

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTE DES SCIENCES
FACULTY OF SCIENCE

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES
DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY
LABORATOIRE D'HYDROBIOLOGIE ET ENVIRONNEMENT
LABORATORY OF HYDROBIOLOGY AND ENVIRONMENT

**Abondance relative des bactéries
Salmonella typhi, *Escherichia coli* et
Vibrio cholerae dans les eaux d'arrosage
de quelques bas-fonds de Yaoundé 7**

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de
Master en Biologie des Organismes Animaux
Option : Hydrobiologie et Environnement

Par

DJOUFFO MAKOUGOM Belviane
Matricule : 19w2883
Licenciée ès-Sciences

Sous la direction de
MOUNGANG LUCIANE MARLYSE
Chargée de Cours



ANNEE 2022

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	iii
REMERCIEMENTS	iv
LISTE DES ABBREVIATIONS ET ACRONYMES	v
LISTE DE FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
RESUME.....	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : REVUE DE LITTÉRATURE	3
I-1- Généralités sur les milieux aquatiques.....	3
I-1-1- Eaux superficielles.....	3
I-1-2- Eaux souterraines.....	3
I-1-3- Importance des hydrosystèmes	4
I-2- Pollution des milieux aquatiques	4
I-2-1- Pollution physique	4
I-2-2- Pollution chimique.....	4
I-2-3- Pollution biologique.....	5
I-3- Généralités sur les bas-fonds	5
I-3-1- Définition et caractéristique des bas-fonds.....	5
I-3-2-Atouts des bas-fonds.....	6
I-4- Généralités sur les bactéries	6
I-4-1- Généralités sur la bactérie <i>Salmonella typhi</i>	6
I-4-2- Généralités sur la bactérie <i>Escherichia coli</i>	7
I-4-3- Généralités sur la bactérie <i>Vibrio cholerae</i>	9
I-5- Quelques facteurs influençant la qualité microbiologique des cours d'eau.....	10
I-5-1- Facteurs abiotiques	10
I-5-2- Facteurs biotiques	12
I-5-3- Critère d'appréciation de la qualité des eaux.....	12
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....	14
II-1- Matériel.....	14

II-1-1- Présentation de la zone d'étude	14
II-1-2- Choix et description des sites d'échantillonnage	14
II-1-2-3- Description des stations d'étude	15
II-1-4- Choix des bactéries.....	17
II-2- Méthodes	17
II-2-1- Echantillonnage de l'eau	17
II-2-2- Analyses physico-chimiques	17
II-2-3- Analyses bactériologiques	19
II-2-4- Analyse des données	22
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	24
III.1- Présentation des résultats.....	24
III.1.1- Paramètres physicochimiques.....	24
III.1.2- Qualité microbiologique des eaux prélevées	28
III.1.3- Corrélations entre les paramètres étudiés	32
III.1.4- Comparaison entre différentes variables pendant la période d'étude.....	33
III.1.5- Affinités entre paramètres biologiques et physico-chimiques (ACP)	34
III.2- Discussion.....	35
III.2.1- Caractéristique physico-chimiques des eaux analysées.....	35
III.2.2Caractéristiques biologiques des eaux analysées	37
III.2.3- Liaisons entre les paramètres physico-chimiques et biologiques évalués	38
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	39
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	39
ANNEXES	39

DEDICACES

À la mémoire de mon feu père **Djouffo Kweda Mathieu** et mon feu grand frère
Djouffo Sogui Sostel

REMERCIEMENTS

Je remercie le **Seigneur** pour toutes les grâces qu'il m'a accordée tout au long de mes études et précisément lors de la réalisation de ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude au **Pr Moïse Nola**, chef du laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, pour m'avoir accepté dans son équipe de recherche. Je tiens à remercier le **Dr Luciane Marlyse MOUNGANG**, pour avoir accepté de diriger ce travail. Je la remercie également pour ses différentes contributions à la réalisation dudit travail, notamment ses précieux conseils et encouragements ainsi que les critiques et suggestions apportées.

Mes remerciements vont à l'endroit de tous les enseignants du Département de Biologie et Physiologie Animales en général, pour la formation reçue, les connaissances scientifiques et les conseils acquis à leurs côtés et en particulier ceux du laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit de tous les aînés du laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement en particulier le **Docteur Claire Stéphane METSOPKENG**, **Awawou MANOUORE NJOYA**, **Yves POUTOUM**, **Aurélien MESSOE**, **Samuel BALENG**, **Paul-Bertrand SOB**, **Patrick MOANONO**, **Cécile BOUDEM**, **Wilfried BETSI**, **Pélagie LADIBE**, **Bolivar NDOURWE**, **Golda ZAME MEVA'A**, **Aurélié DZENGA**, **Yannick NZOMBI** pour leur conseil et assistance sur le terrain comme au laboratoire.

Toute ma gratitude à mes camarades de laboratoire **Jessica NDAMBETH**, **Sandra TALLA**, **Ornel KADJI**, **Stéphanie SINGO**, **JAMES TAYA**, **Nathaniel LACTIO**, **LOREINE KENGNE**, **AMELI KENNE**, pour leur assistance, leur disponibilité et l'esprit d'équipe dont ils ont fait part tout au long de ce travail.

Je remercie ma maman Mme **DJOUFFO FLORISSETTE**, ma famille et mes amis pour leur soutien permanent.

Enfin, que tous ceux qui, de près ou de loin m'ont apporté une aide quelconque trouvent ici l'expression de mes sincères remerciements.

LISTE DES ABBREVIATIONS ET ACRONYMES

ACP	: Analyse en Composante Principale
APHA	: <i>American Public Health Agency</i>
BHAM	: Bactéries Hétérotrophes Aérobie Mésophiles
CEAEQ	: Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec
CRAAQ	: Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec
CREPA	: Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement
CT	: Toxine Cholérique
FAO	: Food and Agriculture Organisation
INRA	: Institut National de la Recherche Agronomique
MES	: Matières En Suspension
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
ONU	: Organisation des Nations Unies
TCBS	: Thiosulfate Citrate Bile Saccharose
TDS	: Total Dissolved Solids
PCA	: <i>Plate Count Agar</i>
pH	: Potentiel d'Hydrogène
Pt.Co	: Platinium Cobalt
SPSS	: <i>Statistical Package for Social Sciencies</i>
UC	: Unité Conventiionnelle
UFC	: Unité Formant Colonie

LISTE DE FIGURES

Figure 1: Exemple de coupe transversale d'un vallon.....	6
Figure 2: Cellules de <i>Salmonella typhi</i> observées au microscope électronique à balayage.....	7
Figure 3: Photographie au microscope électronique à balayage de trois cellules d' <i>Escherichia coli</i>	8
Figure 4: <i>Vibrio cholerae</i> vue au microscope électronique (x10 000).....	10
Figure 5: Positions géographiques des stations d'échantillonnage dans l'arrondissement de Yaoundé VII	15
Figure 6: Photographie des stations d'échantillonnages des eaux d'arrosages étudiées	17
Figure 7: Variations spatio-temporelles des paramètres physiques mesurés pendant la période d'étude au niveau des bas-fonds	25
Figure 8: Variations spatio-temporelles des paramètres chimiques mesurés pendant la période d'étude	27
Figure 9: Photographie des colonies de bactéries isolées pendant l'étude.....	28
Figure 10: Répartition quantitative des espèces <i>Escherichia coli</i> , <i>Vibrio cholerae</i> et <i>Salmonella</i> <i>typhi</i> isolées des bas-fonds de Yaoundé VII pendant la période d'étude.	30
Figure 11 : Variation temporelle (A) et spatiale (B) de l'abondance totale des espèces <i>Escherichia</i> <i>coli</i> , <i>Vibrio cholerae</i> et <i>Salmonella typhi</i> isolées des bas-fonds de Yaoundé VII pendant la période d'étude.	30
Figure 12: Variations spatio-temporelles des abondances des BHAH, <i>E. coli</i> , <i>V. cholerae</i> et <i>S.</i> <i>typhi</i> mesurées pendant la période d'étude au niveau des bas-fonds.....	32
Figure 13: ACP regroupant les affinités entre les abondances bactériennes et les paramètres physico-chimiques.	34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Normes de qualité des eaux destinées à la consommation humaine	13
Tableau II: Coordonnées géographiques GPS (Global Positioning System) des points choisis à Yaoundé VII.	16
Tableau III: Tests d'identification réalisés sur les souches d' <i>Escherichia coli</i> , <i>Vibrio cholerae</i> et <i>Salmonella typhi</i>	29
Tableau IV: Abondances relative (%) et absolue des espèces <i>S. typhi</i> , <i>E. coli</i> et <i>V. cholerae</i> en fonction des stations pendant toute la période d'étude.....	31
Tableau V: Corrélations entre variables bactériologiques et physico-chimiques dans les bas-fonds étudiés.....	33

RESUME

Une étude visant à évaluer l'abondance relative des bactéries *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* et *Salmonella typhi* dans les eaux d'arrosage a été réalisée dans quelques bas-fonds de la ville de Yaoundé plus précisément l'arrondissement de Yaoundé VII pendant la période de Janvier à Juillet 2021. Hors mis les bactéries précitées, les bactéries hétérotrophes aérobies mésophiles (BHAM) ont également été isolées et dénombrées. Les germes ont été isolés par la technique d'étalement en surface sur boîte de Pétri sur milieux PCA (*Plate Count Agar*), TCBS, Endo (Thiosulfate Citrate Bile Saccharose) et Wilson Blair respectivement pour les BHAM, *Vibrio Cholerae*, *Escherichia coli* et *Salmonella typhi*. Les espèces isolées ont été identifiées par les méthodes standards. Quelques paramètres abiotiques ont été mesurés suivant les techniques analytiques usuelles. Il en ressort que les eaux analysées sont acides, peu minéralisées avec une température peu variable ; elles sont également riches en matières organique avec une sous saturation en oxygène.

Les analyses bactériologiques ont révélé la présence d'une abondance de microflore bactérienne. Cette microflore comprend entre autre *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* et *Salmonella typhi* qui sont des bactéries pathogènes responsables de diarrhées, choléra et fièvre typhoïde, respectivement.

Les densités moyennes des abondances d'*Escherichia coli*, *Salmonella typhi* et *Vibrio cholerae* ont été de $3,36 \pm 1,40$ log (UFC/100 mL) ; $3,83 \pm 0,39$ log (UFC/100 mL) et $2,22 \pm 0,29$ log (UFC/100 ml) respectivement. Les moyennes des abondances de BHAM en log (UFC/100 mL) ont été de $5,86 \pm 0,36$. La conductivité électrique, la couleur, les MES, l'O₂ dissous, le CO₂ dissous, le PO₄³⁻ et le NO₃⁻ ont influencé la distribution des bactéries isolées. La présence de ces germes pathogènes montre que les eaux analysées sont polluées. Sans aucun traitement, ces eaux ne sont pas recommandables pour l'irrigation selon les normes de la FAO (Food and Agriculture Organisation).

Mots clés : Abondance, Bas-fonds, Bactéries, espèces, irrigation

ABSTRACT

A study aimed at evaluating the relative abundance of *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* and *Salmonella typhi* bacteria in irrigation water was carried out in some lowlands of the city of Yaoundé, more precisely the district of Yaoundé VII during the period of January to July 2021. Apart from the bacteria mentioned above, heterotrophic aerobic mesophilic bacteria (BHAM) were also isolated and counted. The germs were isolated by the surface spreading technique on a Petri dish on PCA (Plate Count Agar), TCBS, Endo (Thiosulfate Citrate Bile Sucrose) and Wilson Blair media respectively for BHAM, *Vibrio Cholerae*, *Escherichia coli* and *Salmonella typhi*. The isolated species were identified by standard methods. Some abiotic parameters were measured using the usual analytical techniques. It emerges that the analyzed waters are acidic, not very mineralized with a little variable temperature; they are also rich in organic matter with oxygen under saturation. Bacteriological analyzes revealed the presence of an abundance of bacterial microflora. This microflora includes among others *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* and *Salmonella typhi* which are pathogenic bacteria responsible for diarrhoea, cholera and typhoid fever respectively. The mean abundance densities of *Escherichia coli*, *Salmonella typhi* and *Vibrio cholerae* were 3.36 ± 1.40 log (CFU/100 mL); 3.83 ± 0.39 log (CFU/100 mL) and 2.22 ± 0.29 log (CFU/100 mL) respectively. Mean abundance of BHAMs in log (CFU/100mL) were 5.86 ± 0.36 . Electrical conductivity, color, SS, dissolved O₂, dissolved CO₂, PO₄³⁻ and NO₃⁻ influenced the distribution of isolated bacteria. The presence of these pathogenic germs shows that the water analyzed is polluted. Without any treatment, these waters are not recommended for irrigation according to the standards of the FAO (Food and Agriculture Organization).

Keywords: Abundance, Lowlands, Bacteria, Species, Irrigation

INTRODUCTION

Les maladies hydriques sont largement répandues dans le monde et constituent un véritable problème de santé publique. La morbidité et la mortalité liées à ces maladies touchent aussi bien les pays en voie d'émergence que ceux développés (Newell *et al.*, 2010). L'Organisation Mondiale de la Santé estime à 2,3 milliards le nombre d'individus affectés chaque année par les maladies hydriques dans le monde et à 1,8 millions le nombre de décès dont 90% sont des enfants de moins de 5 ans, ceci principalement dans les pays en voie d'émergence (OMS, 2006).

L'un des facteurs majeurs influençant la prévalence de ces maladies est la consommation des légumes et fruits contaminés, mal lavés ou mal cuits (Ntangmo Tsafack *et al.*, 2019). En effet, de nombreuses études à travers le monde ont établi le lien entre la mauvaise qualité sanitaire des légumes consommés et les maladies hydriques (Ferguson *et al.*, 2013). Or ces légumes sont considérés comme une composante importante d'une alimentation saine et équilibrée en raison de leur richesse en micronutriments ainsi que leur capacité à prévenir certaines maladies chroniques notamment les maladies cardiovasculaires. Mais leur état frais constitue un abri propice à la survie des agents pathogènes (Simões *et al.*, 2001). La dernière décennie est marquée par une croissance rapide des populations des villes des pays en développement (Nations unies, 2015). Selon un rapport de l'ONU (2007) portant sur l'urbanisation en 1950, 30% de la population mondiale vivait en ville, 50% y vivait en 2007 et 60% y vivra d'ici 2030. Cette explosion démographique et l'urbanisation poussée soumettent les populations à des difficultés relatives à l'approvisionnement en produits alimentaires frais et à la disponibilité des terres exploitables (Bremner *et al.*, 2012). L'agriculture périurbaine représente l'opportunité d'assurer la sécurité alimentaire, les conditions de santé, l'économie locale et l'intégration sociale des jeunes gens (Orsini *et al.*, 2013). Pour ce fait, la colonisation des bas-fonds marécageux à des fins agricoles avec une nette prédominance du maraîchage semble assez marquée (Kouam *et al.*, 2010).

