UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

=======

INSTITUT NATIONAL DE L'EAU

=======

DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Mémoire de fin de formation présenté par

Soultane KOTO SOUMANOU

Pour l'obtention du diplôme de

Licence Professionnelle en Hydrologie

OPTION : Ecohydrologie

==========

Diagnostic de la qualité de l'eau des Postes d'Eau Autonome Privés (PEA) dans l'arrondissement de Djougou II.

==========

Maître de Mémoire

Dr. Firmin M. ADANDEDJI

Chercheur en Qualité des Eaux et Modélisation (INE)

Maître de Stage

Dr Antoinette ADJAGODO

Microbiologiste (INE)

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée

PROMOTION : 2022-2023

DEDICACE :

A mes parents, Mashoudou KOTO SOUMANOU et Amina AWEDEOU

Pour l'affection dont j'ai bénéficié et que Dieu tout puissant vous garde encore longtemps parmi nous et en bonne santé.

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pas dû être accompli sans la contribution extrêmement bénéfique et les conseils de plusieurs personnes. Que tous ceux qui ont contribué à ce mémoire trouvent ici mes plus sincères remerciements. Je souhaite exprimer en premier lieu ma gratitude envers ALLAH le tout puissant qui ne cesse de me protéger, de me guider et de me combler de toutes ses grâces. Je tiens à remercier particulièrement :

- Professeur Daouda Mama, Directeur de l'Institut National de l'Eau (INE), pour nous avoir permis l'insertion dans son établissement ;
- Professeur Flavien DOVONOU, chef département d'Hydrologie et de Gestion des Ressources en Eau (HGRE) pour ces conseils et son soutien ;
- Docteur Firmin ADANDEDJI, mon Maitre de mémoire, pour son précieux encadrement, ses conseils et sa disponibilité à suivre ce travail ;
- Docteur ADJAGODO Antoinette et Ousmane BOUKARI pour leur précieuse contribution à la réalisation de ce travail, leur sympathie et leur solidarité à mon égard et pour tous les sacrifices consentis dans l'élaboration de ce mémoire ;
- A tout le personnel du Laboratoire d'Hydrologie Appliquée en l'occurrence Monsieur Mohamed BOURE SALMANOU technicien du laboratoire pour sa précieuse contribution à la réalisation de ce travail ;
- Tous les responsables de la Formation Professionnelle en Hydrologie à l'Institut National de l'Eau (INE)
- Tous les membres de jury qui apprécieront ce modeste travail ; Merci pour votre temps que vous sacrifierez au détriment de vos occupations pour l'analyse et l'amélioration de ce document ;
- Nos aînés de la formation Professionnelle en Hydrologie en l'occurrence Romaric ZANOU, Fructueux EHOUINSOU, Eustache GUIDI. Merci pour l'aide et les conseils ;
- Tous mes camarades d'hydrologie et spécialement ceux de la promotion 2022-2023 en particulier ceux d'éco-hydrologie avec qui tout au long des trois (3) années, nous avons partagé des moments de fraternité et d'apprentissage. Merci pour le soutien et l'entraide dont nous avons tous fait preuve ;
- Mes frères et sœurs, Abdoul-Halim, Khadidjath, Nadjah, Ridwane, ma tante Abiba AWEDEOU et toute ma famille, mes tantes, mes oncles, mes cousins, et mes cousines pour l'amour, l'éducation, l'orientation et les conseils de tous les jours ;
- Tous ce qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce document, qu'ils trouvent ici toute ma gratitude.

RESUME

L'eau est l'une des ressources les plus précieuses de notre planète, elle constitue un bien fondamentale vitale pour la survie de la terre et de ses habitants. Cependant elle fait face à de nombreux problèmes qui menacent sa disponibilité et sa qualité tant physico-chimique que microbiologique. Au Benin, précisément dans l'arrondissement de Djougou II, des systèmes d'alimentation en eau (Postes d'Eau Autonome Privés, forage, SONEB, puits, pluie) sont mises à la disposition des populations pour satisfaire leurs besoins en eau. Soucieux de la qualité de l'eau et des problèmes d'assainissement, l'objectifs de ce travail est de contribuer à améliorer l'accès à une eau de bonne qualité dans l'arrondissement de Djougou II. Les méthodes de spectrophotométrie d'absorption moléculaire, volumétrique et de membrane filtrante pour le dénombrement des germes ont été utilisées lors des analyses de laboratoire. Les résultats des enquêtes de terrain et les analyses de laboratoire ont permis de répondre à l'objectif mentionné. Au terme de cette étude, les résultats ont été comparés aux normes de qualité (norme béninoise) pour évaluer la qualité des eaux. Les valeurs de température (24,30°C à 29,10°C), de couleur (0 UCV à 50 UCV) et de turbidité (0 UTN à 14 UTN) sont supérieures à la norme établit en République du Bénin. En ce qui concerne les paramètres chimiques, les concentrations en calcium (64,98 à 285,65 mg/L), en magnésium (17,42 à 82,78 mg/L), en chlorure (29,82 à 433,10 mg/L), en ammonium (0 à 1,87 mg/L) en nitrate (0 à 85,22 mg/L) et en dureté totale (280,6 à 840,2 mg/L) tous dépassant la valeur limite fixé par la norme Béninoise. Du point de vue bactériologique, l'ensemble de ces eaux sont contaminées par coliformes totaux (36 à 410 UFC/100 mL), coliformes thermotolérant (0 à 60 UFC/100 mL), les *Escherichia coli* (0 à 19 UFC/100 mL) et flore aérobie revivifiable élevé (224 à 3500 UFC/100 mL). Les analyses physico-chimiques et bactériologiques montrent que les eaux de Postes d'eau Autonome Privés présentent des écarts sur le plan physico-chimique et surtout bactériologique. Aux vues de ces résultats, des suggestions ont été faites pour améliorer la qualité de l'eau consommée par les habitants de cet arrondissement.

Mots-clés : Paramètres physico-chimiques, bactériologique, Postes d'eau Autonome Privés, qualité de l'eau diagnostic, arrondissement de Djougou II

ABSTRACT

Water, one of the most precious resources on our planet, constitutes a fundamental good vital for the survival of the earth and its inhabitants. However, it faces many problems that threaten its availability and quality. In Benin, precisely in the district of Djougou II, water supply systems (Private Autonomous Water Stations, drilling, SONEB wells, pluic) are made available to populations to satisfy their water needs. Concerned about water quality and sanitation problems, the objective of this work is to contribute to improving access to good quality water in the district of Djougou II. Molecular absorption, volumetric and membrane filter spectrophotometric methods for enumerating germs were used during laboratory analyses. The results of the field surveys and laboratory analyzes made it possible to meet the mentioned objective. At the end of this study, the results were compared to quality standards (Benin standard) to assess water quality. The values of temperature (24.30°C to 29.10°C), color (0 UCV to 50 UCV) and turbidity (0 UTN to 14 UTN) are higher than the standard established in the Republic of Benin. Regarding the chemical parameters, the concentrations of calcium (64.98 to 285.65 mg/L), magnesium (17.42 to 82.78 mg/L), chloride (29.82 to 433.10 mg/L), ammonium (0 to 1.87 mg/L), nitrate (0 to 85.22 mg/L) and in total hardness (280.6 to 840.2 mg/L) all exceeding the limit value set by the Beninese standard. From a bacteriological point of view. all of this water is contaminated by total coliforms (36 to 410 CFU 100 ml). thermotolerant coliforms (0 to 60 CFU 100 mL), Escherichia coli (0 to 19 CFU/100 mL) and have a high revivable aerobic flora load (224 to 3500 CFU/100 mL). Physico-chemical and bacteriological analyzes show that the water from Private Autonomous Water Stations presents deviations on the physico-chemical and especially bacteriological level. In view of these results, suggestions were made to improve the quality of water consumed by the inhabitants of this district.

Keywords : Physico-chemical parameters, bacteriological, Autonomous water stations, water quality diagnosis, Djougou II district

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

°C	: Degré Celsius
AEP	: Approvisionnement en Eau Potable
AEV	: Adduction d'Eau Villageoise
AFNOR	: Association Française de Normalisation
ASECNA	: Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne
DG-Eau	: Direction Générale de l'Eau
INE	: Institut National de l'Eau
ISO	: International Organization for Standardization
LHA	: Laboratoire d'Hydrologie Appliquée
Mg/L	: Milligramme par Litre
MSP	: Ministère de la Santé Publique
NTU	: Nephelometric Turbidity Unit
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
PEA	: Poste d'Eau Autonome Privés
Ph	: Potentiel d'Hydrogène
RGHP-4	: Recensement Général de la Population et de l'Habitation
SONEB	: Société Nationale des Eaux du Benin
TDS	: Total Dissolved Solid
UFC	: Unité Formant Colonie
UNICEF	: United Nations International Children's Emergency Fund
UTN	: Unité de Turbidité Néphélométrique

LISTES DES FIGURES

Figure 1: Présentation des eaux souterraines. 8
Figure 2: Carte de la situation géographique de l'arrondissement Djougou II 21
Figure 3: Hauteurs des pluies moyennes mensuelles 22
Figure 4: Carte pédologique de l'arrondissement de Djougou II. 23
Figure 5: Carte hydrographique de l'arrondissement de Djougou II 24
Figure 6: Carte d'échantillonnage 28
Figure 7: Fréquence de l'usage des sources d'approvisionnement en eau 34
Figure 8: Mode de traitement de l'eau et leur pourcentage 35
Figure 9: Renouvellement de l'eau de stockage 36
Figure 10: Répartition du taux des maladies hydriques par tranche d'âge dans l'arrondissement de Djougou II en 2021. 38
Figure 11 : Répartition du taux des maladies hydriques par tranche d'âge dans l'arrondissement de Djougou II en 2022. 39
Figure 12 : Répartition du taux des maladies hydriques par tranche d'âge dans l'arrondissement de Djougou II en 2023. 39
Figure 13: Variation de la valeur du pH au niveau des points d'échantillonnage. 40
Figure 14: Variation de la valeur de la température au niveau des points d'échantillonnage. 41
Figure 15: Variation de la valeur de la conductivité au niveau des points d'échantillonnage. 41
Figure 16: Variation de la valeur de la couleur au niveau des points d'échantillonnage. 42
Figure 17: Variation de la valeur de la turbidité au niveau des points d'échantillonnage. 43
Figure 18: Variation de la valeur de TDS au niveau des points d'échantillonnage. 43
Figure 19: Variation de la concentration en chlorure au niveau des points d'échantillonnage. 44
Figure 20: Variation de la concentration en bicarbonate au niveau des points d'échantillonnage. 45
Figure 21: Variation de la concentration en calcium au niveau des points d'échantillonnage. 45
Figure 22: Variation de la concentration en magnésium au niveau des points d'échantillonnage 46
Figure 23: Variation de la concentration en nitrate au niveau des points d'échantillonnage. 47
Figure 24: Variation de la concentration en nitrite au niveau des points d'échantillonnage. 47
Figure 25: Variation de la concentration en ammonium au niveau des points d'échantillonnage 48
Figure 26: Variation de la concentration en sulfate au niveau des points d'échantillonnage. 49
Figure 27: Variation de la concentration en ortho phosphate au niveau des points d'échantillonnage. 49
Figure 28: Variation de la concentration en fluorure au niveau des points d'échantillonnage. 50
Figure 29: Variation de la concentration en fer au niveau des points d'échantillonnage. 51
Figure 30: Variation de la valeur de la dureté au niveau des points d'échantillonnage. 51
Figure 31: Variation de la charge de la flore aérobie revivifiable au niveau des points d'échantillonnage. 52
Figure 32: Variation de la charge en coliformes totaux au niveau des points d'échantillonnage. 53
Figure 33: Variation de la charge en coliformes thermotolérant au niveau des points d'échantillonnage. 53
Figure 34: Variation de la charge d'Escherichia coli au niveau des points d'échantillonnage. 54

LISTES DES PLANCHES

Planche 1 : Echantillonnage physico-chimique et bactériologique de l'eau des PEA. 29
Planche 2: Etat d'hygiène au niveau de la population et autour des Postes d'eau Autonome Privés de l'arrondissement 37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Normes de qualité physico-chimique des eaux destinées à la consommation humaine en République du Bénin. 11
Tableau 2: Normes de qualité microbiologique des eaux destinées à la consommation humaine en République du Bénin. 12
Tableau 3: Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité (Samake, 2002). 15
Tableau 4: Relation entre la dureté de l'eau et la concentration équivalente en CaCO3(Samake,2002). 16

TABLE DES MATIERES

DEDICACE : i
REMERCIEMENTS ii
RESUME iii
ABSTRACT iv
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES v
LISTES DES FIGURES vi
LISTES DES PLANCHES vii
LISTE DES TABLEAUX vii
INTRODUCTION GENERALE 1
CONTEXTE ET JUSTIFICATION 2
CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE 5
1.1 Définition de quelques concepts 5
1.2 Généralité sur l'eau : 6
1.3 Pollution de l'eau 8
1.3.1 Origine de la pollution 8
1.3.2 Les types de pollution de l'eau 10
1.4 Normes de potabilité des eaux de consommation en République du Bénin 11
1.5 Caractéristiques d'une eau potable 12
1.5.1 Paramètres organoleptiques 13
1.5.2 Paramètres physique 13
1.5.3 Paramètres chimiques 15
1.6 Quelques paramètres microbiologique de l'eau 18
CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE 21
2.1 Situation géographique et présentation du cadre d'étude. 21
2.2 Climat 21
2.3 Géologie 22
2.4 Sols et relief 22
2.5 Végétation 23
2.6 Hydrographie 23
2.7 Caractéristique démographique 24
CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES 26
3.1 Matériel de prélèvement et d'analyse 26
3.1.1. Matériel de terrain est composé de : 26

3.1.2 Matériel de laboratoire 26
3.2 Méthodes 27
3.2.1 Recherche documentaire 27
3.2.2 Travaux de terrain 27
3.2.4 Analyse au laboratoire 29
3.2.5 Traitement des données 32
CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION 34
4.1 RESULTATS 34
4.1.1 Résultats des enquêtes 34
4.1.2 Résultats des analyses physico chimique 40
4.1.3 Résultats des analyses bactériologiques 52
4.2 DISCUSSION 54
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS 58
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 60
ANNEXES 1 65
ANNEXES 2 : QUELQUES PHOTOS 71
ANNEXES 3 72
ANNEXES 4 72
ANNEXES 5 73

INTRODUCTION GENERALE

L'eau ressource fragile et inégalement répartie est essentielle à la vie de l'homme. Sans elle il n'y aurait aucune vie possible sur terre. Ressource doublement vitale pour l'homme elle est nécessaire à notre fonctionnement biologique mais elle permet aussi de produire notre nourriture. Cette ressource inégalement répartie au niveau de la planète terre a des implications majeures sur la disponibilité des ressources pour les différentes régions et populations. Seulement 2,5% de l'eau sur Terre est douce, c'est-à-dire propre à la consommation, tandis que la majeure partie (environ 97,5%) est de l'eau salée présente dans les océans (https://www.cieau.com/connaitre-leau/leau-dans-la-nature/eau-douce-tout-savoir/). L'accès à l'eau potable est une préoccupation majeure à l'échelle mondiale, ayant des implications profondes sur la santé, le développement économique et la qualité de vie des populations. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'UNICEF en 2019, environ 785 millions de personnes dans le monde n'ont pas accès à une source d'eau potable améliorée. Cela signifie qu'une personne sur dix est contrainte de recourir à des sources d'eau non salubres, telles que des rivières contaminées ou des puits non protégés, augmentant ainsi le risque de maladies hydriques (Annuaire des statistiques sanitaires du Bénin, 2009).

En Afrique l'approvisionnement en eau est un sujet complexe et crucial. Le continent africain fait face à de nombreux défis liés à l'eau tels que l'accès limites en eau potable, la pollution de l'eau, le manque d'hygiène et surtout d'insuffisances infrastructures liés à l'eau. Dans les pays en développement, jusqu'à 80% des maladies et plus du tiers des décès sont imputables aux maladies à transmission hydrique (OMS, 2003). La gastro-entérite est la maladie la plus fréquemment associée à l'ingestion d'eau contaminée par des matières fécales et entraîne des conséquences très graves sur la santé (Bourne et al, 2007). Ces problèmes liés à l'eau constituent un véritable souci pour le développement durable. Les zones rurales sont souvent les plus touchées, avec un accès limité à des infrastructures d'approvisionnement en eau adéquates. Cela a des conséquences négatives sur la santé des femmes et des enfants, qui sont souvent responsables de la collecte de l'eau (http://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2019).

L'accès à l'eau potable au Bénin est une préoccupation cruciale qui affecte la santé, le bien-être et le développement de la population du pays. Au Bénin, selon les statistiques du Ministère de la Santé, les maladies d'origine hydrique représentent 54% de l'ensemble des maladies (OMS/UNICEF, 2021). La persistance des maladies d'origine hydrique au Bénin est liée à l'accès limite à l'eau potable, des infrastructures sanitaires insuffisantes, à des pratiques d'hygiène inadéquates et des conditions environnementales défavorables. La contamination de l'eau due aux déchets, aux eaux usées non traitées déversées directement dans la nature et aux pratiques agricoles non durables qui

contribuent également au problème. Les disparités d'accès à l'eau potable au Bénin sont particulièrement prononcées entre les zones urbaines et rurales (Banque Mondiale, 2020). Au Bénin, l'eau potable destinée à la consommation est fournie par la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) en milieu urbain et l'ANAEPMR (Agence Nationale de l'Eau Potable en Milieu Rural) dans les milieux ruraux comme dans certains milieux périurbains.

CONTEXTE ET JUSTIFICATION

L'eau est une ressource indispensable pour tout être vivants dans ses besoins multiples. Elle contribue ainsi au développement durable de tout pays. Cependant cette ressource est menacée à cause des activités anthropique et le manque d'hygiène provoqué par l'homme.

De nos jours l'eau que nous consommons est malheureusement de plus en plus polluée par diverses activités humaines. Bien que l'eau potable contienne naturellement des bactéries, certaines de ces bactéries peuvent être dangereuses pour notre santé. Dans la planification des projets liées à la gestion de l'eau potable, la qualité de cette ressource cruciale est devenue un aspect de plus en plus important à prendre en considération.

Dans l'arrondissement de Djougou II, du fait de l'augmentation démographique et d'expansion urbaine enregistrée ces derniers années, l'alimentation en eau potable coordonnée par la société Nationale des eaux (SONEB) est limités dans certaines zones. De ce fait les habitants ce d'arrondissement se trouvent obligés de s'approvisionner à des puits, des forages et des Postes d'eau Autonome Privés qui peuvent être contaminés due au manque d'hygiène et d'assainissement. La situation de faible taux desserte en eau potable dans les milieux péri-urbains a engendré ces dernières années, la prolifération des Postes d'eau Autonome Privés prouvé insalubres qui constitue une menace pour la santé des population condamnés à y avoir recours (Tossounon, 2010). De plus, la prolifération incontrôlée des Postes d'eau Autonome Privés au sein de la population est couramment considérée comme un problème majeur avec trois principaux impacts : un impact néfaste sur les réserves d'eau souterraines, sur la santé publique, et l'assainissement. Ainsi ces Postes d'eau Autonome Privés nécessitent des contrôles pour assurer la sécurité des utilisateurs. C'est ce qui justifie la présente étude intitulée : « **Diagnostic de la qualité de l'eau des Postes d'Eau Autonome Privés dans l'arrondissement de Djougou II. »**

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres : le premier chapitre présente la Synthèse bibliographique ; le deuxième chapitre présente la zone d'étude ; le troisième chapitre quant à lui expose le matériel et les différentes méthodes utilisées et le chapitre 4 présente les résultats et la discussion.

Objectifs de l'étude

L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'accès à une eau de bonne qualité dans l'arrondissement de Djougou II.

Objectifs spécifiques :

Les objectifs spécifiques formulés sont les suivants :

- faire l'état des lieux des Postes d'Eau Autonome Privés présent dans l'arrondissement de Djougou II ;
- apprécier la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux des Postes d'Eau Autonome Privés utilisées dans l'arrondissement de Djougou II ;

Hypothèses

Pour atteindre ces objectifs les hypothèses suivantes ont été émises :

- les Postes d'Eau Autonome Privés présentent un aspect insalubre dans l'arrondissement de Djougou II ;
- les eaux des Postes d'eau Autonome Privés sont impropres à la consommation ;
- la qualité des eaux des Postes d'Eau Autonome Privés consommées ne convient pas aux normes des eaux potables en vigueur au Bénin.

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Définition de quelques concepts

Pour une bonne compréhension des concepts utilisés dans le cadre de notre étude, il est nécessaire de définir le contenu de quelques-uns de ces concepts.

Environnement : « L'ensemble des éléments naturels et artificiels ainsi que des facteurs économiques, sociaux et culturels qui influent sur les êtres vivants et que ceux-ci peuvent modifier » (L'article 2 de la loi cadre sur l'environnement en République du Bénin, 1999).

Assainissement : Selon l'OMS, on entend par « assainissement : la mise à disposition d'installation et de service permettant d'éliminer sans risque l'urine et les matières fécales. L'absence de système d'assainissement est une cause importante de morbidité dans l'ensemble du monde. Il est prouvé que l'assainissement à des effets positifs important sur la santé au niveau des ménages et des communautés. L'assainissement désigne aussi le maintien de bonnes conditions d'hygiène, grâce à des sources comme l'enlèvement des ordures et l'évacuation des eaux usées ».

L'eau potable : Selon l'organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'eau potable est une eau dotée de caractéristiques microbienne, chimique et physique répondant à des directives et à des normes relatives à la qualité de l'eau de boisson.

Un Poste d'Eau Autonome (PEA) : C'est un ensemble d'équipements électrique, électromécanique et hydraulique destiné à pomper, stocker et distribuer en un point unique l'eau. Son dispositif est presque identique à celui de l'AEV. C'est également constitué d'un forage comme ouvrage de captage dans lequel est immergée une pompe électrique alimentée par un groupe électrogène et relié à un réservoir de stockage (Yetongnon, 2022).

Qualité de l'eau : C'est l'ensemble des propriétés physiques, chimiques, biologique et organoleptiques qui rendent l'eau apte à l'utilisation à laquelle elle est destinée (L'article 5 de la loi n°2010-44 portant sur la gestion de l'eau en République du Bénin).

Normes de qualité de l'eau potable : Ce sont les prescriptions et/ou recommandations émanent des organismes habiletés, indiquant les valeurs maximales pour les différents paramètres de la qualité de l'eau de consommation humaine (Balogoun,2023).

Accès à l'eau : C'est un indicateur représentant la part de la population disposant d'un accès raisonnable à une quantité adéquate d'eau potable (Selon l'OMS).

Forage : C'est un trou circulaire de petit diamètre creusé à partir de la surface du sol jusqu'à une couche aquifère et muni d'un système mécanique ou électromécanique d'exhaure (Azonsi,.2023)

Puits : C'est un trou à grand diamètre creusé à partir de la surface du sol jusqu'à une nappe aquifère, pour en prélever de l'eau.

Hygiène : C'est l'ensemble des principes, des pratiques individuelles ou collectives visant à la conservation de la santé, au fonctionnement normal de l'organisme (Larousse, 2022).

