

Evaluation De La Qualité Microbiologique Des Eaux De L'Ouémé Supérieur Au Bénin

Nonvignon Martial FASSINOU^{1*}, Fadéby Modeste GOUISSI^{1,3}, Hervé Hotèkpo Akodogbo², Dagbédji Damien TOFFA³, Souradjou OROU GOURA¹, Wakili Bolatito YESSOUFOU¹, Tayéwo Sylvain BIAOU¹

¹Université de Parakou (UP), Faculté d'Agronomie (FA), Laboratoire d'Ecologie, de Santé et de Productions Animales (LESPA), BP 123 Parakou, Bénin

²Université d'Abomey-Calavi (UAC). Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC). Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée (LARBA). BP 526 Cotonou (Bénin)

³Université d'Abomey Calavi (UAC), Laboratoire d'Hygiène, d'Assainissement, d'Ecotoxicologie et de Santé Environnementale (HECOTES) / CIFRED, 03 BP 1463 Jericho, Cotonou, Benin

¹Téléphone: (229) 97245892



Résumé – L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité microbiologique des eaux de l'Ouémé supérieur pendant la période des hautes et basses eaux au Bénin. Douze points de prélèvements ont été retenus à raison de trois prélèvements sur quatre stations à savoir: Okpara, Tèrou, Affon et Adjiro. Les échantillons d'eau ont été prélevés puis acheminés au laboratoire. Les paramètres microbiologiques (Coliformes totaux, Coliformes thermotolérants, *Escherichia coli*, les Entérocoques fécaux et les *Staphylococcus aureus* présumés) ont été déterminés respectivement par la technique de filtration sur membrane. Les valeurs moyennes obtenues pour toutes les stations sont respectivement, pour les Coliformes totaux (25562 ± 9656 UFC/100 mL), les Coliformes thermotolérants (10448 ± 6738 UFC/100 mL), *Escherichia coli* (5712 ± 5684 UFC/100 mL), les Entérocoques fécaux (14362 ± 12404 UFC/100 mL) et les *Staphylococcus aureus* présumés (23994 ± 14718 UFC/100 mL) pendant la saison pluvieuse. Par contre les valeurs moyennes pendant la saison sèche sont: Les Coliformes totaux (52250 ± 14892 UFC/100 mL), les Coliformes thermotolérants (53920 ± 55585 UFC/100 mL), *Escherichia coli* (3958 ± 4712 UFC/100 mL), les Entérocoques fécaux (5475 ± 4825 UFC/100 mL) et les *Staphylococcus aureus* présumés (31038 ± 15195 UFC/100 mL). Ces moyennes dépassent largement les normes recommandées par le Bénin pour une eau de bonne qualité (00 UFC/100 mL) de même que les différentes normes recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Les résultats de ces analyses microbiologiques des eaux de l'Ouémé supérieur ont montrés que la totalité des échantillons prélevés sont contaminées. Le nombre très élevé des germes spécifiques s'explique par le phénomène de ruissellement des eaux et de lessivage des terres agricoles.

Mots clés – Eaux de surface, Qualité microbiologique, Germes, Ouémé supérieur, Bénin

Abstract – The objective of this study is to assess the microbiological quality of the waters of the upper Ouémé during the food and the recession in Bénin. Twelve sampling points were selected at the rate of three samples from four stations: Okpara, Tèrou, Affon and Adjiro. The Water samples were collected and sent to the laboratory. The microbiological parameters (Total coliforms, Thermotolerant coliforms, *Escherichia coli*, Faecal enterococci and Presumed *Staphylococcus aureus*) were determined respectively by the membrane filter technique. The average values obtained for all the stations are respectively for the Total coliforms (25562 ± 9656 CFU/100 mL), Thermotolerant coliforms (10448 ± 6738 CFU/100 mL), *Escherichia coli* (5712 ± 5684 CFU/100 mL), Faecal Enterococci (14362 ± 12404 CFU/100 mL) and Presumed *Staphylococcus aureus* (23994 ± 14718 CFU/100 mL) during the rainy season. On the other hand, the average values during the dry season are: The Total Coliforms (52250 ± 14892 CFU/100 mL), Thermotolerant Coliforms (53920 ± 55585 CFU/100 mL), *Escherichia coli* (3958 ± 4712 CFU/100 mL), Faecal Enterococci (5475 ± 4825 CFU/100 mL) and Presumptive *Staphylococcus aureus* (31038 ± 15195 CFU/100 mL). These averages greatly exceed the standards recommended by Benin for good quality water (00 CFU/100 mL) as well as the standards recommended by the World Health Organization (WHO). The results of these microbiological analyzes of the waters of Upper Ouémé showed that all the samples collected are contaminated. The very high number of specific germs is explained by the phenomenon of water runoff and the leaching of agricultural land.

Keywords – Surface water, Microbiological quality, Germs, Upper Ouémé, Bénin

I. INTRODUCTION

Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables (Harrat & Achour, 2010). C'est une ressource naturelle et commune, mais rare en termes de qualité (Chouti & Hounkpèvi, 2018). Elle a de multiple fonction car, elle contribue au bon fonctionnement et à l'équilibre de la physiologie animale (Pazou et al., 2018). Avoir de l'eau à disposition en quantité et en qualité suffisantes contribue au bon fonctionnement et à l'équilibre des êtres vivants (Saïnou et al., 2019). La protection de ces ressources naturelles contre toutes les formes de pollution qu'elles soient, est indispensable pour conserver leur bonne qualité (Adjagodo et al., 2018). En effet, l'expansion démographique que connaissent les pays du monde sans occulter ceux de l'Afrique, en particulier le Bénin, ont des conséquences sur l'environnement et sur les plans d'eau (Dovonou et al., 2022). Au Bénin, la question de l'eau, constitue un problème majeur pour la population. La plupart des contaminations de l'eau dans les pays en voie de développement sont liées aux activités anthropiques dues principalement à l'agriculture (Merhabi et al., 2019). La qualité de l'eau est altérée par une surcharge en matières organiques, des substances toxiques provenant des activités agricoles et par des effluents industriels et domestiques rejetés dans le milieu récepteur sans traitement. (Wheal, 1991). La contamination des eaux de surface par des agents pathogènes est un problème de pollution. La contamination microbiologique d'origine fécale est un problème qui a un impact majeur sur la qualité de l'eau à travers le monde (Hounsounou et al., 2017a). La contamination bactérienne en milieu hydrique est un phénomène naturel où l'homme joue le rôle de contaminateur primaire (Hounsou et al., 2010). Les eaux de surface sont utilisées comme vecteur de l'élimination des déchets. Les milieux aquatiques reçoivent des rejets d'origine animale ou anthropique qui contiennent des bactéries capables de rendre l'eau impropre à l'utilisation humaine. La plupart de ces micro-organismes sont d'origine fécale et sont responsables de vastes épidémies de dysenterie, fièvre typhoïde, choléra et autres (George et Servais, 2002; Hébert et Légaré, 2000). Dans le monde, environ 6 millions d'enfants meurent chaque année des suites de gastro-entérites, 100 millions de personnes souffrent en permanence de gastroentérites hydriques, 260 millions d'individus sont atteints de bilharziose, 2 à 3 millions de décès sont observés chaque année parmi les 800 millions de sujets impaludés et 30 millions d'onchocercose sont dénombrés (Adjagodo et al., 2017). Les indicateurs microbiologiques sont les paramètres les plus importants de la qualité des eaux et correspondent à des germes pathogènes qui proviennent du rejet des eaux usées domestiques, industrielles et des lessivages des sols (Wheal, 1991). L'élevage pollue les terres, les eaux, contamine la nature avec des toxines potentiellement mortelles. En 2006, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a décrit l'élevage comme «... un des contributeurs les plus importants à la plupart des graves problèmes environnementaux actuels». Donc, les contaminations qui affectent les ressources en eau sont de diverses formes et bien diversifiées. Elles sont généralement les conséquences des différentes activités humaines qui générant les pathogènes (Adjahouinou et al., 2014). C'est un problème qui a un impact majeur sur la qualité de l'eau à travers le monde (Hounsounou et al., 2017b). La présente étude a pour objectif d'évaluer la qualité microbiologique des eaux du fleuve de l'Ouémé supérieur pendant la période des hautes et basses eaux au Bénin.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Milieu d'étude