Malgré ces différents atouts qui militent en faveur de la valorisation du maraîchage, ce dernier tel que pratiqué dans les bas-fonds est un sujet à caution au regard de la qualité des eaux d'arrosage et des produits maraîchers issus (N'diaye *et al.*, 2010). En effet les bas-fonds marécageux sont des réceptacles des déchets produits dans la ville (Kouam *et al.*, 2010). Une étude mondiale sur la pratique de l'irrigation par les eaux usées révèle que, les eaux des égouts souvent non traitées sont utilisées pour la production de 10% des récoltes dans le monde surtout dans les zones urbaines. Ceux-ci constituent un moyen de subsistance et génèrent des revenus considérables en agriculture urbaine et périurbaine, malgré les risques sanitaires et

environnementaux liés à l'usage des eaux usées en irrigation (N'diaye *et al.*, 2010). La réutilisation des eaux usées non traitées dans l'irrigation assure pour les plantes une source de nutriments, ce qui permet de réduire l'achat de fertilisants et de matières organiques. Mais elle pose de sérieux risques pour la santé car ces eaux usées non traitées représentent un facteur véhiculant des microorganismes pathogènes et des substances chimiques dangereuses pour l'organisme humain (Condom *et al.*, 2016).

Au Cameroun, de nombreuses recherches ont été effectuées dans les bas-fonds marécageux mais les principaux objectifs visaient à valoriser ces derniers ; c'est le cas par exemple des travaux menés par Nguegang *et al.*, (2005) qui ont consisté à montrer les enjeux et potentialité de l'agriculture urbaine et péri-urbaine dans certains bas-fonds de la ville de Yaoundé. Cependant, il existe peu de données disponibles en ce qui concerne la qualité microbiologique et physico-chimique des eaux utilisées dans ces bas-fonds pour l'arrosage des produits alimentaires frais (légumes). C'est dans cette optique que le présent travail vise à évaluer la qualité microbiologique et physico-chimique des eaux d'arrosage des bas-fonds de Yaoundé VII. Spécifiquement, il s'agit :

- ✓ d'étudier la variation des paramètres physico-chimiques de quelques points d'échantillonnage dans l'arrondissement de Yaoundé VII ;
- ✓ d'isoler et dénombrer les bactéries *Salmonella typhi*, *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* et les Bactéries Hétérotrophes Aérobie Mésophile ;
- ✓ d'identifier les bactéries *Salmonella typhi*, *Escherichia coli* et *Vibrio cholerae*
- ✓ d'analyser l'importance des variables abiotiques sur la distribution et l'abondance de ces espèces bactériennes.

Ce mémoire est divisé en trois chapitres. Le premier chapitre traite de la revue de la littérature. Le deuxième chapitre présente le matériel et les méthodes utilisés. Le troisième et dernier chapitre présente les principaux résultats obtenus, leur interprétation et leur discussion. Une conclusion, quelques recommandations et perspectives qui en découlent, clôturent ce mémoire.

CHAPITRE I : REVUE DE LITTÉRATURE

I-1- Généralités sur les milieux aquatiques

On estime à 1360 millions de km³ le volume d'eau accumulé sur la terre, dont 99,5% se trouvent sous forme salée ou glacée, et 0,5% seulement (soit environ 7 millions de km³) sert d'eau utile à la survie de la surface de la terre. Les milieux aquatiques jouent un rôle capital pour les êtres vivants. Les ressources en eau sont subdivisées en deux grands groupes : les eaux souterraines et les eaux de surfaces (Allan, 2004).

I-1-1- Eaux superficielles

Les eaux de surface, également appelées eaux superficielles, sont constituées par opposition aux eaux souterraines de l'ensemble des masses d'eaux courantes ou stagnantes, douces, saumâtres ou salées qui sont en contact direct avec l'atmosphère. Rencontrées à la surface de la terre, on les subdivise en milieux lenticques et lotiques (Koller, 2004).

- Les milieux lenticques représentent 1,4% des ressources en eau douce disponible sur la Terre et sont caractérisés par un courant presque inexistant. Ce sont des systèmes qui prennent des formes très diverses, allant d'une petite collection d'eau temporaire de quelque centimètre à plusieurs mètres de profondeur. Il s'agit des lacs, flaques, étangs et marais (Tachet *et al.*, 2006).

- Les milieux lotiques sont ceux alimentés par les eaux de sources, les nappes phréatiques et les eaux de ruissellements. Ils présentent des formes diverses, allant des ruisselets dont la largeur du lit est inférieure à 1 mètre, aux fleuves de largeur supérieure à 25 mètres (Allan, 2004). Il s'agit des rivières, cours d'eau, ruisseaux bref l'ensemble des eaux continentales s'écoulant à une vitesse plus ou moins grande (Vilaginès, 2003).

I-1-2- Eaux souterraines

Elles sont formées par la percolation de l'eau de pluie et de ruissellement à travers les sols et les roches. Elles jouent un rôle crucial dans diverses activités de l'Homme, étant donné qu'elles fournissent la quasi-totalité des ressources en eau à usage domestique, agricole et industriel (Ramsar, 2010). Elles se divisent en deux grands groupes : les nappes libres ou phréatiques dont le niveau piézométrique, peu profond s'établit uniquement en fonction de la perméabilité du terrain qu'elle traverse ; ce sont les nappes d'eaux souterraines les plus exposées aux pollutions. Les nappes captives ou géologiques, qui sont les plus profondes et emprisonnées entre deux couches de terrains imperméables, sont à l'abri de toute pollution d'origine superficielle et dont le volume des eaux présentes varie peu (Vilaginès, 2003).

I-1-3- Importance des hydrosystèmes

L'eau est une ressource incontournable, elle est d'une importance capitale pour l'entretien de la vie (des plantes, des animaux et des Hommes) sur terre. Elle est indispensable pour l'Homme tant pour les besoins alimentaires que pour divers autres usages (agricoles, industriels, etc.) (Neuveu *et al.*, 2001).

L'eau douce est une denrée rare dans de nombreuses régions du monde. La croissance démographique est l'une des raisons qui favorise la rareté de cette denrée (OMS, 2006). Les eaux usées représentent environ 99% de l'eau (OMS, 2006). Une grande proportion de légumes vendus dans la plupart des villes, en particulier dans les pays en développement sont produits par les eaux usées (Pay, 2011). Par exemple, Mamadou lamine (2009) ont rapporté qu'à Dakar, au Sénégal, plus de 60% des légumes consommés en ville sont cultivés avec des eaux usées non traitées provenant des marécages.

I-2- Pollution des milieux aquatiques

Les eaux d'alimentation qu'elles soient superficielles ou souterraines, sont soumises à diverses formes de pollution qui peuvent, affecter à la fois leur qualité physico-chimique et biologique. La pollution des eaux peut être classée suivant son origine, sa nature et l'ampleur de ses effets sur la biocénose. Les hydrosystèmes constituent les réceptacles terminaux des polluants déversés dans l'environnement et sont particulièrement affectés par ce phénomène. Ces divers polluants sont transportés jusqu'à eux par des phénomènes de ruissellement, de drainage ou encore d'infiltration. En fonction de la nature des polluants, on distingue trois grands types de pollution des eaux. (Moussa, 2014).

I-2-1- Pollution physique

La pollution physique est matérialisée par des changements de l'eau. Il s'agit par exemple des variations de la charge des matières en suspension, de la température de l'eau, la transparence, la couleur et bien d'autres (Rodier *et al.*, 2009).

I-2-2- Pollution chimique

La pollution chimique est causée par les déchets minéraux et organiques et peut être ponctuelle ou diffuse. Dans un milieu aquatique, elle est souvent attestée par la mesure du pH et de la conductivité électrique (Moussa, 2014). Le pH des eaux varie avec la nature du sol traversé et de l'activité des microorganismes présents. Les teneurs élevées en orthophosphates, en ion ammonium, nitrates et MES dans les eaux superficielles indiquent une pollution conséquente

(Tamsa Arfao *et al.*, 2021). La pollution minérale concerne des substances non naturelles (pesticides, détergents, métaux lourds), dont la toxicité est immédiate ou différée après accumulation dans les tissus des organismes vivants ; ou des éléments que l'on retrouve dans la nature à des concentrations très faibles (sulfate, dérivés d'azote et de phosphore) (Ndjama *et al.*, 2011). La pollution organique quant à elle se présente sous forme solide, dissoute ou colloïdale, elle est surtout d'origine humaine et agro-alimentaire (Rodier *et al.*, 2009).

I-2-3- Pollution biologique

Les agents responsables ici sont les bactéries, les virus, les parasites entre autre (Moussa, 2014). L'essentiel de cette pollution est d'origine fécale, due aux déjections d'origine humaine et animale au travers des eaux usées plus ou moins bien maîtrisées aux plans techniques et sanitaires (Festy *et al.*, 2003). Les maladies hydriques sujettes à ce type de pollution sont entre autres l'amibiase, la giardiase, l'ascaridiase, l'ankylostomiase et surtout la typhoïde et le choléra qui causent de sérieux problèmes en santé publique (Ajeegah *et al.*, 2005)

I-3- Généralités sur les bas-fonds

I-3-1- Définition et caractéristique des bas-fonds

Lavigne *et al.*, (2000), ont défini les bas-fonds comme étant des têtes de réseaux hydrographiques constituant des milieux complexes, dont le fonctionnement physico-chimique est déterminé par les conditions hydriques. Cependant, plusieurs auteurs (Killian et Teisser, 1973 ; Ouedrago, 2019) ont donné différentes définitions aux bas-fonds, parmi lesquelles, celle de Raunet (1985) est la plus adoptée en Afrique. Cette définition indique que, les bas-fonds, en région intertropicales, sont les fonds plats ou concaves des vallons, petites vallées et gouttières d'écoulement inondable, qui constituent les axes de drainage élémentaire. Leurs sols sont engorgés ou submergés pendant une période plus ou moins longue de l'année par une nappe d'eau correspondant à des affleurements de nappes phréatiques et à des apports par ruissellement. La figure 1 représente un dessin de coupe transversale d'un vallon.

Selon Deville et Boucher (1996), les bas-fonds sont extrêmement variés, tant dans leur morphologie que dans leur fonctionnement hydrologique. Selon Lawson (2001) trois éléments caractérisent les bas-fonds : la végétation (constituée d'hydrophytes), le sol (hydromorphe), et l'hydrologie. Mais ils se caractérisent également par leur fonctionnement hydraulique qui, dépend du climat, de la topographie, de la structure du sol, du niveau de l'eau de surface et du drainage.

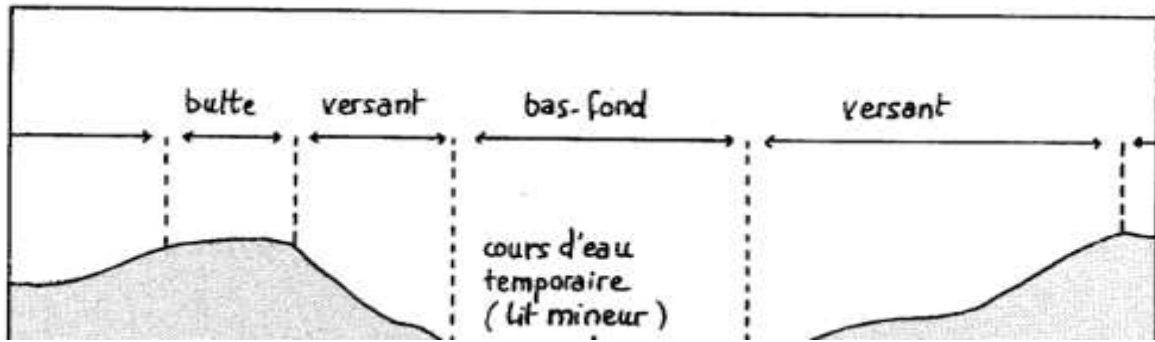


Figure 1: Exemple de coupe transversale d'un vallon (Bertin, 1988)

I-3-2-Atouts des bas-fonds

Les bas-fonds constituent un atout agricole et hydrologique important au niveau local et national et peuvent contribuer de manière significative à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté. Ce sont des milieux fertiles capables de porter des cultures de façon permanente ; ils abritent également de nombreux étangs piscicoles (Philippe Deville *et al.*, 1996).

Un autre atout des bas-fonds est relevé au niveau du dynamisme car, offre plusieurs perspectives d'emplois pour des jeunes et de nombreuses familles. Les revenus tirés de cette activité permettent aux exploitants des marécages de faire face aux besoins d'éducation, de santé, de nutrition, de l'unité familiale. Bien développer, cette activité peut s'intégrer dans une dynamique de lutte contre la pauvreté (Nguegang *et al.*, 2005)

I-4- Généralités sur les bactéries

I-4-1- Généralités sur la bactérie *Salmonella typhi*

I-4-1-1- Taxonomie

En 1880, Karl Eberth fut le premier à mettre en évidence une bactérie sous forme de bâtonnets (ou bacille), c'est pourquoi *Salmonella typhi* est également appelée Bacille d'Eberth et la maladie « infection éberthienne » (Deded., 2007).

Salmonella typhi, appartient au Genre *Salmonella* et à l'espèce *enterica*. Le genre *Salmonella* quant à lui appartient au règne des Procaryotes, embranchement des Protéobactéries, classe des Gamma Protéobactéries, ordre des Entérobactéries et famille des Enterobacteriaceae (CHU-PS, 2003).

I-4-1-2- Morphologie

Les salmonelles sont des entérobactéries, ce sont des bacilles droits de 0,6 à 1 µm de long sur 0,3 à 1 µm de large à coloration de Gram négative ; ce sont des bacilles Gram négatif, mobiles pour la plupart avec une ciliature péritriche (Pennec., *et al* 2003).

La figure 2 représente l'image de quelques cellules des bactéries *Salmonella typhi* observées au microscope électronique à balayage.



Figure 2: Cellules de *Salmonella typhi* observées au microscope électronique à balayage (Jubelin, 2005)

I-4-1-3- Pathogénicité et facteur de virulence

La fièvre typhoïde est provoquée par un sérovars de *Salmonella*, strictement humain, antigénétiquement distinct : *S. typhi*. Les *Salmonella* sont dites majeures en raison de la gravité de la pathologie qu'elles provoquent et sont ingérées avec une boisson ou un aliment contaminé. La dose infectante serait de l'ordre de 10⁵ bactéries (CHU-PS, 2003). Elles peuvent être à l'origine des hémorragies intestinales et des perforations. Il peut s'en suivre des infections purement digestives et les gastro-entérites. Celles-ci se traduisent par des diarrhées, des vomissements et de la fièvre chez le nouveau-né, le jeune enfant, le sujet âgé, l'immunodéprimé (CHU-PS, 2003).