Maladies d'origines hydriques : C'est l'ensemble des maladies provoquées par des microorganismes présents dans les eaux contaminées ou non traitées. Ces maladies sont : le choléra, la diarrhée, la dysenterie, l'hépatite A, la fièvre typhoïde et la poliomyélite. L'appellation « maladies hydriques » est utilisée pour désigner une maladie contractée suite à l'exposition d'un sujet à une eau contaminée ou la consommation de nourriture irriguée ou arrosée avec une eau contaminée (Lalanne, 2012). Il s'agit généralement de maladies dues à un agent infectieux retrouvé dans l'eau. L'apparition de maladies hydriques est généralement liée au développement de biotopes favorables à la propagation des vecteurs de maladies infectieuses ou parasitaires. Ces maladies sont très présentes en milieux tropical et subtropical, non seulement parce que les foyers de maladie existent déjà dans ces régions, mais également en raison des conditions climatiques (température et humidité) favorables à la prolifération des vecteurs, leur niveau de vie, des conditions hygiéniques précaires et d'une infrastructure de santé peu développée (Lalanne, 2012).

1.2 Généralité sur l'eau :

La formule chimique de l'eau pure est H_2O. L'eau que l'on trouve sur Terre est rarement un composé chimique pur, l'eau courante étant une solution d'eau, de sels minéraux et d'autres impuretés. Les chimistes utilisent de l'eau distillée pour leurs solutions, mais cette eau n'est pure qu'à 99 % : il s'agit encore d'une solution aqueuse.

Majoritairement observable sur Terre à l'état liquide, elle possède les propriétés d'un puissant solvant : elle dissout facilement et solubilise rapidement de nombreux corps sous forme d'ions, ainsi que de nombreuses autres molécules gazeuses, et par exemple les composants de l'air, en particulier l'oxygène ou le dioxyde de carbone. L'expression << solvant universel >> est toutefois sujette à maintes précautions, beaucoup de matériaux naturels (roches, métaux, etc.) étant non solubles dans l'eau (dans la plupart des cas ou de manière infime).

La surface de la Terre est recouverte à 71% d'eau (97% d'eau salée et 3% d'eau douce dans différents réservoirs) sous différentes formes :

- Liquide, dans les océans, les lacs, les fleuves et les rivières. Ailleurs que dans les zones humides plus ou moins tourbeuses ou marécageuses, dans les mers et océans, l'eau est

présente dans les lagunes, lacs, étangs, mares, fleuves, rivières, ruisseaux, canaux, réseaux de fossés, de watringues ou comme eau interstitielle du sol ;

- Gazeuse, sous forme de vapeur d'eau dans l'air. L'humidité de l'air provient de l'évaporation des mers, des plans d'eau et de l'évapotranspiration des plantes ;
- Solide, sous forme de glace dans les glaciers dans la banquise, les icebergs, etc.

La circulation de l'eau au sein des différents compartiments terrestres est décrite par le cycle de l'eau. En tant que composé essentiel à la vie, l'eau a une grande importance pour l'Homme mais aussi pour toutes les espèces végétales et animales (https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau).

1.2.1 L'eau de pluie

L'eau de pluie est un liquide sous forme de gouttelettes condensées à partir de l'atmosphère, puis sous forme de vapeur, puis d'un précipité lorsqu'elle est enfin devenue assez lourde pour tomber sous l'effet de la gravité. Dans le principe de sa formation, la composition chimique de l'eau de pluie est variable : elle dépend de la qualité de l'air atmosphérique traversé, dans les milieux urbains l'eau de pluie est considérée comme non potable à l'usage humain à cause des rejets atmosphérique (www.aquaportail.com).

1.2.2 L'eau de mer ou d'océan

L'eau de mer est l'eau salée des mers et des océans de la Terre. On dit qu'elle est <<salée>> parce qu'elle contient des substances dissoutes, les sels, constitués d'ions, principalement des ions halogénures comme l'ion chlorure et des ions alcalins comme l'ion sodium. On trouve 30 à 40 g de sels dissous pour 1 kg d'eau de mer. L'eau salée s'oppose à l'eau douce, qui contient moins de 1g de sels dissous par kilogramme (https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau).

1.2.3 L'eau de surface

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles proviennent soit par des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit par les eaux de ruissellement (fleuves, rivières, barrages, mares, marigots). Elles sont caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable (www.aquaportail.com).

1.2.4 L'eau souterraine

On entend par « eau souterraine » l'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels les sables et les

graviers. Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas canalisée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain. L'eau souterraine est une composante importante du cycle hydrologique ; l'eau provenant des précipitations s'infiltre dans le sol, circule verticalement jusqu'à la zone de saturation (nappe phréatique) et se déplace vers la zone naturelle de résurgence (les cours d'eau) située en aval (Myrand, 2008). Le niveau de l'eau souterraine, au-dessous duquel les roches ou sédiments sont saturés, est appelé nappe phréatique. On trouve aussi de l'eau au-dessus de la nappe phréatique, dans la zone non saturée, par exemple sous forme d'eau du sol, mais cette eau n'est normalement pas exploitée par l'homme et on ne pas la considérée comme une eau souterraine (Fig.1).

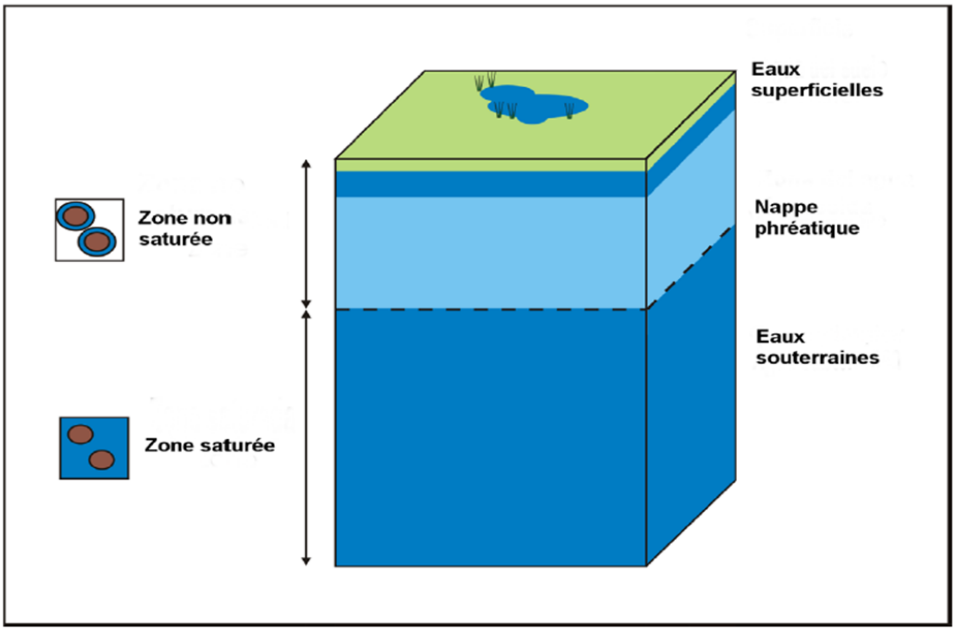


Figure 1: Présentation des eaux souterraines.

Source : (Manuels Ramsar, 2010)

1.3 Pollution de l'eau

La pollution de l'eau est une dégradation liée aux écosystèmes dont le principal élément est l'eau. Cela est dû à des facteurs multiples et spécifiques : les rejets d'activités industrielles et agricoles et les activités humaines habituelles qui se produisent dans les rivières, les nappes d'eau, les lacs et les mers (www.aquaportail.com). Une eau est également dite polluée lorsque sa composition ou son état est directement ou indirectement dégradé. L'eau souterraine, qui est jugée la plus potable, est la ressource la plus couramment utilisée dans les pays en développement. Cependant, cette eau est aussi très vulnérable à la pollution (Kenneth, 1976**)**.

1.3.1 Origine de la pollution

Selon l'origine des substances polluantes, on distingue :

1.3.1.1 La pollution d'origine atmosphérique

La pollution atmosphérique peut considérablement détériorer la qualité des ressources pédologiques et hydriques. Lorsque nous polluons l'atmosphère, nous polluons aussi les précipitations qui retombent sur nos plans d'eau et nos sols. L'effet de la pollution atmosphérique sur l'eau n'est pas toujours visible. Il se peut que des cours d'eau, des lacs ou des régions côtières semblent propres tout en étant pollués en raison des précipitations acides dues à la pluie, à la neige et aux particules, ou indirectement lorsque des nutriments, des éléments et des métaux lourds sont lixiviés du sol et mis en suspension dans la colonne d'eau (https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/pollution-atmospherique/qualite-environnement-economie/ecosysteme/effet-sol-eau.html). Les fumées provenant de l'industrie, des transports ou des maisons peuvent véhiculer un très grand nombre de polluants tels que hydrocarbures (60% de la pollution des mers par les hydrocarbures est transportée par voie atmosphérique), métaux lourds, souffre et gaz carbonique (responsables notamment des pluies acides) (Woito, 2018).

1.3.1.2 Pollution d'origine naturelle

Certaines substances naturellement présentes dans l'environnement entraînent parfois des problèmes de contamination de l'eau potable. Des composés inorganiques comme le baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures peuvent contaminer l'eau potable. L'eau souterraine est particulièrement vulnérable lorsqu'il y a présence de métaux dans les formations géologiques environnantes (Djemmal, 2008).

1.3.1.3 Pollution d'origine domestique

La pollution domestique provient des habitations et elle est en général véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. La pollution domestique se caractérise par la présence de germes fécaux, de fortes teneurs en matière organique, des sels minéraux et des détergents (Gaujous ,1995).

1.3.1.4 La pollution d'origine agricole

Les pollutions d'origine agricole englobent à la fois celles qui ont trait aux cultures (pesticides et engrais) et à l'élevage (lisiers et purins). Les engrais et les pesticides passent d'abord à travers les milieux naturels (nappes phréatiques, rivières...) et des déchets solides issus des industries agro-alimentaires et des concentrations des élevages entrainent un excédent de déjections animales

(lisiers de porc, fientes des volailles...) qui enrichissent les cours d'eau et les nappes souterraines en dérivés azotés et constituent aussi une source de pollution bactériologique (Kara, 2023).

1.3.1.5 Pollution d'origine industrielle

La pollution industrielle est provoquée par les rejets d'eau résiduaire d'origine industrielle susceptibles de contenir une infinité de substances plus ou moins biodégradables (Gaujous, 1995). Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activités : substances organiques banales ou de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds, etc. Ces produits sont exceptionnels mais trop souvent chroniques dans le cas des fuites de réservoir ou de canalisation (Beauchamp, 2006).

1.3.2 Les types de pollution de l'eau

On distingue trois principaux types de pollution de l'eau :

- **Pollution physique**

La pollution physique désigne la pollution thermique due à la température élevée causant une diminution de la teneur en oxygène dissous ainsi qu'une réduction de la solubilité des gaz et la pollution mécanique, qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variés dans l'eau ; qui lui confèrent un caractère trouble (Hadef et Hasni, 2017).

- **Pollution chimique**

Selon Ramade, la pollution chimique est due aux sels minéraux dissous et aux micropolluants :

-Les sels minéraux dissous sont nombreux, ils comprennent les chlorures et les sulfates qui se combinent au sodium, magnésium.
- Les micropolluants sont des corps chimiques à l'origine de multiples nuisances. Ils sont de nature minérale et organique (pesticides, détergents et hydrocarbures).
-Les métaux lourds (tel que le plomb et le chrome), affectent les propriétés organoleptiques de l'eau. Ils sont dangereux même à l'état de traces car ils s'accumulent dans la chaîne alimentaire par leur ingestion répétée et provoquent de graves altérations chez l'organisme humain.
-Les pesticides (insecticides, herbicides, fongicides) regroupent un ensemble de substances chimiques destinées à protéger les végétaux contre les organismes nuisibles. Leur présence dans l'eau peut être liée à leur emploi dans l'agriculture.
-Les détergents sont des tensioactifs utilisés en pratique pour le dégraissage, le nettoyage, etc. Leurs présences dans les eaux sont dues aux rejets urbains et industriels. Ils inhibent le processus

d'autoépuration, limitent le développement des micro-organismes et bloquent la réoxygénation du milieu hydrique.

-La pollution par les hydrocarbures est liée aux rejets d'activités diverses (stations –services, les huiles industrielles, carburants et machines agricoles motorisées),

- **Pollution microbiologique**

La pollution microbiologique peut être de nature virale, parasitaire ou bactérienne. Les polluants microbiologiques entrainent un déficit en oxygène dissous et une apparition des odeurs désagréables. Les polluants bactériologiques et viraux sont les plus dangereux, ils provoquent des maladies mortelles comme la typhoïde et le cholera (Ramade, 1998).

1.4 Normes de potabilité des eaux de consommation en République du Bénin

La norme de potabilité des eaux de consommation est représentée par un chiffre qui fixe la limite supérieure ou inférieure à ne pas dépasser et à respecter pour un paramètre. En République du Bénin, l'eau destinée à la consommation doit respecter certaines normes, ces normes sont présentées dans le tableau I.

Tableau 1: Normes de qualité physico-chimique des eaux destinées à la consommation humaine en République du Bénin.

Paramètres	Unités	Valeurs maximales permises
pH	-	6,5<pH<8,5
Température	°C	25°C
Couleur	UCV	15 UCv
Turbidité	UTN ou FNU	5 UTN ou FNU
Conductivité	µS/cm	2000 µS/cm
Bicarbonates	mg/l	-
Calcium	mg/l	100 mg/l
Magnésium	mg/l	50 mg/l
Chlorure	mg/l	250 mg/l
Dureté	mg/l	200 mg/ L
Nitrate	mg/l	50 mg/l
Nitrite	mg/l	3,2 mg/l
Sulfate	mg/l	400 mg/l
Ammonium	mg/l	0,5 mg/l
Orthophosphate	mg/l	5 mg/l
Fluorure	mg/l	1,5 mg/l
Fer	mg/l	0,3 mg/l

Tableau 2: Normes de qualité microbiologique des eaux destinées à la consommation humaine en République du Bénin.

Paramètres	Unités	Normes	
		Eau non désinfecté	Eau désinfecté
Flore aérobie revivifiable (FAR)	Nombre/ml	50	20
Coliformes totaux	Nombre/100ml	0	0
Coliformes thermotolérants	Nombre/100ml	0	0
Escherichia coli	Nombre/100ml	0	0

1.5 Caractéristiques d'une eau potable

La qualité d'une eau est définie par des paramètres organoleptique, physiques, chimiques et biologiques mais également par son usage.

1.5.1 Paramètres organoleptiques

Ils consistent en la couleur et l'odeur, ils constituent souvent les facteurs d'alerte pour une pollution (Genoutdet, 2001).

- **Couleur**

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (Rodier, 1976).

- **Odeur**

Toute eau destinée à la consommation doit être inodore. Par conséquent, toute présence d'odeur est un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition (Rodier et al, 2009).

1.5.2 Paramètres physique

- **Température**

La température de l'eau influe sur beaucoup d'autres paramètres. C'est en premier lieu le cas pour l'oxygène dissous (dioxygène) indispensable à la vie aquatique en premier lieu à la respiration des poissons. En effet plus la température de l'eau s'élève, plus sa quantité maximum d'oxygène dissous diminue.

En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels, etc. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques. Et d'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (Rodier, 1984). Elle est aussi un facteur important dans la production biologique, Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques (HCEFLCD, 2006).

- **Turbidité**

La turbidité d'une eau est une mesure globale qui prend en compte toutes les matières, soit colloïdales, soit insolubles, d'origine minérale ou organique (Thayer et al, 2007). En effet, le plus important effet lié à la turbidité est probablement sa capacité de protéger les micro-organismes contre la désinfection (Le Chevalier, et al, 1981). Elle est exprimée en Unité Néphélométrie de Turbidité (NTU).

- **pH**

Le pH donne une indication de l'acidité d'une substance. Il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogène libre (H^+) contenus dans la substance. L'acidité est un des paramètres les plus important des propriétés de l'eau. L'eau est un solvant pour presque tous les ions et le pH permet de comparer les ions les plus solubles dans l'eau. Le résultat d'une mesure de pH est défini par les quantités d'ions H^+ et d'ions OH^- présentes dans la substance. Quand les quantités de ces deux ions sont égales, l'eau (ou la substance) est considérée comme neutre, et le pH à un valeur aux alentours de 7.

Le pH d'une substance varie entre 1 et 14. Au-dessus de 7, la substance est considérée comme basique et la quantité d'ions OH^- est supérieure à celle d'ions H^+. Au-dessous de 7, la substance est acide ; les ions H^+ sont en quantités supérieures.

$pH = -\log[H^+]$

Le pH est un facteur logarithmique ; quand une solution devient dix fois plus acide, le pH diminue d'une unité. Si la solution devient 100 fois plus acides, le pH diminuera de deux unités. Le pH est aussi appelé alcalinité (https://www.lenntech.fr/francais/ph-et-alcalinite.htm).

- **Solides Totaux Dissous (TDS)**

Le TDS (Total dissolved solids ou matières dissoutes totales) ce sont les sels inorganiques et les petites quantités de matières organiques dissoutes dans l'eau. Les constituants sont habituellement les cations (calcium, magnésium, sodium potassium) et anions (carbonate, bicarbonate, chlorure, sulfate, et les nitrate surtout quand-il s'agit des eaux souterraines dissous et représente la concentration totale des substances (Azonnakpo, 2007).

- **Conductivité électrique**

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau. Par conséquent, la conductivité électrique renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau (Nouayti et al, 2015). On l'exprime usuellement en micro siemens par centimètre (µS /cm) (Selhi et smail, 2004).

Tableau 3: Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité (Samake, 2002).

Conductivité en µS/cm à 20°C	**Minéralisation**
Cond< 100	Eau de minéralisation très faible
100≤ Cond≤200	Eau de minéralisation faible
200≤Cond≤400	Eau de minéralisation peu accentuée
400≤Cond≤600	Eau de minéralisation moyenne
600≤Cond≤1000	Eau de minéralisation importante
Cond≥1000	Eau de minéralisation excessive

1.5.3 Paramètres chimiques

- **Nitrites** :

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action de nitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique (Rodier, 1976).

- **Nitrates**

Le nitrate est un composé inorganique composé d'un atome d'azote (N) et de trois atomes d'oxygène (O) ; Le symbole chimique du nitrate est NO_3. Le nitrate n'est normalement pas dangereux pour la santé à moins qu'il soit réduit en nitrite (NO_2). Le nitrate est l'un des polluants les plus fréquents des eaux souterraines en milieu rural. Il nécessite d'être régulé dans l'eau potable parce que des niveaux excessifs peuvent causer la méthémoglobinémie, ou la maladie du "bébé bleu". Bien que les niveaux de nitrate qui affectent les bébés ne sont pas dangereux pour les enfants plus âgés et les adultes, ils indiquent la présence possible d'autres polluants plus sérieux, tels que des bactéries ou des pesticides. L'origine des nitrates dans l'eau souterraine est principalement due aux engrais, aux systèmes septiques, et du stockage des engrais ou des systèmes de diffusions. Les engrais à l'azote ne sont pas absorbés par les plantes, volatilisés, ou emportés par le nettoyage des surfaces dans les eaux souterraines sous forme de nitrate. Ceci rend l'azote non disponible pour les plantes, et peut également augmenter la concentration dans les eaux souterraines au-dessus des niveaux admissibles pour la qualité de l'eau potable. Les systèmes septiques éliminent seulement la moitié de l'azote des eaux usées, laissant l'autre moitié dans les eaux souterraines, ceci conduit à une augmentation des concentrations en nitrate (https://www.lenntech.fr/procedes/nitrates/nitrates/nitrate.htm).

- **Fer**

Très répandu, le fer se classe au 4-ème rang des éléments de la croute terrestre. Il est largement utilisé dans la métallurgie et ses utilisations secondaires dans la chimie sont très variées. Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à quelque mg/l de fer ayant pour origine la lixiviation des terrains traversés ou les pollutions industrielles. Le fer peut se rencontrer jusqu'à 10 mg/l dans les eaux de sondage. Les eaux minérales et principalement les eaux thermo-minérales peuvent en contenir plus de 10 mg/l (https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau).

- **Calcium**

C'est un composant majeur de la dureté de l'eau. Il est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrain traversé (Queneau et hubert, 2009).

- **Magnésium**

C'est un des éléments les plus répandus dans la nature, il donne un gout désagréable à l'eau (Rodier et al, 2009). Selon Nouayti et al, la source du magnésium semble être liée au contact des eaux avec les roches calcaires et dolomitiques.

- **Dureté totale**

Dureté de l'eau semble venir de ce qu'il était dur de laver avec une telle eau. Sauf exception très particulière, la dureté à un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium (https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau). La dureté ou le titre hydrotimétrique (TH) correspond à la somme des concentrations en cations Ca^{2+} et Mg^{2+} à l'exception des alcalins. Une eau est dite douce, lorsqu'elle est pauvre en ces cations et elle est dite dure lorsqu'elle est riche en ces derniers (Ledler et haoussa, 2013). On l'exprime généralement en quantité équivalente de carbonate de calcium. Le tableau 5 donne la relation entre ce dernier et la dureté de l'eau.

Tableau 4: Relation entre la dureté de l'eau et la concentration équivalente en CaCO3(Samake,2002).

Dureté de l'eau	Concentration en mg/l
Eau douce	0 à 60
Eau moyennement douce	60 à 120
Eau dure	120 à 180
Eau très dure	Plus de 180

- **Fluorures**

Le fluor se présente sous forme de fluorures dans le sol, l'air et l'eau (Degbey, 2011). Les sources principales de fluor dans les eaux souterraines sont les roches sédimentaires. Mais également les roches magmatiques et certains filons. Les zones de thermalisme sont aussi concernées. Les concentrations en fluor sont plus faibles si la teneur en Ca^{2+}, issu du gypse par exemple, est forte. Le fluor est reconnu comme un élément essentiel pour la prévention des caries dentaires (dentifrices fluorés). Cependant, une ingestion régulière d'eau dont la concentration en fluor est supérieure à 2 mg/l (OMS) peut entrainer des problèmes de fluorose osseuse et dentaire.

- **Ortho-phosphate**

Les phosphates proviennent des phosphates calciques, de la contamination fécale, des engrais ou de l'industrie chimique. Ils peuvent avoir un effet bénéfique comme le sel nutritif, ils ne sont pas toxiques vis-à-vis des poissons. Par contre, si les phosphates qui sont difficilement dégradables, sont normalement présents et utiles à faible dose dans l'eau et les sols, leur excès est (avec les nitrates) une des causes de l'eutrophisation. Ils contribuent notamment aux problèmes de turbidité liés au verdissement des eaux (Chouti, 2011).

- **Chlorures**

En ce qui concerne les eaux destinées à la consommation humaine on considère que 99.5% des unités de distribution desservant plus de 10 000 habitants distribuaient une eau dont la teneur moyenne en chlorure était inférieure à 200mg/l. Ainsi donc l'OMS recommande une valeur guide de 250mg/l pour les eaux de consommation (Rodier, 1984).

- **Sulfates**

Les eaux naturelles contiennent toutes pratiquement des sulfates en proportions très variables (Tardat et henry, 1992). Ces dernières proviennent principalement des gypses présents dans le sol comme ils peuvent provenir du lessivage des sulfates de l'air par les précipitations (Ramade, 1998).