Situé entre 6°30 et 10° de latitude Nord et 0°52' et 3°05' de longitude Est, le fleuve Ouémé est au centre du Bénin avec une longueur de 510 km (Abahi et al., 2018). Le fleuve Ouémé étant le plus long fleuve du pays, il prend sa source dans les monts Tanéka et reçoit deux principaux affluents importants : L'Okpara (200 km) sur la rive gauche et le Zou (150 km) sur la rive droite. Il subit les influences des climats soudanien et subéquatorial, mais son régime est plutôt tropical (PANA, 2007). Le choix des stations a été fait suite à une visite exploratoire de l'amont en aval et vers la zone de reconstitution sur la partie supérieure du fleuve Ouémé et a permis de retenir 04 stations (Okpara, Téro, Affon et Adjiro) accessibles en toute saison. L'étude prend en compte quatre (04) communes à raison de (03) points de prélèvement par commune. La figure 1 montre l'Ouémé supérieur traversant le pays.

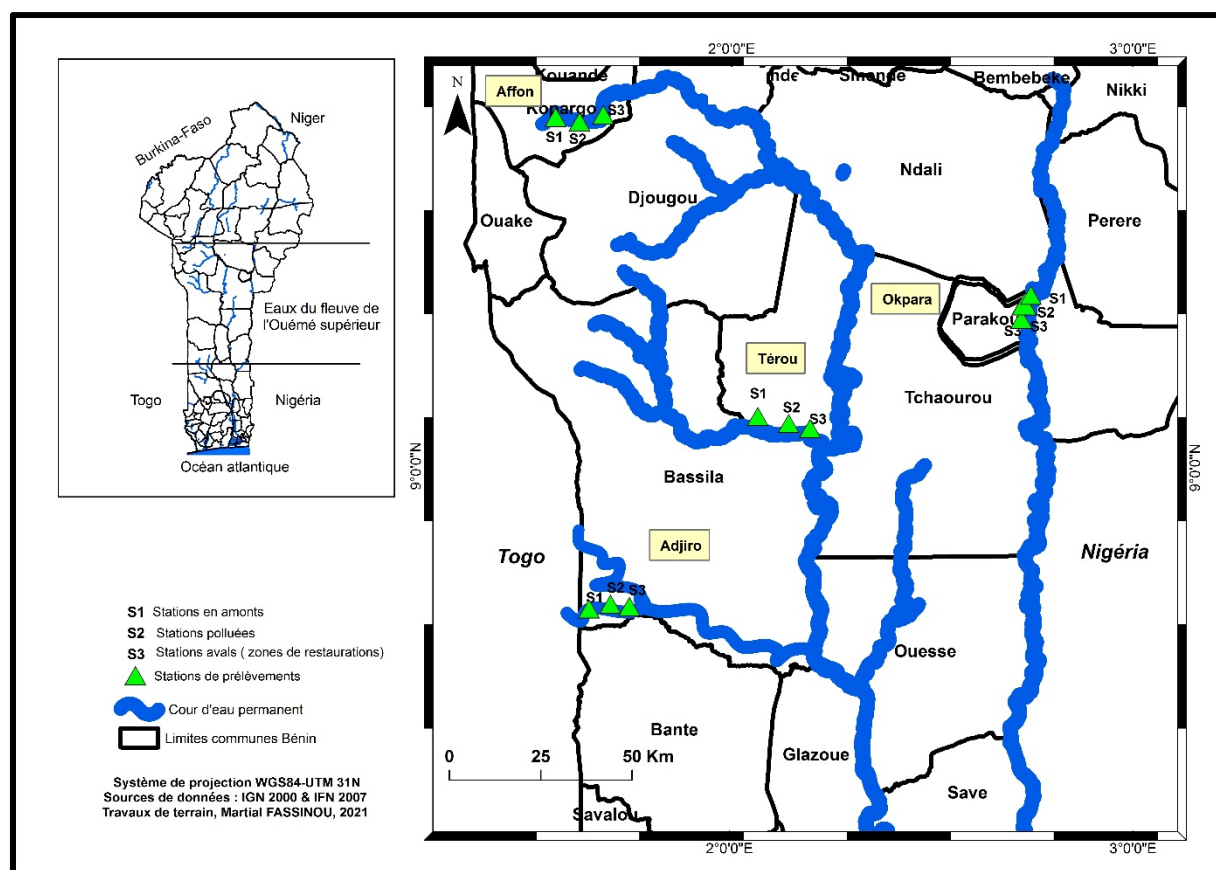


Figure 1: Situation géographique et hydrographique de la zone d'étude

2.2. Coordonnées géographiques des sites de prélèvement

La station Okpara est située à 9°21'08'' N et 2°44'20'' E dans le département du Borgou, commune de Parakou. La station Téro est située à 9°05'16'' N et 2°05'32'' E dans le Borgou-sud et est traversé par la rivière Téro. La station Affon est située à 8°52'29'' N et 1°30'51'' E dans le département de la la Donga, commune de Copargo, arrondissement de Tanéka koko. La station Adjiro est située à 8°36'50'' N et 1°40'51'' E dans le département de la Donga, commune de Bassila. (Tableau 1)

