

RISQUES DES MALADIES HYDRIQUES LIÉS AUX INONDATIONS DES CRUES DU CHARI ET LOGONE À BONGOR (TCHAD)

Valentin BETOUBAM¹, BASKA TOUSSIA Daniel Valérie², ASSAKO ASSAKO René Joly³, YOUSSEUF DAOUDA⁴

¹Assistant, Département de Géographie, Laboratoire de Géomatique, Université Adam Barka d'Abéché, Tchad.

E-Mail : betoubamvalentinbr@gmail.com

²Maitre de Conférences, Département de Géographie, Université de Maroua, Cameroun, E-Mail :

Baskatoussia@yahoo.fr

³Professeur titulaire, Département de Géographie, Université de Douala, Cameroun, E-Mail : rjassako@yahoo.fr

⁴Assistant, Département des Sciences Biomédicales, Pharmaceutiques et Nutritionnelles, Université Toumè de N'Djaména, Tchad, E-Mail : youssdada235@gmail.com

Résumé

Cette étude a portée sur les risques des maladies hydriques liés aux inondations des crues du Chari et Logone à Bongor. Ladite recherche s'inscrit à la suite logique des travaux réalisés sur les risques des maladies liées à l'eau dans un contexte de la variabilité climatique, la gestion territoriale et problématique des pratiques environnementales. L'objectif principal qui a animé cette étude est d'analyser les facteurs et les risques des maladies hydriques liées aux eaux de surfaces (inondations). Afin de parvenir à des résultats exploitables, des données des sources différentes ont été collectées notamment, les levés de terrains, les prise de vue, les prélèvements des échantillons d'eau à des fins d'analyses bactériologiques et physico-chimiques aux laboratoires ont été réalisés. Les données de terrain, ont révélés que les facteurs aggravant les inondations à Bongor proviennent de la combinaison des facteurs naturels et anthropiques. Par contre, les résultats des cinq (5) échantillons d'eaux prélevés et analysés aux laboratoires confirment que la présence indénombrable des coliformes totaux, des entérocoques intestinaux et des *escherichia coli* à des concentration élevée indique une pollution fécale directe de ses eaux de surface. La présence accrue de ces germes sont des indicateurs majeurs des risques sanitaires qui peuvent véhiculer des maladies hydriques telles que la diarrhée infectieuse, la typhoïde ou l'hépatite A. Les résultats d'analyses au laboratoire montrent une charge microbienne excessive car les micro-organismes revivifiables dépassent largement les seuils réglementaires qui démontre que les échantillons d'eaux prélevés sont d'origine stagnante, riche en nutriments et en matière organique propice à la prolifération bactérienne. Par contre, la valeur élevée de *pseudomonas aeruginosa* démontre la présence des bactéries susceptibles de provoquer des infections cutanées, respiratoires ou urinaires, surtout chez les personnes immunodéprimées ou exposées par plaies (cas de la bilharziose) ou inhalation.

Mots-clés : *Variabilité climatiques, Inondations, Risques des maladies hydriques, crues, paramètres physico-chimiques et bactériologique, Bongor.*

Risks of waterborne diseases associated with flooding from the Chari and Logone rivers in Bongor (Chad)

Abstract

This study focused on the risks of waterborne diseases associated with flooding of the Chari and Logone rivers in Bongor. This research is a logical continuation of work carried out on the risks of waterborne diseases in a context of climate variability, territorial management, and environmental practices. The main objective of this study was to analyze the factors and risks of waterborne diseases linked to surface water (flooding). In order to obtain usable results, data from various sources was collected, including field surveys, photographs, and water samples for bacteriological and physico-chemical analysis in laboratories. The field data revealed that the factors aggravating flooding in Bongor stem from a combination of natural and anthropogenic factors. However, the results of the five (5) water samples taken and analyzed in laboratories confirm that the presence of countless total coliforms, intestinal enterococci, and *Escherichia coli* at high concentrations

indicates direct fecal pollution of its surface waters. The increased presence of these germs are major indicators of health risks that can transmit waterborne diseases such as infectious diarrhea, typhoid, or hepatitis A. Laboratory test results show excessive microbial load, as revivable microorganisms greatly exceed regulatory thresholds, indicating that the water samples collected are stagnant, rich in nutrients and organic matter, and conducive to bacterial proliferation. However, the high value for *Pseudomonas aeruginosa* However, the high level of *Pseudomonas aeruginosa* indicates the presence of bacteria that can cause skin, respiratory, or urinary infections, especially in people who are immunocompromised or exposed through wounds (as in the case of schistosomiasis) or inhalation.

Keywords: *Climate variability, Floods, Risks of waterborne diseases, High water levels, Physicochemical and bacteriological parameters, Bongor.*

Introduction

Au cours des dernières années, un changement climatique global a été observé à l'échelle de la planète (IPCC ; 2007, p2). Les principales raisons de cette hausse de température sont un siècle et demi d'industrialisation avec la combustion de quantités de plus en plus élevées de pétrole, d'essence et de charbon, la coupe des forêts ainsi que certaines méthodes agricoles (UNFCCC, 2004, p3). Les pays sahéliens sont confrontés à une forte variabilité hydro-climatique ces dernières années qui fait que l'eau est une denrée rare et détermine dans bien des cas l'implantation des populations (Nouaceur, 2020, p89-109). La question de l'évolution des précipitations est de première importance au Sahel, région où les pluies sont au cœur des préoccupations sociétales (Vischel et *al.*, Martinet, 2012, p2). De plus, les variations pluviométriques ne touchent pas seulement la quantité des pluies, mais aussi leur répartition spatio-temporelle (Gouataine, 2018, p3). Alors que certaines régions ou sous-régions font face à de graves sécheresses du fait de la diminution de la quantité de pluie, d'autres par contre, sont confrontées aux problèmes d'inondations (Élisabeth, 2008, p59-60).

Les inondations sont une submersion temporaire d'un espace terrestre par des eaux douces ou salées, liées à des crues, des ruptures de digue ou des phénomènes météorologiques extrêmes et deviennent un risque lorsqu'elles affectent des zones habitées ou aménagées (Veyret et Laganier, 2017, p87). Elles sont issues des mécanismes hydrologiques des crues associés aux précipitations, à la saturation des sols et à l'aménagement du territoire. Les crues en zone de plaine sont souvent liées à la saturation des sols, à l'imperméabilisation des surfaces et à l'absence de relief pour évacuer rapidement les eaux. Par contre, les plaines agissent comme des zones de stockage naturel des crues, mais que l'urbanisation perturbe cette fonction (Andréassian, 2006, p87). Les inondations figurent parmi les catastrophes climatiques les plus importantes. Il s'agit de la catastrophe naturelle la plus fréquente dans les pays développés et en développement (Ahern et *al.*, 2005, p36).

Les inondations résultent de la combinaison de précipitations intenses et de crues fluviales et constituent un phénomène complexe aux conséquences hydrologiques, environnementales et sanitaires majeurs. Elles affectent toutes les régions du monde, mais les pays en développement sont les plus vulnérables au risque hydro-climatiques (CAH, 2005, p14). La vulnérabilité des villes des pays en développement s'explique par une combinaison de facteurs, le principal étant l'accroissement de la population urbaine par la conjonction de la natalité et de l'émigration rurale. Depuis plus de deux décennies, le Tchad et plus particulièrement la ville de Bongor fait régulièrement face aux inondations et aux sécheresses. Les inondations sont souvent observées en cas d'abondance pluviométrique. Les zones soudaniennes et sahélienne (régions situées au sud et au centre du pays) sont les plus exposées. Quant à la sécheresse, elle survient lors des saisons déficitaires en pluies.