La présence des sulfates donne un goût amer à l'eau. Comme les sulfates ne sont pratiquement pas assimilables, une eau contenant une teneur élevée en ces anions causera des effets laxatifs chez l'homme (Mabilot, 1986). Les concentrations élevées des sulfates (plus de 400 mg/l) peuvent contribuer à la corrosion des systèmes de distribution surtout avec les eaux faiblement alcalines (Meghzili, 2003).

1.6 Quelques paramètres microbiologique de l'eau

La qualité bactériologique est évaluée par la recherche de bactéries témoins de contamination fécale. Ces germes, peu dangereux par eux-mêmes, montrent que des micro-organismes pathogènes (comme les staphylocoques, les salmonelles les entérovirus...) peuvent aussi s'introduire dans le réseau. Leur présence dans l'eau révèle donc un manque de fiabilité des équipements (défaut des captages, dysfonctionnement ou absence des installations de traitement, insuffisance dans l'entretien des ouvrages). Le risque principal est l'apparition de troubles intestinaux (comme des gastro-entérites par exemple) d'autant plus importants que les contaminations sont fréquentes et massives (http://siaep.faye.free.fr/qualite_de_leau/normes_de_leau/normes_de_leau).

Les paramètres microbiologiques recherchés dans ce présent travail sont les Coliformes Thermotolérants, Escherichia Coli, la flore aérobie revivifiable.

1.6.1 Les coliformes Thermotolérants

Les coliformes thermotolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5 °C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia coli* (*E. coli*) et, dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella* (Elmund et al, 1999). La bactérie *E. coli* représente toutefois 80 à 90 % des coliformes thermotolérants détectés (Barthe et al, 1998). Bien que la présence de coliformes fécaux témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale, plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale, provenant plutôt d'eaux enrichies en matière organique, tels les effluents industriels du secteur des pâtes et papiers ou de la transformation alimentaire (Barthe et al, 1998) et (OMS, 2000). C'est pourquoi il serait plus approprié d'utiliser le terme générique « coliformes thermotolérants » plutôt que celui de « coliformes fécaux » (Robertson, 1995). L'intérêt de la détection de ces coliformes, à titre d'organismes indicateurs, réside dans le fait que leur survie dans l'environnement est généralement équivalente à celle des bactéries pathogènes et que leur densité est généralement proportionnelle au degré de pollution produite par les matières fécales (CEAEQ, 2000). Par ailleurs, puisque les coliformes fécaux ne prolifèrent habituellement pas dans un réseau de distribution, ils sont utiles pour vérifier son étanchéité, permettant de détecter une contamination fécale découlant par exemple d'infiltrations

d'eau polluée dans les canalisations (Awwa, 1999). Ils sont aussi de bons indicateurs de l'efficacité du traitement de l'eau, mais comme leur nombre est moins élevé que celui des coliformes totaux, ces derniers leur sont préférables pour cette fonction (Robertson, 1995).

1.6.2 Escherichia Coli

Escherichia coli ; l'apparition de cette bactérie dans l'eau indique la présence éventuelle de micro-organismes pathogènes C'est la principale bactérie du groupe des coliformes fécaux. Ces derniers sont des indicateurs d'une contamination d'origine fécale car ils apparaissent toujours en grande quantité dans les déjections animales et humaines. C'est pour cela que les coliformes fécaux constituent un bon test de contamination des eaux par des matières fécales. Certaines souches d'*Escherichia coli* sont pathogènes pour l'homme et peuvent provoquer des troubles intestinaux ressemblant à une gastro-entérite au cholera ou à la dysenterie (OMS, 2000).

1.6.3 La flore aérobie revivifiable

Germes aérobies revivifiables ou encore germes totaux, ils n'ont pas d'effets directs sur la santé, mais sous certaines conditions ils peuvent générer des problèmes dans les systèmes de dialyse. Une faible valeur des germes totaux est le témoin de l'efficacité du traitement et de l'intégrité du système de distribution (pas de stagnation de l'eau, entretien efficace...). Leur très grande sensibilité en fait un signal d'alarme, avant apparition des bactéries sulfito-reductrices et des coliformes. Leur présence en grand nombre est le signe d'une dégradation de la qualité de l'eau, soit à la source, soit dans le réseau. Les bactéries d'origine résiduaire (environnementale) sont dénombrées à 22°C sur une période de 72 heures d'incubation et les bactéries d'origine intestinale (humaine ou animale) à 36°C sur une période d'incubation de 24 heures (OMS, 2000).

CHAPITRE : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1 Situation géographique et présentation du cadre d'étude.

L'arrondissement de Djougou II est l'un des douze arrondissements de la commune de Djougou dans le département de la Donga au Bénin. L'arrondissement est situé au Nord du Bénin entre 9°42'30'' Nord et 1°39'57'' Est. Il est constitué de onze villages à savoir : Alfa issa, Angaradebou, Bassala, Djakpingou, Kakabounouberi, kparsi, Leman bogou, Leman mande, Nalohou, Tintim bongo, et Wargou. Il compte 30 892 habitants selon les résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH4) effectué en 2013 et 43 492 habitants environ en 2023 avec un taux d'accroissement de 3,48%.

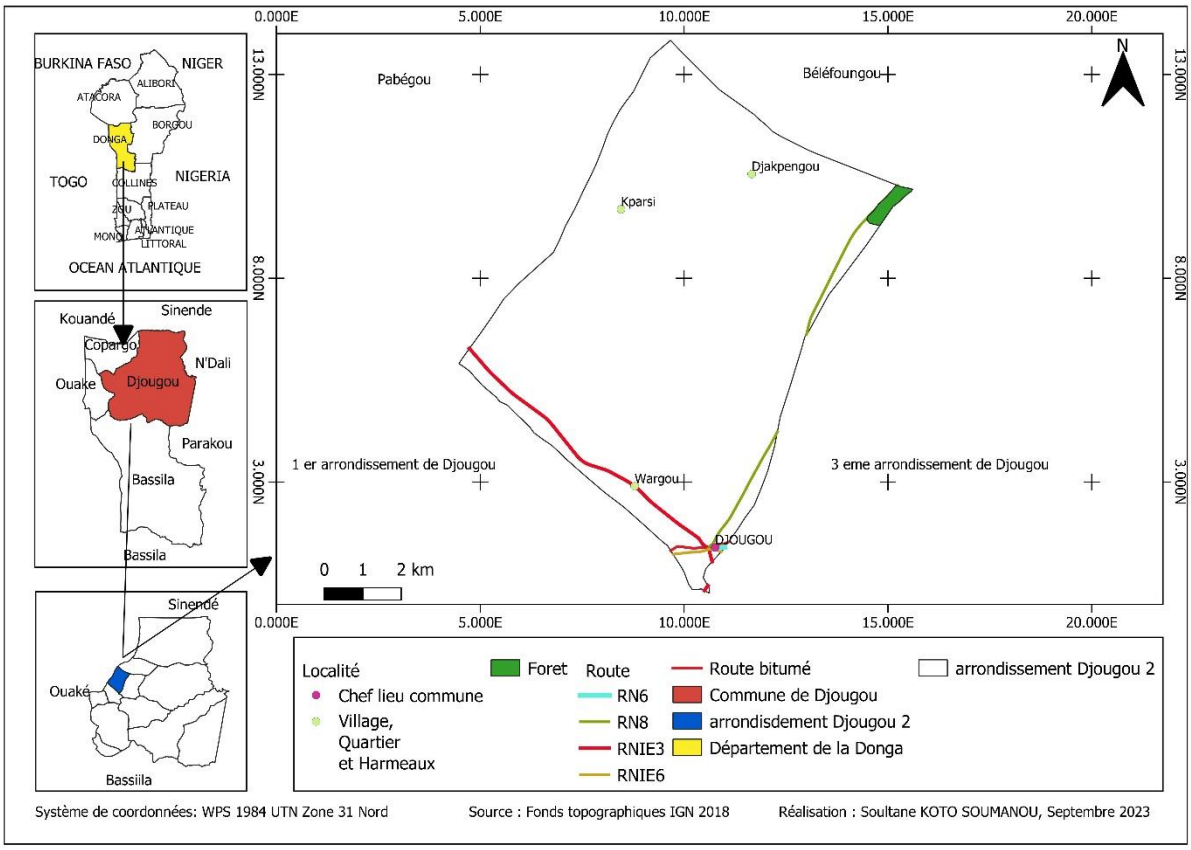


Figure 2: Carte de la situation géographique de l'arrondissement Djougou II

2.2 Climat

L'arrondissement de Djougou II tout comme la ville de Djougou est caractérisée par un climat de type soudano-guinéen à deux saisons dont une saison pluvieuse de mi-avril à mi-octobre et une saison sèche de mi-octobre. Les précipitations vont de 1000 à 1500 mm pour 75 à 140 jours de pluie (ASECNA, 2017)

L'arrondissement connaît également de décembre à février l'harmattan, un vent sec et frais qui souffle du Sahara vers l'Ouest sur l'Afrique occidentale.

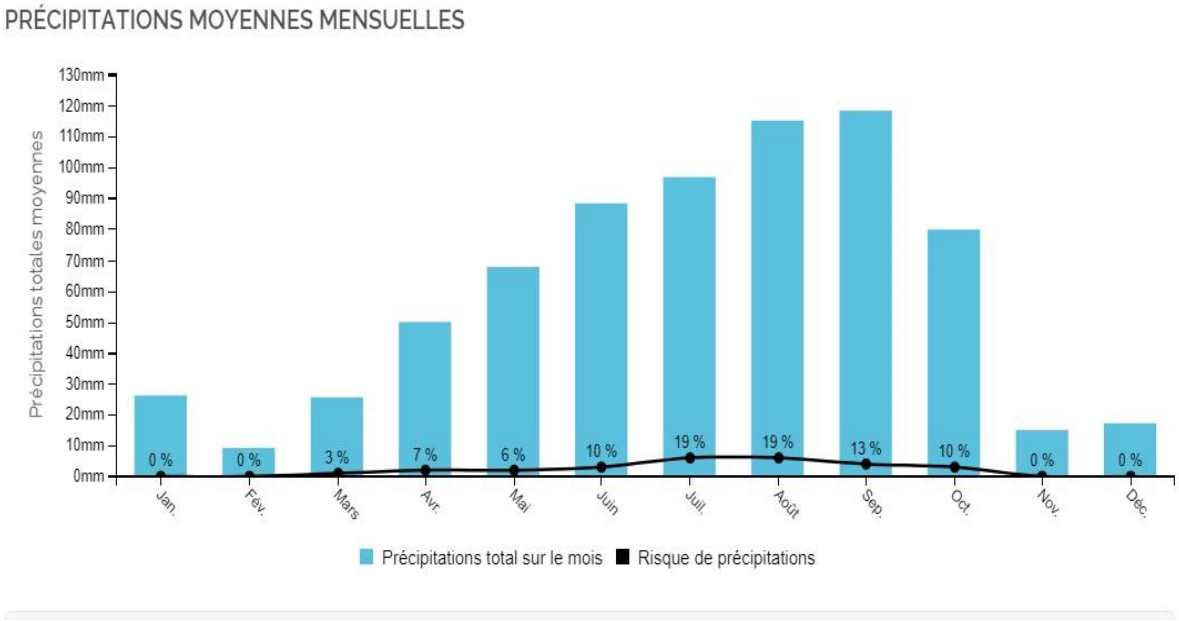


Figure 3: Hauteurs des pluies moyennes mensuelles

Source : (https://planificateur.a-contresens.net/)

2.3 Géologie

Sur le plan géologique la commune de Djougou est située dans la zone de socle tout comme l'arrondissement de Djougou II. Cette zone est constituée de roches magmatiques et métamorphiques. Les roches magmatiques dans la commune de Djougou sont, les gabbros qui sont en plus des roches plutoniques. Les roches métamorphiques de la commune de Djougou sont les gneiss, les migmatites et les micaschistes (Alle, 2010).

2.4 Sols et relief

Les sols dominants dans l'arrondissement de Djougou II sont :

- les sols ferrugineux tropicaux, hydromorphes sur roche basique ;

- les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés, peu lessivés sur gneiss à muscovite et à deux micas ;

- les sols ferrugineux tropicaux, peu lessivés sur matériau kaolinique issu de gneiss à deux micas. De plus, le relief de l'arrondissement de Djougou II est accidenté et le plateau est parsemé de

collines de faibles dénivellations. Il est incliné de l'Ouest vers l'Est, sa hauteur est d'environ 295 m à 545 m (Spatialisation des cibles prioritaires des ODD au Benin).

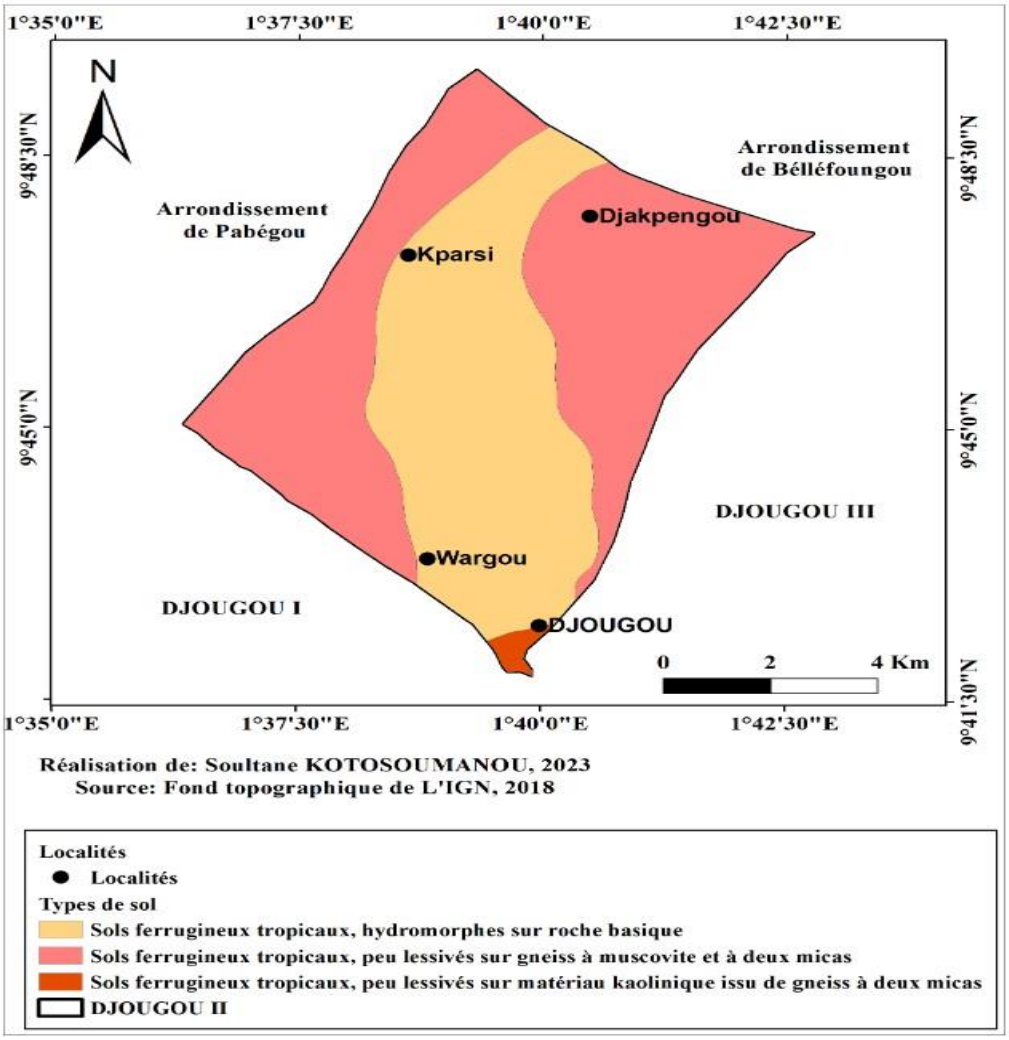


Figure 4: Carte pédologique de l'arrondissement de Djougou II.

2.5 Végétation

L'arrondissement de Djougou II dispose de plusieurs forêts classées que sont : la portion de la forêt classée de l'Ouémé supérieur au Sud-Ouest (35 000 ha), de la Donga (250 ha). A ces forêts classées s'ajoutent des forêts sacrées, de Nalohou et de Kpatogou. Des poches non négligeables de forêts claires et de forêts denses sont observées par endroit (Spatialisation des cibles prioritaires des ODD au Benin).

2.6 Hydrographie

Située dans le bassin versant de Wewe-Ouémé, l'arrondissement de Djougou II est drainé par quatre (4) cours d'eau d'une longueur totale de 21 km : Donga ; Affon (affluent de l'Ouémé

supérieur) ; Monmongou et Doninga. Ces ressources en eau favorisent le développement des cultures de contre-saison, l'élevage et la pêche (Honvoh, 2015).

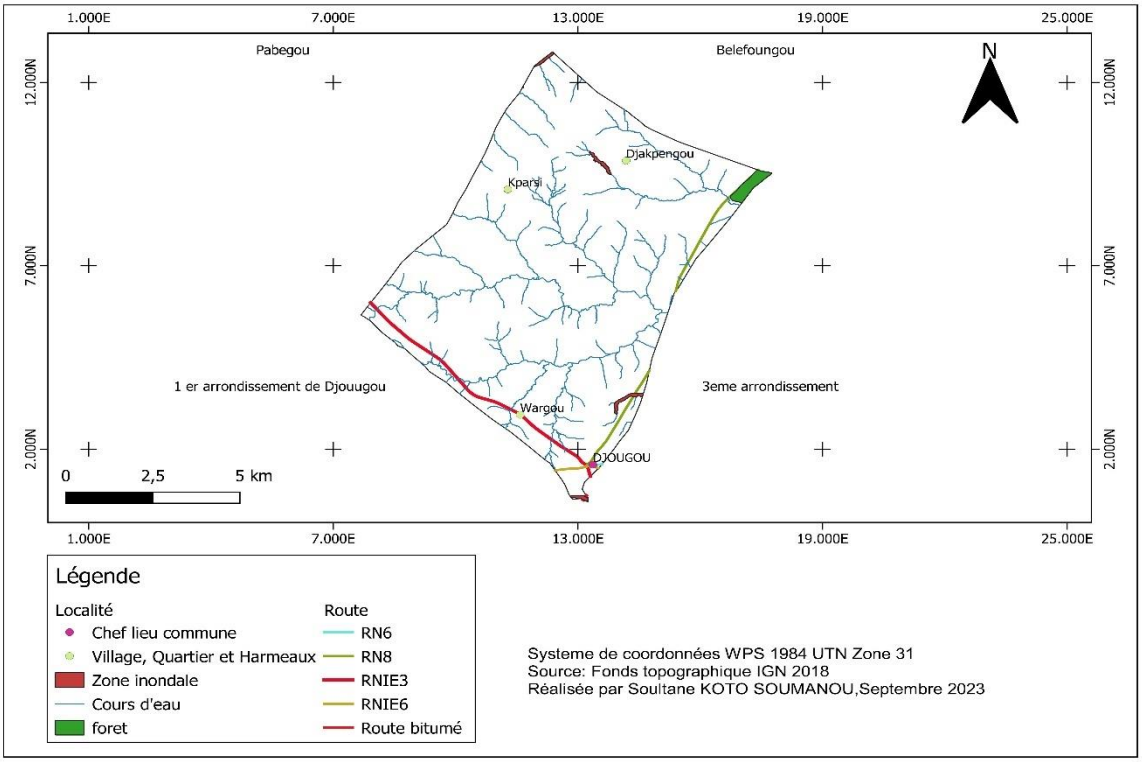


Figure 5: Carte hydrographique de l'arrondissement de Djougou II

2.7 Caractéristique démographique

D'après le Quatrième Recensement général de la population et de l'habitation (RGPH4) de 2013, la population de la Commune de Djougou est de 267 812 habitants, dont 133 813 hommes (49,97%) et 133 999 femmes (50,03%), dont 30 892 habitants dans l'arrondissement Djougou II. Par rapport à l'année 2002, la population totale a connu un accroissement intercensitaire annuel de 3,53%. La densité de la commune est de 68 habitants/km2. Elle montre une répartition de la population de la Commune par tranche d'âge avec une population essentiellement jeune. Les enfants de 14 ans au plus sont au nombre de 141217, soit 46,99%% de la population. Les adultes de plus de 18 ans sont estimés à 138 446 personnes (45,83%) dont 71.615 femmes (51,72%). La population est majoritairement faite de Yowa, Lokpa et apparentés (54,2%). Ce groupe ethnique est suivi des Dendi et apparentés (14,6%), Peulh (14,3%), des Otammaris et apparentés (6,7%) et des Baribas et apparentés (3,9%). Les groupes ethniques minoritaires sont : les Fons, les Nagots, les expatriés, les Adja et d'autres ethnies du Bénin. Les principales religions pratiquées sont : l'islam (81,40%) et le catholicisme (10,40%). Les autres religions sont : le protestantisme, les religions traditionnelles, le christianisme céleste, d'autres religions chrétiennes et d'autres religions. Une partie de la population (1,3%) n'a aucune religion.

CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODE

CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES

3.1 Matériel de prélèvement et d'analyse

3.1.1. Matériel de terrain est composé de :

- un GPS de marque pour enregistrer les coordonnées géographiques des sites d'échantillonnage ;
- des flacons plastiques de 1,5 litre pour recueillir les échantillons d'eaux destinées aux analyses physico-chimiques ;
- des flacons en bouteille de 250 ml pour l'échantillonnage d'eau destinée aux analyses microbiologiques ;
- une glacière pour conserver l'échantillon jusqu'au laboratoire ;
- une fiche de terrain et un stylo pour relever les valeurs in-situ
- un multi-paramètre de marque pour la mesure des paramètres in-situ comme : le pH, la température, la conductivité, TDS ;
- un appareil photo pour la prise des images.

3.1.2 Matériel de laboratoire

Au laboratoire, nous avons utilisé :

Pour les analyses chimiques :

- verrerie de laboratoire (bêcher, burette, Erlenmeyer, fiole jaugée, pipette graduée…) pour préparer les solutions
- des échantillons d'eau à prélever sur le terrain ;
- des solutions pour pouvoir doser et déterminer les paramètres recherchés ;
- de l'eau distillée
- un spectrophotomètre HACH LANGE DR2800 pour la mesure de l'absorbance des différents paramètres chimiques ;
- un autoclave pour le chauffage à vapeur humide ;
- un colorimètre DR 890 pour la mesure de la turbidité et de la couleur ;
- une blouse de laboratoire.

Pour les analyses bactériologiques :

- des incubateurs de 44°C et de 37°C pour l'incubation des milieux de cultures après ensemencement ;

- un autoclave pour la stérilisation des milieux de culture avant leur utilisation et pour la destruction de ces milieux de culture après le dénombrement ;
- une balance pour peser les milieux de culture ;
- une plaque chauffante pour la préparation des milieux de culture ;
- des boîtes de Pétri pour contenir les milieux de culture ;
- des milieux de culture pour ensemencer ;
- des membranes de filtrations pour l'ensemencement ;
- une flamme de Bec Bunsen pour enflammer ;
- une blouse de laboratoire

3.2 Méthodes

3.2.1 Recherche documentaire

Pour la réalisation de notre travail et pour mieux atteindre les objectifs de notre étude la recherche documentaire a consisté en une collecte des informations dans les mémoires et autres documents scientifiques sur internet, des bibliothèques numériques (l'EPAC, de l'UAC) et des moteurs de recherches (www.wikipédia.com et www.googlescholar.com) qui abordent la problématique de la qualité des eaux utilisées pour la consommation humaine. Cette étape de la méthodologie nous a permis de faire la synthèse des connaissances et recherches antérieures déjà effectuées pour mieux aborder le sujet d'étude. Cette recherche documentaire s'est déroulée le long de la rédaction dans le but d'enrichir au fur et à mesure le travail et d'actualiser les informations ayant rapport au thème d'étude et a aussi permis de pouvoir orienter la collecte et le traitement des données.

