, “Guidelines on recreational water quality: Volume 1 Coastal and fresh waters ”, (2021), Accessed: Jun. 2025. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240031302>
- [42] - E. A. KUNKEL, C. V. PRIVETTE, C. B. SAWYER and J. C. HAYES, “Attachment of *Escherichia coli* to fine sediment particles within construction sediment basins,” *Adv. Biosci. Biotechnol.*, Vol. 04, N° 03 (2013) 407 - 414 p., doi: 10.4236/abb.2013.43A054
- [43] - Z. LIANG *et al.*, “Impact of mixed land-use practices on the microbial water quality in a subtropical coastal watershed,” *Sci. Total Environ.*, Vol. 449, (2013) 426 - 433 p., doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.087
- [44] - R. L. WHITMAN, D. A. SHIVELY, H. PAWLIK, M. B. NEVERS and M. N. BYAPPANAHALLI, “Occurrence of *Escherichia coli* and Enterococci in *Cladophora* (Chlorophyta) in Nearshore Water and Beach Sand of Lake Michigan,” *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 69, N° 8 (2003) 4714 - 4719 p., doi: 10.1128/AEM.69.8.4714-4719.2003

- [45] - L. E. FELS, "Suivi physico-chimique, microbiologique et écotoxicologique du compostage de boues de STEP mélangées à des déchets de palmier : validation de nouveaux indices de maturité," phdthesis, Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT ; Université Cadi Ayyad (Marrakech, Maroc), (2014). Accessed: Jun. 2025. [Online]. Available: <https://theses.hal.science/tel-04258807>
- [46] - N. MEZRIOUI and B. BALEUX, "Effets de la température, du pH et du rayonnement solaire sur la survie de différentes bactéries d'intérêt sanitaire dans une eau usée épurée par lagunage," *Rev. Sci. Eau*, vol. 5, N° 4 (2005) 573 - 591 p., Apr., doi: 10.7202/705148ar
- [47] - M.-A. MANT *et al.*, "Monitoring bacterial contamination of West African surface waters using Earth observation data and machine learning methods," *Environ. Chall.*, Soumis