I-4-2- Généralités sur la bactérie *Escherichia coli*

I-4-2-1- Taxonomie

La bactérie *Escherichia coli* a été décrite pour la première fois en 1885 par l'allemand Theodor Escherich. Le genre *Escherichia* est classé par Garrity *et al.*, (2005) dans le règne des

Procaryotes, phylum des Proteobacteria, classe des Gamma proteobacteria, ordre des entéro bactériales, famille des Enterobacteriaceae. Le genre *Escherichia* regroupe cinq espèces : *E. blattae*, *E. coli*, *E. fergusonii*, *E. hermanii* et *E. vulneris*.

I-4-2-2- Morphologie et caractères biochimiques

Le genre *Escherichia* est constitué de bacilles droits Gram négatif, de 2-3 μm de long et 0,4-0,6 μm de large ; Ces bacilles sont non sporulés, parfois capsulés, immobiles ou mobiles grâce à une ciliature péritriche (Bergan, 1984). La plupart des souches d'*E. coli* (environ 70%) ont des flagelles. (Le Minor et Richard, 1993).

Ce sont des bactéries aéro-anaérobies facultatives, qui se cultivent facilement entre 10 et 50°C avec un optimum à 37°C. Les caractères biochimiques les plus importants sont : gaz⁺, lactose⁺, mannitol⁺, sorbitol⁺, test ONGP⁺, indole⁺, citrate de Simmons⁻, Vp⁻, uréase⁻, désaminase oxydative⁻ (TDA⁻). La figure 3 représente une photographie en microscopie électronique à balayage de trois cellules d'*Escherichia coli*.



Figure 3: Photographie au microscope électronique à balayage de trois cellules d'*Escherichia coli* (Jubelin, 2005).

I-4-2-3- Pathogénicité et facteurs de virulence

Cette espèce ordinairement commensale du tube digestif est entéropathogène par l'expression de facteurs de virulence éventuellement acquis et/ou constitutifs. Un pathovar est un taxon d'un rang hiérarchique inférieur à la sous-espèce et caractérisé par son pouvoir pathogène (Tap, 2004). Certains sérotypes sont pathogènes et peuvent être associés à un ou plusieurs pathovars qui sont classés en fonction des signes cliniques engendrés. Il s'agit d'*E. coli* entéropathogène (EPEC) ; *E. coli* entéroadhérent ou aggrégant (EAEC) ; *E. coli*

entérohémorragique (EHEC) ; *E. coli* entérotoxigène (ETEC) et *E. coli* entéroinvasif (EIEC) (Tap, 2004).

La souche entéropathogène d'*E. coli* a été la première décrite comme responsable des diarrhées. Actuellement, les gastro-entérites dues à EPEC sévissent fréquemment dans de nombreux pays en voie d'émergence où elles pourraient représenter la première ou la seconde cause de diarrhées infantiles (Tap, 2004). La pathogénicité d'*E. coli* est souvent liée à la présence des plasmides. Ces structures génétiques extra chromosomiques codent pour la synthèse de diverses toxines et la formation de pili qui permettent aux bactéries d'adhérer aux cellules épithéliales (Reynauld, 2002).

I-4-3- Généralités sur la bactérie *Vibrio cholerae*

I-4-3-1-Taxonomie

Vibrio cholerae a été l'une des premières espèces du genre *Vibrio* à avoir été étudiée. Dès 1854, Filippo Pacini a étudié *Vibrio cholerae* l'agent étiologique du choléra, puis en 1883 le docteur Robert Koch a fait une étude plus poussée de cette bactérie (Fournier et Quilici, 2002). *Vibrio cholerae* est un bacille Gram négatif appartenant à l'embranchement des Protéobacteria, classe des Gammaprotéobacteria, ordre des Vibrionales, famille des Vibrionaceae.

I-4-3-2- Morphologie, et caractères biochimiques

Vibrio cholerae est une bactérie à bacilles Gram négatif, droit ou incurvé, d'un diamètre compris entre 0,5 et 0,8 μm et d'une longueur comprise entre 1,4 et 2,6 μm . Il présente habituellement une mobilité polaire due à un seul flagelle, mais certaines souches possédant plusieurs flagelles latéraux lorsqu'elles poussent sur un milieu solide (Bonhomme, 2003). La figure 4 est une image de la bactérie *Vibrio cholerae* vue au microscope électronique (Amicale-géologie 2001).

Vibrio cholerae est une bactérie mésophile, anaérobie facultative, chimio-organotrophe, qui peut utiliser le métabolisme respiratoire ou fermentatif (Holt *et al.*, 1994). Elles sont "oxydase positive", capables de réduire les nitrates en nitrites et elles fermentent le glucose sans formation de gaz, ce qui les différencie des *Pseudomonas* (Holt *et al.*, 2000).

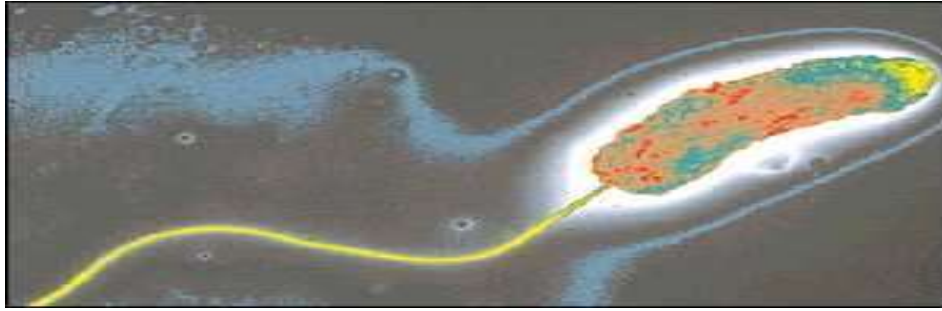


Figure 4: *Vibrio cholerae* vue au microscope électronique (x10 000) (Waldor et Raychaudhuri, 2000)

I-4-3-3- Pathogénicité et facteurs de virulence

Après ingestion, le vibriion cholérique s'implante dans la lumière de l'intestin grêle et se multiplie ; cette multiplication est favorisée par des facteurs tels que la dose infectante élevée (dose supérieure à 10^8 UFC) et la basse acidité gastrique (Blake, 1993). Le syndrome diarrhéique est dû à la sécrétion dans l'intestin grêle d'une exotoxine thermolabile : la toxine cholérique (CT), cela explique la fuite d'eau et des sels hors des tissus de l'hôte. *V. cholerae* produit aussi la mucinase, une enzyme permettant aux cellules d'adhérer à la muqueuse intestinale ; l'action combinée de la toxine et de la mucinase lui confie son pouvoir pathogène (Morris, 1985). Une fois la virulence atteinte, l'agent est responsable de la maladie appelée cholera, maladie strictement humaine (David olson., *et al* 2017). Caractérisée par une diarrhée considérable (selles en eau de riz avec un volume sensiblement égal à 1 litre par heure (Pierce *et al.*, 1969), cette diarrhée est accompagnée de vomissements pouvant aboutir à une déshydratation aiguë, à la mort si aucun traitement n'est administré quelques heures après les premiers symptômes. La période d'incubation de ce vibriion est de 6 heures à 5 jours (Gangarosa et Mosley, 1974).

I-5- Quelques facteurs influençant la qualité microbiologique des cours d'eau

I-5-1- Facteurs abiotiques

I-5-1-1- Température

La température est un facteur clé influençant la biologie et la distribution des espèces hydriques qui sont pour la plupart poïkilothermes (Giller et Malmavist, 1999). Dans ces systèmes, l'altitude et l'ensoleillement affectent la température qui, elle aussi, conditionne la solubilité des gaz et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques (Hecky, 2000).

I-5-1-2- Les matières en suspension (MES)

Les MES produisent une pollution mécanique de l'eau et augmentent la turbidité (Leynaud et Verrel, 1980). Pour chaque cours d'eau, la teneur en matières en suspension varie avec le type de bassin versant, la nature des terrains traversés, la saison et les apports éventuels des effluents (Rodier, 2009). Les teneurs élevées en MES perturbent la photosynthèse qui induit la diminution de la teneur en oxygène dissous et une perturbation de la vie aquatique (Zébazé Togouet, 2000).

I-5-1-3- Couleur

La couleur quant à elle est une variable liée à la dégradation esthétique de l'eau. La minéralisation, la présence de substances humiques et composés chimiques tels que les colorants et les pigments sont quelques causes (Rodier, 2009).

I-5-1-4- Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est l'un des premiers indicateurs d'une altération chimique de la qualité des eaux. Il varie avec la nature géologique du lit et du bassin versant, celle des apports d'effluents industriels et domestiques, mais aussi avec l'activité biologique (Jullian *et al.*, 2005).

I-5-1-5- Conductivité électrique.

La mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique, en d'autres termes la mesure indirecte de la teneur de cette eau en ions est la conductivité. Cette variable dépend de plusieurs facteurs, notamment la géologie du bassin versant, les apports d'eaux souterraines, la température de l'eau, l'évaporation, les variations de débit et les apports d'eaux contaminées (Zébazé Togouet *et al.*, 2005). D'une manière générale, la conductivité sera d'autant plus importante que la minéralisation sera élevée (CREPA, 2007).

I-5-1-6- Oxygène dissous (O₂)

L'oxygène dissous est une variable chimique dont la teneur possède une signification propre relative à la qualité biologique du support aqueux. Les conditions d'équilibre écologique normal exigent un minimum de saturation en oxygène de 75%, la situation devenant critique en deçà de 50% (Foto *et al.*, 2013). Rodier (2009), souligne que la teneur en oxygène dissous varie de façon subsidiaire avec celles en matières organiques fermentescibles, en hydrocarbures et en détergents, le nombre d'organismes et de germes aérobies.

I-5-1-7- Composés azotés

Dans les hydrosystèmes, l'azote se trouve sous formes azote organique, azote ammoniacal (NH_4^+), nitrites (NO_2^-), nitrates (NO_3^-), ou associée à d'autres composés. Dans la nature, l'azote provient du sol et de la minéralisation de la nécromasse. Toutefois, l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement de l'eau en cet élément par apport aux effluents urbains et industriels, rejets d'eaux usées domestiques, lessivage des sols agricoles fortement enrichis en engrais (Jullian *et al.*, 2005). D'après CEAEQ (2007), la teneur en NH_4^+ est très élevée dans les eaux riches en matières organiques lorsque le pourcentage de saturation en oxygène est insuffisant pour assurer sa transformation. Leur rémanence indique un état de pollution organique (Foto *et al.*, 2002).

I-5-1-8- Orthophosphates

Quant aux orthophosphates ou « phosphore réactif », ils représentent la forme de phosphate biodisponible dans les milieux aquatiques (CEAEQ, 2007). Dans les eaux naturelles, leur présence et leur teneur dépendent principalement de la nature du substratum géologique (Miquel, 2003). Les rejets d'eaux usées domestiques, industriels (détergents synthétiques) et agricoles (engrais phosphatés), permettent de justifier des concentrations élevées en orthophosphates observées dans certains cours d'eau (INRA, 2005). Le phosphore est un élément minéral nutritif essentiel pour les végétaux. Assimilé par les algues, il se transforme en phosphore organique sous l'influence de la photosynthèse. Au-delà de $20 \mu\text{g/L}$, cet élément est considéré comme un facteur déterminant de l'eutrophisation des plans d'eau (Rodier, 2009).

I-5-2- Facteurs biotiques

La pollution de l'eau est due à des micro-organismes d'origine fécale apparue très tôt dès que l'eau a été utilisée comme vecteur de l'élimination des déchets (George et Servais, 2002). Cependant, lorsque le milieu aquatique reçoit des rejets d'origine animale ou anthropique, le nombre et le type de bactéries présentes sont capables de rendre l'eau impropre à l'utilisation humaine (Hébert et Hégaré, 2000). Actuellement, la qualité des eaux est soumise à une forte pression exercée par l'accroissement de la population et par l'activité industrielle. Cette qualité est altérée notamment par l'utilisation excessive de produits agrochimiques, les rejets incontrôlés des industries et les déchets solides (Abu-Jawdeh *et al.*, 2000).

I-5-3- Critère d'appréciation de la qualité des eaux

La qualité physico-chimique et microbiologique d'une eau est généralement définie par des normes qui fixent les concentrations maximales pour certaines substances nocives

susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le tableau I résume les normes de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (OMS, 2000).

Tableau I: Normes de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (OMS, 2000)

Paramètres		Concentration maximale admissible
Paramètres Organoleptiques	Couleur	15Pt/Co
	Odeur	0 (à 25°C) taux de dilution 3
	Saveur	0 (à 25°C) taux de dilution 3
Paramètres physico-chimiques	Ph	$6,5 \leq \text{pH} \leq 9$
	Conductivité électrique	$180 \leq \text{conductivité} \leq 100 \mu\text{s/cm}$
	Sulfates	250mg/L
	Magnésium	50mg/L
	Sodium	200mg/L
	Potassium	12mg/L
Paramètres chimiques indésirables	Ammonium	0,5 mg/L
	Nitrates	50 mg/L
	Nitrites	0,1 mg/L
	Matières organiques	5 mg/L
	Manganèse	0,05 mg/L
Paramètres Microbiologiques	Germes aérobies revivifiables à 22°C	100UFC/ mL
	Coliformes totaux	20 UFC/100 mL
	Coliformes fécaux	0 UFC/100 mL
	Streptocoques fécaux	0 UFC/100 mL
	Bactéries sulfite-réductrices et les spores	0 UFC/50 MI
	Salmonelles	0 UFC/5 L
	Staphylocoques pathogènes	0 UFC/100 mL
	Autres bactéries fécales	0 UFC/50 MI

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II-1- Matériel

II-1-1- Présentation de la zone d'étude

Yaoundé VII est une commune d'arrondissement de Yaoundé, département du Mfoundi dans la région du Centre-Cameroun. Elle est située entre 3°50 et 3°55 de latitude Nord et entre 11°25 et 11°29 de longitude Est ; Avec une superficie de 3530 ha (35,3 km²) pour une population de 97997 habitants soit 2776 hab/km², le climat qui y règne est de type équatorial (Moussima Yaka *et al.*, 2020). Il est composé de quatre saisons inégalement réparties dans le temps comprenant :

- une grande saison sèche qui s'étend de mi-novembre à mi-mars ;
- une petite saison de pluies qui va de mi-mars à fin mai ;
- une petite saison sèche qui va de juin à août ;
- une grande saison de pluies qui va de septembre à mi-novembre (Suchel, 1987).

Le sol de type ferrallitique repose sur un complexe géologique d'âge précambrien (Kuété, 2000), d'où la forte acidité de ses sols avec un pH de 4,5 à 5,5 U.C. La végétation dominante est de type intertropical avec prédominance de la forêt humide méridionale (Wéthé *et al.*, 2003). Le réseau hydrographique très diversifié est constitué par des ruisseaux, des rivières, des lacs et des étangs. Les ruisseaux assez nombreux et d'importance variable se jettent dans les quatre principales rivières que sont la Mefou, l'Anga'a, le Mfoundi, et le Mfoulou (Nougang, 2012).