La zone sahélienne et le nord désertique en sont souvent exposés (Mbaississem, 2014, p13). Dans ce contexte de dégradation climatiques, se traduisant par la présence d'eau et de chaleur, se détériore aussi la santé humaine qui en dépend. L'eau constitue un élément primordial dans la vie de l'Homme. Elle est également indispensable pour le développement économique d'un pays. Elle est

une ressource aussi précieuse que vitale. Chaque être qui naît en exige pour son propre organisme, mais aussi le développement socio-économique de la communauté en demande toujours plus. Malgré cette importance de l'eau, son usage n'est pas toujours sans danger. L'eau est essentielle pour la vie, mais elle peut transmettre et transmet aussi des maladies (Dombor, 2020, p2). Le changement climatique amplifie les zones à haut risque qui s'explique par des inondations excessives. Une étude de l'OMS (2022, p5), a montré que les maladies hydriques représentent 40% des urgences sanitaires en Afrique.

Depuis début 2022, le Tchad est victime de conditions météorologiques extrêmes en lien avec le changement climatique, et cela prend la forme de graves sécheresses et de précipitations irrégulières. La récente et dramatique montée du niveau des fleuves Chari et Logone, qui ont atteint jusqu'à 8,14 mètres près de leur confluence à N'Djamena, et qui a par ailleurs, débordé les lits, est attribuée à des chutes de pluies exceptionnellement fortes dans le sud du pays (MSF, 2022, p1). Les pluies diluviennes et la crue annuelle des fleuves Chari et Logone ont entraîné des inondations ayant fortement affecté les populations. Sur les 23 provinces que compte le Tchad, 18 ont été touchées par ces inondations. Des milliers d'hectares de culture ont été détruits, du cheptel emporté et de nombreux habitants ont été obligés de partir de chez eux, forcés par la montée des eaux (OMS, 2022, p2). Près de 1 941 869 personnes soit 342 471 ménages sont affectées par ces inondations y compris 576 décès.

À l'instar des autres pays africains, le Tchad fait face à une situation sanitaire excédante. Les maladies liées à l'eau telle que la diarrhée représentent 6,45% soit 194 687 cas au niveau de tous les centres de santé du Tchad selon le bilan global du Ministère de la Santé Publique et de la Solidarité du Tchad en 2019 (Dombor, 2024, p3).

A Bongor, les études antérieures ont montré que les maladies hydriques occupent 87,38% de plus que les autres maladies. Il s'agit notamment du paludisme, la fièvre typhoïde, la diarrhée, la dysenterie et la conjonctivite. Les résultats qui impliquent les facteurs d'accroissement des maladies hydriques à Bongor se rapprochent de son analyse sur les paramètres climatiques qui accentuent les risques de propagation et d'expansion. La pluralité de ces maladies s'explique par l'existence de plusieurs facteurs explicatifs de risque qui sont l'inondation, la mauvaise qualité de l'eau, le manque d'hygiène, la chaleur et le froid. Ces facteurs sont donc à l'origine de la fréquence des maladies hydriques dans la ville de Bongor (Gouataine et Ymba, 2018, p1 ; Dombor, 2024, p19).

1. MATERIEL ET METHODE

1.1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située au sud-ouest du Tchad à environ 235 Km de la capitale (N'Djaména). La ville de Bongor est le chef-lieu du département de Mayo-Boneye et de la province de Mayo-Kebbi/Est. Elle est située entre les coordonnées 10°15'29" et 10°18'14" de latitude nord, entre 15°20'24" et 15°24'0" de Longitude Est. Elle est délimitée au Nord par le canton Télémé, au Sud par le canton Tougoudé, à l'Est par les villages (Guissédé, Golo, Miogoy) et à l'Est par la République du Cameroun. Elle couvre une superficie d'environ 428,63 Km² avec une population estimée à 75 638 habitants (Projection RGPH₂, 2025). La figure 1, présente la localisation de la ville de Bongor.

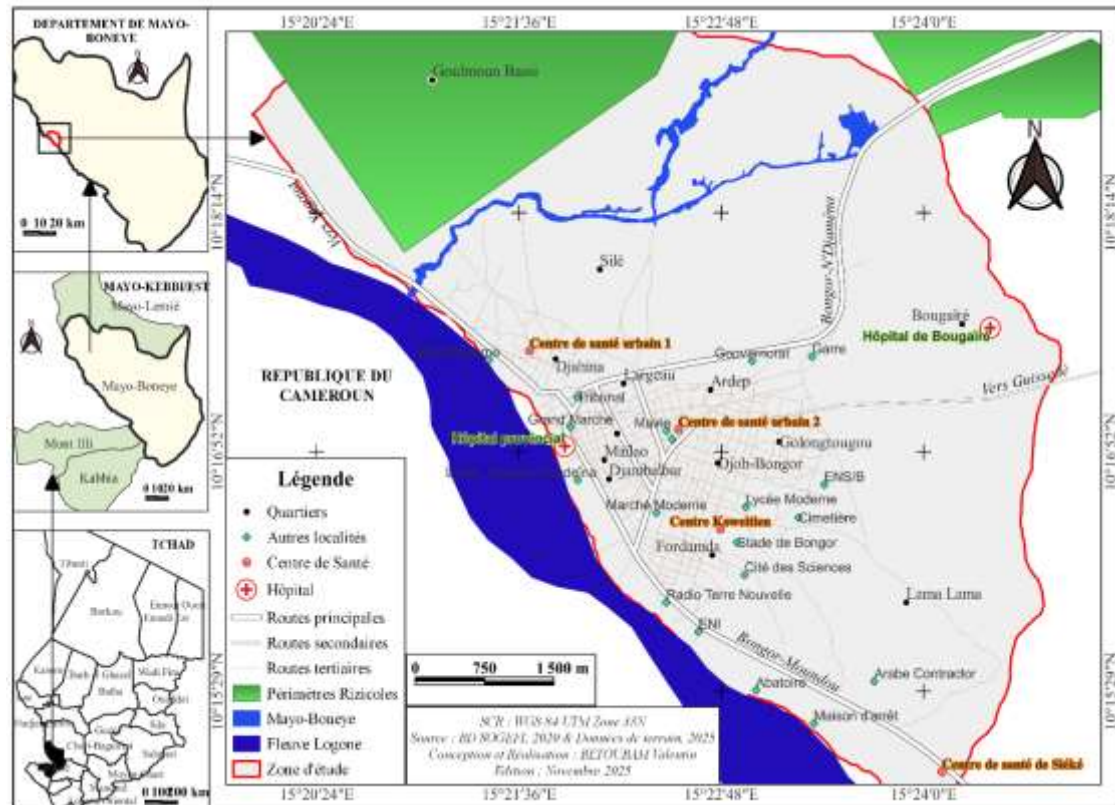


Figure 1. Localisation de la ville de Bongor

1.2. Méthodologie

La méthode utilisée dans le cadre de cette recherche est basée sur la méthode expérimentale (prélèvements et analyse au laboratoire), les observations de terrain, les levés GPS et cartographiques. Afin de parvenir aux différents résultats, les données de terrain ont été collectées, traiter et analyser.