Tableau 1: Coordonnées géographiques des sites de prélèvement

Rivières	Coordonnées géographiques en UTM						Villes traversées
	Stations	X	Y	Précision (m)	Long	Lat	
Okpara (10000 Km ²) Nom de la rivière: Nanon	S1	471358	1033833	3 m	2°44'20.968344''	9°21'8.948988''	Parakou
	S2	471365	1033809	2 m	2°44'21.198420''	9°21'8.167684''	
	S3	471589	1036531		2°44'28.476654''	9°22'36.805015''	
Zou (8440 Km ²) Pira, Village	S1	354856	952421	3 m	1°40'51.446685''	8°36'50.178547''	Bassila Forêts des monts couffées
	S2	354878	952391	3 m	1°40'52.169693''	8°36'49.204387''	

Adjiro	S3	354874	952305	2 m	1°40'52.048552''	8°36'46.404267''	
Copargo Affon (4320 Km ²)	Stations	X	Y	Précision (m)	Long	Lat	Copargo
	S1	337091	1091939	3 m	1°30'51.357191''	8°52'29.404267''	
	S2	337028	1092006	2 m	1°30'49.279463''	9°52'31.670347''	
	S3	336900	1080070	3 m	1°30'46.812807''	9°46'3.137687''	
Térou (3320 Km ²)	Stations	X	Y	Précision (m)	Long	Lat	Tchaourou
	S1	400250	1004710	3 m	2°5'32.236729''	9°5'16.928672''	
	S2	400382	1004742	3 m	2°5'36.557995''	9°5'17.981278''	
	S3	400694	1004955	3 m	2°5'46.760717''	9°5'24.941501''	

S1 : Amont représentant la zone témoin

S2 : Zone polluée

S3 : Aval représentant la zone de reconstitution ou de restauration.

2.3. Collecte des données

2.3.1. Choix des stations d'échantillonnage

Les stations ont été choisies en fonction de l'accessibilité de l'eau en toute saison, la position des stations par rapport aux champs, le gradient de pollution et de la profondeur de l'eau (moins d'un mètre). Quatre (04) stations d'échantillonnage ont fait l'objet de l'étude. Au niveau de chaque station, nous avons procédé à trois différents prélèvements sur le bras de même ordre afin d'éviter le mélange d'autre source de pollution. Ainsi, nous avons fait au niveau de chaque station un prélèvement en amont représentant la zone témoin, un prélèvement au niveau de la zone polluée et un prélèvement en aval représentant la zone de reconstitution ou de restauration (Figure 1).

2.3.2. Prélèvements et conditionnement des échantillons microbiologiques

Au total douze (12) prélèvements ont été recueillis, dont trois (03) prélèvements par station. Pour les trois (03) prélèvements suivant les stations, nous avons fait un prélèvement en amont, un prélèvement au niveau de la zone polluée et un prélèvement en aval dans la zone de restauration. Les prélèvements ont été faits dans les flacons stérilisés en verre de 0,5L à chaque station. Les échantillons recueillis ont été immédiatement rebouchés délicatement après prélèvement. Les échantillons ont été placés dans une glacière munie d'accumulateurs de glaces à une température de 4°C et sont acheminés au laboratoire dans les heures qui ont suivies pour les différentes séries d'analyses. La période des prélèvements a été comprise entre 06h30mn à 10h45mn (Koudenoukpo et al., 2017). Nous avons effectué alors une recherche systématique sur cinq (05) paramètres microbiologiques tels que : Coliformes totaux, Coliformes thermotolérants, *Escherichia coli*, Entérocoques fécaux et *Staphylococcus aureus* présumés.

2.4. Détermination des germes de contamination

L'identification des Coliformes totaux, des Coliformes thermotolérants, d'*Escherichia coli*, d'Entérocoques fécaux, de Streptocoque fécaux et des *Staphylococcus aureus*, passent par la filtration d'un volume de 2 mL d'eau à analyser sur une membrane cellulosique filtrante ayant des pores de diamètre uniforme égal à 0,45 micromètre. Pour la très grande charge d'eau, les échantillons ont subi une dilution au 10ème par l'eau stérilisée et ramenée ensuite à 100%. Le dénombrement des colonies obtenues équivaut à ceux obtenus du prélèvement de 20 mL de l'échantillon, le nombre obtenu a été multiplié par cinq (05) pour avoir l'équivalence dans 100 mL d'eau. (Tableau 2)

Tableau 2: Méthode de recherche et identification des germes

Germes recherchés	Technique utilisée	Milieu de culture	Temps et température d'incubation	Couleurs
Coliformes totaux	NTF-08-05	Chromogénique <i>E. coli</i>	24h à 37°C	Colonies rouges, violettes, vertes et bleues
Coliformes thermotolérants	NTF-08-05	Chromogénique <i>E. coli</i>	24h à 44°C	Colonies vertes
<i>Escherichia coli</i>	NTF-08-05	Chromogénique <i>E. coli</i>	24h à 44°C	Colonies rouges et violettes
Entérocoques fécaux	NTF-08-05	Slanetz et Bartley	48h à 44°C	Colonies rouges
<i>Staphylococcus aureus</i> présumé	XP-T90-412	Chapman	24h à 37°C	Colonies jaunes

Le tableau 3 présente les normes du Bénin et les recommandations de l'OMS pour les eaux de surface.

Tableau 3: Normes et recommandation pour des eaux de surface du Bénin et de l'OMS.

Paramètres (Variables)	Normes MSP	Normes OMS
Coliformes Totaux	00 UFC/100 mL	5000 UFC/100 mL
Coliformes Thermotolérants	00 UFC/100 mL	2000 UFC/100 mL
<i>Escherichia coli</i>	00 UFC/100 mL	00 UFC/100 mL
Entérocoques fécaux	00 UFC/100 mL	1000 UFC/100 mL
<i>Staphylococcus aureus</i> présumé	00 UFC/100 mL	00 UFC/100 mL

MSP : Ministère de la Santé Publique ; OMS : Organisation Mondiale de la Santé

2.5. Analyse bactériologique

2.5.1. Isolement des coliformes totaux et des coliformes fécaux

Après la filtration, la membrane est placée dans une boîte de pétri, contenant le milieu Chromogénique *E. coli* coliforme agar et ensuite incubée à 37°C dans l'incubateur pendant 24 heures. Les coliformes totaux se caractérisent par une coloration rouge ou rosée tandis que celles des coliformes fécaux (coliformes thermotolérants) sont reconnaissables par une coloration bleue ou violette. Cette différence de coloration s'explique par le fait que les coliformes possèdent l'enzyme β -galactosidase, qui à 44°C est capable de transformer le lactose présent dans le milieu en acide lactique, ce qui conduit au virage de l'indicateur coloré, donnant ainsi les différentes couleurs.