II-1-2- Choix et description des sites d'échantillonnage

II-1-2-1- Période d'étude

Notre étude a été menée dans l'arrondissement de Yaoundé VII en deux phases : la première phase de Novembre à Décembre 2020 a consisté à la prospection des sites d'échantillonnages et la deuxième phase allant de janvier à juin 2021 a consisté à l'échantillonnage des eaux pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques.

II-1-2-2- Choix des sites d'échantillonnage

Les points d'échantillonnage ont été choisis en fonction de :

- leur accessibilité ;
- la disponibilité d'eau en toutes saisons ;
- le désir de couvrir toute la zone d'étude
- La proximité d'une source de pollution.

A cet effet, six points ont été choisis (Oyom-Abang, Nkolbisson respectivement à Messebe, aux béatitudes, claritain, derrière l'université catholique et derrière le commissariat). La figure 5 représente la photographie des différents points d'échantillonnage.

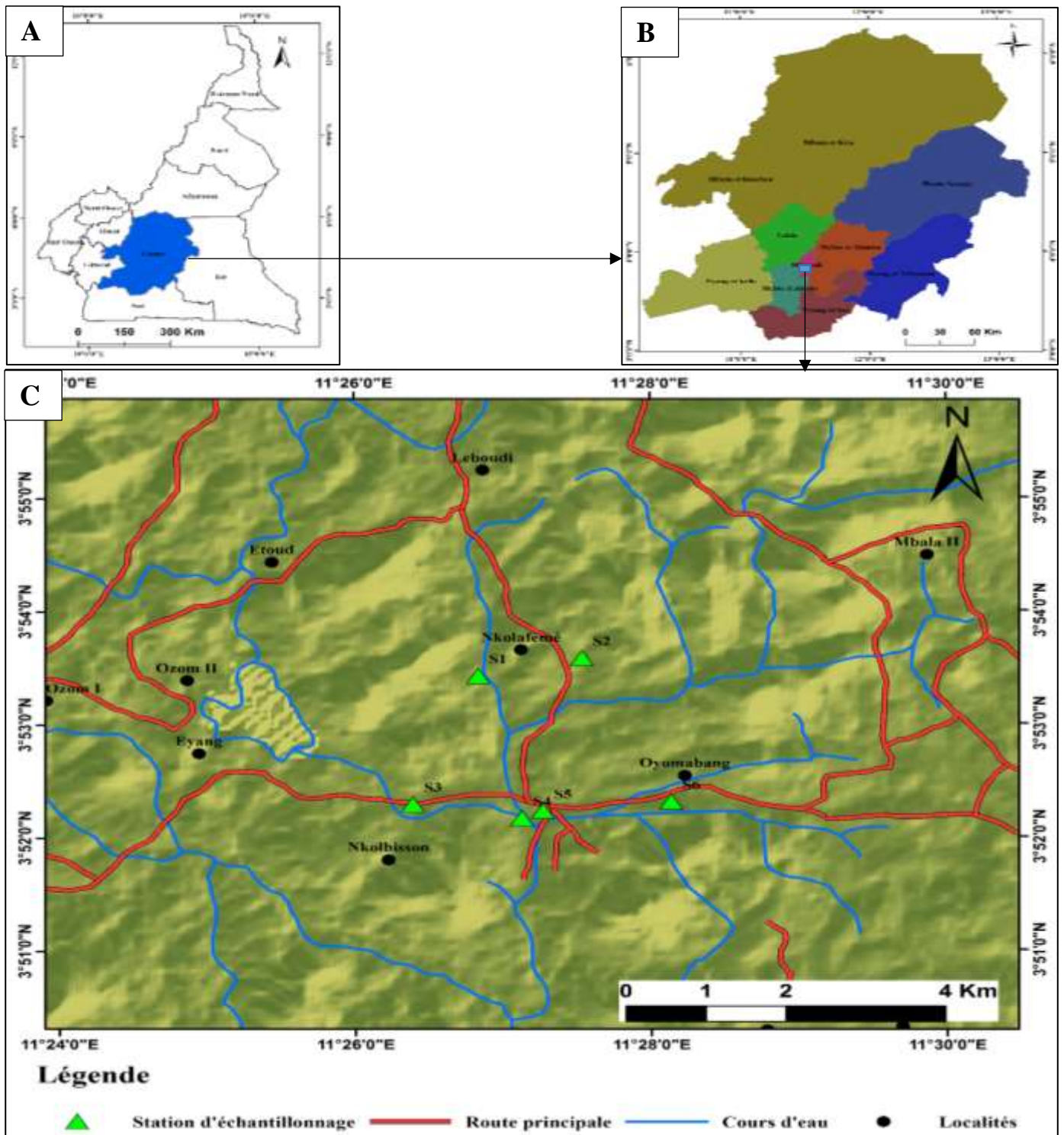


Figure 5: Positions géographiques des stations d'échantillonnage dans l'arrondissement de Yaoundé VII

La Figure 6 représente les stations d'eaux des bas-fonds analysées au cours de la période d'étude. Pour faciliter l'accès à l'eau certains cultivateurs ont creusé des sortes de petits puits (environ

90 centimètres de profondeur) où l'eau sortira directement du sol et servira à l'arrosage des cultures. D'autres par contre, exploiterons les cours d'eaux qui passent directement dans le champ. Ces eaux sont en général caractérisées par les pollutions diffuses (les déchets qui y sont drainés, les pesticides utilisés sur les cultures). Le tableau II ci-après résume les codes attribués à ces points, leurs coordonnées géographiques et leurs altitudes moyennes obtenues à l'aide d'un GPS de marque Garmin être $\times 20$.

Tableau II: Coordonnées géographiques GPS (Global Positioning System) des points choisis à Yaoundé VII.

Stations	Codes des stations	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)	Sources de pollution
Messebe	S1	03°53'37,5''	11°26'51,7''	711	Diffuse
Béatitudes	S2	03°53'35,1''	11°27'31,9''	717	Diffuse
Claritain	S3	03°52'17,6''	11°26'23,2''	702	Diffuse
UCAC	S4	03°52'10,2''	11°27'7,4''	695	Diffuse
Derrière le commissariat	S5	03°52'14,1''	11°27'15,9''	700	Principalement les déchets du marché
Oyom-Abang	S6	03°55'27,7''	11°27'38,6''	703	Diffuse

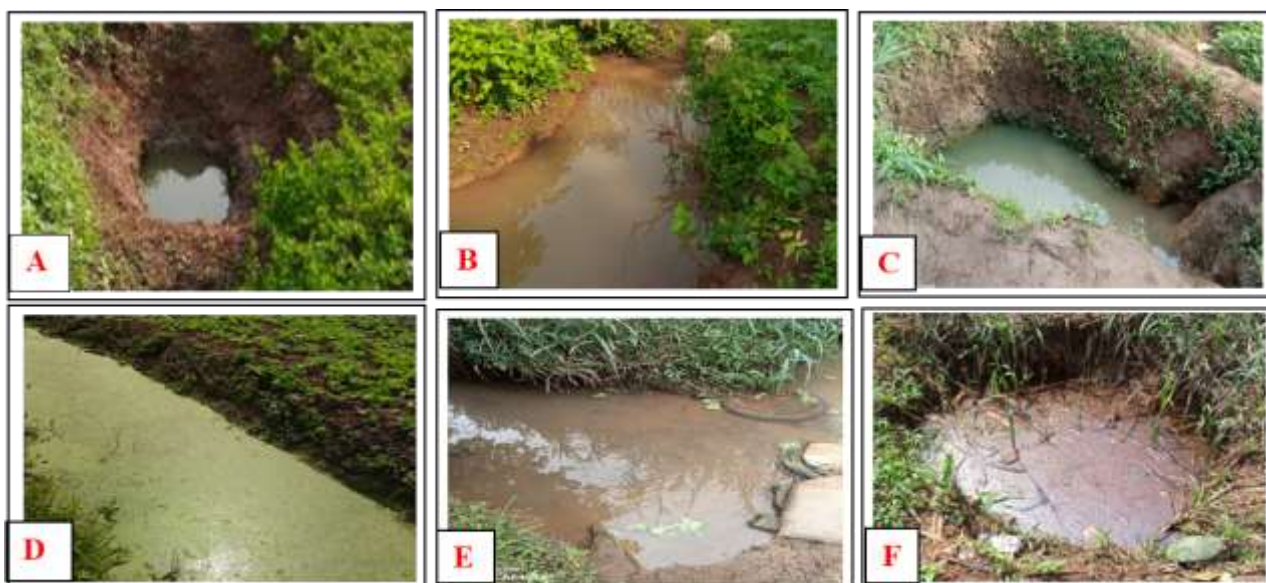


Figure 6: Photographie des stations d'échantillonnages des eaux d'arrosages étudiées : A : (S1 Messebe) ; B : (S2 Béatitudes) ; C : (S3 Claritain) ; D : (S4 derrière l'UCAC) ; E : (S5 derrière le commissariat) ; F : (Oyom-Abang).

II-1-4- Choix des bactéries

L'étude a porté sur trois espèces bactériennes : *Vibrio cholerae*, *Salmonella typhi* et *Escherichia coli* ; elles ont été choisies en raison de leur importance en hygiène et santé publique (OMS, 2009).

II-2- Méthodes

II-2-1- Echantillonnage de l'eau

Les prélèvements ont été effectués dans deux types de flacons : les flacons en polyéthylène de 250 mL et 1000 mL soigneusement lavés et rincés à l'avance au laboratoire pour le prélèvement des eaux destinées aux analyses physico-chimiques, et les flacons en verre stériles de 500 mL pour les analyses microbiologiques suivant les techniques préconisées par Aquaref (2011).

Ces échantillons ont été ensuite ramenés au laboratoire dans une enceinte réfrigérée et les analyses ont été effectuées dans les heures qui ont suivi l'échantillonnage.

II-2-2- Analyses physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques considérés dans cette étude ont été mesurés sur le terrain et au laboratoire suivant les techniques préconisées par APHA (2009) et Rodier (2009).

II-2-2-1- Paramètres physiques

❖ Température

La température de l'eau a été mesurée « *in situ* » à l'aide d'un multi-paramètre de marque HANNA/991001, dont les électrodes ont été introduites verticalement au 1/3 de la colonne d'échantillon. Après 1 à 2 minutes, le chiffre correspondant sur le cadran de l'écran a été relevé et les résultats exprimés en degré Celsius (°C).

❖ Matières en suspensions

Les teneurs en M.E.S ont été déterminées de façon directe à l'aide d'un spectrophomètre HACH/DR 3900 et la lecture s'est faite à la longueur d'onde 810 nm. Les valeurs ont été données en mg/L.

❖ **Couleur**

La couleur a été mesurée au laboratoire à l'aide d'un spectrophotomètre HACH/DR 3900. La lecture s'est faite à la longueur d'onde 455 nm et les valeurs obtenues ont été exprimées en Platiniun-Cobalt (Pt.Co).

❖ **Solides totaux dissous**

Les teneurs des eaux en TDS ont été mesurés « *in situ* » à l'aide d'un multi-paramètre portatif de marque HANNA/991001 et les résultats ont été rendus en partie par millions.

❖ **Salinité**

Elle a été mesurée « *in situ* » au moyen d'un multi-paramètre de marque HANNA/991001 ; les résultats ont été exprimés en pourcentage (%).

II-2-2-2- Paramètres chimiques

❖ **pH**

Le pH a été mesuré « *in situ* » à l'aide d'un multi-paramètre de marque HANNA/991001. En effet, une électrode de l'appareil a été introduite dans l'échantillon recueilli dans le flacon au 1/3 durant 2 à 3 minutes. Après lecture des valeurs, le résultat a été exprimé en unité conventionnelle (U.C).

❖ **Conductivité électrique**

La conductivité électrique a été évaluée sur le terrain à l'aide d'un multi-paramètre portatif de marque HANNA/991001. Le protocole utilisé est le même que celui de la mesure du pH et les valeurs ont été exprimées en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

❖ **Oxygène dissous**

L'oxygène dissous a été déterminé au laboratoire à l'aide d'un oxymètre de marque DO9001. Les valeurs ont été exprimées en mg/L.

❖ **CO₂ dissous**

La mesure de la teneur en CO₂ dissous s'est faite en deux temps :
Sur le terrain, le CO₂ a été fixé par introduction dans une éprouvette graduée de 250 mL, 20 mL d'hydroxyde de sodium (NaOH) N/20 plus 2 à 3 gouttes de phénophtaléine, ce mélange a été complété avec l'échantillon d'eau brute jusqu'à 200 mL. Le mélange obtenu de coloration rose a été conservé dans un flacon en polyéthylène à double bouchage de 250 mL puis ramené au laboratoire.

Au laboratoire, 50 mL de cet échantillon ont été titrés avec l'acide chlorhydrique (HCl) N/10 jusqu'à décoloration complète. La teneur de l'eau en CO₂ exprimée en mg/L a ensuite été déterminée par la formule :

$$[\text{CO}_2] \text{ (mg/L)} = (\text{descente burette du témoin} - \text{descente burette de l'échantillon}) \times 17,6.$$

❖ Nitrate

Les nitrates ont été mesurés par colorimétrie au moyen d'un spectrophotomètre DR/3000 de marque HACH, en utilisant le Nitramer HR comme réactif introduit dans 10 mL d'échantillon contenu dans une cellule spectrophotométrique. L'ensemble a été agité durant 1 minute puis laissé au repos pendant environ 2 minutes. La lecture de la teneur en nitrates a été effectuée à la longueur d'onde 500 nm et les résultats ont été exprimés en mg/L de NO₃⁻.

❖ Orthophosphate

Les teneurs en orthophosphates ont été mesurées par colorimétrie en utilisant comme réactif le Phosver RTG. La lecture s'est faite au spectrophotomètre DR/39000 de marque HACH à la longueur d'onde 420 nm et les résultats ont été exprimés en mg/L de PO₄³⁻.

❖ Azote ammoniacal

Les teneurs en azote ammoniacal ont été mesurées par colorimétrie suivant la méthode de Nessler qui utilise le sel de Rochelle et le réactif de Nessler. La lecture de la teneur en azote ammoniacal s'est faite au spectrophotomètre HACH DR/3900 à la longueur d'onde 425 nm et les résultats ont été exprimés en mg/L de NH₄⁺.

II-2-3- Analyses bactériologiques

Les analyses bactériologiques ont consisté en l'isolement au dénombrement et l'identification des bactéries *Salmonella typhi*, *Escherichia coli* et *Vibrio cholerae* présentes dans les différents échantillons. Le dénombrement des bactéries hétérotrophes aérobies mésophiles a également été effectué.

Techniques d'isolement utilisées : Deux techniques ont été utilisées pour l'isolement et la recherche des germes.