1.2.1. Collecte des données

Cette phase a été marquée par la collecte des données des natures différentes (secondaires et primaires).

1.2.1.1. Données secondaires

Il s'agit de la recherche documentaire axé sur l'exploitation des documents en ligne sur différents sites de recherche comme Google Scholar, Horizon plein texte, Caglia, Cairn Info, Anale de Géographie, Vertigo, Cyber Géo, Géographycal System, Cirrus, Science Direct, Physio Go etc. et aussi l'exploitation des thèses et mémoire de recherche.

Les supports cartographiques ont été exploité pour la production des cartes. Les bases des données du Tchad, ont été exploité et compléter par les données cartographiques issues du site de Google Earth pour la production de la carte de localisation et des sites de prélèvement. Tandis que les données climatiques sur la pluviométrie et la température de la zone d'étude ont permis de montrer l'état des lieux des inondations dans la zone d'étude. La base des données climatiques des 40 dernières années issues des archives de l'ANADER ont été consulté et exploiter.

1.2.1.2. Données primaires

Les données primaires sont celles issues de l'activité de terrain telle que les observations directes de terrain, les levés GPS et les prélèvements des échantillons d'étude. Plusieurs descentes ont été faite sur le terrain et ont permis de s'imprégner de la réalité sur le terrain et d'identifier les points de prélèvements des différents échantillons, de comprendre les enjeux des inondations dans la zone d'étude. Des images de terrain et des levés GPS (coordonnées géographiques) ont été effectué lors des multiples descentes sur le terrain. Les images sur les inondations ont été obtenues à l'aide d'un

Smartphone de type Tecno Spark 10 et les différents sites échantillonnés des eaux de surface ont été prélevés à l'aide du GPS numérique.

1.2.1.3. Méthode de prélèvements des échantillons d'eau

Cinq (5) échantillons des eaux d'inondations ont été prélevés sur cinq (5) sites et dans quatre quartiers différents (Lama-Lama, Fifounda, Djoh-Bongor et Golongtougou). Les levés GPS (coordonnées géographiques) de différents sites ont servi à les cartographier (figure 2).

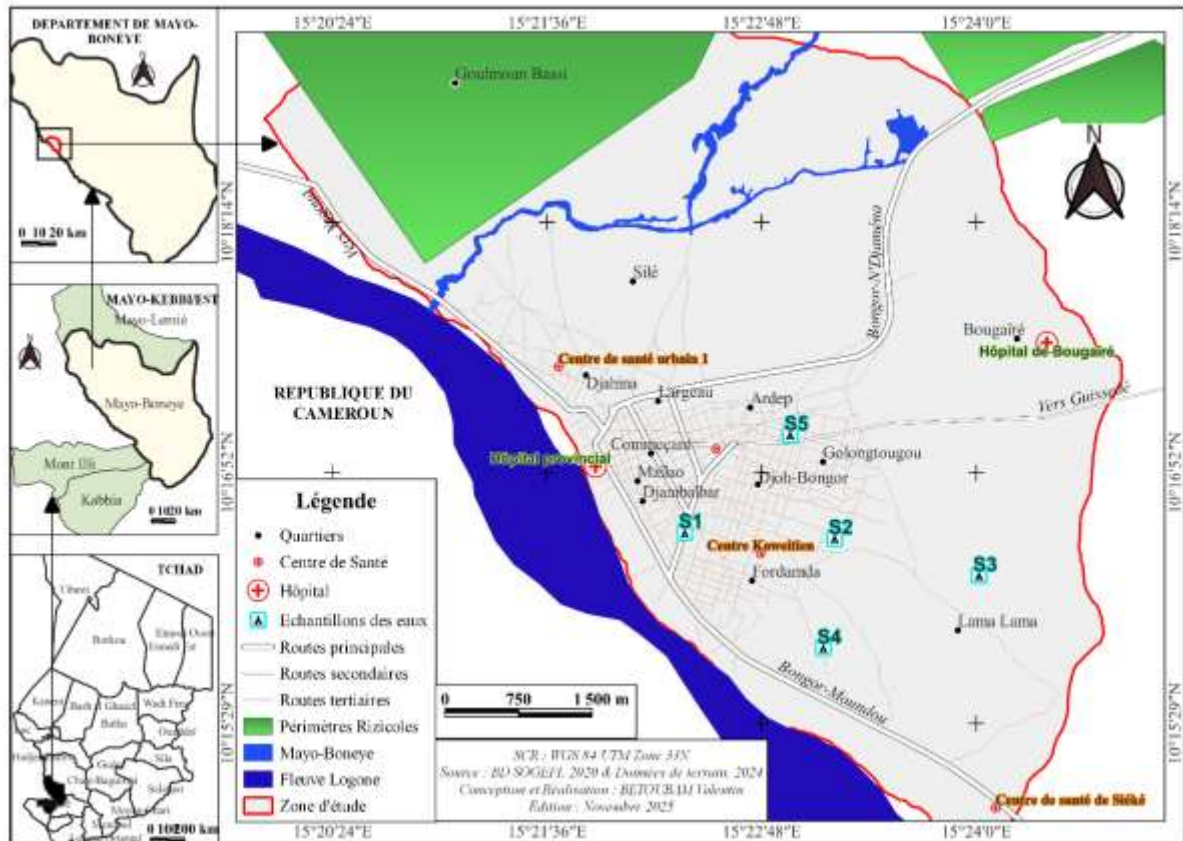


Figure 2. Cartographie des sites de prélèvement des échantillons d'étude

Les échantillons d'eaux ont été prélevés tôt le matin aux environs de 06h avant que la population ne puisse mener des activités troublant l'état stagnante de l'eau. Après prélèvement, tous les échantillons ont été acheminé à N'Djaména au Laboratoire du Centre de Contrôle de Qualité des Denrées Alimentaires (CECOQDA) et au Laboratoire National des Eaux (LNE). Ces échantillons ont été prélevés dans les bouteilles plastiques neuves d'une quantité de 1,5 L. La procédure s'est déroulée de la manière suivante :

- rinçage de la bouteille de 1,5 L trois fois de suite avec l'eau à prélever ;
- les bouteilles étaient étiquetées (type d'ouvrage, localité et l'heure de prélèvement) ;
- le prélèvement s'est fait de trois manières (à la surface, au milieu et en profondeur) ;
- les bouteilles sont remplies et bien fermées ;
- les bouteilles sont ensuite conservées dans une enceinte réfrigérée (glacière) contenant de la glace pour maintenir la température, à l'abri de la lumière et des poussières.

La planche photographique 1 présente le process de prélèvement des échantillons d'eaux lors de la descente sur le terrain.



X : 10.276631° ; Y : 15.373406°

X : 10.284497° ; Y : 15.382622°

Source : Prise de vue BETOUBAM Valentin et MBAÏNDOROU Rodrigue, juillet 2024

Planche photographique 1. Procédure de prélèvements des échantillons

La planche photographique 1 montre la phase de prélèvement des échantillons. Une fois les bouteilles remplies après trois niveaux de prélèvement (à la surface, au milieu et en profondeur), elles sont automatiquement rangées dans la glacière afin de les maintenir loin de la température anormale.