3.2.2 Travaux de terrain

Les travaux de terrain ont été réalisés du 13 Aout 2023 au 18 aout 2023. Les travaux se sont déroulés en quatre phases : la phase d'enquête, la phase d'échantillonnage, d'analyse et de traitement des résultats.

3.2.2.1 Enquête de terrain

L'observation : elle est faite au cours des visites périodiques effectuées sur le terrain. Elle a permis d'observer les causes réelles de la contamination des eaux des Postes d'eau Autonome Privés, de confirmer et de compléter les informations recueillies auprès des populations ;

L'enquête : des fiches d'enquêtes élaborées ont permis de recueillir des informations au sein de la population et au niveau des centres de santé par rapport aux types d'eaux, à leurs usages et les maladies les plus fréquemment rencontrées. Les résultats des analyses ont permis également de faire un lien entre les bactéries observées et les maladies recensées. La fiche d'enquête utilisée est en (Annexe 1).

3.2.2.2 Echantillonnage

L'objectif de l'échantillonnage est de collecter des échantillons représentatifs. Avant l'échantillonnage, les bouteilles en verre ont étés lavées proprement, rincées à l'eau distillée et séchées à l'étuve pour le prélèvement des échantillons pour l'analyse bactériologique. Sur le terrain, la bouteille de prélèvement des échantillons pour l'analyse physico chimique est rincée deux à trois fois avec l'eau à échantillonner. Ainsi 08 points ont étés choisis dont 05 points (P1, P2, P3, P4 et P7) au niveau du centre-ville (bidonville) et 03 points (P5, P6, P8) en milieu périphérie. Pour le prélèvement on a laissé l'eau couler pendant quelques minutes afin de vider l'eau contenu dans la canalisation. Des bouteilles de 1,5 litre ont été remplie puis les bouteilles en verre tout en ne laissant pas des bulles d'air. Après l'échantillonnage, tous les échantillons d'eau sont conservés dans une glacière avec des accumulateurs de froid avant d'être transportés au laboratoire où ils sont conservés dans un réfrigérateur. La Figure 6 montre la répartition des points de prélèvement des échantillons.

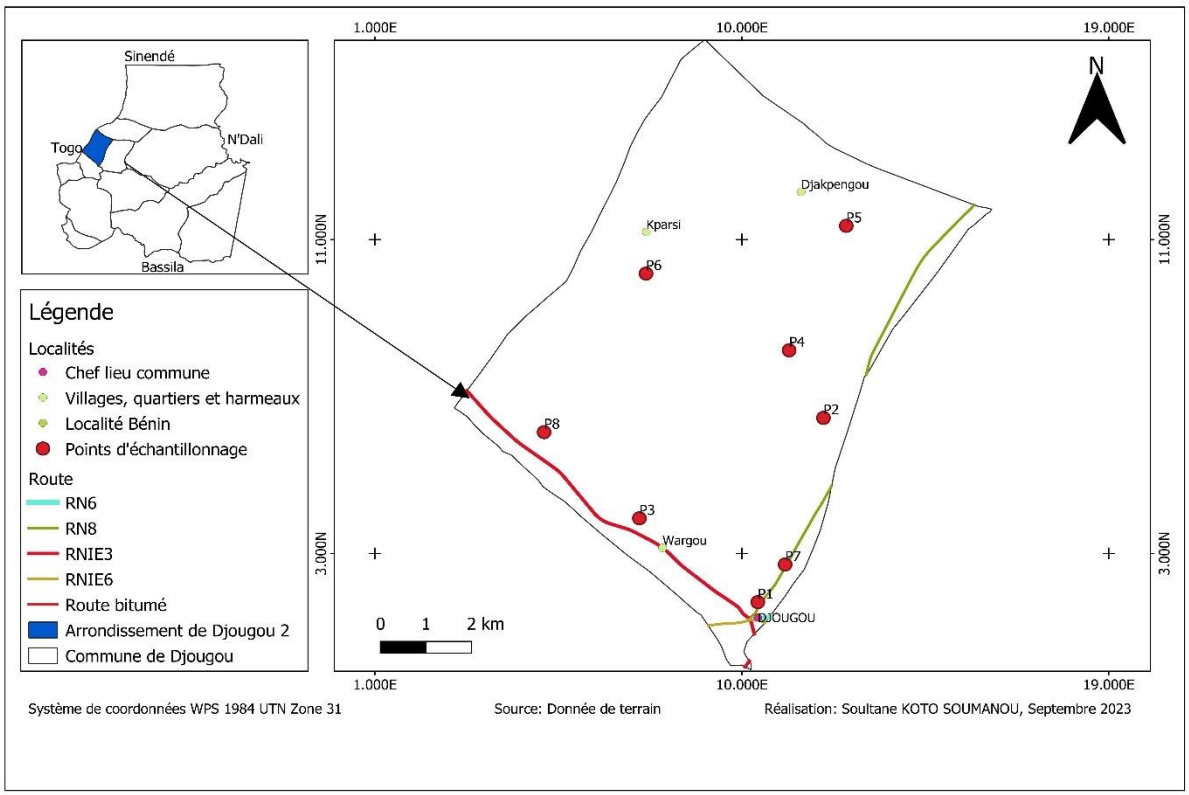
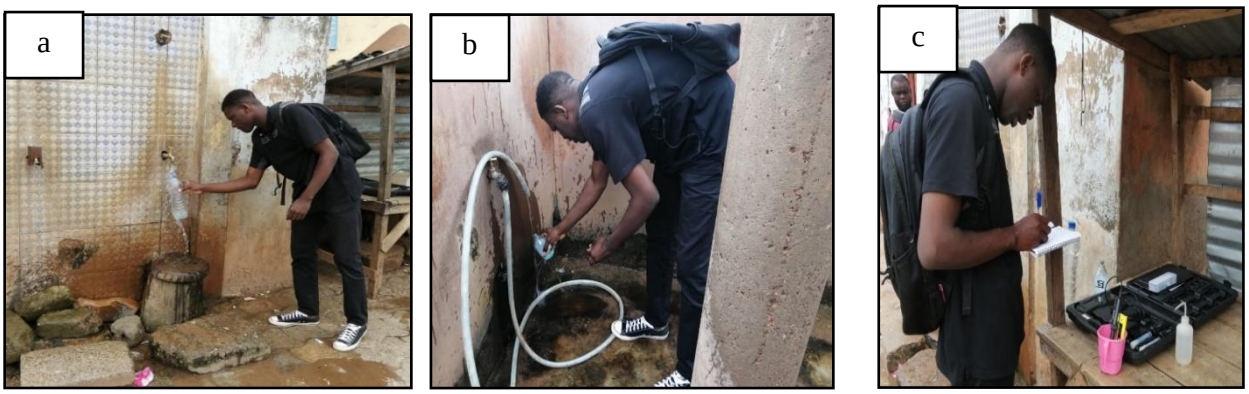


Figure 6: Carte d'échantillonnage



a) Prélèvement d'échantillon pour l'analyse chimique.

b) Prélèvement d'échantillon pour l'analyse bactériologique.

c) Mesure des paramètres in-situ.

Planche 1 : Echantillonnage physico-chimique et bactériologique de l'eau des PEA.

Source : (Cliché Soultane KOTO SOUMANOU, Aout 2023)

3.2.3 Analyse des paramètres in-situ

Les paramètres in-situ tels que le potentiel d'hydrogène (pH), la température, la conductivité, et les solides totaux dissous (TDS) ont étés mesurés avec un multi paramètre de marque LAQUA WQ-300. Pour chaque mesure, la sonde est d'abord rincée avec l'eau distillée et ensuite avec l'échantillon. La sonde a été ensuite plongés dans l'échantillon d'eau prélevé et les différentes valeurs des paramètres sont lus et consignés in-situ.

3.2.4 Analyse au laboratoire

3.2.4.1 Analyses chimiques

Les analyses chimiques des échantillons prélevés ont été faites au Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA). Les éléments concernés par les analyses chimiques sont : les nitrites, les nitrates, le magnésium, le fer, le sulfate, l'ammonium, le fluorure, l'ortho phosphates, la dureté, le calcium et le chlorure. Ils ont été analysés à l'aide du spectrophotomètre HACH DR2800 ou par méthode volumétrique.

- **Dosage des nitrates**

La détermination des teneurs en nitrate est faite par la méthode au salicylate de sodium indiquée par (Rodier et al, 2009). En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent le para nitro-salicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique. Les lectures à la spectrophotométrie se font à la longueur d'onde de 425 nm.

- **Dosage des nitrites**

Les ions nitrites ont été dosés grâce à la méthode du réactif de Zambelli (Rodier et al, 2009), dont le principe est résumé comme suit : l'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique et en présence d'ions ammonium et de phénol, forme avec les ions nitrites (NO_2^-), un complexe coloré en jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en ions nitrites. Les lectures spectrophotométriques s'effectuent à la longueur d'onde de 425 nm.

- **Dosage de l'ammonium**

La méthode utilisée pour déterminer les teneurs en ammonium est celle de Nessler (Rodier et al, 2009). Le réactif de Nessler en présence d'ions ammonium, donne de l'iodure de dimercuriammonium qui permet le dosage colorimétrique des ions ammonium (NH_4^+). La lecture se fait au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 425 nm.

- **Dosage de l'orthophosphate**

Les ortho phosphates ont été déterminés au spectrophotomètre avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine tel que proposé par (Rodier et al, 2009). Il se forme en milieu acide un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium avec réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu. L'absorbance du complexe bleu formé est mesurée à la longueur d'onde la plus sensible 700 nm

- **Dosage du chlorure**

On prend 5 ml de l'échantillon à analyser, à l'aide d'une pipette on ajoute 2 gouttes de chromate de potassium (K_2CrO_4) ce qui donne une coloration jaunâtre. Ensuite, on titre par addition progressive de la solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$ à 0,01N) jusqu'à l'obtention d'une coloration brun rougeâtre (Ayad, 2017).

- **Dosage du magnésium**

Pour le dosage de magnésium, on a utilisé la méthode volumétrique. Elle se base sur la neutralisation du magnésium par la liqueur complexiometrique en présence d'un indicateur, de l'acide chlorhydrique et de l'ammoniac concentré (Rodier et al, 2009).

- **Dosage du calcium**

On a utilisé dans ce dosage, la méthode volumétrique. Elle est basée sur la neutralisation des calciums par la liqueur complexiometrique en présence d'acide chlorhydrique, d'un indicateur et du NaOH (Rodier et al, 2009).

- **Dosage du sulfate**

Les sulfates ont été déterminés au spectrophotomètre. On prend 9 mL de l'échantillon à analyser, à l'aide d'une pipette on ajoute 5 gouttes de la solution d'acide chlorhydrique 2N puis 1 mL de germes d'ions sulfates. Ensuite agiter et laisser reposer 45 minutes et passer à la lecture au spectrophotomètre à 700 nm par rapport à l'eau distillé de traité de la même manière

- **Calcul de la dureté total**

La dureté totale est calculée en tenant compte les concentrations de calcium et de magnésium. Elle est calculée par la formule suivante :

$$TH = 2{,}497[Ca^{2+}] + 4{,}118[Mg^{2+}] \quad \text{en mg /L}$$

- **Fluorure**

Pour le dosage des ions fluorure au moyen d'un spectrophotomètre ; on prélève 10 ml de l'eau distillée dans une cuve de 10 ml + 2 ml de SPANDS pour faire le zéro de l'appareil. On prélève ensuite 10 ml d'échantillon + 2 ml de SPANDS. Agiter et attendre (01) minute et faire la lecture à 580 nm au spectrophotomètre.

- **Fer**

Nous avons utilisé pour ce dosage la méthode spectrophotométrique à la phénanthroline-1,10. Il se produit la formation d'un complexe rouge orangé en milieu tamponné entre le fer converti à l'état de fer (II) et la phénanthroline-1,10. L'absorbance du complexe est mesurée au spectrophotomètre d'absorption moléculaire à 510 nm (ZOGO et al, 2016).

3.2.4.2 Analyse bactériologique

- **La flore aérobie revivifiable (FAR)**

La recherche et la numération de la FAR ont été faites par la méthode de la Norme AFNOR NF EN ISO 6222/1999 qui a consisté à l'ensemencement par incorporation. En effet, 1ml d'échantillon d'eau a été incorporé dans une boîte de pétri à 20 ml de gélose Plate Count Agar (en surfusion à 45°C). Avant l'incorporation de 1 ml, des dilutions de 1/10 en diluant tryptone sel eau ont été faites pour avoir plus de précision dans les résultats. Après homogénéisation et solidification du mélange, l'incubation a été faite à 37°C pendant 24 à 48 heures. Les résultats ont été exprimés en Unité Formant Colonies (UFC)/mL. Toute forme de colonies est caractéristique de la FAR. La valeur

limite recommandée par la norme béninoise est de 50 UFC dans 1 mL d'eau potable (Décret N°2001-094).

- **Coliformes totaux et thermotolérants**

La recherche et la numération des Coliformes totaux et thermotolérants ont étés faites suivant la norme NFV-066/1996. La méthode utilisée pour la détermination de ces germes a été la technique de filtration sur membrane. 100 mL de l'échantillon d'eau a été filtré sur des membranes filtrantes de porosité 0,45 µm. Cette membrane a été déposée dans une boîte de pétri contenant du milieu gélosé Violet Red Bile Lactose Agar (VRBL). Les boîtes ont été ensemencées à 37°C pendant 48 heures pour la recherche des Coliformes totaux, et à 44°C pendant 48 heures pour la recherche des Coliformes thermotolérants. Les colonies violacées ont été observées et dénombrées sur les boîtes incubées pour la recherche de ces deux germes. Les résultats ont été exprimés en UFC/100 mL. La valeur limite recommandée par la norme béninoise est de 0 UFC dans 100 mL d'eau potable (Décret N°2001-094).

- **Escherichia. Coli**

La recherche et la numération de E. coli a été faite suivant la norme NFV-066/1996. La méthode utilisée pour la détermination de ces germes a été la technique de filtration sur membrane. 100 mL de l'échantillon d'eau a été filtré sur des membranes filtrantes de porosité 0,45 µm. Cette membrane a été déposée dans une boîte de pétri contenant du milieu gélosé Violet Red Bile Lactose Agar (VRBL). Les boîtes ont été ensemencées à 44°C pendant 48 heures. Les colonies rouges violacées ont été observées et dénombrées. Les résultats ont été exprimés en UFC/100 ml. La valeur limite recommandée par la norme béninoise est de 0 UFC dans 100 mL d'eau potable (Décret N°2001-094).

3.2.5 Traitement des données

Cette étude s'est appuyée sur des données relatives aux analyses physico chimique et bactériologique des eaux des Postes d'eau Autonome Privés de l'arrondissement de Djougou II. Les échantillons d'eau ont étés prélevés au niveau de huit (08) points distincts. L'analyse statistique des résultats a été réalisée à l'aide du logiciels Rstudio-2022.12.0-35 et le tableur Excel 2016

Les données collectées sur le terrain et les résultats des analyses en laboratoire ont été traités efficacement à l'aide du logiciel Rstudio-2022.12.0-353. Pour la réalisation de cartes, nous avons utilisé QGIS 3.16.15

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 RESULTATS

Les résultats présentés dans cette partie du mémoire sont issus des informations basées sur :

- les enquêtes sur le terrain
- les analyses des paramètres physico chimique de l'eau des Postes d'eau Autonome Privés
- les analyses des paramètres bactériologiques de l'eau des Postes d'eau Autonome Privés

4.1.1 Résultats des enquêtes

- **Sources d'approvisionnement et usages**

La Figure 7 ci-dessous présente la fréquence de l'usage des sources d'approvisionnement en eau. L'utilisation de l'eau pour les usages domestiques demandent une quantité importante de cette ressource. Les enquêtes menées dans l'arrondissement de Djougou II ont permis d'identifier plusieurs sources d'approvisionnement en eau potable. Ces sources d'approvisionnent sont les Postes d'eau Autonome Privés, les forages, les pluies, les puits, et la SONEB. Ces sources d'eau varient en fonction de chaque individu interviewé. Sur les 30 ménages enquêtés, les habitants de l'arrondissement de Djougou II font différents usages de l'eau des sources d'approvisionnements. La majorité de la population préfère s'approvisionner en eau des Postes d'eau Autonome Privés (PEA) ce qui explique le taux élevé des Postes d'eau Autonome Privés pour les différents usages. Notons que la faible couverture de l'arrondissement par la SONEB a entrainé l'accroissement du taux des Postes d'eau Autonome Privés dans l'arrondissement de Djougou II ce qui explique le choix des Postes d'eau Autonomes pour leur approvisionnement en eau.

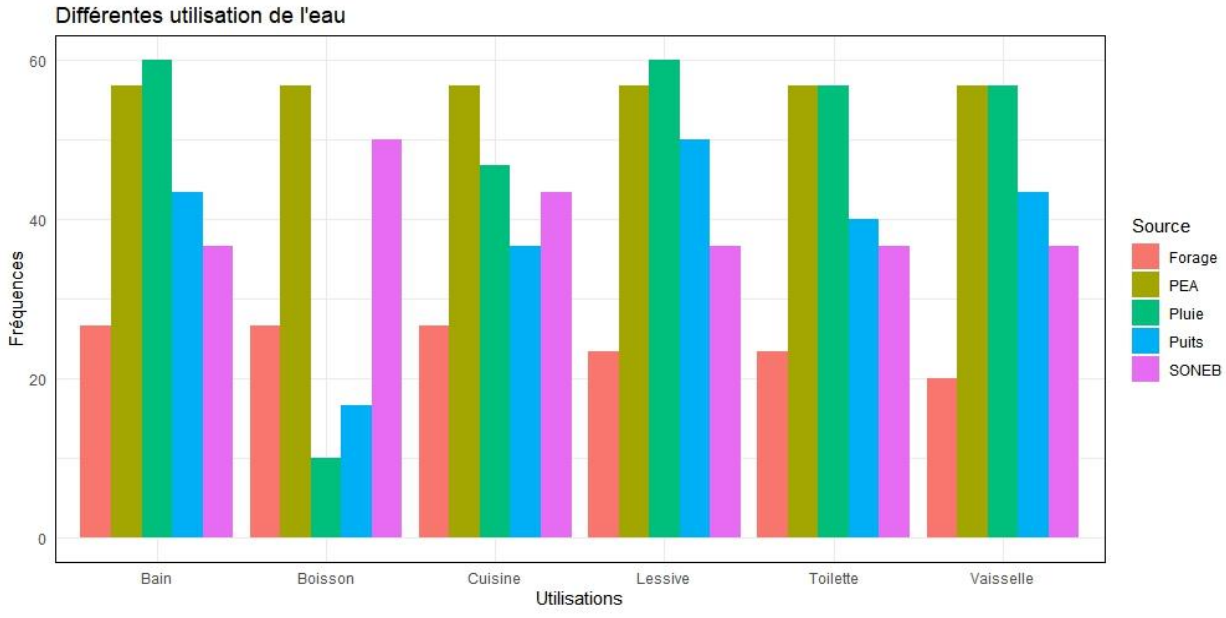


Figure 7: Fréquence de l'usage des sources d'approvisionnement en eau

- **Méthode de traitement de l'eau utilisé par la population**

La Figure 8 ci-dessous présente les différentes modes de traitement de l'eau. Le but du traitement de l'eau est de rendre l'eau potable et sure à la consommation. Cependant dans l'arrondissement de Djougou II, la prise de conscience de la population sur la question du traitement de l'eau est encore loin d'être satisfaisante car dans l'arrondissement de Djougou II, une grande partie de la population ignore encore l'importance du traitement de l'eau et surtout de celle destinée à la consommation. Sur les 30 ménages enquêtés seulement 63% traitent leur eau et 37 % ne traitent pas leur eau. Le manque de traitement expose ces derniers à des maladies d'origine hydrique notamment des infections d'origine microbiologique. Sur les 63% qui traitent leur eau pour la consommation et pour différents usages domestique différents méthodes et produits sont utilisés afin d'éliminer les microorganismes présents dans ces eaux.

D'après le diagramme ci-dessous (55% ; 15% ; 15% et 15%) utilisent respectivement la chloration (eau de javel) ; l'aquatabs ; l'ébullition et la filtration.

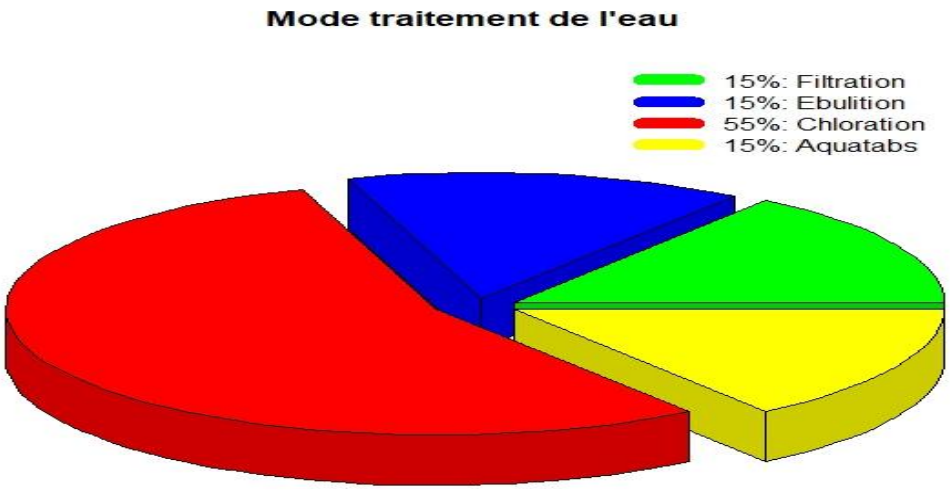


Figure 8: Mode de traitement de l'eau et leur pourcentage

- **Renouvellement de l'eau**

La Figure 9 ci-dessous présente la période de renouvellement de l'eau de stockage. La qualité de l'eau est influencée par le temps de séjour qu'elle passe stockée. Plus l'eau est stockée (pendant 3 jours), plus elle devient sujette à la prolifération microbienne, ce qui la rend moins propre à la consommation. Malheureusement force est de constater que 30 % de la population renouvelle l'eau tous les jours, 23 % renouvelle l'eau tous les 3 jours, 20 % une fois par semaine et 26 % rarement.