1. **La technique par étalement en boîte de Pétri :** elle a consisté à prélever 0,1 mL de l'échantillon à l'aide d'une pipette teneur stérile puis, à déposer cet échantillon à la

surface de gélose coulée en boîte de Pétri préalablement séchée pendant 5 minutes. L'échantillon a par la suite été étalé à l'aide d'un étaleur en verre stérile près de la flamme du bec bunsen en respectant le diamètre de stérilité définit (Marshall *et al.*, 1991).

2. **La technique des membranes filtrantes** : la méthode de filtration sur membrane a consisté à recueillir à la surface d'une membrane filtrante stérile, la bactérie recherchée dans un échantillon. Ainsi, 100 mL de l'échantillon ont été filtrés à travers une membrane en acétate de cellulose de porosité 0,45 µm puis déposée à la surface du milieu de culture gélosé coulé dans les boîtes de Pétri (Marshall *et al.*, 1991).

II-2-3-1- Isolement des germes recherchés

➤ Isolement des bactéries Hétérotrophes Aérobie Mésophiles

Les espèces bactériennes recherchées ont été isolées à la surface du milieu PCA (*Plat Count Agar*) par la technique d'étalement en surface de 0,1 mL d'échantillon d'eau. Les boîtes de Pétri ont ensuite été incubées à la température ambiante pendant 1-5 jours (Holt *et al.*, 2000).

➤ Isolement de *Salmonella typhi* et *Escherichia coli*

L'isolement de *Salmonella typhi* et *Escherichia coli* a été fait sur gélose Wilson-Blair et endo respectivement par la technique d'étalement en surface suivit d'une incubation à 37°C pendant 18 à 24 heures (Marshall *et al.*, 1991) pour *S. typhi* et à 44°C pendant 24 à 48h pour *E. coli* (Diagnostic Pasteur, 1987).

➤ Isolement de *Vibrio cholerae*

L'isolement de *Vibrio cholerae* a été fait par la technique de membranes filtrantes. 100 mL d'eau d'échantillon ont été filtrés et déposés sur la gélose TCBS (Thiosulfate Citrate Bile Saccharose) et incubés à température de 37°C pendant 18 à 24 heures (Marshall *et al.*, 1991).

II-2-3-2- Dénombrement des germes isolés

L'analyse quantitative a consisté au dénombrement de colonies isolées et comportant les caractères culturels des souches suspectées. Ainsi, un comptage direct sur la gélose a été fait (Holt *et al.*, 2000) les abondances bactériennes ont été exprimées en (UFC)/100 mL.

II-2-3-3- Identification des germes isolés

Après isolement des germes, l'identification a été réalisée après examen macroscopique et microscopique des colonies. Les tests biochimiques ou enzymatiques (galerie classique) ont

été réalisés après une subculture des souches sur gélose ordinaire coulée en pente dans des tubes à essai (Diagnostique pasteur, 1987).

II-2-3-4- Examen macroscopique

Il a consisté en la description des caractères cultureux des colonies bactériennes. Il s'agit de la taille, l'aspect, la forme, la couleur, les contours et la configuration de la surface de la colonie (Diagnostique pasteur, 1987).

II-2-3-5- Examen microscopique

- A l'état frais

L'observation à l'état frais a permis d'apprécier la mobilité ou l'immobilité des bactéries (Marchal *et al.*, 1991). Elle a consisté à déposer une goutte de la suspension bactérienne entre la lame et la lamelle puis à l'observer au microscope à l'objectif 40 à sec et sous faible éclairage.

- A l'état coloré

L'observation de la cellule à l'état coloré permet de connaître sa morphologie et l'appartenance Gram. A partir des cultures pures, un frottis a été confectionné et coloré au Gram et l'observation de la préparation au microscope optique (objectif 100) a permis de déterminer le caractère tinctorial de la bactérie (Gram positive), la morphologie (coque) et le mode de groupement (le plus souvent en amas, grappe de raisins, tétrades ou courtes chaînettes de moins de 5 éléments) (Bent *et al.*, 2008).

II-2-3-6-Tests biochimiques ou enzymatiques

L'identification biochimique des espèces bactériennes repose sur la révélation de certaines caractéristiques particulièrement significatives et stables du métabolisme des familles, genres ou espèces étudiées. L'identification de *S. typhi*, *E. coli* et *V. cholerae* s'est faite sur la base des tests d'identification classique.

- ❖ Test au Citrate de Simmons

Le but de ce test est de savoir si la bactérie utilise le citrate comme source de carbone. Une colonie bactérienne jeune de 18-24 heures a été ensemencée en strie à la surface de la gélose puis incubée pendant 48 heures à 35°C. La transformation du triacide (acide citrique) en diacide par décarboxylation oxydative donne une élévation du pH qui se traduit par un virage du vert au bleu vif (Mast Group, 2016).

❖ Test sur milieu Mannitol-Mobilité

Ce milieu permet de mettre en évidence la fermentation du mannitol et la mobilité. Une colonie bactérienne jeune de 18-24 heures a été ensemencée par piqûre centrale sur la gélose puis incubée à 37°C pendant 24 heures. La dégradation du mannitol se traduit par le virage de la gélose du rouge au jaune. La mobilité des cellules bactériennes s'exprime par l'apparition d'un trouble au milieu dû à la diffusion des bactéries à partir de la ligne d'ensemencement (Diagnostic Pasteur, 1987).

❖ Recherche de l'uréase

L'uréase est une enzyme qui catalyse la réaction de transformation de l'urée en dioxyde de carbone et en ammoniac. Quelques gouttes d'une suspension bactérienne ont été introduites dans un tube à essai contenant au préalable un bouillon à l'uréase, puis incubé à 37°C pendant 24 heures. L'alcalinisation du milieu se traduit par le virage de couleur du jaune au rose rouge ou rouge violacé (Salim, 2009).

❖ Test sur milieu Kligler-Hajna

La gélose Kligler a été utilisée pour différencier les bacilles Gram négatif. Elle permet la recherche de trois caractères biochimiques : la fermentation du glucose et du lactose avec production d'acide (couleur jaune) au niveau de la pente pour le lactose et au niveau du culot pour le glucose. La production d'H₂S s'exprime par un noircissement alors que, la production du gaz s'exprime par des bulles d'air. Les tubes contenant le milieu Kligler-Hajna coulé en pente ont été ensemencés au moyen d'une anse de platine en piquant le culot et en faisant des stries sur la surface de la pente. Ensuite les tubes ont été incubés pendant 24 h à 35 °C (Becton et Dickinson, 2014).

II-2-4- Analyse des données

II-2-4-1- Evaluation des relations existantes entre les paramètres physico-chimiques et bactériologiques

Les données abiotiques et biologiques enregistrées ont été analysées à l'aide du logiciel SPSS 20.0. Pour choisir les tests statistiques à effectuer, le test de shapiro-wilk a été utilisé pour vérifier la normalité des données récoltées au cours de cette étude. Ce test a révélé que la distribution de ces données ne sont pas normales. A cet effet, les tests non paramétriques ont été utilisés pour les analyses.

II-2-4-2- Coefficient de corrélation de rang de Spearman

Le coefficient de corrélation de rang de Spearman a été déterminé à partir du logiciel SPSS 20.0. Ce coefficient a permis d'établir les corrélations entre les variables physico-chimiques et biologiques d'une part et celles biologiques d'autre part.

II-2-4-3- Test H de Krustal-Wallis et test U de Mann-withney

Le test H de Krustal-wallis a permis de comparer dans le temps et dans l'espace les médianes des différents paramètres physico-chimiques et des abondances bactériennes pour déceler une éventuelle différence. Le test U de Mann-withney a permis de comparer les paramètres deux à deux pour voir exactement à quel niveau il y a une différence. Les tests ont été réalisés à partir du logiciel SPSS 20.0.

II-2-4-4- Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales a permis d'une part de mettre en évidence les relations de dépendance entre les différents paramètres mesurés et d'autre part, de déterminer les variables qui caractérisent chaque station. L'analyse a été réalisée à l'aide du logiciel XLSTAT.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1- Présentation des résultats

III.1.1- Paramètres physicochimiques

III.1.1.1- Paramètres physiques

Les paramètres physiques considérés au cours de cette étude ont présenté des variations spatio-temporelles dans l'ensemble.

Au cours de l'étude, la température de l'eau a varié de 20,1 à 28,6°C avec une moyenne de $24,82 \pm 2,5$ °C (Annexe 1). La valeur maximale 28,6°C a été enregistrée à la station S5 au mois de Janvier et la valeur minimale 20,1°C à la station S2 au mois de Mai (Figure 7-A).

Les teneurs de MES enregistrées pendant la période d'étude ont variées entre 14 et 244 mg/L, avec une valeur moyenne de $76,19 \pm 48,05$ mg/L (Annexe1). La valeur la plus élevée 244 mg/L a été enregistrée à la station S3 au mois de Mai contrairement à la station S6 qui a enregistré la plus faible valeur 14 mg/L au mois d'Avril (Figure 7-B).

Dans l'ensemble, les valeurs de la couleur de l'eau ont oscillé entre 20 et 480 Pt.Co avec une valeur moyenne de $199,22 \pm 127,54$ Pt.Co (Annexe 1). La valeur la plus élevée a été enregistrée à la station S3 au mois de Mars et la valeur la plus faible a été enregistrée à la station S2 au mois de Janvier (Figure 7-C).

Les solides totaux dissous enregistrés pendant l'étude ont varié entre 35 et 419 mg/L, avec une valeur moyenne de $160,69 \pm 97$ mg/L (Annexe 1). La valeur la plus élevée a été enregistrée à la station S1 au mois de Mars ; par contre, la plus petite valeur a été notée à la station S2 au mois de Février (Figure 7-D).

Les valeurs de la salinité ont oscillé entre 0 et 0,4 % (Figure 7-E) avec une valeur moyenne de $0,009 \pm 0,01$ % (Annexe 1). La valeur la plus élevée a été enregistrée à la station S1 au mois de Mars et la plus petite dans les stations S2 à S6 à des mois différents.

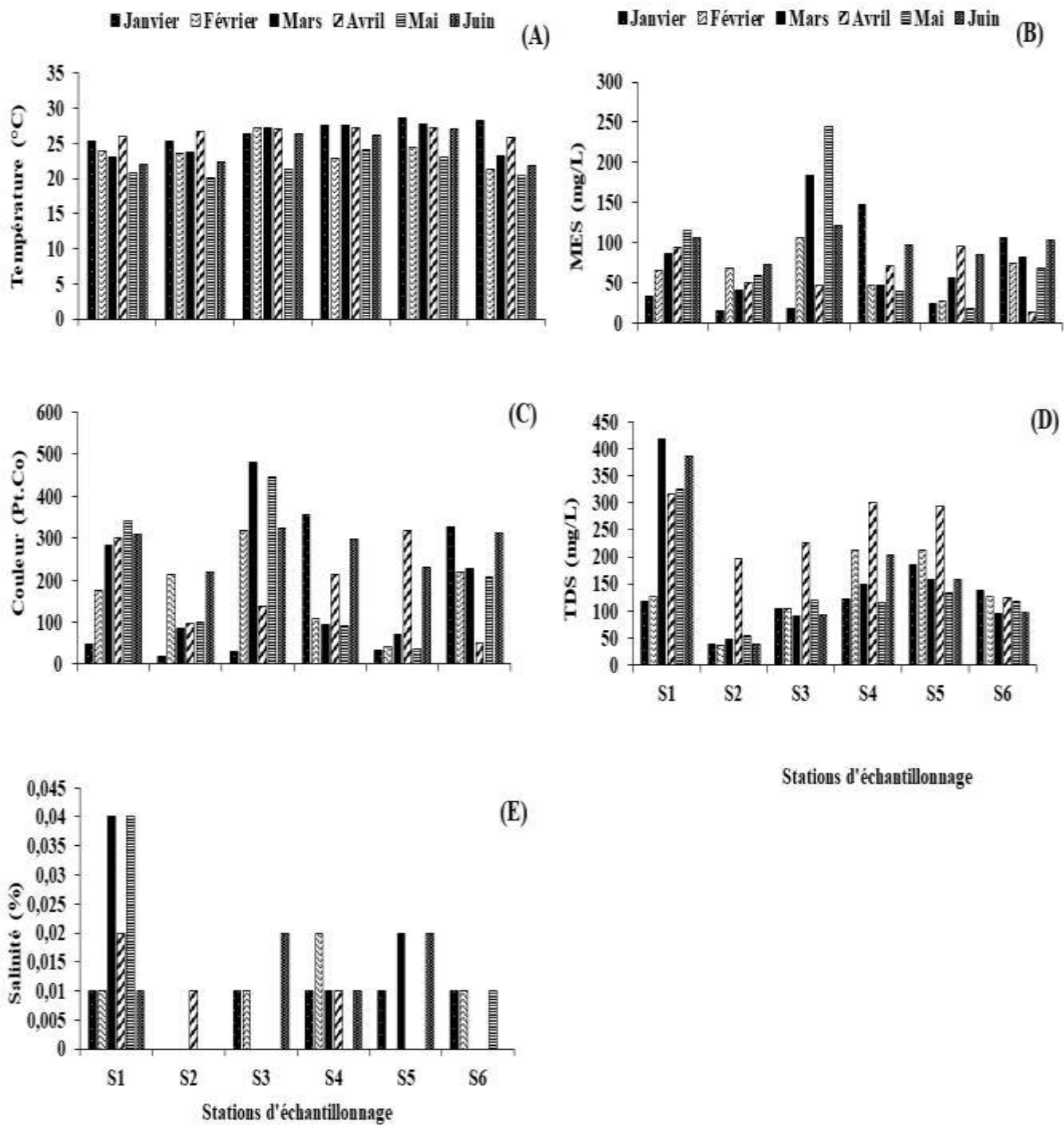


Figure 7: Variations spatio-temporelles des paramètres physiques mesurés pendant la période d'étude au niveau des bas-fonds (A : Température ; B :MES ; C : Couleur ; D :TDS ; E : Salinité) .

III.1.1.2- Paramètres chimiques

Les valeurs des paramètres chimiques considérées ont varié d'un point d'échantillonnage à l'autre et d'un mois à l'autre, tout au long de l'étude.

En ce qui concerne le pH, les valeurs ont fluctué entre 5,77 et 7,75 U.C (Figure 8-A) avec une valeur moyenne de $6,68 \pm 0,42$ U.C (Annexe 1). Les valeurs maximale et minimale ont été enregistrées à la fois à la station S6 respectivement au mois de Janvier et Mars.

Les valeurs de conductivité électrique ont oscillé entre 66 et 764 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une valeur moyenne de $324,06 \pm 193,14$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Annexe 1). La valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de la station S1 au mois de Mai et la valeur la plus faible a été obtenue au niveau de la station S2 en Février (Figure 8-B).