2.5.2. Isolement des *Escherichia coli*

Suite à la filtration, la membrane a été placée dans une boîte de pétri, contenant le milieu Chromogénique *E. coli* coliforme agar et ensuite incubée à 44°C dans un incubateur pendant 24 heures. Les colonies d'*Escherichia coli* obtenues sont de couleurs rouges et violettes.

2.5.3. Isolement des Entérocoques fécaux

La membrane a été également placée dans une boîte de pétri, contenant le milieu Slanetz et Bartley puis incubée à 44°C. Après 48 heures d'incubation, les colonies de tailles moyennes et de couleur rouge sont considérées comme étant des colonies suspectes de streptocoques fécaux.

2.5.4. Isolement de *staphylococcus aureus* présumés

La membrane est appliquée sur la gélose et incubée à 37°C dans l'incubateur durant 24 heures. Les souches des *Staphylococcus aureus* présumés sont de tailles importantes et élaborent leurs propres pigments. Elles apparaissent en jaune par suite d'une fermentation de mannitol.

2.6. Analyse des données

Les valeurs des paramètres microbiologiques déterminées ont fait l'objet d'une analyse statistique par la réalisation des box plots. L'Analyse Factorielle des Correspondances a été également réalisée afin de mettre en évidence les liaisons entre les variables microbiologiques des eaux de l'Ouémé supérieur et les différentes stations échantillonnées. Le logiciel R version 4.0.0 a été utilisé pour la réalisation des box plots et l'AFC.

III. RÉSULTATS

Les résultats de la recherche des germes indicateurs de pollution fécale montrent que les eaux de surface analysées pendant les périodes des basses et des hautes eaux contiennent des concentrations diverses des Coliformes totaux, des Coliformes thermotolérants, d'*Escherichia coli*, des Entérocoques fécaux et des *Staphylococcus aureus* présumés.

3.1. Coliformes totaux

Le dénombrement des coliformes totaux à 37°C montre que la moyenne à Okpara pendant la saison pluvieuse varie entre 13405 ± 2463 UFC/100 mL et ayant un minimum de 11372 UFC/100 mL à l'amont de prélèvement contre 10330 ± 5455 UFC/100 mL pendant la saison sèche dont le minimum est 2147 UFC/100 mL à l'amont. A Téro, nous constatons une variation de 10097 ± 6031 UFC/100 mL pendant la saison pluvieuse, dont le minimum est 1050 UFC/100 mL à l'amont contre 10197 ± 5898 UFC/100 mL pendant la saison sèche, dont le minimum est 1350 UFC/100 mL à l'amont de prélèvement. A Affon, la moyenne varie entre 926 ± 451 UFC/100 mL pendant la saison pluvieuse, pour 250 UFC/100 mL à l'amont contre 14056 ± 2762 UFC/100 mL pour 11934 UFC/100 mL à l'amont. A Adjiro, pendant la saison pluvieuse, la moyenne varie entre 1133 ± 711 UFC/100 mL dont le minimum est 550 UFC/100 mL à l'amont contre 17666 ± 777 UFC/100 mL pendant la saison sèche, dont le minimum est 16500 UFC/100 mL dans la zone de restauration. La figure 2 montre la variation saisonnière des charges en coliformes totaux dans les eaux de l'Ouémé supérieur.

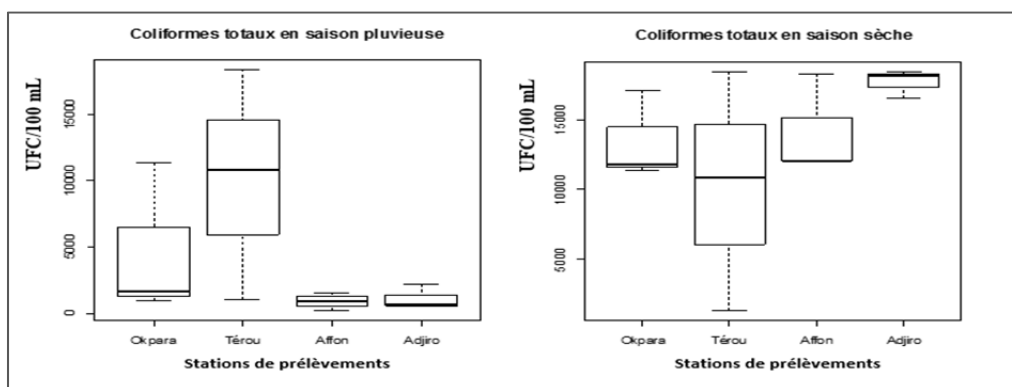


Figure 2: Variations moyennes des coliformes totaux en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.2. Coliformes Thermotolérants

Le dénombrement des coliformes thermotolérants à 44°C montre que la moyenne à Okpara pendant la saison pluvieuse varie entre 4633 ± 2577 UFC/100 mL et ayant un minimum de 2000 UFC/100 mL à l'amont contre 4833 ± 1111 UFC/100 mL pendant la saison sèche dont le minimum est 3600 UFC/100 mL à l'amont. On constate à Téro, une variation de 4776 ± 3535 UFC/100 mL pendant la saison pluvieuse, dont le minimum est 450 UFC/100 mL à l'amont contre 47913 ± 53924 UFC/100 mL pendant la saison sèche dont le minimum est 900 UFC/100 mL à l'amont. A Affon, la moyenne varie entre 573 ± 271 UFC/100 mL pendant la saison pluvieuse dont 380 UFC/100 mL à l'amont contre 533 ± 44 UFC/100 mL, ayant 500 UFC/100 mL à l'amont et dans la zone de reconstitution. Enfin, à Adjiro pendant la saison pluvieuse, la moyenne varie entre 466 ± 355 UFC/100 mL dont le minimum est 200 UFC/100 mL au niveau la zone de restauration contre 600 ± 506 UFC/100 mL pendant la saison sèche, dont le minimum est 120 UFC/100 mL à l'amont de prélèvement. La figure 3 montre la variation saisonnière des charges en coliformes thermotolérants dans les eaux de l'Ouémé supérieur.