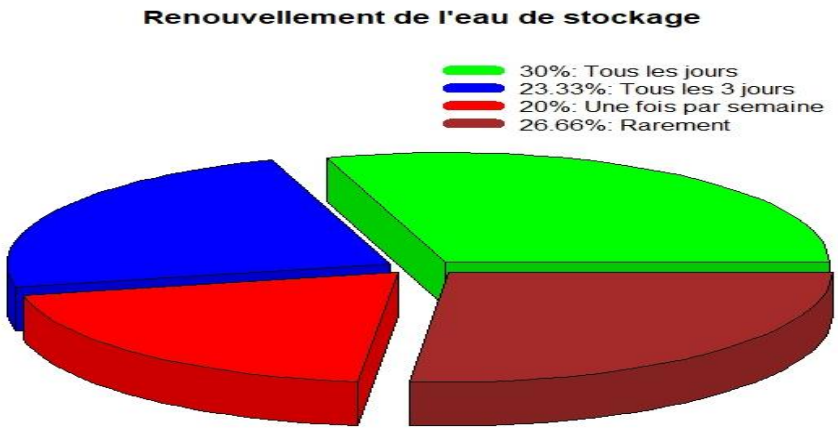


Figure 9: Renouvellement de l'eau de stockage

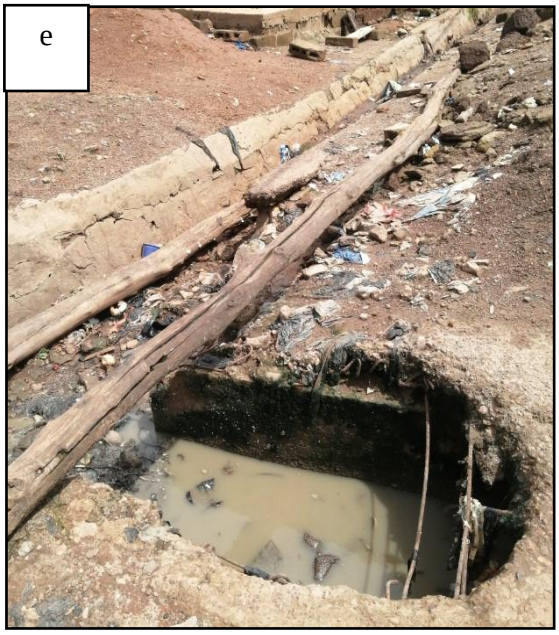
- **Hygiène observée autour des Postes d'eau Autonome Privés**

Suite à des observations faites dans les villages de l'arrondissement de Djougou II dans le cadre de notre étude, il est clair que le niveau d'hygiène est très préoccupant. En effet les habitants de ces villages ne se soucient pas de la propreté des points d'eau et cela se manifeste par le manque d'entretien régulier des réservoirs de stockage, des dispositifs de distribution et la mauvaise gestion des déchets. Les villages sont remplis de dépotoirs sauvages et la plupart des ménages ne dispose pas d'un lieu adéquat pour le dépôt des déchets.

Ainsi, on retrouve des ordures, des animaux domestiques et des eaux usées auprès des ouvrages d'approvisionnement (PEA). En plus les ouvrages d'approvisionnement devraient être installés d'au moins 30 m des latrines, des douches externes ou des fosses septiques mais force est de constater que dans certains ménages visités les ouvrages qui les alimentent en eau sont installés à une distance d'environ 08 m ou moins des latrines et des fosses septiques ce qui augmente considérablement de risque de contamination. A cela s'ajoute la mauvaise gestion des eaux usées des douches et des ménages et le bourrage des caniveaux par les ordures ménagères. De plus les systèmes de filtration de certains Postes d'eau Autonome Privés sont défectueux, et les robinets sont exposées sans être reliés à un dispositif de protection. On peut en conclut que les habitants de cet arrondissement font face à une problématique majeure en matière d'assainissement base et d'hygiène.



d) Dépotoir sauvage d'ordure



e) Caniveau mal entretenu



f) Hygiène autour d'un PEA



g) Animaux domestique se baladant autour des PEA

Planche 2: Etat d'hygiène au niveau de la population et autour des Postes d'eau Autonome Privés de l'arrondissement

Source : (Cliché Soultane KOTO SOUMANOU, Aout 2023)

- **Répartition du taux d'apparition des maladies hydriques par tranche d'âge dans l'arrondissement**

Les figures 10,11 et 12 présentent respectivement la répartition du taux d'apparition des maladies hydriques par tranche d'âge en 2021, 2022 et 2023 dans l'arrondissement de Djougou II. De l'analyse de ces différentes figures il ressort que dès 00 à 11 mois on note l'apparition des affections

dermatologique jusqu'à la tranche de 15 ans et plus. De plus la tranche de 15 ans et plus est celle qui a le plus grand nombre d'apparition. Pour ce qui est des maladies comme la fièvre typhoïde et les affections gastro intestinales la population de l'arrondissement de Djougou II en souffre fréquemment avec toujours la tranche de 15 ans et plus ayant le plus grand taux d'apparition. Il faut cependant remarquer que le taux d'apparition de ces maladies de la tranche 1 à 4 ans baisse avant de remonter au niveau de la tranche de 5 à 14 ans et on note également l'absence de la fièvre typhoïde dans la tranche de 0 à 11 mois au cours des trois années respectives. En ce qui concerne les affections diarrhéiques, en 2021 on note un taux apparition plus élevé chez les individus de la tranche de 15 ans et plus tandis qu'en 2022 et 2023, les infections diarrhéiques sont plus observées chez les individus de 5 à 14 ans. L'analyse de ces figures font remarquer également l'inexistence du choléra dans toutes les couches d'âge durant les 03 années dans l'arrondissement. Le respect minimum des normes d'hygiène par la population est manifeste, ce qui se traduit par l'inexistence des maladies hydriques telles que le choléra et la fièvre typhoïde chez les enfants de 00 à 11 mois dans l'arrondissement de Djougou II. Cette tendance positive peut être attribuée à l'attention particulière accordée aux bébés en ce qui concerne leurs consommations en eau.

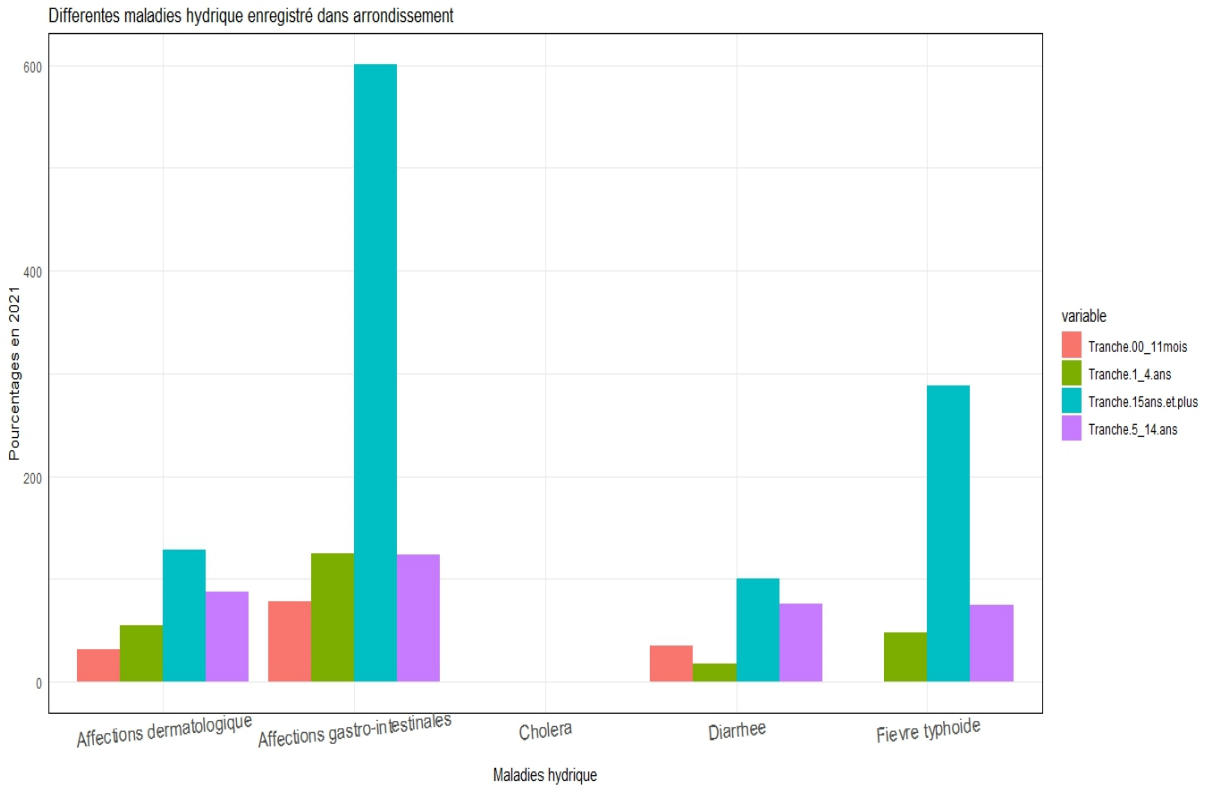


Figure 10: Répartition du taux des maladies hydriques par tranche d'âge dans l'arrondissement de Djougou II en 2021.

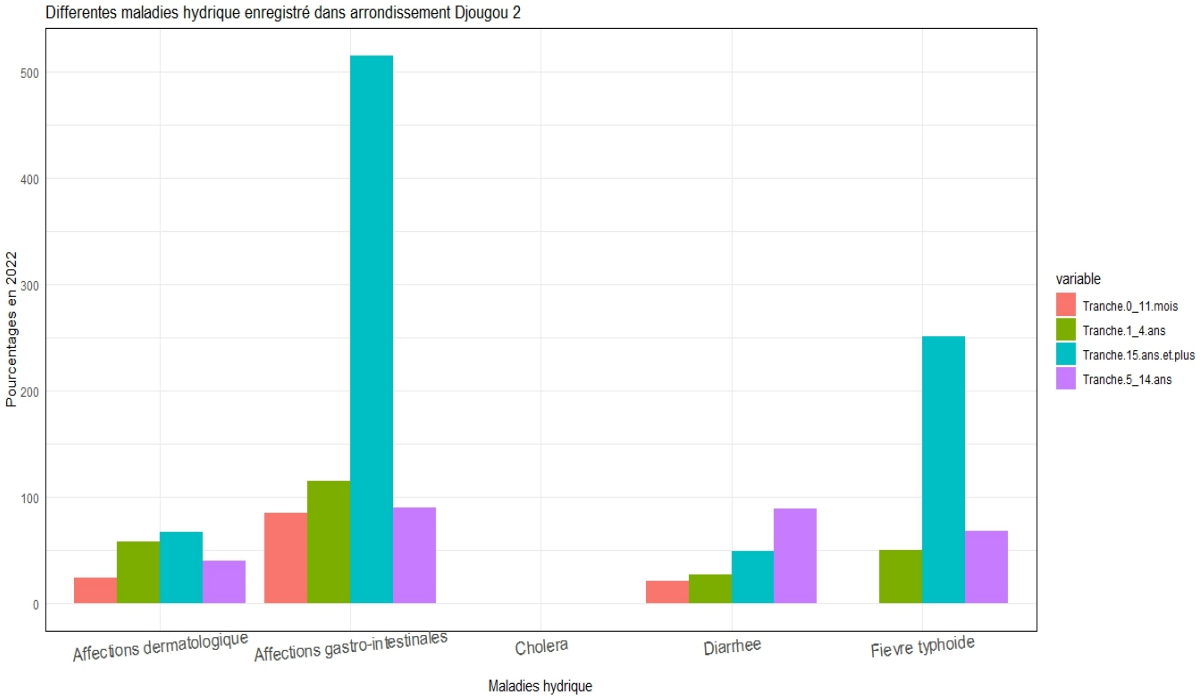


Figure 11 : Répartition du taux des maladies hydriques par tranche d'âge dans l'arrondissement de Djougou II en 2022.

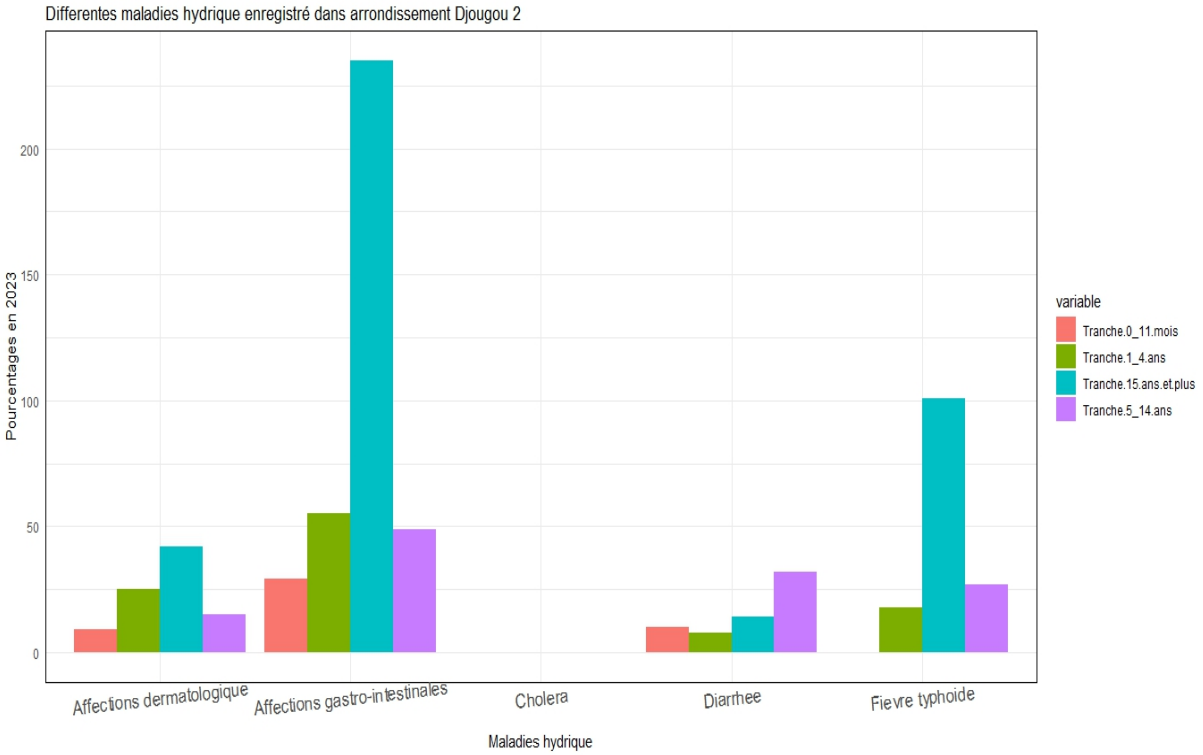


Figure 12 : Répartition du taux des maladies hydriques par tranche d'âge dans l'arrondissement de Djougou II en 2023.

4.1.2 Résultats des analyses physico chimique

- **pH**

La figure 13 présente la variation du pH. Les valeurs de pH relevées au niveau des différents points de prélèvement varient entre 6,13 et 7,81 avec une moyenne de 7,14. La plus forte valeur est observée au niveau du point P3 tandis que la plus faible est observée au niveau du point P2. Toutes ces valeurs appartiennent à la plage 6,5- 8,5.

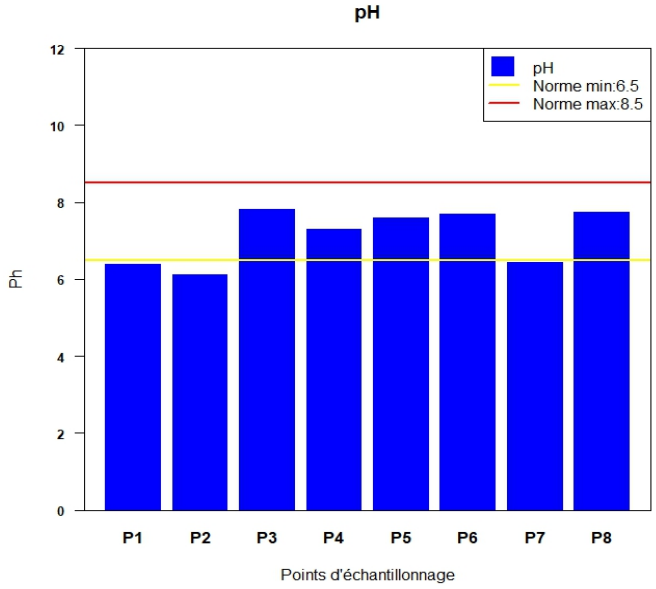


Figure 13: Variation de la valeur du pH au niveau des points d'échantillonnage.

- **Température**

La figure 14 présente la variation de la température. Les valeurs des température relevées au niveau des différents points de prélèvement varient entre 24,30 et 29,10 °C avec une moyenne de 26,93 °C. La plus forte valeur est observée au niveau du point P1 tandis que la plus faible est observée au niveau du point P8. On constate que toutes les températures des eaux des différents points d'échantillonnage dépassent la limite fixée par la norme béninoise (25 °C) à l'exception des points P6 et P8 qui sont en dessous de la norme.

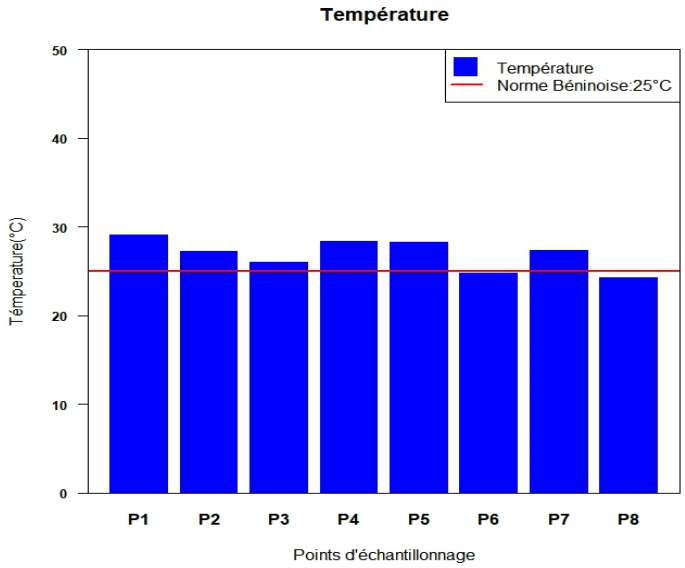


Figure 14: Variation de la valeur de la température au niveau des points d'échantillonnage.

- **Conductivité**

La figure 15 présente la variation de la conductivité. Les valeurs de la conductivité électrique relevées au niveau des différents points de prélèvement varient entre 362 et 1272 µS/cm avec une moyenne de 748,2 µS/cm. La plus forte valeur est observée au niveau du point P1 tandis que la plus faible est observée au niveau du point P5. On constate que toutes les valeurs de la conductivité électrique des eaux des différents points d'échantillonnage sont en dessous de la norme limite fixée par la norme béninoise (2000 µS/cm).

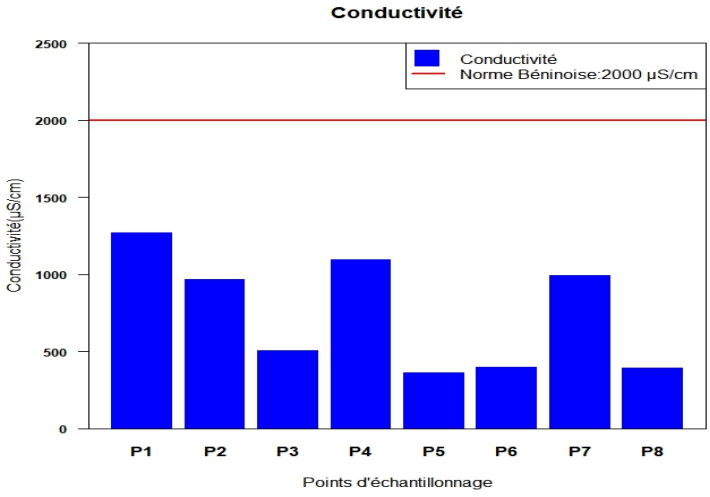


Figure 15: Variation de la valeur de la conductivité au niveau des points d'échantillonnage.

- **Couleur**

La figure 16 présente la variation de la couleur. Les valeurs de la couleur relevées au niveau des différents points de prélèvement varient entre 00 et 50 UCV avec une moyenne de 11,38 UCV. La plus forte valeur est observée au niveau du point P4 tandis que la plus faible valeur est observée au niveau des points P2 et P3. On constate que les valeurs de la couleur des eaux des différents points d'échantillonnage tels que P4 et P5 dépassent la norme limite fixée par la norme béninoise (15 UCV).

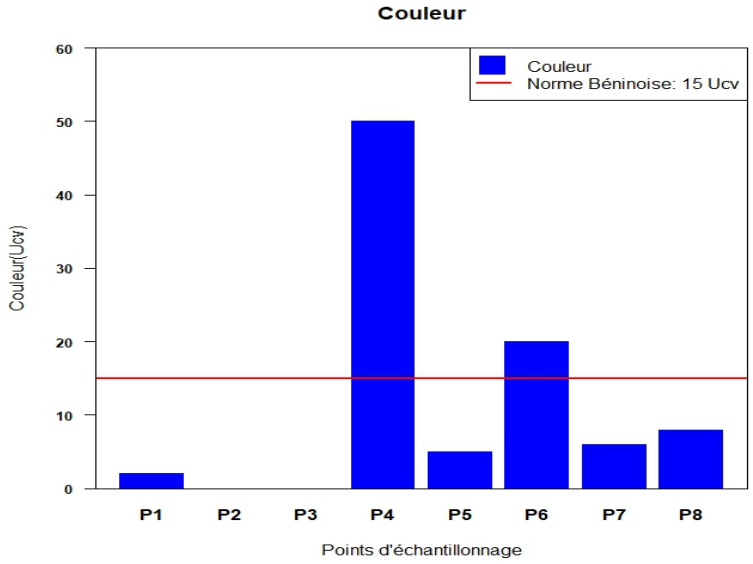


Figure 16: Variation de la valeur de la couleur au niveau des points d'échantillonnage.

- **Turbidité**

La figure 17 présente la variation de la turbidité. Les valeurs de la turbidité varient de 00 UTN à 14 UTN avec une moyenne de 2,12 UTN. La plus forte valeur enregistrée est au niveau du point P5 tandis que la plus faible valeur est observée au niveau des points P1, P2, P3, P5, P7 et P8. De plus on constate que seule la valeur de la turbidité au niveau du point P4 dépasse largement la norme limite fixée par la norme béninoise (05 UTN).

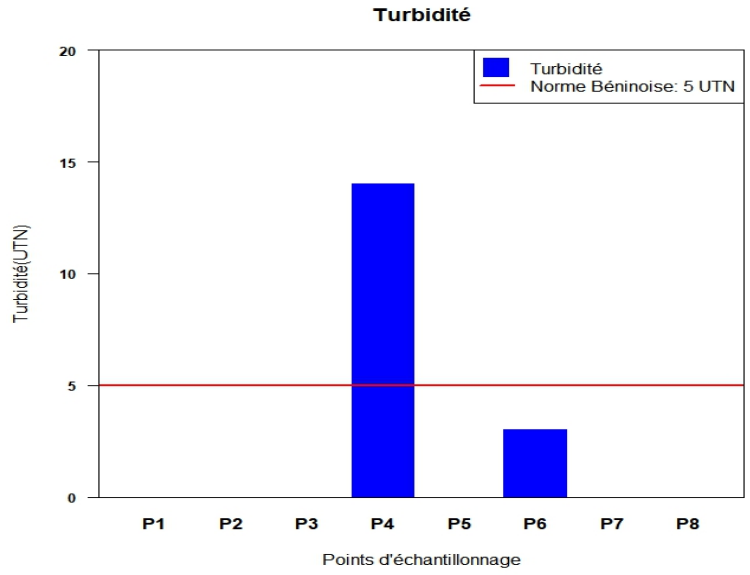


Figure 17: Variation de la valeur de la turbidité au niveau des points d'échantillonnage.