Les teneurs en O_2 dissous ont fluctué entre 0,31 et 8,1 mg/L avec une valeur moyenne de $2,68 \pm 1,67$ mg/L (Annexe 1). Elles ont atteint leur valeur maximale à la station S6 au mois d'Avril et la valeur minimale a été enregistrée dans la même station au mois de Janvier (Figure 8-C).

Les valeurs de CO_2 dissous ont oscillé entre 14,08 et 34,4 mg/L, avec une valeur moyenne de $27,03 \pm 4,39$ mg/L (Annexe 1). La valeur la plus élevée a été enregistrée à la station S6 en Janvier et la valeur la plus faible a été enregistrée à la station S5 en Juin (Figure 8-D).

Les teneurs en NO_3^- ont variés dans les différentes stations et ont fluctuées entre 5,6 et 97 mg/L avec une valeur moyenne de $25,81 \pm 2,13$ mg/L (Annexe 1). La valeur la plus élevée a été enregistrée au mois d'Avril à la station S6 et la plus faible a été enregistrée au mois Janvier à la station S2 (Figure 8-E).

Quant aux teneurs de l'eau en PO_4^{3-} , les variations étaient irrégulières ; elles ont fluctué entre 0,22 et 6,33 mg/L, avec une valeur moyenne de $2,61 \pm 1,88$ mg/L (Annexe 1). La valeur maximale a été atteinte en Juin à la station S1 et la plus petite valeur à la station S4 au mois de Janvier (Figure 8-F).

Les teneurs en NH_4^+ ont oscillé entre 0 et 10,06 mg/L, avec une valeur moyenne de $1,93 \pm 1,87$ mg/L (Annexe 1). La valeur la plus élevée a été enregistrée en Mai à la station S3 (Figure 8-G) ; à la station S1 et S3 en Janvier, le NH_4^+ était plutôt rare.

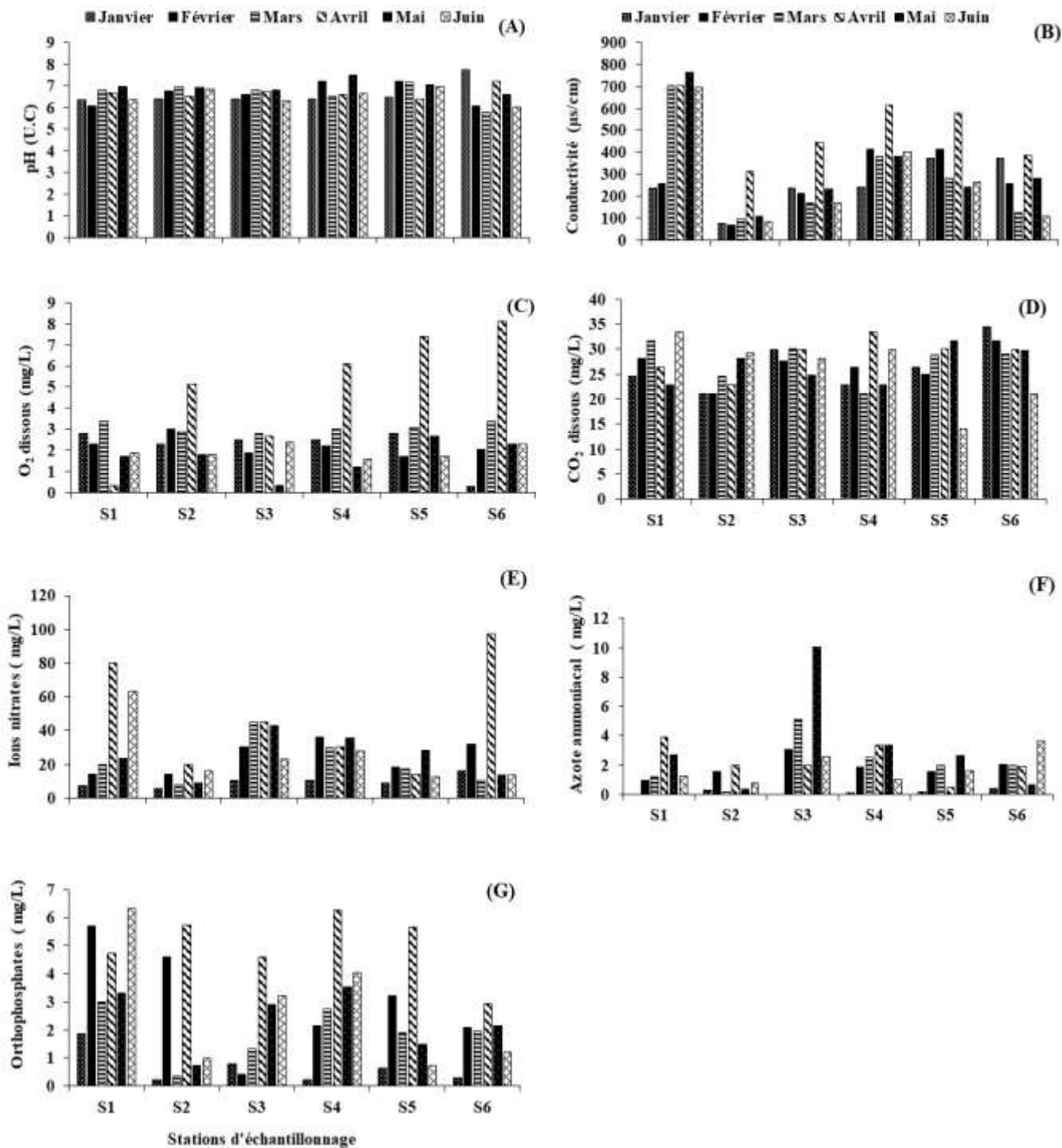


Figure 8: Variations spatio-temporelles des paramètres chimiques mesurés pendant la période d'étude (A : pH, B : Conductivité électrique, C : Oxygène dissous, D : CO_2 dissous, E : ions Nitrates (NO_3^-), F : Orthophosphates (PO_4^{3-}), G : Azote ammoniacale (NH_4^+))

III.1.2- Qualité microbiologique des eaux prélevées

III.1.2.1- Analyse qualitative

➤ Caractères culturaux

Après étalement et incubation de l'échantillon d'eau, l'examen macroscopique des colonies bactériennes a montré différents types de colonies.

- Sur milieu gélose standard, les colonies bactériennes ont présentées une diversité de taille, de couleur et de caractères morphologiques. Il s'agit dans l'ensemble des bactéries hétérotrophes aérobies mésophiles (BHAM) (Figure 10-A).
- Des colonies rouges à éclats métalliques, rondes, lisses à bords réguliers de 2-3 mm de diamètre sur gélose Endo présumptifs d'*Escherichia coli* (Figure 10-B).
- Des colonies jaunes arrondies et plates de 2-3 mm de diamètre présumptifs de *Vibrio cholerae* (figure 10-C).

Les colonies observées sur milieu Wilson-blair présumptives de *Salmonella typhi* sont bleues foncées, de taille moyenne, et à contours irréguliers. (Figure 10-D).

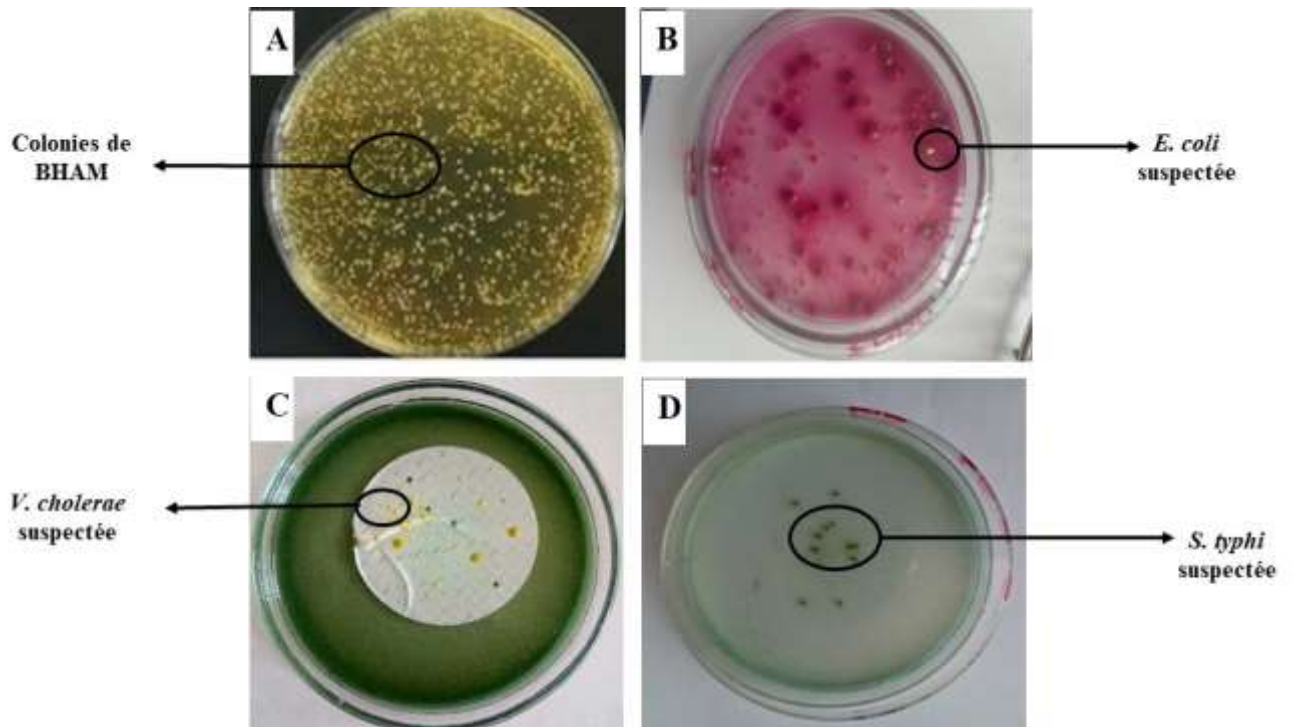


Figure 9: Photographie des colonies de bactéries isolées pendant l'étude

➤ Identification des souches isolées

Les cellules de chacune de ces colonies isolées ont été reprises en cultures pures sur de la gélose coulée en pente dans les tubes à essais. Les tests biochimiques réalisés ont permis de mettre en évidence un certain nombre de réactions enzymatiques. Il ressort après étude que les eaux d'arrosages des bas-fonds de Yaoundé VII étudiées contiennent les bactéries constituées des espèces *E. coli* ; *V. cholerae* et *S. typhi*. Les trois espèces ont une mobilité positive ; par contre, la fermentation du mannitol s'avère négative pour l'espèce *E. coli* contrairement aux 2 autres. Les résultats sont présentés dans le Tableau III ci-dessous.

Tableau III: Tests d'identification réalisés sur les souches d'*Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* et *Salmonella typhi*.

Tests d'identification effectués	Souches bactériennes		
Mobilité	+	+	+
Fermentation du Mannitol	-	+	+
Citrate de Simmons	-	+	-
Uréase	-	-	-
Fermentation du Glucose	+	-	-
Fermentation du lactose	+	-	-
H ₂ S	-	-	+
Indole	+	+	-
Espèces	<i>Escherichia coli</i>	<i>Vibrio cholerae</i>	<i>Salmonella typhi</i>

+ : test positif

- : test négatif

III.1.2.2- Analyse quantitative

III.1.2.2.1- Abondances relatives et absolues d'*Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* et *Salmonella typhi*.

Durant la période d'étude, un total de 674572 colonies a été isolé et réparti en 3 espèces. L'espèce la plus représentée a été *Salmonella typhi* avec une abondance relative de 51 %, suivi d'*Escherichia coli* (48 %) ; les colonies les moins représentées étaient ceux de *Vibrio cholerae* avec une abondance de 1% (Figure 11).

Sur le plan temporel, le nombre de colonies isolées a été plus élevé au mois de Juin (57%), suivi du mois de Janvier (15%) et du mois de Mars (13%). Il a été le plus faible au mois d'Avril (4%) (Figure 12-A).

Sur le plan spatial, le nombre de colonies isolées a été plus élevé aux stations S3 et S4 (20%), suivi de la station S1 (17%) et de la station S5 (16%). Il a été le plus bas à la station S2 avec (13%) (Figure 12-B).

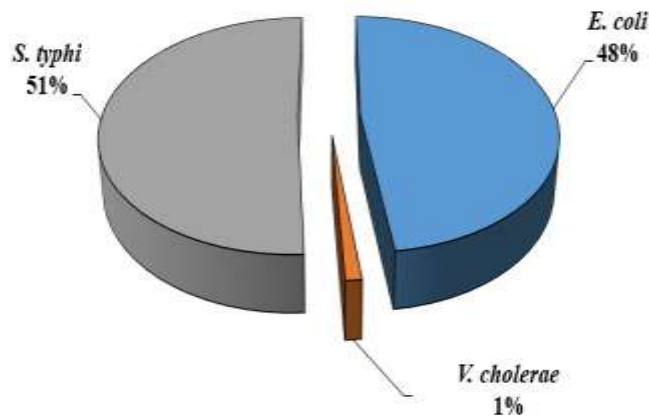


Figure 10: Répartition quantitative des espèces *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* et *Salmonella typhi* isolées des bas-fonds de Yaoundé VII pendant la période d'étude.

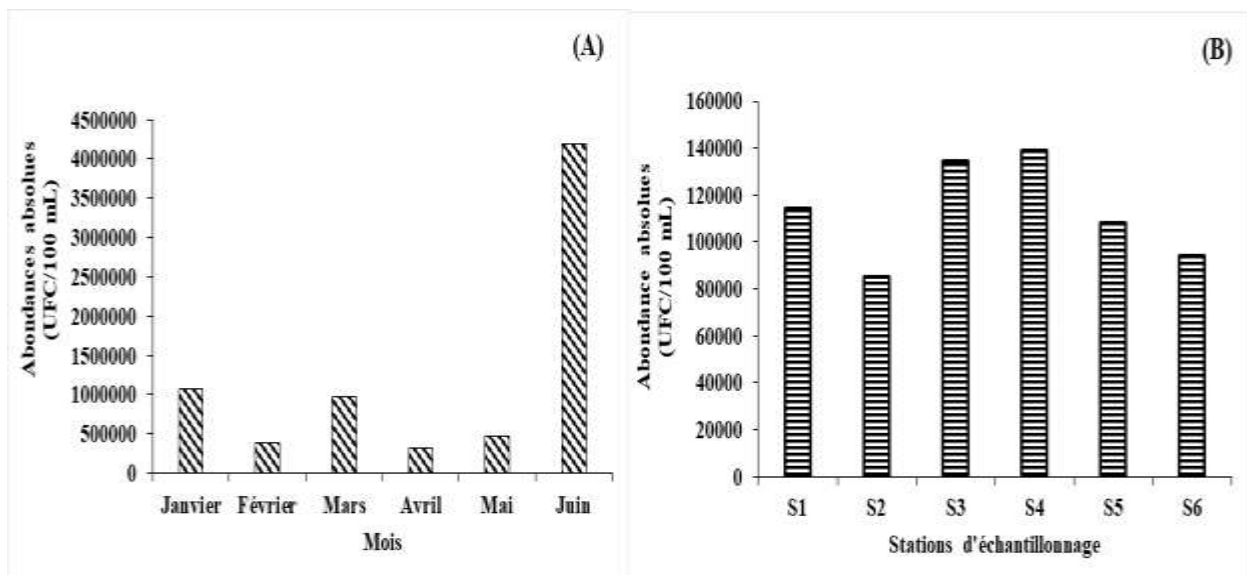


Figure 11 : Variation temporelle (A) et spatiale (B) de l'abondance totale des espèces *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* et *Salmonella typhi* isolées des bas-fonds de Yaoundé VII pendant la période d'étude.