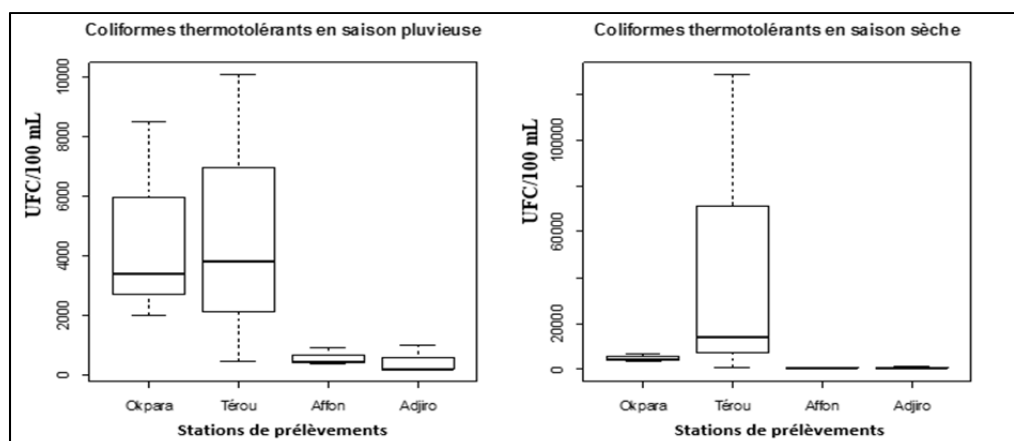


Figure 3: Variations moyennes des coliformes thermotolérants en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.3. *Escherichia coli*

Le dénombrement des *Escherichia coli* à 44°C montre que la moyenne à Okpara pendant la saison pluvieuse varie entre 533 ± 231 UFC/100 mL, ayant pour minimum 300 UFC/100 mL à l'amont contre 126 ± 128 UFC/100 mL pendant la saison sèche, dont le minimum est 80 UFC/100 mL à l'amont. À Téro, la variation est 4676 ± 5082 UFC/100 mL pendant la saison pluvieuse, dont le minimum est 230 UFC/100 mL à l'amont contre 3406 ± 4488 UFC/100 mL pendant la saison sèche, ayant pour minimum 20 UFC/100 mL au niveau la zone de restauration. A Affon la moyenne est entre 153 ± 71 UFC/100 mL pendant la saison pluvieuse, pour 80 UFC/100 mL à l'amont contre 333 ± 48 UFC/100 mL, pour un minimum de 340 UFC/100 mL à l'amont. A Adjro, pendant la saison pluvieuse, la moyenne varie entre 350 ± 300 UFC/100 mL, dont le minimum est 100 UFC/100 mL à l'amont contre 93 ± 48 UFC/100 mL pendant la saison sèche, dont le minimum est 20 UFC/100 mL à l'amont. La figure 4 montre la variation saisonnière des charges d'*Escherichia coli* dans les eaux de l'Ouémé supérieur.

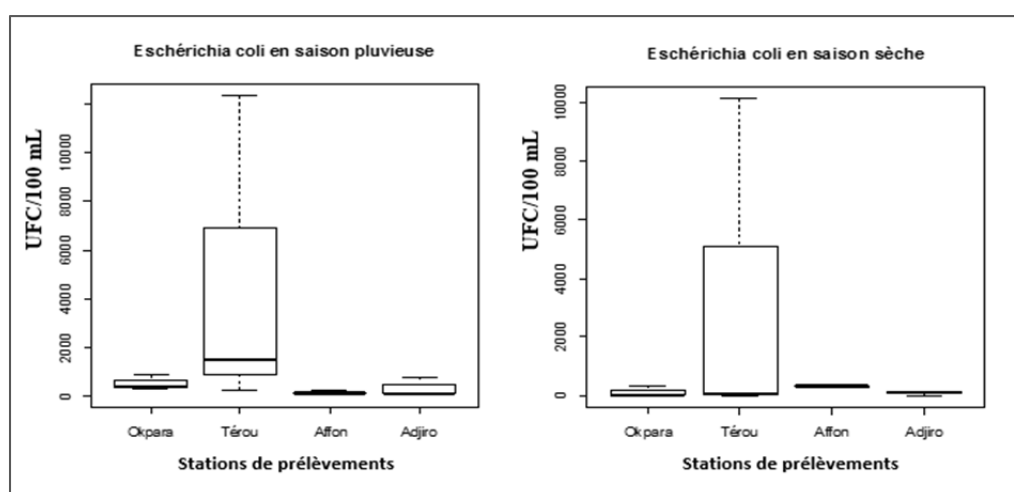


Figure 4: Variations moyennes d'*Escherichia coli* en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.4. Entérocoques fécaux

Le dénombrement des Entérocoques fécaux à 37°C montre que la moyenne à Okpara pendant la saison pluvieuse varie entre 2650 ± 2766 UFC/100 mL, ayant pour minimum 550 UFC/100 mL à l'amont contre 2501 ± 2466 UFC/100 mL pendant la saison sèche, dont le minimum est 437 UFC/100 mL à l'amont. À Téro, la variation est 3626 ± 3035 UFC/100 mL pendant la saison pluvieuse, dont le minimum est 600 UFC/100 mL à l'amont contre 2180 ± 1933 UFC/100 mL pendant la saison sèche, ayant pour minimum 290 UFC/100 mL à l'amont. A Affon la moyenne est entre 320 ± 180 UFC/100 mL pendant la saison pluvieuse, pour

130 UFC/100 mL à l'amont contre 524 ± 313 UFC/100 mL, pour un minimum de 130 UFC/100 mL à l'amont. A Adjiro pendant la saison pluvieuse, la moyenne varie entre 7766 ± 6422 UFC/100 mL, dont le minimum est 250 UFC/100 mL à l'amont contre 270 ± 113 UFC/100 mL pendant la saison sèche, dont le minimum est 100 UFC/100 mL à l'amont. La figure 5 montre la variation saisonnière des charges en Entérocoques fécaux dans les eaux de l'Ouémé supérieur.