- **TDS**

La figure 18 présente la variation des TDS. Les valeurs enregistrées pour les TDS varient de 151 à 576 mg/L avec une moyenne de 339.9 mg/L. La plus forte valeur enregistrée est au point P1 tandis que la plus faible valeur est observée au niveau du point P5. On constate que les valeurs des TDS enregistrée au niveau des points P1 et P4 dépassent la norme limite fixée par la norme béninoise (500 mg/L).

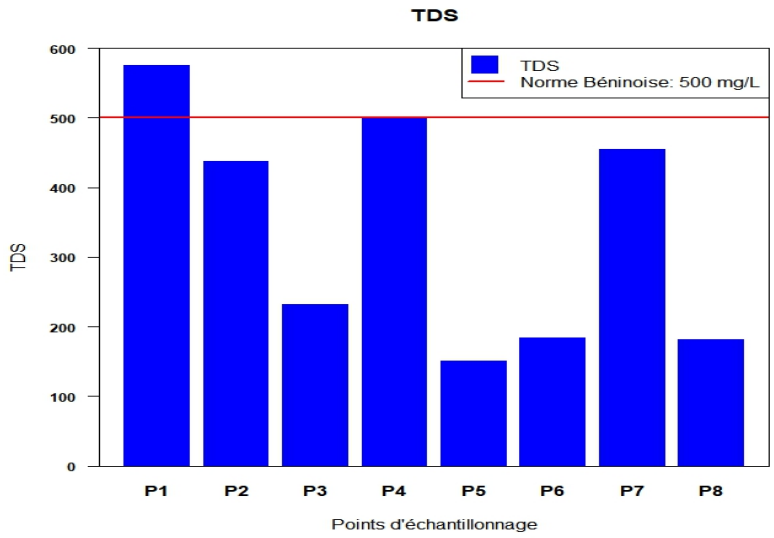


Figure 18: Variation de la valeur de TDS au niveau des points d'échantillonnage.

- **Chlorure**

La figure 19 présente la variation du chlorure. Les concentrations en chlorures obtenues au niveau des différents points varient entre 29,82 et 433,10 mg/L avec une moyenne de 205,37 mg/L. La plus forte valeur est relevée sur le point P4 tandis que la plus faible est relevée sur le point P8. On constate que les concentrations en chlorures des points P1, P2, P4 et P7 dépassent la valeur limite fixée par la Norme Béninoise (250 mg/L).

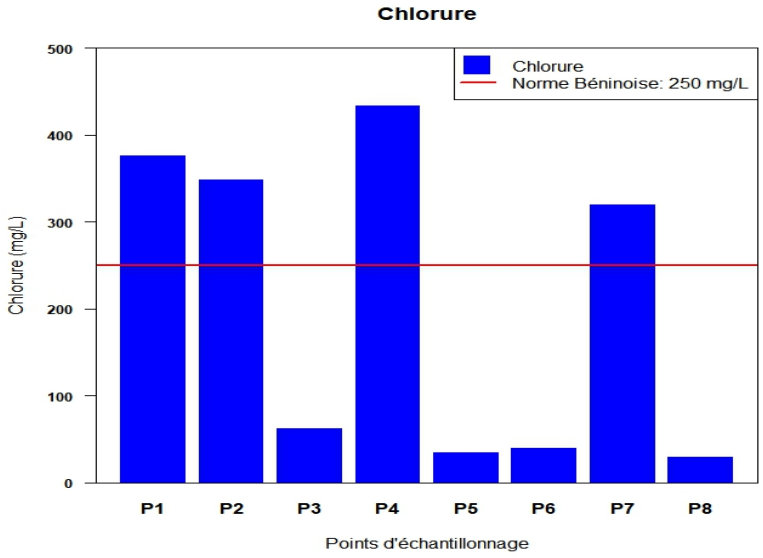


Figure 19: Variation de la concentration en chlorure au niveau des points d'échantillonnage.

- **Bicarbonate**

La figure 20 présente la variation du bicarbonate. Les valeurs enregistrées pour les bicarbonates évoluent entre 49,20 et 129,15 mg/L avec une moyenne de 88,41 mg/L. La plus forte valeur est enregistrée au niveau du point P5 et la plus faible valeur est enregistrée au niveau du point P2. Cette remarque permet de conforter la forte corrélation qui existe entre les valeurs de pH et les teneurs en bicarbonates car les ions bicarbonates sont basiques. Lorsque leur concentration augmente, le pH augmente aussi et lorsque que leur concentration diminue, le pH s'acidifie. La présence des bicarbonates dans tous ces échantillons peut être due à la dissolution de roches carbonatées ou bicarbonatées ou du CO_2 dans le sol.

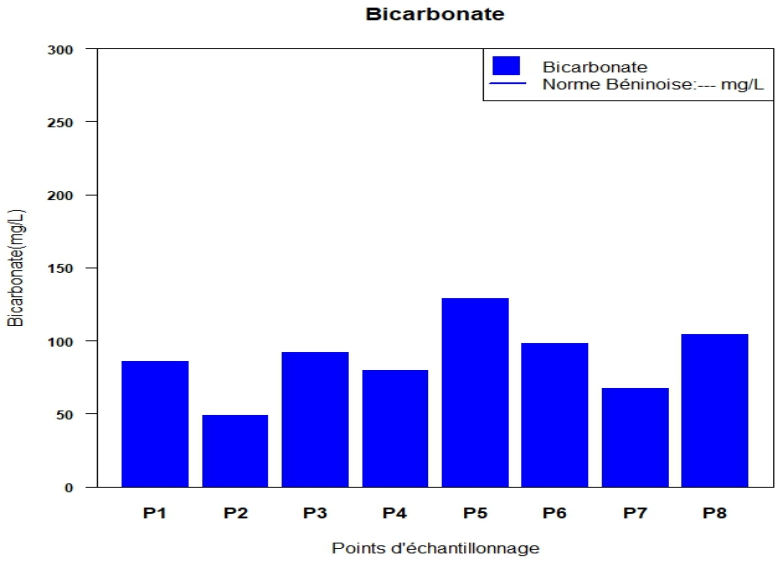


Figure 20: Variation de la concentration en bicarbonate au niveau des points d'échantillonnage.

- **Calcium**

La figure 21 présente la variation du calcium. Les concentrations en calcium obtenues au niveau des différents points varient entre 64,98 et 285,64 mg/L avec une moyenne de 135,76 mg/L. La plus forte valeur est relevée sur le point P4 tandis que la plus faible est relevée sur le point P5. On constate que les concentrations en calcium des points P1, P2, P3, P4 et P7 dépassent la valeur limite fixée par la Norme Béninoise (100 mg/L).

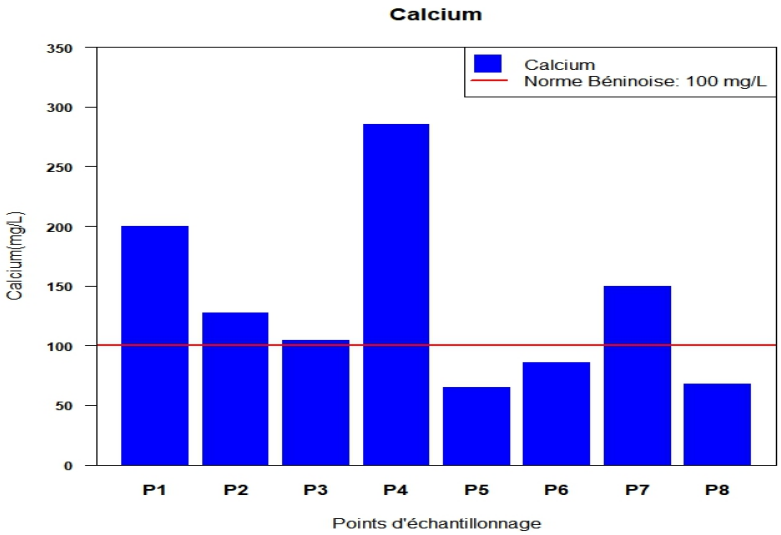


Figure 21: Variation de la concentration en calcium au niveau des points d'échantillonnage.

- **Magnésium**

La figure 22 présente la variation du magnésium. Les concentrations en magnésium obtenues au niveau des différents points varient entre 17,42 et 82,78 mg/L avec une moyenne de 43,13 mg/L. La plus forte valeur est relevée sur le point P1 tandis que la plus faible est relevée sur le point P6. On constate que les concentrations en magnésium des points P1, P2 et P7 dépassent la valeur limite fixée par la Norme Béninoise (50 mg/L).

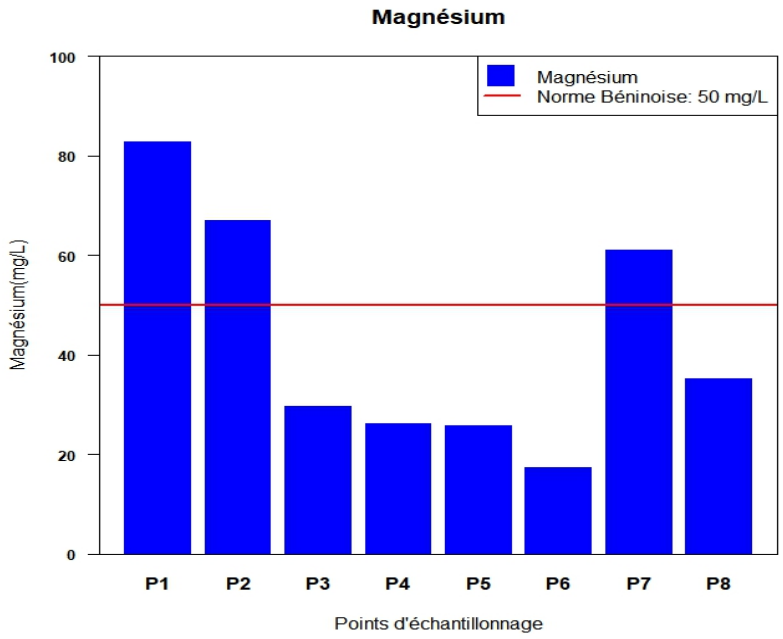


Figure 22: Variation de la concentration en magnésium au niveau des points d'échantillonnage

- **Nitrate**

La figure 23 présente la variation de nitrate. Les concentrations de nitrates obtenues au niveau des différents points varient entre 0,00 mg/L et 85,22 mg/L avec une moyenne de 31,19 mg/L. La plus forte valeur est obtenue au niveau du point 1 tandis que la plus faible valeur est obtenue au niveau du point P8. On constate que les concentrations en nitrate des points P1, P2 et P7 dépassent la norme béninoise (45 mg/L).

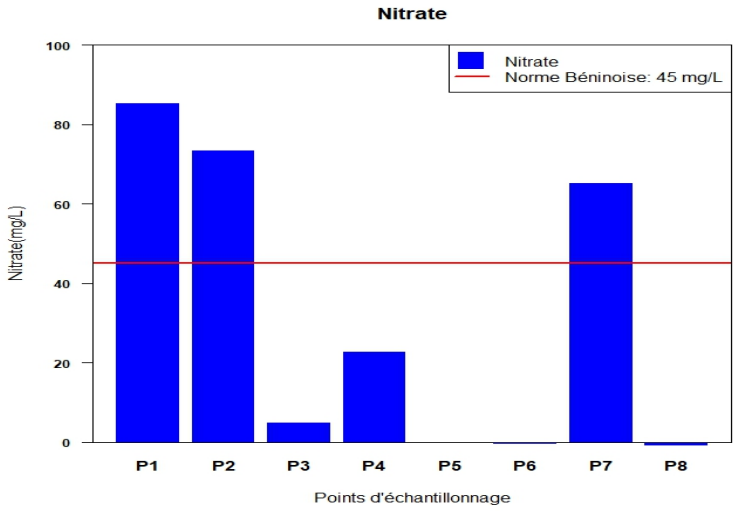


Figure 23: Variation de la concentration en nitrate au niveau des points d'échantillonnage.

- **Nitrite**

La figure 24 présente la variation de nitrite. Les concentrations des nitrites obtenues au niveau des différents points varient entre 0,00 mg/L et 0,42 mg/L avec une moyenne de 0,06 mg/L. Les plus fortes valeurs sont obtenues au niveau du point P4 avec une valeur de 0,17 mg/L tandis que la plus faible valeur est enregistrée au niveau du point P7 avec une valeur de 0,42 mg/L. On note que toutes les valeurs obtenues ne dépassent la norme béninoise (3,2 mg/L)

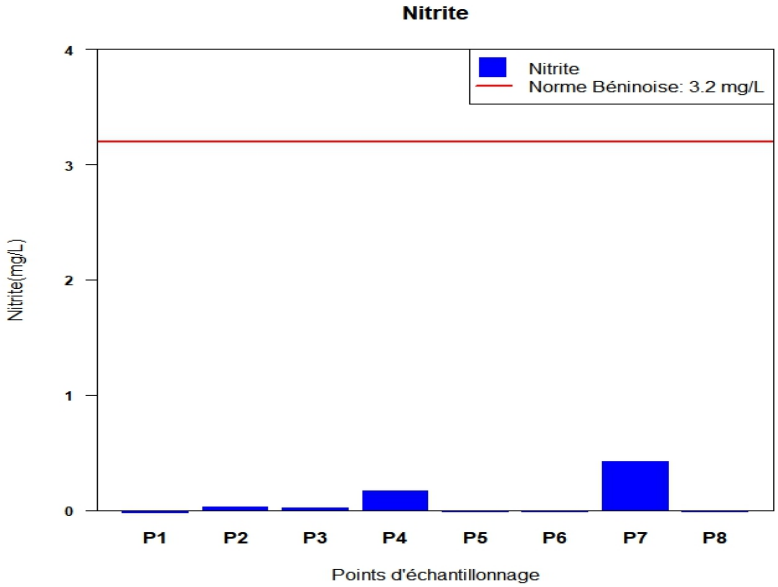


Figure 24: Variation de la concentration en nitrite au niveau des points d'échantillonnage.

- **Ammonium**

La figure 25 présente la variation de l'ammonium. Les valeurs de l'ammonium des eaux obtenues au niveau des différents points varient entre 0,00 mg/L et 1,87 mg/L. La plus forte valeur est obtenue au niveau du point P2 tandis que la plus faible valeur est enregistrée au niveau du point P5. Notons que toutes les valeurs obtenues ne dépassent la norme béninoise (0,5 mg/L) à l'exception du point 2 qui dépasse la norme limite fixée.

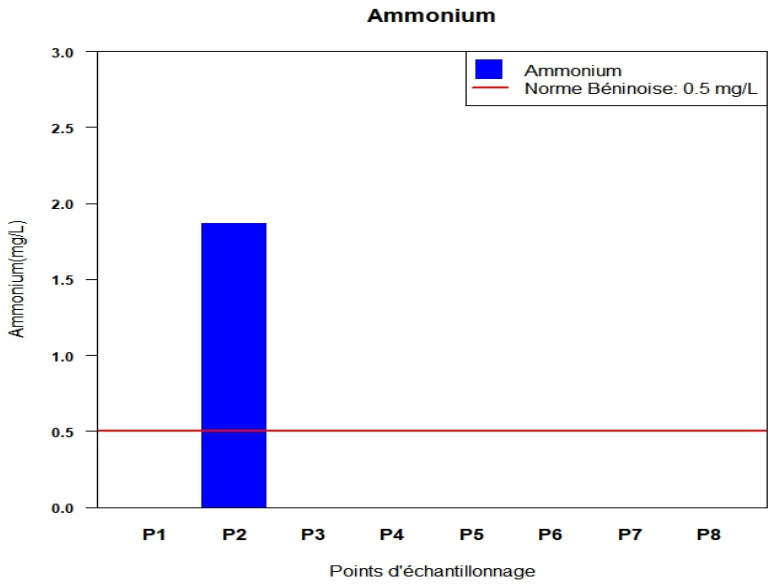


Figure 25: Variation de la concentration en ammonium au niveau des points d'échantillonnage

- **Sulfate**

La figure 26 présente la variation de sulfate. Les concentrations de sulfate des eaux obtenues au niveau des différents points varient entre 1,72 mg/L et 16,95 mg/L avec une moyenne de 7,48 mg/L. La plus forte valeur est obtenue au niveau du point P1 avec une valeur de 16,95 mg/L tandis que la plus faible valeur est enregistrée au niveau du point P5 avec une valeur de 1,72 mg/L. Remarquons que toutes les valeurs obtenues sont conformes à la norme béninoise (400 mg/L).

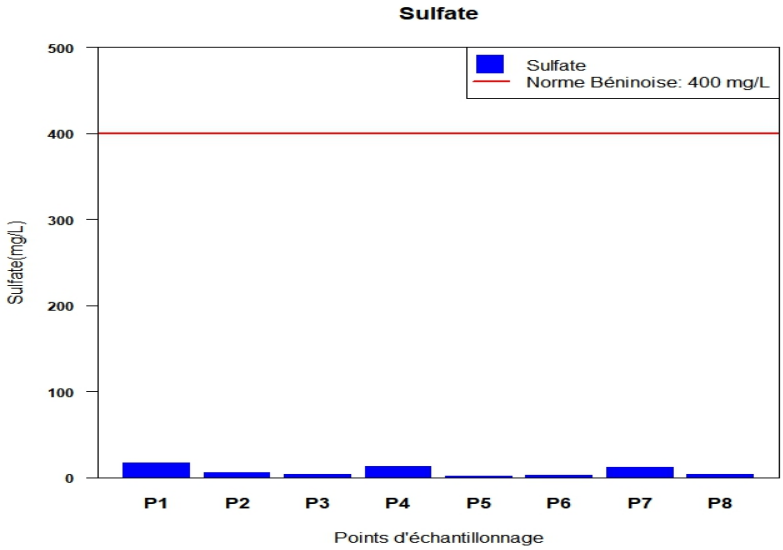


Figure 26: Variation de la concentration en sulfate au niveau des points d'échantillonnage.

- **Ortho phosphate**

La figure 27 présente la variation de l'ortho phosphate. Les valeurs de l'ortho phosphate dans les eaux prélevées varient entre 0,00 mg/L et 0,20 mg/L avec une moyenne de 0,05 mg/L. La plus forte valeur est obtenue au niveau du point P7 tandis que la plus faible valeur est enregistrée au niveau du point P5. Remarquons que toutes les valeurs sont conformes à la norme béninoise (5 mg/L).

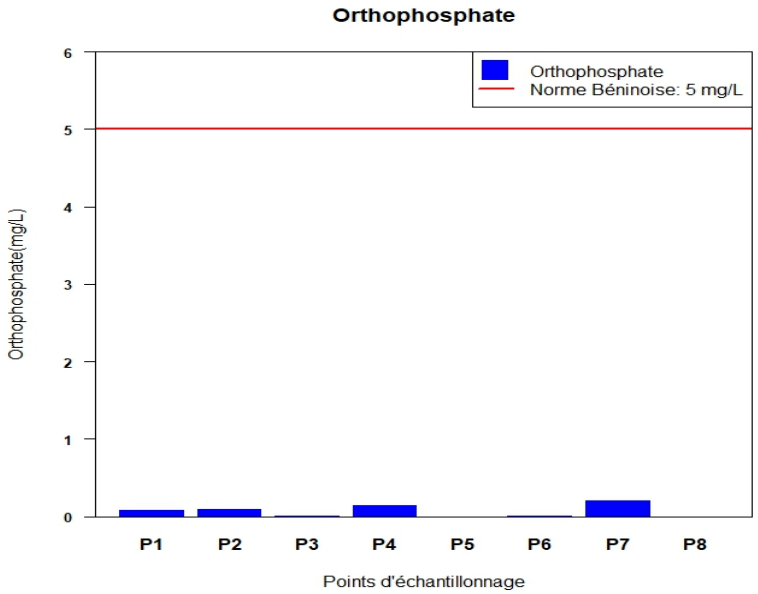


Figure 27: Variation de la concentration en ortho phosphate au niveau des points d'échantillonnage.

- **Fluorure**

La figure 28 présente la variation de l'fluorure. Les concentrations de fluorure des eaux obtenues au niveau des différents points varient entre 0,00 mg/L et 0,14 mg/L avec une moyenne de 0,08 mg/L. La plus forte valeur est obtenue au niveau du point P7 avec une valeur de 0,14 mg/L tandis que la plus faible valeur est enregistrée au niveau du point P4 avec une valeur de 0,00 mg/L. Remarquons que toutes les valeurs obtenues sont conformes la norme béninoise (1,5 mg/L).

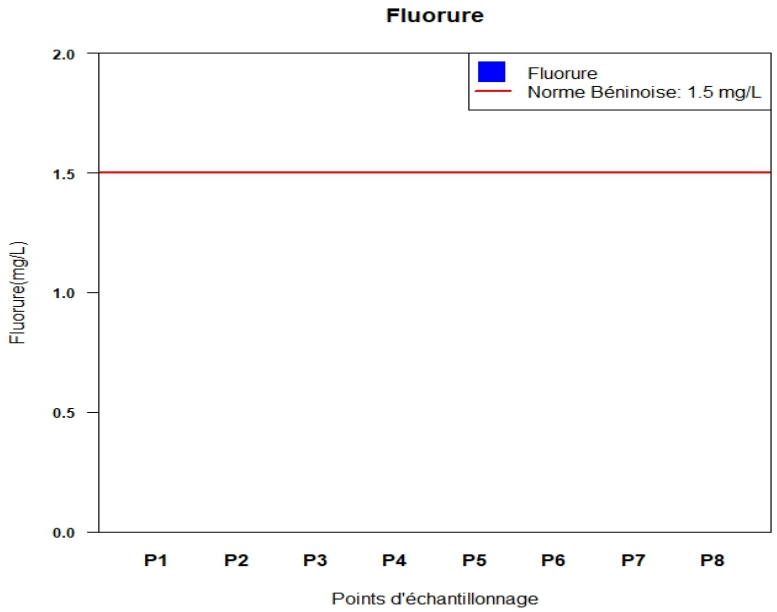


Figure 28: Variation de la concentration en fluorure au niveau des points d'échantillonnage.

- **Fer**

La figure 29 présente la variation du fer. Les concentrations en fer relevées au niveau des différents points varient entre 0,00 mg/L et 0,22 mg/L avec une moyenne de 0,06 mg/L. La plus forte valeur est relevée sur le point P4 tandis que la plus faible est relevée sur les points P1, P2 et P3. Constatons que toutes les concentrations en fer obtenues au niveau des différents points respectent la Norme Béninoise (0,3 mg/L).

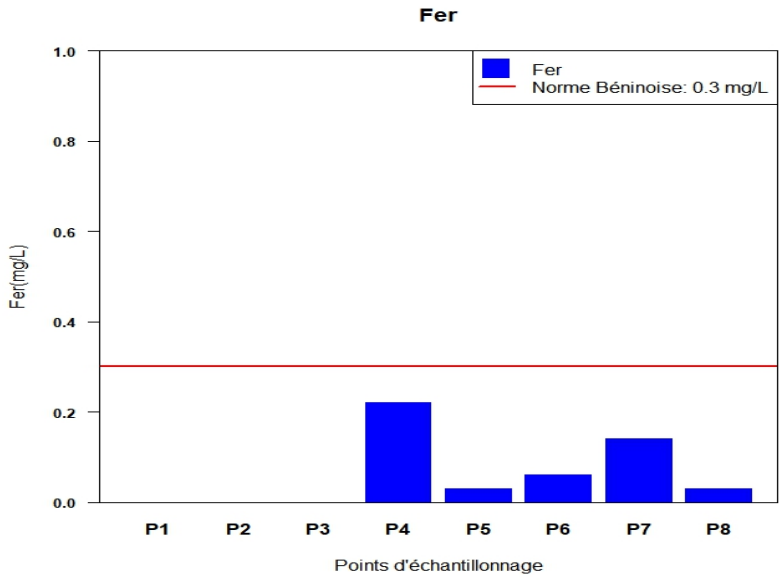


Figure 29: Variation de la concentration en fer au niveau des points d'échantillonnage.