Le Tableau IV nous montre que toutes les stations sont marquées par la prédominance de *Salmonella typhi* et *Escherichia coli*.

Tableau IV: Abondances relative (%) et absolue des espèces *S. typhi*, *E. coli* et *V. cholerae* en fonction des stations pendant toute la période d'étude.

Stations d'échantillonnage	Espèces bactériennes			Totaux
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Vibrio cholerae</i>	<i>Salmonella typhi</i>	
S1	18,83% (61000)	31,02% (2349)	14,90% (51000)	114349
S2	12,96% (42000)	12,89% (976)	12,24% (42000)	84976
S3	20,99% (68000)	22,07% (1671)	18,94% (65000)	134671
S4	20,99% (68000)	10,98% (832)	20,41% (70000)	138832
S5	9,26% (30000)	10,90% (825)	22,45% (77000)	107825
S6	16,98% (58000)	12,14% (919)	11,07% (38000)	93919
Total	100% (327000)	100% (7572)	100% (343000)	674572

III.1.2.2.2- Variations spatio-temporelles des abondances des BHAM et des espèces de *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* et *Salmonella typhi* isolées

De manière générale, les densités bactériennes ont varié d'une période à l'autre et d'un point d'échantillonnage à l'autre. Les densités maximale et minimale des BHAM ont été enregistrées à la fois à la station S4 respectivement au mois de Janvier 6,39 log UFC/100 mL d'eau et Mai 5,13 unités log UFC/100 mL d'eau (Figure 12-A). Toutefois, une densité moyenne de $5,86 \pm 0,30$ unités log UFC/100 mL d'eau a été enregistrée.

S'agissant de l'espèce *Escherichia coli*, la densité la plus élevée 4,53 unités [log (UFC/100 mL d'eau)] a été enregistrée à la station S1 au mois de Mai. Cette espèce bactérienne a été rare à la fois aux stations S1, S4 et S5 aux mois de Février, Janvier, Avril et Juin (Figure 12-B). Une densité moyenne de $3,36 \pm 1,40$ unités log UFC/100 mL d'eau a été enregistrée.

La densité de *Vibrio cholerae* la plus élevée 2,79 unités log UFC/100 mL d'eau a été enregistrée à la station S1 au mois de Juin. Cependant, la densité minimale a été enregistrée au mois de Mai à la station S2 (Figure 12-C). Une densité moyenne de $2,22 \pm 0,29$ unités log UFC/100 mL d'eau a été enregistrée.

La densité la plus élevée de l'espèce *Salmonella typhi* 4,53 unités log UFC/100 mL d'eau a été enregistrée à la station S3 au mois de mars et la plus faibles 3 unités log UFC/100 mL d'eau. Cependant la plus faible densité été enregistrée aux stations S2 et S3 aux mois de Mai et Janvier (Figure 12-D). Toutefois, une densité moyenne de $3,83 \pm 0,39$ unités log UFC/100 mL d'eau a été enregistrée.

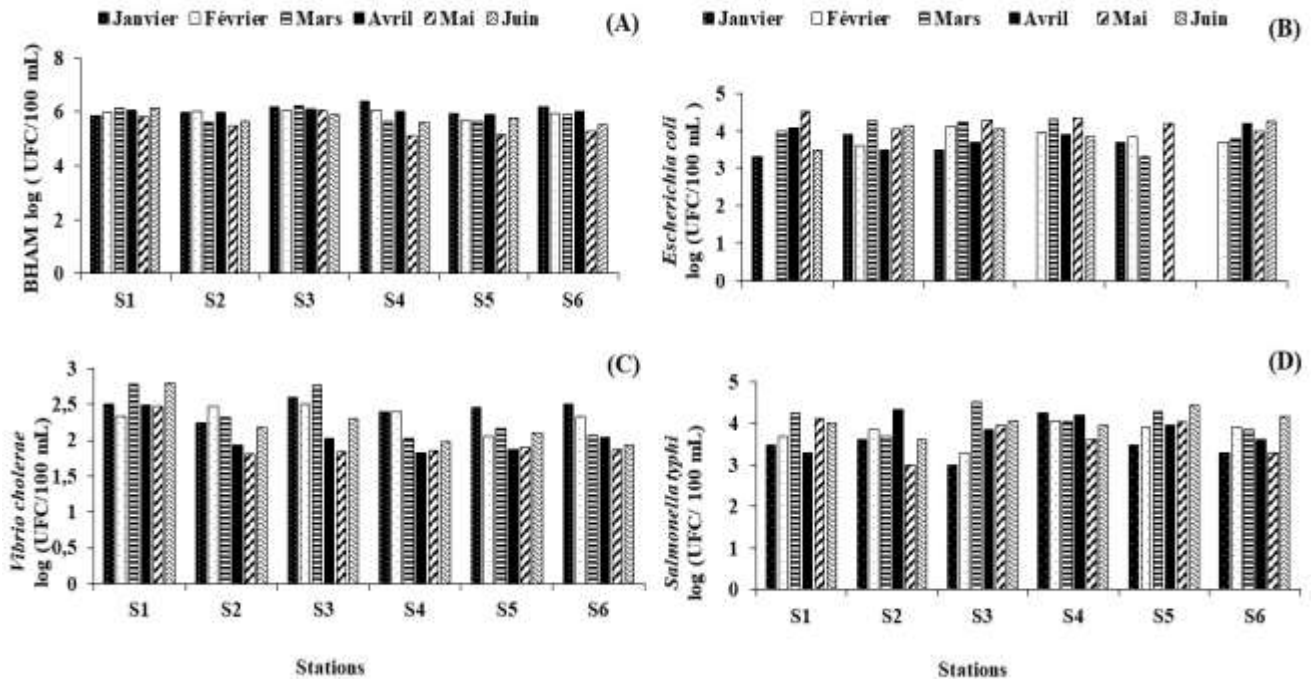


Figure 12: Variations spatio-temporelles des abondances des BHAH, *E. coli*, *V. cholerae* et *S. typhi* mesurées pendant la période d'étude au niveau des bas-fonds.

III.1.3- Corrélations entre les paramètres étudiés

III.1.3.1. Corrélations entre variables bactériologiques et physico-chimiques

Les corrélations entre les paramètres physico-chimiques et les densités des bactéries isolées ont été effectuées à l'aide du test de corrélation « r » de Spearman. Des corrélations très significatives ($p < 0,01$) et positives ont été notées d'une part entre les densités d'*Escherichia coli* avec les paramètres tels que la teneur en NO_3^- ($r = 0,480$) et la teneur en NH_4^+ ($r = 0,642$) ; et d'autre part entre les densités de *Vibrio cholerae* et *Salmonella typhi* respectivement avec les paramètres tels que la salinité ($r = 0,425$) et les teneurs en NH_4^+ ($r = 0,411$) (Tableau V). Des corrélations significatives ($p < 0,05$) et positives ont également été observées entre les densités de *Salmonella typhi* et la couleur ($r = 0,336$), les M.E.S ($r = 0,360$) et les TDS ($r = 0,339$). Ces types de corrélations ont aussi été observées entre les densités des BHAM et la couleur ($r = 0,352$) (Tableau V).

Une corrélation significative ($p < 0,01$) et négative a été notée entre les densités d'*Escherichia coli* et la température ($r = -0,366$) (Tableau V).

Tableau V: Corrélations entre variables bactériologiques et physico-chimiques dans les bas-fonds étudiés

Variables physico-chimiques	Variables bactériologiques			BHAM
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Vibrio cholerae</i>	<i>Salmonella typhi</i>	
pH	0,243	-0,121	0,005	-0,142
Salinité	-0,169	0,425**	0,258	0,186
Conductivité électrique	0,012	0,011	0,198	0,141
Température	-0,366**	0,132	0,135	0,310
O ₂ dissous	-0,207	-0,058	0,281	0,075
CO ₂ dissous	-0,109	0,106	-0,085	0,259
Couleur	0,107	0,172	0,336*	0,352*
M.E.S.	0,070	0,200	0,360*	0,322
TDS	-0,129	0,42	0,339*	0,179
NO ₃ ⁻	0,480**	0,002	0,234	0,286
PO ₄ ³⁻	0,065	-0,200	0,228	0,033
NH ₄ ⁺	0,642**	-0,221	0,411**	-0,017

* : $p < 0,05$ ** : $p < 0,01$ ddl = 36

III.1.4- Comparaison entre différentes variables pendant la période d'étude

La comparaison entre les variables physico-chimiques pendant la durée d'étude a été effectuée dans le temps et dans l'espace à l'aide du test « H » de Kruskal-Wallis. Il en ressort que la conductivité électrique et la salinité varient significativement avec ($p < 0,05$) d'une station à l'autre ($H = 0,049$ et $0,021$, respectivement) ; par contre d'un mois à l'autre, la température, le pH, l'oxygène dissous et les teneurs en PO₄³⁻, NO₃⁻ et NH₄⁺ varient significativement avec ($p < 0,05$) ($H = 0,016$; $0,013$; $0,016$; $0,007$, $0,050$ et $0,019$, respectivement).

Afin de savoir avec précision entre quelles stations et quels mois ont varié ces paramètres, le test de comparaison de Mann-Whitney a été effectué. Ainsi, sur le plan spatial la différence pour la salinité a été significative avec $u = 0,01$ à la station 1 et la station 3. Concernant la température sur le plan temporel, la différence a été significative entre le mois de Février et Janvier avec $u = 0,02$.

III.1.5- Affinités entre paramètres biologiques et physico-chimiques (ACP)

La carte factorielle obtenue à partir de l'analyse en composantes principales montre une distribution des six stations d'échantillonnage par rapport à leurs caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques (Figure 13). L'essentiel de la variance totale a été fourni sur les deux premiers axes factoriels F1 (49,03%) et F2 (27,23%), ce qui explique 76,26% de l'inertie totale. Trois grands noyaux émergent dans ce plan factoriel dont le noyau 1 (N1) qui comprend les stations S1 et S3, dans lesquelles les BHAM montrent une affinité pour l'augmentation des MES à la station 3 de même que, la bactérie *Vibrio cholerae* présente une affinité avec la diminution de l'oxygène dissous au niveau de la station 3.

Dans le noyau 2 (N2) intégrant la Station 5, on observe une forte affinité entre *S. typhi* et les paramètres physiques comme la température, le pH et l'oxygène dissous mais, l'affinité est plus accentuée avec l'augmentation de la température.

Le noyau 3 (N3) montre l'affinité que présente la station 4 avec les paramètres tels que les TDS, phosphates, salinité et conductivité. Cette affinité est plus prononcée entre cette station et les TDS.

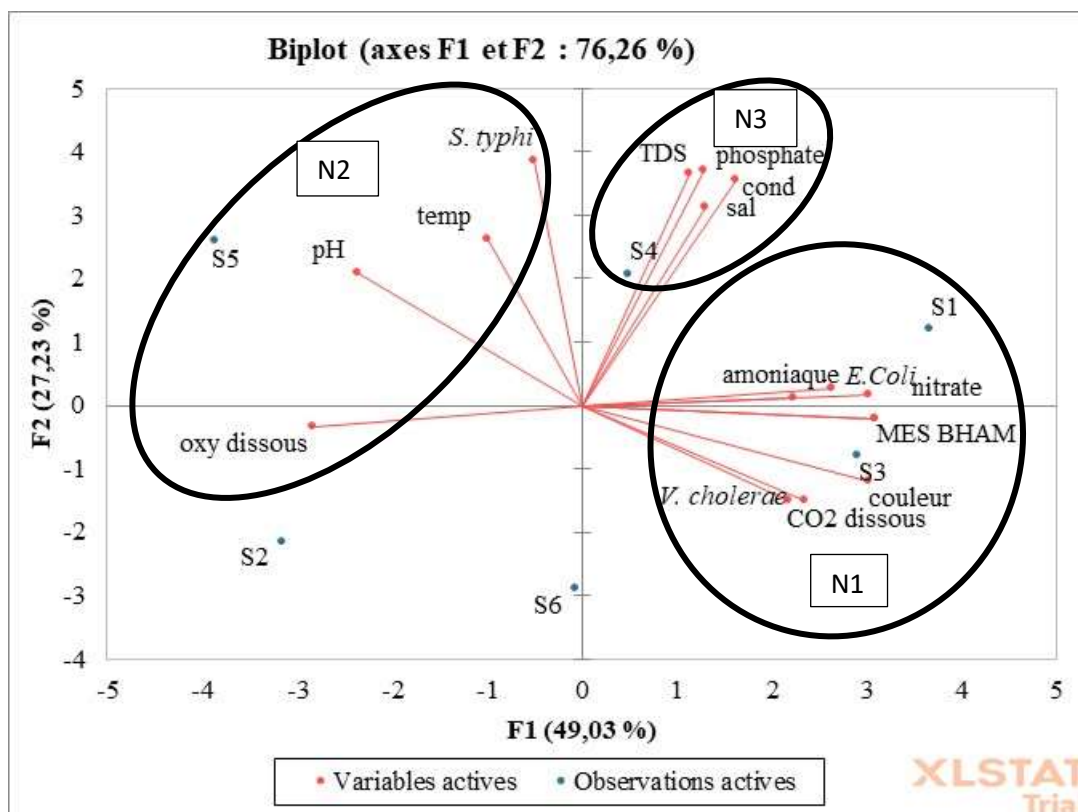


Figure 13: ACP regroupant les affinités entre les abondances bactériennes et les paramètres physico-chimiques.

III.2- Discussion

III.2.1- Caractéristique physico-chimiques des eaux analysées

A l'issue de ce travail, les résultats montrent que la température des eaux analysées varie peu durant toute la période d'étude avec une moyenne générale de $24,82 \pm 2,5^\circ\text{C}$. Cette faible variation thermique pourrait être due aux saisons traversées (saison sèche et saison de pluie) ou à l'influence de l'ensoleillement car les rayons solaires parviennent directement à la surface de l'eau. En effet, selon Liechti (2004), les variations thermiques des milieux lotiques et lentiques dépendent fortement de la température ambiante.