1.2.2. Traitement et analyse des données

L'ensemble des données collectées des sources différentes ont été traité et analysé avant leur exploitation.

1.2.2.1. Traitement et analyse des données secondaires

Les données secondaires ont subi un traitement à différents niveaux avant leur analyse qualitative et quantitative. Les documents exploités ont subi un traitement minutieux par l'analyse des contenus des documents, le tri et la classification d'informations. Les données cartographiques acquises dans la plateforme de google earth ont été enregistrée sous le format KML avant leur affichage dans le logiciel de cartographie puis sauvegarder en type de format Shapfile. Les données climatiques de l'ANADER ont été compiler et nettoyer dans Excel puis analysés.

1.2.2.2. Traitement et analyse des données primaires

Les données issues des levés GPS ont été saisie et classifier dans Excel et sauvegarder au format CSV. Les échantillons d'eaux prélevés après être acheminer au laboratoire, ont subi minutieusement un traitement et une analyse par le processus de volumétrie, spectrométrie et photométrie à flamme pour les paramètres physico-chimiques et l'ensemencement par filtration pour les paramètres bactériologiques.

2. PRESENTATION DES RESULTATS

Les résultats de cette étude prennent en compte les facteurs des risques liés aux inondations et les résultats des différents échantillons prélevés et analysés aux laboratoires.

2.1. Facteurs des risques liés aux inondations

Plusieurs facteurs mettent en évidence la récurrente des inondations à Bongor. Ils sont autant naturels qu'humains.

2.1.1. Détermination des facteurs naturels

Les facteurs naturels considérés sont les régimes hydrologiques et la variabilité climatique qui se manifeste par des pluviométries variables et des températures de plus en plus élevées.

2.1.1.1. Caractérisation des régimes hydrologiques

Deux régimes hydrologiques se manifestent au sud du Tchad à savoir, le Logone et le Chari. Ces deux cours d'eaux sont le moteur d'alimentation en eau du Lac-Tchad. Ils sont caractérisés par une saisonnalité forte liée aux pluies tropicales avec des crues estivales (juin-octobre) et des étiages

Enfin, la variabilité hydrologique est à l'origine des années humides (2010-2015, 2021-2024) avec des débits excédentaires et des inondations récurrentes qu'a connue la ville de Bongor. La figure 3 illustre l'aspect hydrologiques des régimes hydrologiques du Chari et Logone.



Figure 3. Présentation des régimes hydrique

2.1.1.2. Faible topographie : facteurs de contribution aux inondations récurrentes

La topographie de la ville de Bongor présente un aspect peu élevé et une forme allongée. Elle forme à peu près la moitié d'une cuvette, caractéristique d'une plaine inondable. L'ensemble de la ville dispose d'un type de relief plat et constitue une vaste étendue à la pente faible avec des bourrelets des berges qui se prolongent le long du Logone. La quasi-totalité de la ville est située dans des bas-fonds qui constituent des espaces auxquels l'eau stagne. Cette topographie faible est l'un de facteurs qui expose la ville à des inondations récurrentes. La figure 4 présente l'aspect topographique de la zone d'étude.

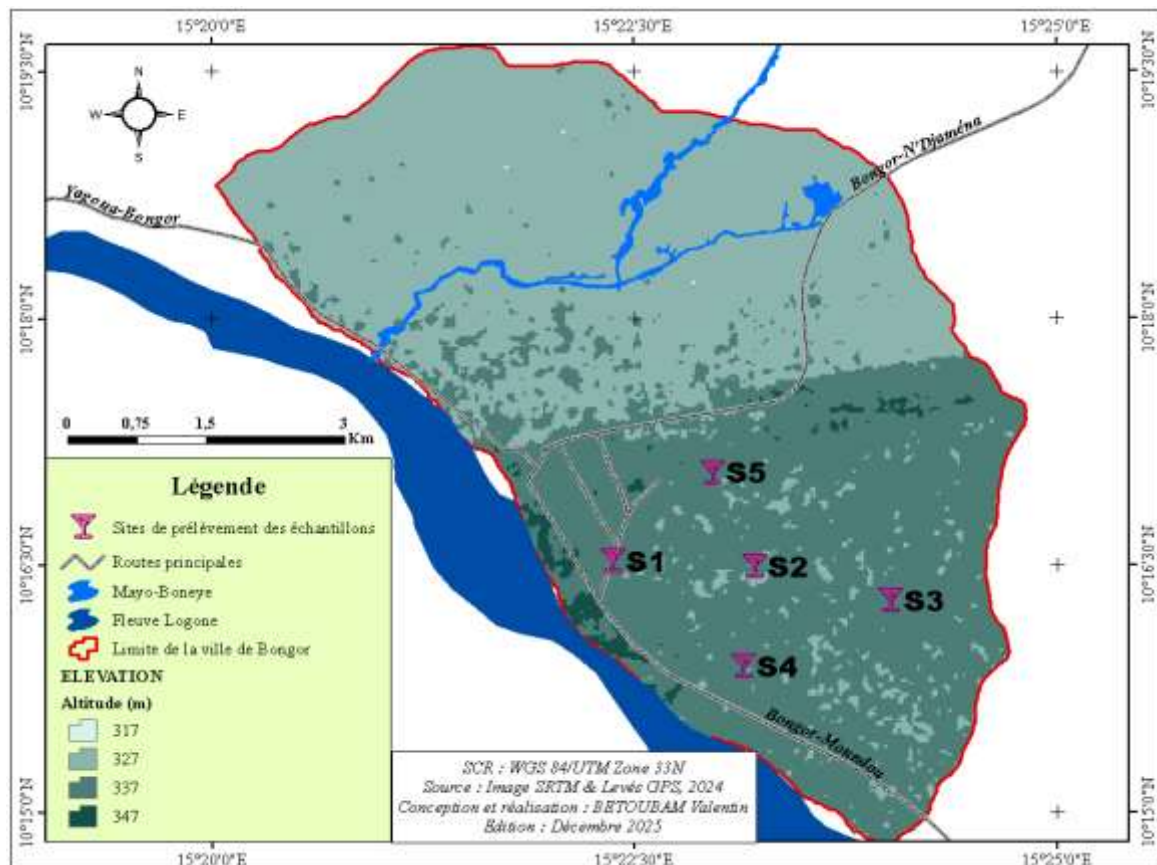
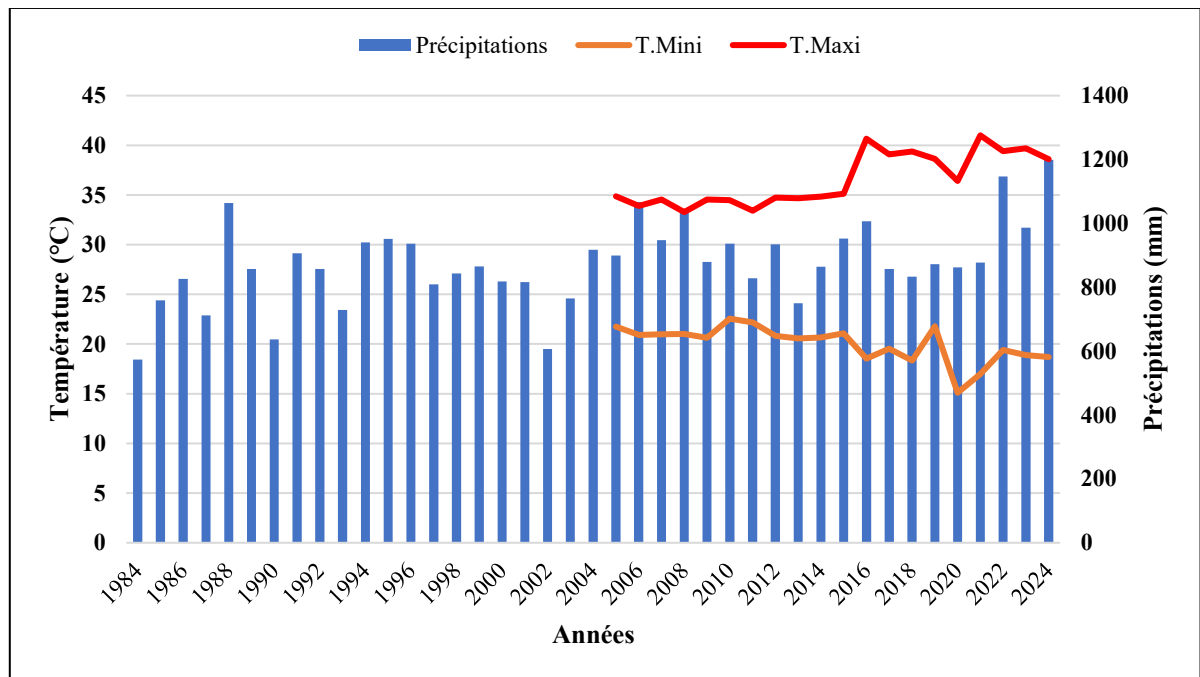