- **Dureté**

La figure 30 présente la variation de la dureté. Les différentes concentrations au niveau de chaque point d'échantillonnage pour la dureté varient de 280,6 mg/L à 840,2 mg/L avec une moyenne de 518,2 mg/L. la plus faible concentration est observée au niveau du point P5 (280,6 mg/L) tandis que la plus forte valeur est observée au niveau du point P4 (840,2 mg/L). On constate que toutes les valeurs obtenues sont supérieures à la norme béninoise (200 mg/L).

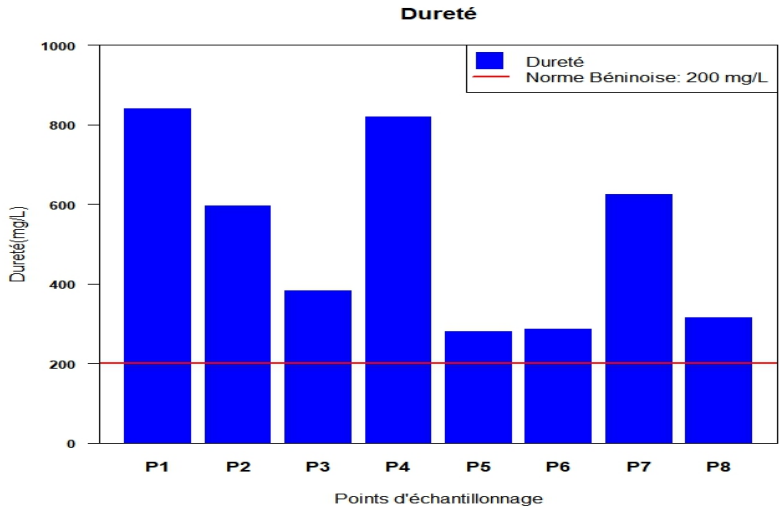


Figure 30: Variation de la valeur de la dureté au niveau des points d'échantillonnage.

4.1.3 Résultats des analyses bactériologiques

- **Flore aérobie revivifiable**

La figure 31 nous présente la variation de la charge de la flore aérobie revivifiable. Les valeurs de la flore aérobie revivifiable des différents points échantillonnage varient de 224 à 3500 UFC/100 mL avec une moyenne de 1426,8 UFC/100 mL. La plus forte valeur est enregistrée sur le point P7 tandis que la faible valeur est enregistrée au niveau du point P6. Ces valeurs de la flore aérobie revivifiable ne respectent pas la norme Béninoise qui est de 50 UFC/100 mL pour une eau non traitée.

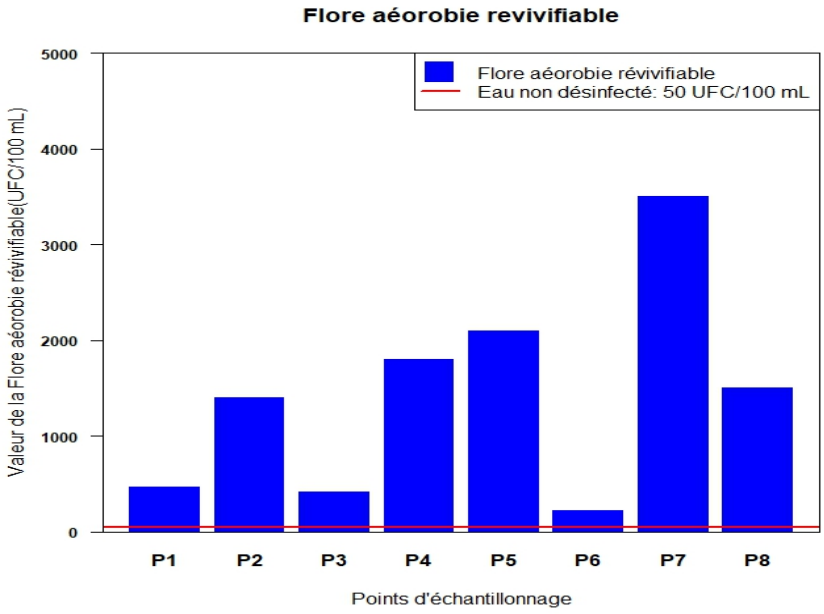


Figure 31: Variation de la charge de la flore aérobie revivifiable au niveau des points d'échantillonnage.

- **Coliformes totaux**

La figure 32 nous présente la variation de la charge bactérienne en Coliformes totaux. Les charges bactériennes en Coliformes totaux des différents points échantillonnage varient de 36 à 470 UFC/100 mL avec une moyenne de 228,4 UFC/100 mL. La plus forte charge est enregistrée sur le point P4 tandis que la faible valeur est enregistrée au niveau du point P8. Ces charges des coliformes totaux ne respectent pas la norme Béninoise qui est de 0 UFC/100 mL.

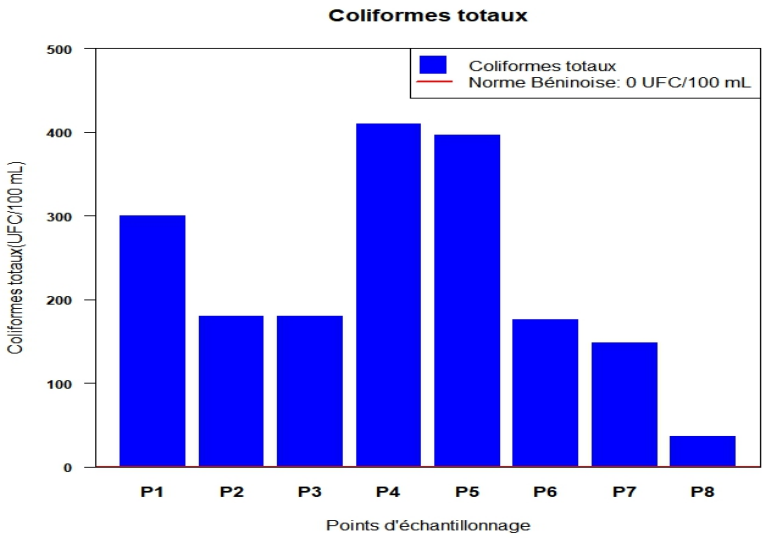


Figure 32: Variation de la charge en coliformes totaux au niveau des points d'échantillonnage.

- **Coliforme thermotolérant**

La figure 33 nous présente la variation de la charge en Coliformes thermotolérant. Les charges en Coliformes thermotolérant des différents points varient de 00 à 60 UFC/100 mL avec une moyenne de 22,75 UFC/100 mL. La plus forte charge est enregistrée au niveau du point P1 tandis que la faible charge est enregistrée au niveau des points P4, P6, et P8. Toutes les charges des coliformes thermotolérant de ces différents points ne respectent pas la norme Béninoise qui est de 0 UFC/100 mL à l'exception des points P4, P6 et P8 qui respectent la norme.

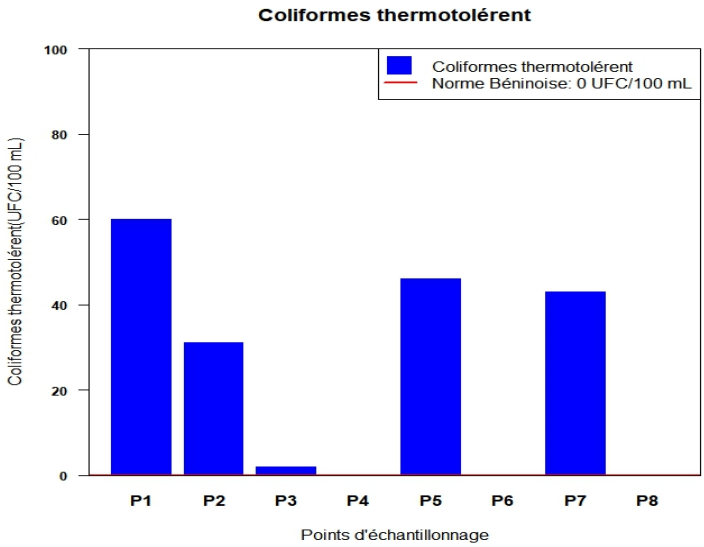


Figure 33: Variation de la charge en coliformes thermotolérant au niveau des points d'échantillonnage.

- ***Escherichia. Coli***

La figure 34 nous présente la variation de la charge bactérienne en *Escherichia. Coli*. Les charges d'*E. coli* des points échantillonnage varient de 0 à 19 UFC/100 mL avec une moyenne de 4,50 UFC/100 mL. La plus forte charge est enregistrée au niveau du point 05 tandis que la faible charge est enregistrée au niveau des points 01, 03,04,06, et 08. Les charges d'*E. coli* des points d'eau tels que P2, P5, et P7 ne respectent pas la norme Béninoise qui est de 0 UFC/100 mL sauf les points P1, P3, P4, P6 et P8 qui ne montre pas la présence d'E. coli.

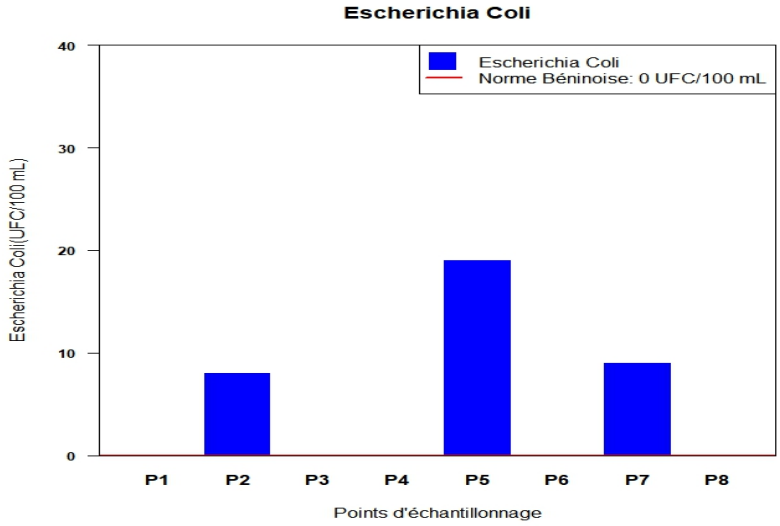


Figure 34: Variation de la charge d'*Escherichia coli* au niveau des points d'échantillonnage.

4.2 DISCUSSION

Dans le cadre de notre étude sur le : « Diagnostic de la qualité de l'eau des Postes d'eau Autonome Privés dans l'arrondissement de Djougou II » 05 cinq types de système d'approvisionnement en eau ont pu être identifier (SONEB, Pluie, Puits, Forage, PEA) pour les différents usages. De cette étude il est constaté que les Postes d'eau Autonome Privés (PEA) sont les plus utilisés par la population enquêtée. Cette préférence des PEA pourrait être justifié par le coût trop élevé pour le branchement et l'abonnement au réseau de la SONEB, la non accessibilité du réseau SONEB. De plus les populations jugent que l'eau souterraine étant étroitement liée aux Postes d'eau Autonome Privés pour leur alimentation en eau est plus naturelle et plus potable que l'eau de surface traité par la SONEB dans la commune de Djougou. Ces populations soulignent également que plusieurs risques existent autour de la distribution tels que les cassures, les fuites au niveau du réseau, et les erreurs d'application des produits de traitement au niveau des usines de production d'eau. Dans l'arrondissement de Djougou II les populations dotées des Postes d'eau Autonome Privés utilisent

divers produits sans évaluer les dangers potentiels lié à l'utilisation de ces produits. D'après l'enquête de terrain 34% de la population ne font aucun traitement d'eau c'est-à-dire n'applique aucun produit pour rendre l'eau potable avant la consommation ou pour différents usages. La qualité de l'eau est fortement influencée par le temps de son séjour et de son renouvellement. De même seulement 30% de la population renouvellent leur eau tous les jours ce qui réduit les risques de prolifération des microorganismes dans l'eau. Par contre 23 % renouvellent l'eau tous les 3 jours, 20 % une fois par semaine et 26 % rarement, ce qui les exposent aux risques de prolifération des microorganismes dans l'eau et laissant le fond des récipients glissants, ces résultats se rapprochent de celui de (Ahotin, 2018) effectués à Abomey-Calavi. Face au manque de traitement, et au manque d'hygiène la population est confrontée à des maladies d'origines hydriques comme la fièvre typhoïde, la diarrhée, les affections gastro-intestinales, et les affections dermatologiques enregistrées chaque année et ce de façon périodique. Ces maladies ont été recensés au près des hôpitaux au cours de nos enquêtes.

Les résultats des paramètres physico-chimiques obtenues ont permis d'évaluer la qualité de l'eau des Postes d'eau Autonome Privés de l'arrondissement de Djougou II. Les valeurs de température des eaux prélevés varient entre 24,30 et 29,5°C avec une moyenne de 26,93 °C. Les valeurs supérieures à la norme admise (25°C) seraient dues à l'exposition des eaux conservées dans les réservoirs de stockage au rayonnement solaire, à la chaleur ambiante et par les heures d'échantillonnage. Les échantillons analysés présentent une gamme de taux de minéralisation allant de 362 à 1272 µS/cm. Selon la classification de (Samake, 2002), ces valeurs peuvent être classées en quatre catégories : une minéralisation peu accentuée (200≤Cond≤400), une minéralisation moyenne (400≤Cond≤600), une minéralisation importante (600≤Cond≤1000), et une minéralisation excessive (Cond≥1000). L'analyse de ces valeurs de conductivité nous pousse à dire que les échantillons d'eau P1 et P4 prélevés respectivement à Alfa-Issa et Kakabounouberi ayant une valeur de taux de conductivité compris entre (Cond≥1000µs/cm) ont un taux de minéralisation élevé, ce qui s'explique par l'influence d'une valeur des cations et anions élevée au niveau de ces différents échantillons d'eau. Ces taux de minéralisation élevés peuvent aussi s'expliquer par la profondeur de l'ouvrage, l'eau d'infiltration qui lessive les roches et s'enrichit des minéraux contenus dans ces roches. Les valeurs de conductivité obtenues au cours de notre étude sont similaires à celles obtenues par les auteurs (N'tcha et al, (2020), dans la commune de Natitingou (40 et 3240µs/cm) qui est située dans le domaine du socle du Bénin de même que notre zone d'étude.

La couleur est un paramètre qui permet de témoigner la présence ou non des particules dans l'eau. Les valeurs obtenues concernant la couleur montrent une conformité presque totale de tous les échantillons à l'exceptions P4 et P6 à la norme de 15 UCV recommandée par la norme Béninoise.

La valeur élevée de la couleur des échantillons P4 et P6 tous deux prélevés respectivement à Kakabounouberi et Angaradebou pourrait s'expliquer par un manque d'hygiène autour des ouvrages (PEA), un manque d'entretien régulier des filtres, systèmes de canalisation et systèmes de stockage ; et à la nature géologique des sols traversés par l'eau lors de son infiltration. Il existe une étroite corrélation entre la couleur et la turbidité (Honfin, 2020). Les informations obtenues sur la couleur ont été confirmées par l'observation faite sur la turbidité. De plus, l'échantillon P4 a été identifié comme le plus trouble avec une turbidité de 14 NTU. Nos résultats sont similaires à celui de Honfin, (2020) obtenue à Akassato.

Les concentrations en calcium, en magnésium, en chlorure, dans les différents échantillons d'eau ont des valeurs qui varient entre 64,98 et 285,64 mg/l pour le calcium, entre 17,42 et 82,78 mg/l pour le magnésium, entre 29,82 et 433,10 mg/l pour le chlorure. Concernant le calcium seuls les échantillons P1, P2, P3, P4 et P7 respectivement prélevés à Alfa-Issa, Léman-mandé, Leman-bogou, Kakabounoubéri et Timtim bongo présentent des valeurs qui dépassent largement la norme Béninoise. Il en est de même pour les concentrations en magnésium des échantillons P1, P2, et P7. Ces résultats sont similaires aux résultats obtenus par Alle (2010) à Djougou avec des concentrations en calcium et magnésium qui varient respectivement de 8,36 à 141,34 mg/L et 6,20 à 33,22 mg/L. C'est ce qui explique les différentes valeurs élevées de la dureté totale aux niveaux de ces échantillons. Cette dureté ces eaux forment ainsi des dépôts de calcaires(tartre) dans les canalisations et réduire l'efficacité des détergents pour la lessive. C'est ce qui pousse la population de l'arrondissement à opter pour utilisation l'eau de pluie pour la lessive. De plus les concentrations en chlorure des échantillons varient entre 29,82 et 433 mg/L. Les échantillons P1, P2, P4, et P7 respectivement prélevés à Alfa-Issa, Léman-mandé, Kakabounoubéri et Timtim-bongo présentent des valeurs qui dépassent largement la norme Béninoise. Les teneurs en chlorures et en bicarbonate obtenues traduisent respectivement la salinité et alcalinité moyenne de ces eaux. Les résultats issus des échantillons montrent également que les valeurs en TDS des eaux des points P1 et P4 sont supérieurs à la norme béninoise qui est de 500 mg/l. Le taux élevé en TDS au niveau de ces différents échantillons se justifie par la présence élevée des concentrations en calcium, magnésium, bicarbonate et chlorure dans ces eaux souterraines qui alimentent les Postes d'eau Autonome Privés.

Une eau destinée à la consommation contenant de l'ammonium, du nitrate et du nitrite est considérée comme une eau polluée. Les valeurs de nitrite sont conformes à la norme béninoise tandis que les autres éléments azotés comme le nitrate et l'ammonium qui dépassent les valeurs admises par la norme Béninoise. Concernant les nitrates seuls les échantillons P1, P2 et P7 respectivement prélevés à Alfa-Issa, Leman-mande et Timtim-bongo présentent des valeurs élevées alors que pour l'ammonium c'est uniquement l'échantillon P2 prélevé à Leman- mande qui n'est

pas conforme à la norme béninoise. La présence des éléments azotés (ammonium et nitrate) dans les échantillons d'eau s'explique par des eaux usées domestiques rejetés autour des ouvrages d'approvisionnement en eau, des déchets tels les excréments provenant de l'élevage des animaux domestiques et l'impact des ordures sur la qualité des eaux. En effet, la dégradation de la matière organique au niveau de ces ordures produit du lixiviat (un jus lié à la percolation des eaux de pluie et de ruissellement à travers les déchets stockés dans les décharges) (Obbard et al, 1999). Une infiltration du lixiviat est à l'origine de la présence du nitrate et du nitrite dans les eaux (Dannon, 2022). Les résultats obtenus sur les composés azotés sont similaires à ceux de Blaka, (2017) en 2017 sur l'eau de forage dans l'arrondissement de Djougou I.

L'analyse bactériologique permet d'évaluer la présence des germes de contamination fécale et d'altération dans les eaux échantillonnées et analysées. Une présence de ces bactéries dans une eau destinée à la consommation constitue une contamination importante, ces bactéries sont appelées les indicateurs de contamination. Les indicateurs de contaminations identifiés au cours de nos analyses bactériologiques sont les coliformes totaux, thermotolérants, la flore aérobie revivifiable et *Escherichia Coli*. D'après les résultats des analyses bactériologiques faites nous constatons, que presque toutes les eaux analysées sont considérées comme pollué car ne sont pas conforme aux normes de potabilité des eaux de consommation. Ces eaux sont contaminées avec une charge en flore aérobie revivifiable qui varie de 224 à 3500 UFC/100 mL ; les coliformes totaux qui varie de 36 à 410 UFC/100 mL ; les coliformes thermotolérants qui varie 00 à 60 UFC/100 mL et l'Escherichia coli qui varie de 00 à 19 UFC/100 mL. Ces valeurs sont similaires à celle de Blaka (2017) qui a analysé l'eau des forages privés dans l'arrondissement de Djougou I avec des variations maximales de 88 UFC/100 mL pour les coliformes totaux et de 64 UFC/100 mL pour *Escherichia Coli*. Seuls les échantillons P1, P3, P4, P6 et P8 prélevée respectivement à Alfa-Issa, Léman-bogou, Kakabounoubéri, Angaradebou et Leman bogou (Mankantoko) ne sont pas contaminés par les *Escherichia coli* avec une valeur inferieur à la norme Béninoise (00 UFC/100 mL). La forte présence dans les autres échantillons d'eaux de ces germes peut expliquer les maladies diarrhéiques observées dans ces villages. De plus, les échantillons P4, P6 et P8 prélevés respectivement à Kakabounoubéri, Angaradebou et Leman bogou (Mankantoko) ne révèlent pas une contamination par les coliformes thermotolérants. L'origine possible de ces germes de contamination fécale peut s'expliquer par une contamination d'origine fécale due à la proximité des fosses septiques, des latrines avec les ouvrages d'approvisionnement (PEA). La présence des coliformes thermotolérants au niveau de ces eaux indiquent une très mauvaise condition d'hygiène (Lalanne, 2012). Selon Patoine (2011), les Coliformes thermotolérants sont abondants dans les fèces et représentent les indicateurs prédominants de l'environnement. La présence massive de ces différents paramètres

bactériologiques permet de dire que les eaux des PEA privés de l'arrondissement de Djougou II ne respectent pas la norme béninoise sur le plan bactériologique.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Au terme de la présente étude sur « Diagnostic de la qualité de l'eau des Postes d'eau Autonome Privés dans l'arrondissement de Djougou II », nous avons identifié qu'un certain nombre de ménages s'approvisionnent en eau issues des PEA privés pour leurs différents usages. Les résultats d'enquêtes issus de notre étude, démontrent que le choix de la population par rapport au PEA privés est lié à la non accessibilité du réseau de la SONEB ; au coût de branchement et d'abonnement trop élevé du réseau de la SONEB ; à l'incertitude de la qualité de l'eau provenant de la station de production de la SONEB traitant l'eau de surface pour l'alimentation de la ville de Djougou. Les résultats montrent également que l'eau provenant des PEA privés analysées ne respectent pas les normes de potabilité des eaux de consommation en vigueur au Bénin. Cette circonstance se traduit par un manque d'entretien des systèmes de stockage et de canalisation, un manque d'hygiène autour des périmètres de captage d'eau et du système d'alimentation en eau dans les ménages. En effet pour les analyses physico chimique les valeurs obtenues indiquent un excès par rapport à la température, au TDS et en éléments chimiques tels que calcium, magnésium et en chlorure cela s'explique par la nature des aquifères que captent les différents ouvrages et leur profondeur dans le domaine du socle qui est une zone riche en minéraux. Notons également un excès en nitrate et en ammonium. A cela s'ajoutent les paramètres organoleptiques tels que la couleur et la turbidité dont les valeurs sont hors norme pour l'échantillons P4. Les analyses bactériologiques quant à elles viennent confirmer qu'à l'exception des échantillons P4, P6 et P8 respectivement prélevés dans les villages de Kakabounoubéri, Angaradébou, et de Léman bogou (Mankantoko) qui ne sont pas contamines par des coliformes thermotolérant et *Escherichia Coli*, tous les échantillons sont contaminés par des coliformes, l'*Escherichia Coli* et ont une charge élevée en flore aérobie revivifiable.