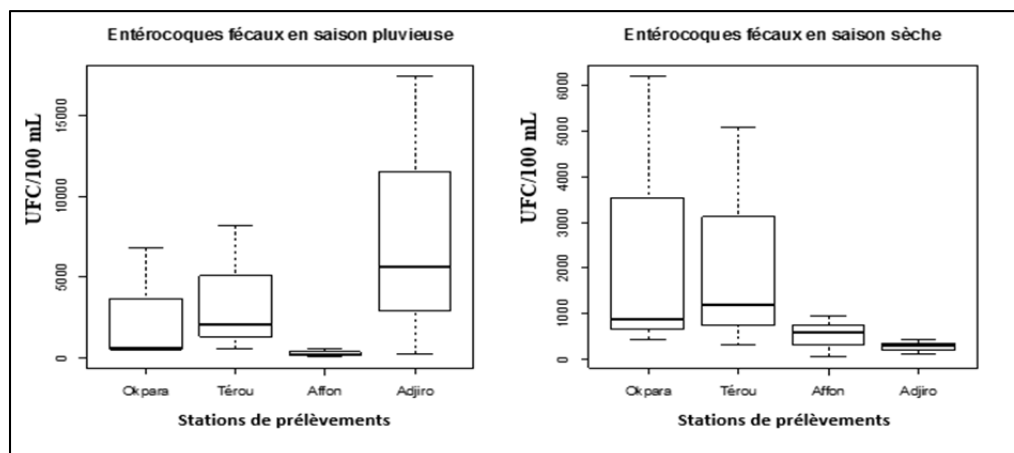


Figure 5: Variations moyennes des entérocoques fécaux en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.5. *Staphylococcus aureus* présumés

Le dénombrement des *Staphylococcus aureus* présumé à 37°C montre que la moyenne à Okpara pendant la saison pluvieuse varie entre 5320 ± 2973 UFC/100 mL, ayant pour minimum 1880 UFC/100 mL à l'amont contre 12231 ± 5001 UFC/100 mL pendant la saison sèche, dont le minimum est 3380 UFC/100 mL à l'amont de prélèvement. À Téro, la variation est 12820 ± 7320 UFC/100 mL pendant la saison pluvieuse, dont le minimum est 4360 UFC/100 mL à l'amont contre 10600 ± 2746 UFC/100 mL pendant la saison sèche, ayant pour minimum 7360 UFC/100 mL à l'amont. À Affon la moyenne est entre 4870 ± 3413 UFC/100 mL pendant la saison pluvieuse, pour 1220 UFC/100 mL à l'amont contre 3666 ± 3722 UFC/100 mL, pour un minimum de 790 UFC/100 mL à l'amont. A Adjiro, pendant la saison pluvieuse, la moyenne varie entre 983 ± 1011 UFC/100 mL, dont le minimum est 50 UFC/100 mL à l'amont contre 4540 ± 2826 UFC/100 mL pendant la saison sèche, dont le minimum est 1120 UFC/100 mL à l'amont. La figure 6 montre la variation saisonnière des charges en *Staphylococcus aureus* présumé dans les eaux de l'Ouémé supérieur.

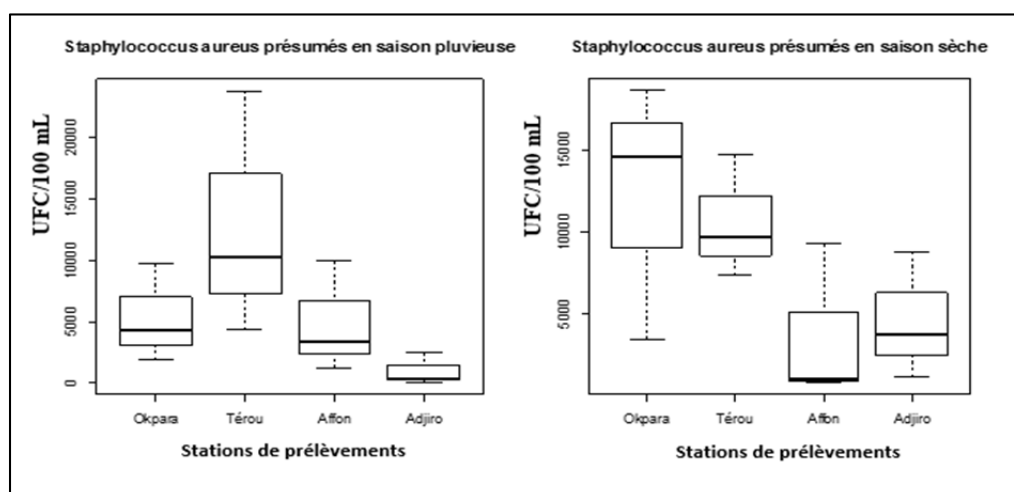


Figure 6: Variations moyennes des *Staphylococcus aureus* présumés en saison pluvieuse et saison sèche des eaux de l'Ouémé supérieur de 2021-2022

3.6. Liaison entre les variables étudiées

Afin de décrire les relations entre les variables et les différentes stations de prélèvement une Analyse Factorielle des Correspondances simple a été réalisée avec le logiciel R version 4.0.0. Cette méthode d'Analyse Factorielle des correspondances (AFC) a permis de mettre en corrélation les variables et les différentes stations de prélèvements. Les résultats du tableau 4 indiquent que les deux premières composantes principales concentrent respectivement 84,11% et 14,79%, soit un total de 98,90% des variations du tableau de départ, ce qui est excellente pour garantir une précision d'interprétation.

Tableau 4: Composantes principales sur l'axe factoriel 1 et 2.

Eigen values	Dim.1	Dim.2	Dim.3
Variance	0.234	0.041	0.003
% of var.	84.114	14.795	1.091
Cumulative % of var.	84.114	98.909	100.000

L'analyse factorielle des contributions ainsi que la qualité de représentation des variables et des stations de prélèvements sur chaque axe factoriel indique que les variables comme les Coliformes Totaux (CT), les *Staphylococcus aureus* présumés (*St.aureus.p*), l'*Escherichia coli* (*E.coli*) ainsi que les Coliformes thermotolérants (*C.ther*) sont considérés sur l'axe 1. Les Entérocoques fécaux (*En.Feco*) sont considérés sur l'axe 2. Le tableau 5 est le tableau de synthèse donne.

Tableau 5: Répartition des variables et des stations de prélèvements sur les axes factoriels 1 et 2

	Axe factoriel 1		Axe factoriel 2	
	-	+	-	+
Variables	CT et <i>St.aureus.p</i>	<i>E.coli</i> et <i>C.ther</i>		En.Féco
Stations de prélèvement	Okpara et Affon	Térou		Adjiro

Coliformes Totaux (CT), Entérocoques fécaux (En.Féco), *Escherichia coli* (*E.coli*), Coliformes thermotolérants (*C.ther*) et *Staphylococcus aureus* présumé (*St.aureus.p*).

La projection des variables et les stations de prélèvements dans les systèmes d'axes 1 et 2 indique que :

Groupe 1 : Les Coliformes totaux (CT) et les *Staphylococcus aureus* présumés (*St.aureus.p*) sont plus représentatifs à Okpara et Affon. Ce sont des indicateurs de contamination fécale. Ainsi, les eaux de l'Oué mé supérieur à Okpara et Affon sont beaucoup plus chargées en micro-organismes.

Groupe 2 : Les Entérocoques fécaux (En.Féco) sont plus représentatifs à Adjiro. La très grande majorité des Entérocoques fécaux montrent que les eaux de l'Oué mé supérieur à Adjiro sont également chargées en germes.