Figure 4. Présentation de la topographie de Bongor

La figure 4 présente l'aspect topographique de la zone d'étude sur laquelle, apparaît le fleuve Logone et le Mayo-Boneye. La ville de Bongor présente une topographie avec une altitude peu élevée d'une hauteur minimale de 317m du niveau le plus bas et maximale de 347m du niveau le plus élevé. Dans l'ensemble, le relief de la ville de Bongor est caractérisé par des vallées dans lesquelles coulent le Mayo-Boneye et des plaines d'inondations.

2.1.1.3. Analyse de la variabilité climatique

La variabilité est le caractère de ce qui est variable, susceptible de se modifier dans le temps ou l'espace. Les indicateurs qui attestent qu'il y a modification de climats sont : les inondations, déficit pluviométrique, l'augmentation des températures, le prolongement de la saison sèche, baisse de production agricole, la chaleur ardente. La variabilité climatique entraîne de nos jours non seulement la baisse de la production et de rendement agricole mais aussi modifie les conditions environnementales parfois une forte pluviométrie soudaine en une saison entraînant les inondations, parfois une forte chaleur déterminant une séquence sèche. Le climat tchadien est de type sahélo-soudanais caractérisé par une saison humide de cinq (05) à six (06) mois qui alterne avec la saison sèche très nette de novembre à mars. Par contre, les mois de décembre-janvier-février sont absolument secs. La ville de Bongor est placée sous l'influence de ce type de climat. Ce climat, joue un rôle important dans la planification et la pratique des activités agricoles mais parfois a des impacts sur la population. Ainsi, la variabilité climatique est à l'origine de la variabilité interannuelle des saisons à Bongor avec des variations des précipitations révélatrice des périodes des fortes pluies et des périodes sèches qui se manifestent des températures élevées dans ladite localité. L'analyse des données climatiques de la station de l'ANADER de Bongor a permis de montrer l'influence des pluviométries et des températures sur la ville de Bongor marquée par des pluies abondantes sur certaines années (avec des inondations marquantes) et des chaleurs avec des tendances élevées (voir figure 5).



Source : Archives ANADER, octobre 2025

Figure 5. Évolution de la pluviométrie (1984 à 2024) et des températures (2005 à 2024) à Bongor

La figure 5 présente une évolution des précipitations (1984 à 2024) et des températures minimales et maximales (2005 à 2024) de Bongor. Des années de pluviométrie importante enregistrée s'observe sur cette figure. L'année 2022 et 2024 a été marquée par des hauteurs importantes des pluies qui justifient des fortes inondations enregistrées par la ville. Surtout l'année 2024 qui est particulièrement une année marquante pour la ville de Bongor où presque 80% de la ville était inondée par les eaux des crues. Par contre, la figure montre aussi une tendance des températures de plus en plus à la hausse qui illustre des périodes parfois sèches. Toutefois, cette tendance élevée des températures ne traduit pas la récurrence des inondations enregistrées dans la zone d'étude.

2.1.2. Facteurs anthropiques

La récurrence des inondations en milieu urbain s'explique aussi par les pratiques de la société marquée souvent par une évolution anarchique des bâtis, d'aménagement urbain et la pratique environnementale en matière d'assainissement urbain.

2.1.2.1. Contribution de l'urbanisation anarchique à la récurrence des inondations

L'urbanisation considérée comme l'action d'urbaniser, de créer des villes, d'étendre l'espace urbain ou plus fréquemment, la concentration croissante dans les villes (autrefois) et dans les agglomérations urbaines (aujourd'hui) est sans conséquence lorsqu'elle n'est pas ordonnée (urbanisation anarchique). L'urbanisation anarchique est l'un des facteurs de la récurrence des inondations à Bongor car elle se manifeste par l'imperméabilisation des sols, l'obstruction des voies d'eaux, l'insuffisance des canaux de drainage, une accumulation des déchets de façon irresponsable dans la ville. En effet, le trop plein d'eau de surface suite à une forte averse et les eaux issues des fortes crues (Chari) en saison de pluie finissent par se déverser dans la nature en prenant des trajectoire et direction suivant la pente. Cependant, ces eaux de surface qui s'infiltraient facilement et ruissellent rapidement en direction du Logone par le passé se trouvent aujourd'hui au problème d'urbanisation anarchique de la ville entre obstruction par les bâtis mal répartis et des routes construit sans tenir compte de la pente et le sens d'écoulement des eaux de surface. Aussi, l'insuffisance des canaux de drainage de qualité et surtout le manque d'implication des autorités communales dans le processus d'organisation de l'espace, constitue aujourd'hui le nœud de la récurrence d'inondations à Bongor. Les inondations de 2024 sont les preuves de cette mauvaise organisation de l'espace comme illustre la planche photographique 2 ci-dessous.



Source : Prise de vue BETOUBAM Valentin, juillet 2024

Planche photographique 2. Vue partielle de la ville en saison de pluie

La planche photographique 2 présente l'état des lieux de la dernière inondation en date (2024) qu'avait connu la ville de Bongor. Des habitations, des marchés et des voies publiques submergées par les eaux d'inondations principales sources des maladies hydriques. Cette situation présente un risque majeur et expose la population à tout type des maladies sanitaires et surtout chez les plus vulnérables (enfants et vieillards).

2.1.2.2. Accumulation des déchets en milieu urbain

L'une des causes majeures aggravant les inondations dans la ville de Bongor est aussi liée à l'état insalubre de la ville et surtout l'accumulation des déchets publics. En effet, le manque des stations d'épurations des déchets et des poubelles publiques bien aménagé par la communauté urbaine, expose la ville à une prolifération anarchique des déchets publics dans la ville. Des voies publiques, des alentours d'habitations, des canaux de canalisations se trouvent bouchés par les déchets ménagers qui constituent un réel obstacle à l'infiltration et le ruissèlement des eaux de surface lors d'une averse (voir la planche photographique 3).