Il est donc essentiel de réaliser des études de contrôle et de suivi sur les eaux provenant des Postes d'Eau Autonome Privés afin de surveiller l'évolution de la pollution de la nappe et de sensibiliser les ménages sur l'importance de l'hygiène pour garantir une eau de bonne qualité.

Face à cette situation, il serait donc important de proposer des mesures pour l'amélioration de la qualité de l'eau des Postes d'eau Autonome Privés dans l'arrondissement de Djougou II :

1. Traitement de l'eau : Si le diagnostic révèle des contaminants ou des impuretés dans l'eau, il faudra mettre en place des systèmes de traitement de l'eau, tels que la filtration, la désinfection ou la chloration, pour éliminer ces contaminants.

2. Entretien et maintenance : Assurer un entretien régulier des installations pour prévenir la contamination de l'eau due à des fuites ou à des infrastructures défectueuses.

3. Surveiller la source : surveillez régulièrement les source d'approvisionnement en eau (eaux souterraines) pour s'assurer qu'elle reste propre et exempt de pollution.

4. Formation : Former le personnel en charge des Postes d'Eau Autonomes Privés (Fermiers, propriétaires de PEA privés) pour s'assurer qu'ils comprennent les procédures de maintenance et de traitement de l'eau.

5. Analyses physico-chimiques et bactériologiques réguliers : Effectuer des analyses régulières de la qualité de l'eau pour s'assurer qu'elle continue de respecter les normes de qualité.

6. Éducation communautaire : Sensibiliser la communauté à l'importance de la protection de la qualité de l'eau et promouvoir de bonnes pratiques d'hygiène pour éviter la contamination de l'eau.

7. Etendre le réseau SONEB dans les quartiers et villages concernés afin de permettre l'accès à l'eau potable aux populations.

8. L'aménagement et la protection des points d'eau réalisés et zones de captage pour éviter tout risque de contamination de l'eau.

9. Mettre en place des structures de collecte et de gestion des déchets.

10. Eviter la divagation des animaux aux alentours des points d'eau.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **AHOTIN Jocelyne Macha. (2018)** : Problématique des Postes d'eau Autonome Privés dans la commune d'Abomey Calavi : Cas de l'arrondissement de Godomey, Mémoire de fin de formation pour l'obtention de Licence Professionnelle en Génie de l'Environnement, 46p.
2. **ALLE Christian. (2010)** : Mobilisation des ressources en eau souterraine pour l'AEP des communes du Bénin : Cas de la commune de Djougou
3. **ANNUAIRE DES STATISTIQUES SANITAIRES DU BENIN. (2009),** 147 pages
4. **AWWA (1999)** : Water quality and treatment. American Water Works Association, 4e édition.
5. **AYAD Wissem. (2017)** : évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'el-harrouch (wilaya de Skikda),109 pages.
6. **AZONNAKPO.O. (2007)**, Problématique de l'eau et de l'assainissement en milieu scolaire en République du Bénin : Cas de la ville de Porto-Novo
7. **AZONSI. (2023**) : Mobilisation des ressources en eau, support cours 34p.
8. **BALOGOUN. (2023)** : Technique analytique en microbiologie de l'eau, support cours 48p.
9. **BANQUE MONDIALE**. **(2020)** "Indicateurs du développement dans le monde"
10. **BARTHE, C., J. PERRON et J.M.R. PERRON (1998)** : Guide d'interprétation des paramètres microbiologiques d'intérêt dans le domaine de l'eau potable. Document de travail (version préliminaire), ministère de l'Environnement du Québec, 155 p. + annexes.
11. **BEAUCHAMP J. (2006)** : Qualité et pollution des eaux souterraines. Université de Picardie Jules Vème Thèse de doctorat. 335p.
12. **BLAKA S. (2017)** : Qualité physico chimique et microbiologique de l'eau des forages privés de l'arrondissement 1 de Djougou 34p.
13. **BOURNE LT, HARMSE B, TEMPLE N. (2007) :** Water: a neglected nutrient in the young child? A South African perspective.Matern. Child. Nutr. , 3(4):303-11.
14. **CEAEQ (2000)** : Recherche et dénombrement des coliformes fécaux, méthode par filtration sur membrane. Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec
15. **CHOUTI W. (2011)** : Etude de la pollution chimique d'une lagune tropicale (eaux, sédiments, poissons) : Cas de la lagune de Porto-Novo (sud Bénin). Thèse de doctorat, Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey-Calavi, 100p
16. **DANNON Ella. (2022)** : Impacts de la gestion des déchets ménagers sur la qualité des eaux de puits dans le cinquième arrondissement de Cotonou 56p.
17. **DEGBEY, C. (2011)** : Facteurs associés à la problématique de la qualité de l'eau de boisson et la santé des populations dans la commune d'Abomey-Calavi Au Bénin. Thèse de doctorat

en Sciences de la santé publique. École de santé publique. Université Libre de Bruxelles (ULB).

18. **DEGREMONT. (2005)** Mémento technique de l'eau, volume 2
19. **DICTIONNAIRE DE FRANÇAIS LAROUSSE, 2022** consulté le 06/06/2023
20. **DJEMMAL S. (2008-2009) :** les Ressources en Eau et l'environnement, l'effet de la sebkha sur la qualité des eaux Souterraines dans la partie sud-est de Sétif Cas du Guidjal, Université de Constantine, Algérie
21. **ELMUND, GK, MJ ALLEN et EW RICE. (1999) :** Comparison of Escherichia coli, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency. Water Environ. Res., 71 : 332-339p.
22. **GAUJOUS D. (1995)** : La pollution des milieux aquatiques, Aide-mémoire. 2eme Ed. Tech et Doc. Lavoisier, Paris. 49 P.
23. **GENOUTDET. (2001)** : l'eau au robinet : de la source au verre. Extrait de dossier de bulletin de l'association médicale Kouzmine internationale.
24. **HADEF D. et HASNI M. (2017)** : Mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention d'un diplôme de Master en Chimie Spécialité : Chimie Pharmaceutique et Substances Naturelles Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'Oued de Boutane région de Khemis-Miliana. 43p.
25. **HCEFLCD. (2006)** : Haut-Commissariat Aux Eaux et Forêt et la Lutte Contre la Désertification. Etude sur la pisciculture au barrage Al Massira ; CR dar CHAFAAI ; Cercle d'ELBROUGE ; Province de Settat ; 201p.
26. **HONFIN Lénaïc Harry. (2020)** : Qualité des eaux de forages contenus dans les tanks dans l'arrondissement d'Akassato ; commune d'Abomey Calavi au Bénin, Mémoire de fin de formation pour l'obtention de Licence Professionnelle en Génie de l'Environnement, 52p.
27. **HONVOH Pinellia M.T**. **(2015)** : Etudes de renforcement et d'optimisation du réseau d'adduction de la ville de Djougou au Bénin 54p.
28. http://siaep.faye.free.fr/qualite_de_leau/normes_de_leau/normes_de_leau consulté le 30/08/2023
29. https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau , Eau, Publication web consulté le 27/07/2023
30. https://planificateur.a-contresens.net/ Consulté le 08/09/2023
31. https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/pollution-atmospherique/qualite-environnement-economie/ecosysteme/effet-sol-eau.html consulté le 30/08/2023.
32. https://www.cieau.com/connaitre-leau/leau-dans-la-nature/eau-douce-tout-savoir/ consulté 28/09/2023).

33. https://www.lenntech.fr/francais/ph-et-alcalinite.htm consulté le 07/08/2023
34. https://www.lenntech.fr/procedes/nitrates/nitrates/nitrate.htm consulté le 07/08/2023
35. **KARA Karima HDR**, Pollution de l'environnement Chapitre III, Université Mentouri/Constantine.
36. **KENNETH, (1976)** in Idres Sadia, 2020 Synthèse bibliographique des paramètres physico chimiques et bactériologiques des eaux naturelles.
37. **L'article 2 de la loi cadre sur l'environnement en République du Bénin (1999).**
38. **L'article 5 de la loi n°2010-44 portant sur la gestion de l'eau en République du Bénin** 23p.
39. **LALANNE, F. (2012)** : Étude de la qualité de l'eau le long de la chaîne approvisionnement au niveau des consommateurs dans 10 villages de la Province du Ganzourgou. Région du Plateau Central, Burkina Faso, 71p
40. **LE CHEVALIER, MARK W., T. M. EVANS, AND RAMON J. SEIDLER. (1981)**. "Effect of turbidity on chlorination efficiency and bacterial persistence in drinking water." Applied and Environmental Microbiology : 159–167p.
41. **LEDLER. (1986) et HAOUSSA N. (2013)** : Etude de la qualité des eaux des mélanges eau d'oued Biskra – Eau de Droh. Mémoire de master 2. Hydraulique urbaine, Université Mohamed Khider –Biskra : Faculté des sciences et de technologie. 25 p.
42. **MABILOT A. (1986)** : Le forage de l'eau. Guide pratique. Edition. Johnson. Filtration systèmis. 237p.
43. **MANUELS RAMSAR. (2010)** : 4° Edition pages 54
44. **MEGHZILI B. (2003)** : Suivi de la qualité des eaux de la station de traitement Hamdi Krouma (Skikda). Essais d'optimisation. Thèse de magister Université de Biskra. 77- 89 p.
45. **MYRAND. (2008**) myrand diane. Ing, m. sc, guide technique ; captage d'eau souterraine pour des résidences isolées.
46. **N'TCHA, SAMBIENOU, ALASSANE ET AL (2020)** : Caractérisation Hydrogéochimique des eaux Souterraines des aquifères de socle de la commune de Natitingou au Benin.
47. **NOUAYTI ET AL. (2015**) : Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas Central, Maroc).
48. **OBBARD J., Barr J., ROBISON H., CARVILLE S. (1999)** : characteristics and biological treatment in Hong Kong, Resource and Environmental Biotechnology, Vol. 2, No. 3, 235- 248pages.

49. **OMS (2000) :** Directives de qualité pour l'eau de boisson ; volume 2 critères d'hygiène et documentation à l'appui. Organisation mondiale de la Santé, 2e édition, 1050 p. Accessible à : www.who.int/water_sanitation_health/GDWQ/Summary_tables/
50. **OMS/UNICEF**. (2021) : Progrès en matière d'eau potable, d'assainissement et d'hygiène, 140p.
51. **ONU-Eau**, "Rapport mondial des Nations Unies sur le développement des ressources en eau" http://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2019 consulté le 27/08/2023
52. **ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE.** (2003) : L'eau pour les hommes, l'eau pour la vie. OMS, UNESCO-WWAP : Paris.
53. **PATOINE M., 2011**. Influence de la densité animale sur la concentration des coliformes fécaux dans les cours d'eau du Québec méridional, Canada. Revue des sciences de l'eau, 24 (4) : 421-435.
54. **QUENEAU P., ET HUBERT J., SO. (2009)** Fr. De L'hydrol. Et Climato. Médic. 175-220p
55. **RAMADE F. (1998) :** Dictionnaire encyclopédique de l'eau. Ed. Science internationale, Paris.487p
56. **RAMADE F. (2000)** : Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ed. Dunod, Paris. 370p
57. **ROBERTSON, W (1995)** : Utilités et limites des indicateurs microbiologiques de la qualité de l'eau potable. Dans : Air intérieur et Eau potable, sous la direction de Pierre Lajoie et Patrick Levallois, Presses de l'Université Laval, p. 179-193.
58. **RODIER J., LEGUBE B., MERLET N. (2009)** : L'analyse de l'eau, 9ème édition, Ed. Dunod, 1579p.
59. **RODIER. J** (1984) : L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Edition Dunod Paris.
60. **RODIER. J**. (1976) : l'analyse de l'eau ; eaux naturelles ; eaux résiduaires ; eaux de mer ; édition Dunod, 8eme édition ; pages (945 à1075p).
61. **SAMAKE H. (2002)** : Thèse de doctorat analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000-2001 faculté de médecine. 58p.
62. **SELHI S. et SMAIL T. (2004)** : Analyse physico-chimique des eaux de consommation de la ville de Bejaia. Mémoire d'ingénieur. Université Abderrahmane Mira Bejaia. Spécialité Génie des procédés. 93p.
63. **SPATIALISATION DES CIBLES PRIORITAIRES DES ODD AU BENIN** : Monographie des communes des départements de l'Atacora et de la Donga.
64. **TARDAT. HENRY M. (1992)** : Chimie des eaux. Edition Québec : Griffon d'argile. 560p.

65. **THAYER, BECHIR BEN, KHALIFA RIAHI, AND HOUDA BOUDHRAA. (2007)** : Élimination de la turbidité par oxygénation et filtration successives des eaux de la station de Sfax (Sud de la Tunisie). Revue des sciences de l'eau 355p.
66. **TOSSOUNON Alain**, **(2010)** : Poste d'eau Autonome Privés au Bénin : ces robinets de la mort lente, Rédigé le 04/05/2010 Postcast journal
67. **WOITO. (2018)** in AVOCEVOU Faustine (2022) Comparaison de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux du lac toho et des eaux souterraines a kpinnou dans la commune d'athieme.
68. www.aquaportail.com , Pollution de l'eau Publication web consulté 27/07/2023
69. **YETONGNON J**. **(2022)** : Approvisionnement en eau potable et gestion des infrastructures hydraulique dans la commune d'allada au sud-ouest du Bénin.
70. **ZOGO D., YEHOUENOU AZEHOUN PAZOU E., AGBEDE G. (2016)** in Romaric Zanou évaluation de la qualité des eaux utilisées pour la consommation humaine sur l'ile d'agonve (zagnanado) 59p.

ANNEXES 1

FICHE DE RENSEIGNEMENT

FICHE D'ENQUETE ADRESSE AUX AUTORITÉS DES QUARTIERS

Date……/……/…… Nom de l'enquêteur : ….

Nom du village…….

- IDENTIFICATION DE L'ENQUÊTÉ

1. Département / Commune……
2. Arrondissement / Quartier …….
3. Nom et Prénoms…….
4. Age……
5. Profession……
6. Sexe :

Masculin ☐ Féminin ☐

- **QUESTIONNAIRE SUR LES POSTES D'EAU AUTONOME PRIVÉSS DU QUARTIER OU VILLAGE**

1. L'eau des PEA privés est-elle utilisée par la population ?

Oui ☐ Non ☐

2. Pour quels usages ?
3. Par rapport à l'hygiène et l'assainissement, pensez-vous que la population a des comportements sains ?

…….

4. Quelles sont les maladies hydriques dont souffre votre population ?

…….

FICHE D'ENQUETE ADRESSE AUX PROPRIETAIRES DES POSTES D'EAU AUTONOME PRIVÉSS DANS LES QUARTIERS OU VILLAGES

Date……/……/…… Nom de l'enquêteur : ….

Nom du village…….

- IDENTIFICATION DE L'ENQUETE

1. Département / Commune……
2. Arrondissement / Quartier …….

3. Nom et Prénoms…….

4. Age……

5. Profession……

6. Sexe :

Masculin ☐ Féminin ☐

- **ETAT DES LIEUX (HYGIENE ET ASSAINISSEMENT AUX NIVEAUX DES POSTES D'EAU AUTONOME PRIVÉS)**

1.Quelle est la distance entre les ouvrages et les latrines à :

30 mètres ☐ 15 mètres ☐ 6 mètres ☐

2. Y'a-t-il des sources de contamination près des ouvrages (dépotoirs sauvages, ordures et autres) ?

Oui ☐ Non ☐

3. Avez-vous l'habitude de vendre l'eau ?

Oui ou non

4. Si oui, combien de personnes viennent chercher de l'eau auprès de vous par jour ?

5. Avec quels récipients les clients viennent chercher l'eau ?

Seau de 25 litres ☐ Bassine ☐

Bidon ☐ Autres à préciser ☐

6. A combien vous leurs vendez l'eau ?

…….

7. Quelle quantité d'eau cédez-vous par jour ?

…….

- **QUESTIONNAIRE ADRESSE AUX MENAGES**

Date……/……/…… Nom de l'enquêteur : …..

Nom du village…….

- IDENTIFICATION DE L'ENQUÊTÉ

1. Département / Commune……

2. Arrondissement / Quartier …….

3. Nom et Prénoms…….

4. Age……

5. Profession……

6. Sexe :

Masculin ☐ Féminin ☐

- **ACCES A L'EAU DE CONSOMMATION**

1. D'où provient l'eau que vous utilisez dans cette maison ?

SONEB ☐ Pluie ☐ Puits ☐

Forage ☐ PEA ☐

Usages / Source	Boisson	Cuisine	Vaisselle	Toilette	Lessive	Bain
SONEB						
Pluie						
Puits						
Forage						
PEA						

2. Avez-vous l'habitude de payer de l'eau aux niveaux des PEA ; Forage ; AEV et autres

Oui ☐ Non ☐

3. Si oui, à combien ?

……...

4. Que pensez-vous de ce prix d'achat ?

……

5. Quel matériel utilisez-vous pour le transport de l'eau ?

Bassine en plastique ☐ Bassine en aluminium ☐

Bidon ☐ Autres (préciser) ☐

6. Rencontrez-vous des difficultés dans l'accès à l'eau dans votre quartier ?

Oui ☐ Non ☐

10. Si oui, citez en quelques

……..

7. Quelles sont les solutions que vous préconisez ?

.....

8. Quels sont vos sources d'approvisionnement en eau pour autres usages ?

.....

9. Faites-vous un traitement de votre eau de consommation ?

Oui ☐ Non ☐

10. Si oui, comment ?

Filtration ☐ Ébullition ☐ Chloration (eau de javel) ☐

Autres ☐

11. Avec quoi lavez-vous le récipient avant la prise d'eau ?

Eau simple ☐ Eau savonneuse ☐ Autre (à préciser) ☐

Néant ☐

12. Quel type de récipient utilisez-vous pour le stockage de l'eau de consommation ?

Jarre ☐ Seau en plastique ☐ Seau métallique ☐

Bassine ☐ Autres ☐

13. Le récipient de stockage est-il couvert ?

Oui ☐ Non ☐

14. Avec quoi lavez-vous ce récipient de stockage ?

Eau simple ☐ Eau savonneuse ☐ Autre (à préciser) ☐

Néant ☐

15. Quand renouvelez-vous l'eau de stockage ?

Tous les jours ☐ Tous les 3 jours ☐ Une fois par semaine ☐

Rarement ☐

16. Où se trouve le récipient de stockage ?

Dans la concession ☐ Dans la cuisine ☐ Dans la cour ☐

17. Quelle est la position du récipient de stockage ?

Par terre ☐ Surélevé ☐

- **MALADIES HYDRIQUES**

1. Pensez-vous que la consommation de l'eau de qualité douteuse peut-être source de maladies ?

.....

2. Si oui, quelles sont les maladies hydriques que vous connaissez et celles dont vous souffrez souvent ?

.....

- FICHE D'ENQUETE AUPRES DES CENTRES DE SANTE

Centre de santé : .....

Nom de l'agent : .....

Agent de santé : Infirmier ☐ Major ☐ Médecin ☐

1. Quels types de maladies hydriques enregistrez-vous ?

…….

2. Quelles sont les périodes de recrudescence ?

……..

3. Quelles en sont les causes ?

……...

4. Comment peut-on les éviter ?

……..

5. Quelles sont les statistiques épidémiologiques de ces maladies au cours des trois (3) dernières années ?

…….

- **FICHE D'ENREGISTREMENT STATISTIQUE EPÎDEMIOLOGIQUE LIEE A L'EAU**

Type d'affection	0-11 mois	1 - 4ans	5-14ans	15 ans et plus
Choléra				
Fièvre typhoïde				
Affections gastro-intestinales				
Diarrhées				
Affections dermatologiques				

MERCI POUR VOTRE PARTICIPATION

ANNEXES 2 : QUELQUES PHOTOS



Photo 1 : Détermination du Ca^{2+} et Mg^{2+}



Photo 2 : Titrage avec la liqueur complexiometrique



Photo 3 : Colorimètre



Photo 4 : Spectrophotomètre



Photo 5 : Incubateur



Photo 6 : Boite de pétri ensemencer avec milieu de culture

Source : (cliché, Soultane KOTO SOUMANOU, Aout 2023)

ANNEXES 3 : Les codes et coordonnées géographiques des points de prélèvements

Codes	Points d'échantillonnage	Coordonnées géographiques en UTM	
		Longitude	Latitude
P1	Alfa-Issa	353707	1073739
P2	Leman-mandè	353573	1073799
P3	Leman- bogou	353266	1073603
P4	Kakabounoubéri	353323	1073905
P5	Alfa-issa (Sanawoui)	352980	1074887
P6	Angaradebou	352137	1074757
P7	Timtim bongo	353663	1073552
P8	Leman bogou (Mankantoko)	352207	1073198

ANNEXES 4 : Résultats des analyses des paramètres bactériologique des eaux des PEA Privés

Germes recherchés / Echantillons	**Coliformes Totaux (UFC/100ml)**	**Coliformes thermotolérants (UFC/100ml)**	**Escherichia coli (UFC/100ml)**	**FAR (UFC/100ml)**
P1	3.10^2	6.10^1	<1	$4,7.10^2$
P2	$1,8.10^2$	$3,1.10^1$	8	$1,4.10^3$
P3	$1,8.10^2$	2	<1	$4,2.10^2$
P4	$4,1.10^2$	<1	<1	$1,8.10^3$
P5	$3,97.10^2$	$4,6.10^1$	$1,9.10^1$	$2,1.10^3$
P6	$1, 76.10^2$	<1	<1	$2,24.10^2$
P7	$1,48.10^2$	$4,3.10^1$	9	$3,5.10^3$
P8	$3,6.10^1$	<1	<1	$1,5.10^3$

ANNEXES 5 : Résultats des analyses des paramètres physico-chimiques des eaux des PEA Privés

Points / Paramètres	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Ph	6,39	6,13	7,81	7,3	7,6	7,69	6,45	7,75
Température	29,1	27,2	26	28,4	28,3	24,8	27,3	24,3
Conductivité	1272	968	506	1095	362	400	992	391
Couleur	2	0	0	50	5	20	6	8
Turbidité	0	0	0	14	0	3	0	0
TDS	576	438	232	501	151	184	455	182
Chlorure	376,3	347,9	62,48	433,1	34,08	39,76	319,5	29,82
Bicarbonate	86,1	49,2	92,25	79,95	129,15	98,4	67,65	104,55
Calcium	199,94	127,82	104,25	285,64	64,98	85,69	149,96	67,83
Magnésium	82,78	67,09	29,62	26,14	25,7	17,42	60,99	35,29
Nitrate	85,22	73,31	4,81	22,63	< 0,001	< 0,001	65,26	< 0,001
Nitrite	< 0,001	0,03	0,02	0,17	< 0,001	< 0,001	0,42	< 0,001
Ammonium	< 0,001	1,87	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Sulfate	16,95	5,78	4,15	12,89	1,72	2,73	11,87	3,75
Orthophosphate	0,08	0,09	< 0,001	0,14	< 0,001	< 0,001	0,2	< 0,001
Fluorure	0	0	0	0	0	0	0	0
Fer	0	0	0	0,22	0,03	0,06	0,14	0,03