Groupe 3 : Les Coliformes thermotolérants et les *Escherichia coli* (*E.coli*) sont plus représentatifs à Térou. Ce sont des indicatrices qui représentent sans équivoque une contamination d'origine fécale animale ou humaine mais récente. Donc les eaux de l'Oué mé supérieur à Térou sont fortement contaminées et par conséquent sont plus chargées en micro-organismes. La Figure 7 montre la projection des variables et des stations de prélèvements sur les axes factoriels 1 et 2.

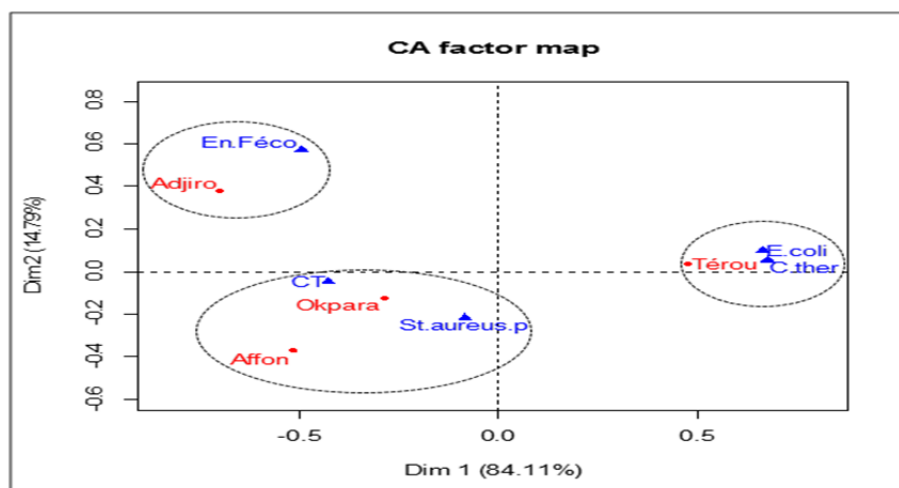


Figure 7: Projection des variables et des stations de prélèvements sur les axes factoriels 1 et 2

IV. DISCUSSION

Les résultats des analyses microbiologiques des échantillons d'eau de l'Ouémé supérieur prélevés dans les différentes communes révèlent que les Coliformes totaux dénombrés pendant la saison pluvieuse et la saison sèche sont supérieurs aux normes recommandées par l'OMS (5000 UFC/100 mL) et le MSP (00 UFC/100 mL) pour l'eau de boisson. Donc cette eau de surface est alors nuisible pour la population utilisatrice. Les résultats obtenus sont similaires aux travaux de recherche de Pazou et al. (2018) sur l'Etude de la qualité des eaux consommées dans la commune d'Adjohoun au Bénin et de Adjagodo et al. (2018) au niveau de la qualité de l'eau du fleuve Ouémé au cours de la période de hautes eaux de 2016 dans la Commune des Aguégus au Sud du Bénin. Les fortes concentrations de coliformes totaux peuvent être attribuées aux divers déchets que reçoivent les cours d'eau, au manque d'assainissement de l'environnement. Les Coliformes thermotolérants dénombrés pendant les deux périodes dont l'étude dépassent les normes de l'OMS (2000 UFC/100 mL) et de MSP (00 UFC/100 mL) pour une eau de surface non contaminée. Ainsi, pour ce paramètre aussi évalué, la qualité de l'eau de surface est impropre à la population utilisatrice. Les résultats obtenus sont similaires à ceux de Djegbe et al., (2018) sur la variation saisonnière de la qualité physicochimique et microbiologique des eaux d'irrigation. En outre, les Coliformes thermotolérants sont d'origine animale ou humaine. Leur présence indique une contamination récente par des matières fécales (Mwanza et al., 2019). La défécation à l'air libre le long du fleuve ou encore dans le fleuve qui s'observe dans ces milieux pourrait être à l'origine de la présence de ces germes. Les eaux du fleuve renfermant des germes pathologiques pourraient être à l'origine des maladies hydriques observées dans ces milieux. Il urge de souligner que la présence des germes d'*Escherichia coli* dans ces eaux de surface pendant la période pluvieuse et sèche ne respecte pas les normes de recommandations de l'OMS (00 UFC/100 mL) et de MSP (00 UFC/100 mL). Cette pollution microbiologique de ces eaux montre d'énormes risques sanitaires pour les habitants et rend ces dites eaux impropres à la consommation humaine et animale. Les résultats obtenus sont similaires à ceux de Ahoussi et al., (2012) dans l'étude des caractéristiques microbiologiques des ressources en eau du bassin versant du N'zi. Relativement à des germes d'Entérocoques fécaux dans ces eaux de surface pendant les deux périodes, ces dernières ne respectent pas les normes de recommandations de l'OMS (1000 UFC/100 mL) et de MSP (00 UFC/100 mL) pour l'eau de surface de qualité acceptable. Cette contamination par les Entérocoques fécaux est due probablement au cheptel bovin (origine animale) qui fréquente certaines parties du bord du fleuve pour s'alimenter donc peuvent contaminer les stations par la matière fécale. Enfin, les *Staphylococcus aureus* présumés sont d'abord souvent mis en cause dans les cas de toxi-infections alimentaires où il y a production d'une entérotoxine responsable aux infections gastro-intestinales. Les germes de *Staphylococcus aureus* présumés retrouvés dans les eaux de l'Ouémé supérieur ne respectent pas les normes de recommandations de l'OMS (00 UFC/100 mL) et de MSP (00 UFC/100 mL). Par conséquent, ces eaux ne sont pas acceptables dans les utilisations quotidiennes. Les résultats des analyses microbiologiques des eaux de l'Ouémé supérieur montrent que la totalité des échantillons prélevés sont pollués par la présence des coliformes totaux, des coliformes thermotolérants, les *Escherichia coli*, les Entérocoques fécaux et les *Staphylococcus aureus* présumés. La pollution anthropique de l'Ouémé supérieur est liée aux rejets des ordures ménagères, de la baignade, de la lessive, du lessivage des champs agricoles et des apports des polluants venus de l'amont en l'aval et dans la zone de reconstitution.