Source : Prise de vue BETOUBAM Valentin, juillet 2024

Planche photographique 3. Dépôts incontrôlés des déchets autour des habitations et des voies publiques

La planche des photos 3 présente un état désorganiser de la ville en matière de gestion des déchets ménagers. Les deux images illustrent une situation d'encombrement et d'entassement des déchets

sur les voies publiques et autour des habitations qui présentent des risques sanitaires et constituent un élément déterminant majeur dans le processus de développement de certains germes bactériologiques responsables de la contamination fécale.

2.2. Analyses des paramètres microbiologiques et physico-chimiques des eaux d'inondations

Les paramètres microbiologiques et physico-chimiques des échantillons d'eaux des inondations de Bongor en 2024 ont été déterminés et permis d'évaluer le risque lié à l'usage de ses eaux de surface.

2.2.1. Analyse des paramètres microbiologiques

Le microbe est un être vivant, infiniment petit, qui n'est visible qu'au microscope ». Ils sont très répandus dans la nature ; on les rencontre non seulement dans l'organisme, mais dans le milieu qui nous environne, dans l'air, l'eau, le sol... et ils se développent quand ils trouvent certaines conditions favorables d'humidité et de température Roux (1894, p1-3, tome I). La consommation ou l'utilisation de l'eau quel qu'en soit la source sans une analyse au préalable constitue un danger pour la population. L'un des soucis majeurs de la santé publique lié à la qualité de l'eau est celui des maladies entériques. Ainsi, avant toute utilisation de l'eau, il convient de déterminer les paramètres bactériologiques de celle-ci.

L'analyse bactériologique permet de mettre en évidence la présence des microorganismes pathogènes qui vivent dans l'eau et présentent un danger pour l'homme. Les données issues des échantillons prélevés des eaux d'inondations de Bongor ont été analysées au laboratoire de CECOQDA et ont permis de déterminer le niveau de contamination de ses eaux selon les germes recherchés (micro-organismes revivifiables, les coliformes totaux, les entérocoques intestinaux ou thermotolérants, les *escherichia coli*, la *pseudomonas aeruginosa* et le *salmonella spp*). La densité de germes de bactéries mesurée dans les échantillons d'eau analysés présente une certaine différence d'un échantillon à un autre (voir tableau I).

Tableau I. Résultats des analyses microbiologiques des eaux d'inondations de Bongor

Paramètres recherchés	Méthodes	Critères Microbiologiques UFC/ml (DSA & Décret N°615)	Résultats en UFC/ml	Conclusion
Microorganismes revivifiables	NF ISO 6222 (1999)	100/ml ($36 \pm 2^\circ\text{C}$)	$> 3.10^3/\text{ml}$	NS
		20/ml ($22 \pm 2^\circ\text{C}$)	$> 3.10^3/\text{ml}$	NS
Coliformes	NF ISO 9308-1 (2000)	0/100 ml	$> 2.10^2/100 \text{ ml}$	NS
Escherichia coli	NF ISO 9308-1 (2000)	0/100 ml	$> 2.10^2/100 \text{ ml}$	NS
Entérocoques intestinaux	NF 7899-2 (2000)	0/100 ml	$> 2.10^2/100 \text{ ml}$	NS
Pseudomonas aeruginosa	NF ISO 16266 (2008)	0/100 ml	$> 2.10^2/100 \text{ ml}$	NS
Salmonella Spp	ISO 19250 (2010)	Absence	Absence	S

Source : résultat d'analyse microbiologique du CECOQDA, septembre 2024

Le tableau I présente les résultats des différents micro-organismes recherchés dans l'eau des inondations de Bongor. La présence indénombrable des coliformes totaux, des entérocoques intestinaux et des *escherichia coli* à des concentrations élevées dans ce tableau indique une pollution fécale directe de ses eaux de surface. Cette présence accrue des germes est un indicateur majeur des risques sanitaires liés à des maladies hydriques (diarrhée infectieuse, typhoïde ou l'hépatite A...). Ces résultats indiquent aussi une charge microbienne excessive car les micro-organismes revivifiables dépassent largement les seuils réglementaires qui démontre que les échantillons d'eaux prélevés sont d'origine stagnante, riche en nutriments et en matière organique propice à la

prolifération bactérienne. Par contre, la valeur élevée de *pseudomonas aeruginosa* démontre la présence des bactéries susceptibles de provoquer des infections cutanées, respiratoires ou urinaires, surtout chez les personnes immunodéprimées ou exposées par plaies (cas de la bilharziose) ou inhalation.

Toutefois, les résultats des différents échantillons indiquent une absence de *salmonella spp*, l'unique paramètre conforme à la norme. Cependant, l'absence de *salmonella spp* n'indique que ces eaux ne sont pas contaminées par des matières fécales et potentiellement hors danger que pour des gastro-entérites liées à *salmonella* mais, ne compense pas les autres dangers microbiologiques issus de ses eaux d'inondations. Globalement, ces eaux d'inondations présentent un danger réel pour la population de la ville de Bongor car elles contiennent des micro-organismes responsables des maladies hydriques.

2.2.2. Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux d'inondations de Bongor

Les analyses des paramètres physiques et chimiques d'une eau permettent d'évaluer non seulement la qualité de l'eau et sa pollution (bactériologique, organique, chimique) mais aussi d'identifier les risques sanitaires (micro-organismes, substances toxiques) potentiels pour la santé humaine, l'environnement et les écosystèmes qui y vivent.

Dans le cadre de cette étude, les paramètres physiques (température, la conductivité, la turbidité) et chimiques (pH, dureté, minéraux, matières organiques) des eaux d'inondations de Bongor ont été ainsi réalisés afin de déterminer la qualité et d'identifier les contaminants. Le processus d'analyse des paramètres physico-chimiques est réalisé en utilisant les méthodes par volumétrie, par spectrométrie et photométrie à flamme. Le tableau II présente les résultats des paramètres physico-chimiques recherchés.

Tableau II. Résultats des analyses physico-chimiques des eaux d'inondations de Bongor

Nom de l'échantillon	Unités	712	713	714	715	716	Directives OMS/Tchad pour l'eau de boisson
pH au labo à 250C	[H ₃ O ⁺]	7,67	7,51	6,95	9,54	7,35	6,5 ≤ PH ≤ 9
Conductivité électrique	S/cm	125	81	87	364	151	≤ 2500
Solides totaux dissous	mg/L	62	4110	45	181	75	≤ aucune mention
Turbidité (NTU)	mg/L	205	8,2	20,5	5,8	387	≤ 5
Dureté totale (CaCO ₃)	mg/L	80	62,0	50	92	90	≤ aucune mention
Calcium Ca	mg/L	23,2	13,6	11,2	22,4	24	≤ 200
Magnésium (Mg ²⁺)	mg/L	53	6,8	53	8,7	73	≤ 50
Potassium (K)	mg/L	5,4	4,8	5,1	5,5	7,2	≤ 12
Sodium (Na)	mg/L	13	2	21	2,2	2,4	≤ 200
Bicarbonates (HCO ₃)	mg/L	43,9	17,1	9,8	73,2	61	Aucune mention
Chlorures (Cl)	mg/L	35	40	37	28	30	≤ 250
Sulfates (SO ₄)	mg/L	1	0	0	0	0	≤ 250
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/L	0,5	0,6	0,9	4,4	3	≤ 50
Fer (Fe)	mg/L	1,4	9,1	1,3	1,34	2,5	≤ 0,3
Ammonium (NH ₄)	mg/L	0,92	0,33	0,42	0,45	0,62	≤ 1,5
Somme des cations (méq/L)		1,82	1,45	1,22	2,08	2,09	
Somme des anions (méq/L)		1,74	1,42	1,22	2,06	01-janv	
Balance Ionique		0,08	0,03	0	0,02	0,19	
Cacul d'erreur (%)		2,39	1,12	0,16	38	4,88	