V. CONCLUSION

Il ressort de la présente étude que les eaux de l'Ouémé supérieur sont troubles et polluées par les germes de contaminations fécale (Coliformes totaux, Coliformes thermotolérants, *Escherichia coli*, Entérocoques fécaux et les *Staphylococcus aureus* présumés). Cela s'explique par la présence de ces germes microbiologiques dans les différentes stations de prélèvements. Donc, dans la totalité des cas, les eaux de l'Ouémé supérieur ne répondent pas aux normes de l'OMS et du MSP au Bénin. En outre, l'Analyse Factorielle en Correspondance (AFC) a permis de conclure que les charges des Coliformes totaux et des *Staphylococcus aureus* présumés sont élevées à Okpara et Affon. Les charges des Entérocoques fécaux sont élevées à Adjirou et enfin les charges des *Escherichia coli* et des Coliformes thermotolérants sont beaucoup plus élevées à Téro. Nous recommandons pour une meilleure gestion des ressources hydrologiques du fleuve Ouémé au Bénin :

- De compléter par une étude hydrochimique et toxicologique.
- D'élargir l'éventail de recherche des germes d'intérêt sanitaire, en instaurant un protocole de suivi continu de ces eaux pour assurer la santé des consommateurs.
- D'instaurer un suivi systématique et continu qui permet une intervention rapide en cas de contamination sévère de l'eau.

REFERENCES

- [1] Abahi, K. S., Gnohossou, P., Akodogbo, H. H., Orou Piami, Z., Adje, D., Tchaou, C., & Okoya, J. 2018. Structure et diversité des macroinvertébrés benthiques de la partie supérieure du fleuve Ouémé au Bénin. *Afrique Science: Revue internationale des sciences et technologie* 14: 259-270.
- [2] Adjagodo, A., Ayi-fanou, L., Kelome, N. C., Tchibozo, M. A. D., Dovonou, F., & Amoussou, A. R. K. 2018. Qualité de l'eau du fleuve Ouémé au cours de la période de hautes eaux de 2016 dans la Commune des Aguégus au Sud du Bénin. *Afrique SCIENCE* 14(2): 100-111.
- [3] Adjagodo, A., Kelomè, N. C., Vissin, E. W., & Agbossou, E. 2017. Pollution Physique Et Bactériologique De L'eau Du Fleuve Dans La Basse Vallée De L'ouémé Pendant Les Périodes De Basses Et Hautes Eaux Au Bénin. *European Scientific Journal, ESJ* 13(33): 167-186.
- [4] Adjahouinou, D. C., Yehouenou, B., Liady, M. N., & Fiogbé, E. D. 2014. Caractérisation bactériologique des eaux résiduaires brutes de la ville de Cotonou (Bénin). *Journal of Applied Biosciences* 78(1): 6705-6713.
- [5] Ahoussi, K. E., Koffi, Y. B., Kouassi, A. M., Soro, G., Soro, N., & Biémi, J. 2012. Étude des caractéristiques chimiques et microbiologiques des ressources en eau du bassin versant du N'zi : Cas de la commune de N'zianouan (Sud de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 6(4): 1854-1873.
- [6] Chouti, W. K., & Hounkpèvi, E. 2018. Qualités chimique et bactériologique des eaux du fleuve Mono, sud-ouest Bénin. *Afrique SCIENCE* 14(5): 23-32.
- [7] Djegbe, I., Tamou-Tabé, T. S., Topanou, N., Soglo, F. M., Paraiso, A., Djouaka, R., & Kelome, C. N. 2018. Variation saisonnière de la qualité physicochimique et microbiologique des eaux d'irrigation et des légumes du site maraîcher de Bawéra et risques sanitaires associés. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 12(2): 781-795.
- [8] Dovonou, F. E., Alladassivo, E. M., Koukpo, J. M., Sintondji, L., & Yalo, N. 2022. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau du lac Azili dans la commune de Zangnanado au centre du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 16(2): 867-877.
- [9] George, I., Servais, P. 2002. Sources et dynamique des coliformes dans le bassin de la Seine. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, France 46 p.
- [10] Harrat, N., & Achour, S. 2010. Pollution physico-chimique des eaux de Barrage de la région d'El Tarf. Impact sur la chloration. *LARHYSS Journal* ISSN 8: 47-54.
- [11] Hébert, S., Légaré, S. 2000. *Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, Québec, envirodoq No ENV-2001-0141, rapport N° QE-123: 24 p.

- [12] Hounsou, M., Agbossou, E., Ahamide, B., & Akponikpe, I. 2010. Qualité bactériologique de l'eau du bassin de l'Ouémé : Cas des coliformes totaux et fécaux dans les retenues d'eau de l'Okpara, de Djougou et de Savalou au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 4(2): 377-390.
- [13] Hounsounou, E. O., Agassounon Djikpo Tchibozo, M., Ayi-Fanou, L., & Agbossou, E. 2017a. Chaîne de l'eau du réseau public dans quelques quartiers précaires du sixième arrondissement de Cotonou-Bénin. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement* 17(3):1-18.
- [14] Hounsounou, E. O., Tchibozo, M. A. D., Lucie, A. Y. I., Kelome, N. C., Vissin, E. W., Vlavonou-Zannou, M., Mensah, G. A., & Agbossou, E. 2017b. Indicateurs de pollution bactériologique des eaux de puits à usages domestiques et risques sanitaires dans le sixième arrondissement de Cotonou au Sud-Bénin. *Afrique SCIENCE* 13(3): 425-434.
- [15] Koudenoukpo, Z. C., Chikou, A., Adandedjan, D., Hazoume, R., Youssao, I., Mensah, G. A., & Laleye, A. P. 2017. Caractérisation physico-chimique d'un système lotique en région tropicale : La rivière Sô au Sud-Bénin, Afrique de l'Ouest. *Journal of Applied Biosciences* 113(1): 11111-11122.
- [16] Merhabi, F., Amine, H., & Halwani, J. (2019). Evaluation de la qualité des eaux de surface de la rivière Kadicha. *Journal Scientifique Libanais* 20(1): 10-34.
- [17] Mwanza, P. B., Katond, J. P., & Hanocq, P. 2019. Evaluation de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux de puits dans le quartier spontané de Luwuwoshi (RD Congo). *Tropicultura*.
- [18] Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 2006. Livestock's Long Shadow.
- [19] PANA. 2007. Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques du Benin (PANA-Bénin).
- [20] Pazou, E. Y. A., Azocli, D., Hinson, A. V., Assogba, B., Avoce, H., & Hozanhekpon, E. 2018. Etude de la qualité des eaux consommées dans la commune d'Adjohoun au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 12(4): 1920-1930.
- [21] Saïnou, J. E., Béhanzin, P., Mariano, S., & Johnson, F. I. 2019. Study of the physico-chemical and bacteriological quality of drinking water in the municipality of Toffo in Benin : Case of Sèhouè. *Journal of Applied Science and Environmental Studies* 2(3): 2-3.
- [22] Wheal, C. (1991). Freshwater pollution. Nairobi. United Nations Environment Programme. UNEP/GEMS Environment Library. Montréal, Canada 6: 36 p.