Source : résultat d'analyse microbiologique du CECOQDA et du LNE, septembre 2024

Le tableau II présente les résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques des eaux d'inondations de la ville de Bongor. Les tendances se dégagent en fonction des différents paramètres recherchés. La plupart des échantillons ont de pH entre 6,5 à 9 respectant la norme OMS à l'exception de l'échantillon 715 (eaux prélevées au cimetière) dont le pH est de 9,54 qui est légèrement au-dessous. Sanitairement, le pH trop élevé peut favoriser la corrosion des canalisations et la solubilisation de métaux toxiques comme le plomb et le cuivre, augmentant le risque d'intoxications chroniques. La turbidité très élevée dans les échantillons (205 NTU) et 716 (387 NTU), largement au-dessus de la norme (≤ 5 NTU) indique la présence de matières en suspension, souvent associées à des microorganismes pathogènes (bactéries, virus, protozoaires). Cela accroît le risque de maladies diarrhéiques (choléra, dysenterie, giardiase). Par contre la conductivité en dessous de la limite OMS ($\leq 2500 \mu\text{S}/\text{cm}$) et le TDS (solides dissous totaux) très variable par exemple pour l'échantillon 713 (4110 mg/L) extrêmement élevé, est un indicateur expliquant en réalité que l'eau est impropre à la consommation (goût salé, effets laxatifs). Ainsi, l'eau trop minéralisée peut provoquer des troubles gastro-intestinaux et la déshydratation. L'analyse des paramètres chimiques révèle quelques aspects qui montrent que ces eaux d'inondations présentent des risques hydriques. La valeur obtenue du Magnésium dépasse la norme OMS ($\leq 50 \text{ mg}/\text{L}$) pour l'échantillon 712 (53 mg/L) et surtout 716 (73 mg/L). Ainsi, l'excès de Magnésium par exemple peut causer des diarrhées et des troubles digestifs. Les résultats montrent une valeur très élevée du Fer dans tous les échantillons et exceptionnellement les échantillons 713 (9,1 mg/L) et 716 (2,5 mg/L), alors que la norme OMS est $\leq 0,3 \text{ mg}/\text{L}$. L'excès de Fer peut provoquer un goût métallique, coloration de l'eau, dépôts dans les canalisations. Sur le plan sanitaire, il favorise la croissance de bactéries ferrugineuses et peut contribuer à des troubles digestifs. Enfin, les valeurs des résultats pour l'Ammonium (NH_4^+) sont inférieures à la limite OMS ($\leq 1,5 \text{ mg}/\text{L}$). Pour ce faire, la présence d'ammonium indique une pollution organique (décomposition de matières animales/végétales). Cela peut être un signe indirect de contamination microbiologique.

3. Discussion

Cette étude a pour objectif de faire une analyse des risques des maladies hydriques liés aux inondations des crues du Chari et Logone à Bongor. En effet, les inondations récurrentes à Bongor sont occasionnées par les fortes pluviométries à l'origine du débordement des crues. Ce débordement n'est pas sans conséquences. Les inondations à Bongor présentent des risques sanitaires des pathologies liées à l'eau. Les variabilités climatiques, l'urbanisation anarchique, la topographie, les pratiques environnementales sont les facteurs majeurs des inondations à Bongor. Des récentes études menées dans la ville ont montré que ces paramètres sont facteurs majeurs de la prévalence des maladies hydriques dans la ville. Selon Gouatain et Ymba (2018, p1), les données climatologiques (pluviométrie, température et humidité relative) et pathologiques (nombre de cas de malades) utilisées dans leurs études ont permis de montrer le lien existant entre les facteurs climatiques et le paludisme. Les résultats de leurs études ont montré que la variation des facteurs climatiques conditionne le paludisme qui est omniprésent tout au long de l'année, avec une prédominance de juillet à octobre. Par contre, Dombor (2024, p1) dans ses études, révèle que les principaux facteurs de la vulnérabilité des populations aux maladies hydriques (le Paludisme, la Fièvre typhoïde, la Diarrhée, la Dysenterie et la conjonctivite) dans la ville de Bongor sont en général influencés, par la gestion de l'eau dans les ménages et son usage, par le niveau d'assainissement des ménages, par l'hygiène des aliments, leur préparation et leur conservation. L'étude de Dombor (2020, p335) sur les problèmes de santé liés à l'eau, observés à l'échelle de la ville d'Abéché et leurs impacts socio-sanitaires, révèlent que les problèmes de l'eau sont liés aux conditions physiques du site, aux défaillances institutionnelles et aux actions anthropiques compromettantes pour l'environnement et la santé de la population. La qualité des ressources en eau est donc compromise et réduit la possibilité de l'approvisionnement en eau potable. Les variations pluviométriques, les apports pluviaux, l'hydrogéologie, le relief créent la rareté et l'insuffisance de l'eau dans la ville d'Abéché. Ceux-ci sont renforcés par la mauvaise gestion des déchets (solides et liquides) produits.

En dehors des facteurs qui sont à l'origine des eaux de surface responsable de la prévalence de la maladie, il faut noter aussi sa qualité et son degré de contamination pour la population. En effet, les résultats d'analyses bactériologiques montre que la présence indénombrable des coliformes totaux, des entérocoques intestinaux et des *escherichia coli* à des concentration élevée indique une pollution fécale directe de ses eaux de surface. Cette présence accrue des germes est un indicateur majeur des risques sanitaires liés à des maladies hydriques (diarrhée infectieuse, typhoïde ou l'hépatite A...).

Les résultats indiquent aussi une charge microbienne excessive qui démontre que les échantillons d'eaux prélevés sont d'origine stagnante, riche en nutriments et en matière organique propice à la prolifération bactérienne. Par contre, la valeur élevée de *pseudomonas aeruginosa* démontre la présence des bactéries susceptibles de provoquer des infections cutanées, respiratoires ou urinaires, surtout chez les personnes immunodéprimées ou exposées par plaies (cas de la bilharziose) ou inhalation. Aussi, les résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques ont relevé que la plupart des échantillons ont de pH entre 6,5 à 9 respectant la norme OMS à l'exceptions de l'échantillon 715 (l'eau de cimetière) dont le pH est de 9,54 qui est légèrement au-dessous. Sanitairement, le pH trop élevé peut favoriser la corrosion des canalisations et la solubilisation de métaux toxique comme le plomb et le cuivre, augmentant le risque d'intoxications chroniques.

La turbidité très élevée dans les échantillons (205 NTU) et 716 (387 NTU), largement au-dessus de la norme (≤ 5 NTU) indique la présence de matières en suspension, souvent associées à des microorganismes pathogènes (bactéries, virus, protozoaires) qui accroît le risque de maladies diarrhéiques (choléra, dysenterie, giardiase). Par contre la conductivité en dessous de la limite OMS ($\leq 2500 \mu\text{S}/\text{cm}$) et le TDS (solides dissous totaux) très variable par exemple pour l'échantillon 713 (4110 mg/L) extrêmement élevé, est un indicateur expliquant en réalité que l'eau est impropre à la consommation (goût salé, effets laxatifs). Ainsi, l'eau trop minéralisé peut provoquer des troubles gastro-intestinaux et la déshydratation. Enfin, l'analyse des paramètres chimiques révèlent que la valeur de Magnésium dépasse la norme OMS ($\leq 50 \text{ mg}/\text{L}$) pour l'échantillon 712 (53 mg/L) et surtout 716 (73 mg/L). C'est aussi le cas du Fer qui présente une valeur très élevée dans tous les échantillons et exceptionnellement les échantillons 713 (9,1 mg/L) et 716 (2,5 mg/L), alors que la norme OMS est $\leq 0,3 \text{ mg}/\text{L}$. Ainsi, l'excès de Magnésium par exemple peut causer des diarrhées et des troubles digestifs et celui du Fer peut provoquer un goût métallique, coloration de l'eau, dépôts dans les canalisations.

Les travaux d'Orna (2023, p84-85), sur la qualité des eaux et occurrence des maladies d'origine hydrique dans la ville de Sarh au Tchad, révèle quelques aspects physico-chimiques et bactériologiques qui confirment nos résultats. L'analyse des paramètres physiques et chimiques révèle dans certains cas des valeurs supérieures aux normes requises par l'OMS/Tchad. Les résultats des analyses physico-chimiques d'Orna révèlent que les eaux considérées sont légèrement acides (moyenne de $\text{pH}=6,28$) avec une minéralisation très faible à excessive ($49,8 \leq \text{CE} \leq 1491,0 \mu\text{S}/\text{cm}$), qui serait due à l'interaction d'hydrolyse des silicates, des échanges de base et des activités anthropiques. Par contre, la présence des germes pathogènes détectées à la suite des analyses au Laboratoire National des Eaux peut déclencher certaines maladies hydriques telles que la diarrhée, la dysenterie, la typhoïde, l'infection urinaire. L'analyse bactériologique des eaux met en évidence la présence des concentrations élevées de coliformes et d'*Escherichia Coli* dans les eaux de la zone, ce qui est un indicateur d'une contamination fécale généralement d'origine humaine ou animale. Les collectes des données sur les maladies hydriques dans la zone d'étude confirment la présence de ces maladies.

Conclusion

Au terme de cette recherche, il a été démontré que la récurrence des inondations à Bongor provient de la combinaison des facteurs naturels et anthropiques. En effet, la variabilité pluviométrique, la température et la topographie de Bongor associées aux pratiques urbaines, sont les principaux facteurs de la récurrence des inondations à Bongor. Ces inondations constituent des risques majeurs des maladies hydriques pour la population. Les prélèvements des échantillons des eaux de

surfaces (inondations) sur cinq (5) sites ont montré que ses eaux contiennent des polluants et quel qu'en soit leur usage, demeurent dangereux pour la santé de la population.

L'analyse des paramètres physico-chimiques et bactériologiques au Laboratoire du CECOQDA et du Laboratoire National des eaux indique une contamination élevée de ses eaux d'inondations. En effet, le pH et la turbidité de certains échantillons, l'excès de Magnésium, d'ammonium et du Fer montrent que ces eaux indiquent des contaminations microbiologiques accrues et constituent un risque sanitaire majeurs pour la population. Du point de vue bactériologique, la présence indénombrable des coliformes totaux, des entérocoques intestinaux et des *escherichia coli* à des concentration élevée indique une pollution fécale directe de ses eaux de surface. La présence accrue des germes identifiés sont des indicateurs majeurs des risques sanitaires qui peuvent véhiculer des maladies hydriques telles que la diarrhée infectieuse, la typhoïde ou l'hépatite A.

Références bibliographiques

- Ahern Mike., Kovats Sari., Wilkinson Paul., Few Roger., Matthies Franziska., 2005. "Global Health Impacts of Floods: Epidemiologic Evidence", *Epidemiologic Reviews*, Vol.27, No.1, pp.36-46
- Aissa Madaoui Oussama et Aissa Madaoui Rabie., 2016. Protection des villes contre les inondations cas du centre d'Ain Fezza Tlemcen. Mémoire de Master en Hydraulique, Université Abou Bekr Belkaid, Algérie. 149p.
- Andréassian, Vincent., 2006. Pourquoi les rivières débordent-elles ? Le Pommier, Paris. 128p
- Dombor Djikoloum Dingao., 2020. Étude géographique des risques sanitaires liés à l'eau dans la ville d'Abéché au Tchad. Thèse de Doctorat, Université de N'Gaoundéré, Cameroun. 454p.
- Dombor Djikoloum Dingao., 2024. Facteurs de vulnérabilité aux maladies hydriques dans la ville de Bongor au Tchad. 22p.
- Gabriel Nanfack., 2017. Perception et représentation du risque d'inondation dans la plaine des Mbo (Ouest-Cameroun). Thèse de Doctorat, Université de Dschang, Cameroun. 312p.
- Gouataine Seingué Romain., Ymba Maimouna., 2018. Variabilité climatique et émergence du paludisme Bongor (Tchad). *Revue espace, territoire, société et santé*, vol. 1. N12 (2019).
- Mbaississem Koulayo., 2014. La mise en œuvre au Tchad des obligations découlant du Cadre d'Action de Hyōgo 2005-2015 pour des nations et collectivités résilientes face aux catastrophes : bilan et perspectives. Mémoire de Master « Relations internationales et Actions à l'Étranger », Université Paris 1, France. 45p.
- OMS., 2000. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Critères d'hygiène et documentation à l'appui, Volum^e 2, 2e Ed. www.who.int/water_sanitation_health/GDWQ/Summary_tables
- Orna Sambi Arnaud., 2023. Qualité des eaux et occurrence des maladies d'origine hydrique dans le sud-est du Tchad : cas de la ville de Sarh. Mémoire de Master, Université de Maroua, Cameroun. 112p.
- Rapport de l'OMS., 2022. Tchad : une situation d'urgence est déclarée après des inondations.
- Rapport du Cadre d'Action de Hyōgo pour 2005-2015 : Pour des nations et des collectivités résilientes face aux catastrophes, signé le 22 janvier 2005.
- Rapport MSF., 2022. Tchad : les inondations à N'Djamena renforcent la crise humanitaire et font craindre l'apparition d'épidémies
- Rapport OCHA., 2024. Tchad : Situation des inondations - Rapport de situation n° 03.
- Vischel, Thierry., Quantin, Guillaume., Lebel, Thierry., Ali, Abdoulaye., & Martinet, Michel., 2012. Modélisation régionale des précipitations extrêmes en Afrique de l'Ouest. *Union géophysique américaine, Recherche sur les ressources en eau*, 48(8), p. 15.
- <https://doi.org/10.1029/2012WR012052>
- Yvette Veyret & Richard Laganier., 2017. Inondations. Armand Colin/Cairn.info. pp. 255–261.