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), de chlorures (Cl^-), de sulfates (SO_4^{2-}) et les hydrogénocarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité traduit une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante (AGRI-VISION 2003-2004). En 2003, le CRAAQ fixe la concentration maximale de la salinité pour une eau d'arrosage à 1% maximale ; la valeur moyenne obtenue dans les eaux analysées a été de $0,009 \pm 0,01$ % ce qui témoigne la faible minéralisation des aquifères traversés par ces eaux.

Les valeurs moyennes de MES ($76,19 \pm 48,04$ mg/L) et de la couleur ($199,22 \pm 127,54$ Pt.Co) enregistrées sont supérieures aux normes de la FAO (10 mg/L de MES) (Aghai et shoukr, 2005) certainement à cause du fait qu'elles soient non seulement exposées à toute forme de pollution, mais aussi au fait que les bas-fond sont les réceptacles terminaux des déchets produits dans la ville. A cet effet, Nola *et al.*, (2002) soulignent que, les valeurs de MES et de la couleur sont plus élevées dans les eaux superficielles à cause de leur exposition directe à la pollution. Ces valeurs se rapprochent de celles retrouvées par Ajeagah *et al.*, (2016), qui avaient noté que les valeurs élevées de MES seraient dues aux apports latéraux qui drainent les déchets organiques provenant des rejets. D'après Rodier *et al.* (2009) et Koji *et al.*, (2017), les eaux sont d'autant plus turbides et colorées que la densité des particules en suspension est forte. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie et des rejets.

Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité et est lié à la nature des terrains traversés (Aboukacem *et al.*, 2007 ; Savary, 2010). Une valeur moyenne de pH de $6,68 \pm 0,42$ U.C a été enregistrée. Les eaux analysées ont un pH beaucoup plus acide mais, cependant ont tendance à se rapprocher de la basicité avec des valeurs pouvant atteindre 7,75 U.C. Ces valeurs seraient dues au lessivage des sols traversés et donc à la nature acide du sol de Yaoundé qui est ferralitique et silicaté (Nola *et al.*, 2002).

Santosh *et al.* (2008) suggèrent que la valeur optimale en oxygène dissous pour une eau de bonne qualité se situerait entre 4 et 6 mg/L ; en deçà l'eau est de qualité médiocre, voire fortement polluée. Les eaux analysées ont une valeur moyenne de $2,68 \pm 1,67$ mg/L prouve que les eaux de bas-fonds sont fortement polluées, et ceci s'expliquerait par le fait qu'ils soient les réceptacles terminaux des déchets produits dans la ville mais aussi par l'absence de brassage. Dans certains milieux, ces eaux ne circulent pas entraînant ainsi une sous saturation en oxygène dissous. Néanmoins dans certaines stations, la tendance en oxygène dissous montre que, pendant une période de l'année, l'eau semblerait être de bonne qualité avoisinant les valeurs de 8,1 mg/L. Ceci s'expliquerait par les précipitations importantes durant le prélèvement qui aurait permis un renouvellement de l'oxygène du milieu (Jullian *et al.*, 2009).

Les valeurs des teneurs en CO₂ dissous oscillent entre 14,08 et 34,4 mg/L. Selon Rodier *et al.* (2009), ces teneurs sont influencées par le climat et les saisons, ainsi que par la nature du sol et de la végétation. Les processus métaboliques, principalement la respiration et la photosynthèse auraient aussi une influence.

Les valeurs moyennes de la conductivité électrique enregistrées ont été de $324,06 \pm 193,14$ µS/cm. ces résultats indiqueraient une minéralisation moyenne des eaux étudiées du fait d'intenses activités anthropiques dans la zone d'étude. En effet selon Rodier *et al.* (2009), ces valeurs de la conductivité indiquent une minéralisation moyennement accentuée.

Les teneurs en nitrates ont une valeur moyenne de $25,81 \pm 4,40$ mg/L avec comme maximum 97 mg/L ; ces teneurs à tendances élevées en ions nitrates seraient dues à l'accent mis par les cultivateurs sur les engrais azotés. Cependant, ces résultats sont en contradiction avec ceux d'Ajeagah *et al.*, (2016) qui avait plutôt retrouvé des traces d'ions nitrates dans les eaux usées exploitées en agriculture maraîchère de Nkolbisson. Quant aux teneurs en ions PO₄³⁻ elles ont été faibles pendant toute la période d'étude avec une moyenne de $2,61 \pm 1,88$ mg/L. Ces résultats se rapprochent de ceux d'Ajeagah *et al.*, (2016) (1,96 mg/L de PO₄³⁻ à la petite saison de pluies) et seraient dues à la faible utilisation d'engrais phosphatés dans cette zone de culture d'une part, et à la précipitation d'orthophosphates dans les sédiments d'autres part. Djeddi (2007), souligne que les réactions d'adsorption et de précipitation dans les sédiments diminuent les teneurs en orthophosphates dans le milieu.

L'azote ammoniacal a varié tout au long de cette étude avec une moyenne de $1,93 \pm 1,87$ mg/L de NH₄⁺, ces valeurs traduiraient une forte concentration des matières organiques en décomposition. Selon Rodier (2009), les teneurs en azote ammoniacal de l'ordre de 0,5 à 1 mg/L de NH₄⁺ dans les eaux de surface, laissent présager des foyers de pollution situés en amont. Il

stipule également que, les concentrations supérieures à 0,3 mg/L de NH_4^+ témoignent une importante pollution organique.

III.2.2 Caractéristiques biologiques des eaux analysées

Au cours de cette étude les espèces recherchées à savoir *S. typhi*, *E. coli* et *V. cholerae* ont été retrouvées à des abondances différentes en fonction des stations. Cette forte abondance, pourrait être due au fait que l'environnement de ces stations est propice à leur développement. En outre, la charge bactérienne élevée des BHAM enregistrées pourrait être due aux eaux de ruissellement contaminées ; ce qui indique par conséquent, une détérioration de la qualité bactériologique de l'eau (Santé Canada, 2006).

En ce qui concerne la bactérie indicatrice de contamination fécale *E. coli*, les abondances de ce groupe ont subi des variations spatio-temporelles avec une moyenne de 3,36 log UFC/100 mL. Cette valeur est supérieure aux normes établies par l'OMS (2004) et témoigne d'une contamination récente d'origine fécale des points d'eau considérés. Aguiza *et al.*, (2014) déclarent à cet effet que la présence des coliformes fécaux dans l'eau révèle de la contamination fécale car les coliformes fécaux sont typiques de déjections animales et humaines.

La concentration moyenne de *V. cholerae* obtenue pendant la période d'étude a été de 2,22 log UFC/100 mL. La présence de cette espèce dans les eaux analysées pourrait s'expliquer par les sources de contaminations ponctuelles ; les bas-fonds dans leur définition sont des réceptacles terminaux des déchets produits dans la ville et abriteraient ainsi une microflore accentuée. Diakite Amadou (2015) lors d'une étude de *V. cholerae* dans les eaux usées de l'Oued Boumerzoug souligna que les facteurs physico-chimiques sont d'une grande importance pour la bonne prolifération des germes. Cependant, dans les conditions compétitives, et/ou défavorables, *V. cholerae* peut passer dans un état viable non cultivable ; ceci expliquerait l'abondance faible de cette bactérie dans les eaux étudiées.

L'allure des courbes de la variation spatio-temporelle de *S. typhi* le long de l'étude a été très variable. Les valeurs trouvées des salmonelles dans les différents sites ont oscillé de 4,53 log UFC/100 mL à 3 log UFC/100 mL d'eau. La variation ou l'instabilité des colonies se justifierait par le fait que l'échantillonnage s'est fait de façon aléatoire mais aussi par les différences de saisons pendant l'étude. A ce propos, Patoine (2005), pense que les fortes densités enregistrées en saison pluvieuse se justifient par le lessivage des lisiers et des fumiers provoqués par les eaux de pluies.

III.2.3- Liaisons entre les paramètres physico-chimiques et biologiques évalués

Les résultats des corrélations entre les variables physico-chimiques et biologiques montrent que parmi les paramètres analysés, certaines variables ont influencé significativement sur le peuplement et la distribution des bactéries tout au long de l'étude. L'augmentation de la couleur de l'eau accroît significativement l'abondance de la microflore totale ; parallèlement, les MES et les solides dissous influencent positivement la croissance de *S. typhi* de la même manière que le taux de nitrates et d'azote ammoniacal influencent positivement la croissance des bactéries *S. typhi* et *E. coli* respectivement. En effet, les bactéries réagissent différemment face à la matière organique et en fonction de la composition de celle-ci, Aussi, la matière organique influence la disponibilité des nutriments en servant en même temps comme source d'énergie et de carbone pour certains microorganismes (Nola *et al.*, 2004).

L'augmentation de la température quant à elle influence négativement l'abondance des bactéries *E. coli* ; ceci pourrait s'expliquer par le fait que, les rayonnements solaires aient une action bactéricide sur les bactéries aquatiques (Lopez-Pila et Szewzyk, 2000). Elle a également pour effet de réchauffer les eaux et par conséquent contribuent à la diminution du nombre des microorganismes (Rodier *et al.*, 2009). Toutefois, ces résultats sont similaires à ceux des travaux de Seni (2013) qui a montré qu'une forte température induirait chez les bactéries des altérations au niveau de structures cellulaires favorisant ainsi l'entrée en état viable mais non cultivable.

La salinité est corrélée très positivement à la croissance de *V. cholerae* ceci s'expliquerait par le fait que, cette espèce réagit spontanément face aux composés chimiques. En effet, l'influence des composés chimiques sur la microflore est fonction de l'aptitude de l'espèce bactérienne à dégrader ces composés chimiques, soit pour neutraliser leur toxicité soit pour rendre disponible les éléments nutritifs et la source d'énergie, lesquels sont nécessaires à leur biosynthèse. Ces résultats corroborent avec ceux de Delhalle *et al.*, (2012) qui stipulent que, la croissance microbienne est l'accroissement ordonné de tous les composants du milieu.

**CONCLUSION, RECOMMANDATIONS
ET PERSPECTIVES**

Ce travail visait à évaluer l'abondance relative des bactéries *S. typhi*, *E. coli* et *V. cholerae* dans les eaux d'arrosages de quelques bas-fonds de Yaoundé VII. Il en ressort que les eaux analysées sont acides, peu minéralisées avec une température peu variable ; elles sont également riches en matières organiques avec une sous saturation en oxygène. Les analyses bactériologiques ont révélé la présence d'une abondante microflore bactérienne. Cette microflore comprend entre autres *S. typhi*, *E. coli* et *V. cholerae* qui sont des bactéries pathogènes responsables respectivement de la fièvre typhoïde, des diarrhées et du choléra. La salinité, la température, la couleur les MES, les TDS, les NO_3^- et le NH_4^+ ont influencé la distribution des bactéries isolées. La présence de ces germes pathogènes montre que les eaux analysées sont polluées et sont peu recommandables pour l'agriculture.

A l'issue de ce travail, il est recommandé :

❖ Aux populations :

- de bien laver et bien cuire les plantes avant leur consommation.

❖ Aux cultivateurs :

- d'adopter des comportements responsables afin de préserver les ressources hydriques .

❖ Aux pouvoirs publics :

- de développer des mesures environnementales appropriées ainsi que les procédés adéquats de traitement de ces eaux .
- d'intégrer la gestion de l'eau en agriculture avec le traitement des eaux dans les ménages et les industries avant tout déversement dans la nature.

Afin d'apporter d'amples informations sur les bactéries recherchées, il est envisagé pour les travaux futurs :

- d'étendre cette recherche sur d'autres espèces bactériennes, dans toute la localité et pendant une période d'étude plus longue.
- d'approfondir cette recherche en testant la sensibilité ou résistance de ces germes bactériens isolés à divers antibiotiques, afin de contribuer au meilleur contrôle et à l'éradication des maladies causées par ces germes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Abu-jawdeh, g., Laria, S., et Bourahla. (2000)** : Liban enjeux et politiques d'environnement et de développement durable. Beyrouth : Éditions du Programme des Nations-Unies pour l'Environnement/Plan Bleu/ Centre d'Activités Régionales, 54p.
- **Aboukacem, A., Chahlaoui, A., Soulaymani, A., Rhazifilali, F ; et Benali, B. (2007)**. Etude comparative de la qualité bactériologique des eaux des oueds Boufekrane et ouislane à la traversée de la ville de Meknes (Maroc). *Revue de Microbiologie Industrielle Sanitaire et Environnementale*, 1 : 10-22.
- **Agbodjan, P. (1999)**. Etude du fonctionnement hydraulique d'un bas-fond en vue de l'aménagement en zone soudano-guinéenne. Cas du bas-fond d'Akouégba (Glazoué), thèse d'ingénieur Agronome, FSA/UNB, 196p
- **Aghai, O., et Choukr-Allah, R. (2005)**. Impact de l'irrigation par les eaux usées épurées sur la productivité d'une culture de tomate de plein champ, la santé du sol et le bilan d'Azote. The use of non conventionna water resources. Bari: CHEAM/EU DG Research, 66 (11), 165-171.
- **Aguiza, A. E., Ombolo, A., Ngassoum, M. B ; et Mbawala. A. (2014)**. Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de cours d'eau de Ngaoundéré au Cameroun. *Afrique science* 10 (4) : 135-145.
- **Ajeagah, G., Aghaindum., Foto Menbohan, S., Wouafo, M., Moyou, R. S., Nola, M., Monkiedje, A., Ngassam, P., Zébazé Togouet, S. H., et Kemka, N. (2005)**. Distribution of *Giardia sp* cysts in the Mfoundi water basin (Cameroon): influence of some physico-chemical factors of the medium. *Journal of the Cameroon Academy of Sciences*, 5 (2-3): 85-90.
- **Ajeagah Gideon, A., Chumtchoua, A. L., Mbouombouo Mama., Foto Menbohan, S; et Njine Thomas. (2016)**. Evaluation de l'abondance des kystes des protozoaires flagellés dans les eaux usées exploitées en agriculture maraichère en zone urbaine de Yaoundé (Cameroun). *Journal of Applied Bioscience* 107 : 10450-10459.
- **Allan, D. (2004)**. Landscape and rivers cape: the influence of land use on stream ecosystems. *Annals Review of Ecological Systems*, p 257-284.
- Anonyme, 2007. Sécurité sanitaire des laits et des produits laitiers : Impact des staphylocoques. Rapport. 60 p.
- **Aquaref. (2011)**. Guide des prescriptions techniques pour la surveillance physico-chimique des milieux aquatiques : Opérations d'échantillonnage en cours d'eau (eaux et sédiments) en milieu continental, 24p.

- **Becton et Dickinson. (2014)** Procédures de contrôle de qualité : Kligler Iron Agar Slants. Dublin, France, 4p.
- **Bent, M. A., Mint, S ; et Baba, A., (2008).** « Manuel de travaux pratiques en microbiologie ». Université de Nouakchott. P18-22
- **Bergan, T. (1984).** Classification of *Escherichia coli*. *Methods Microbiology*, 14 : 1- 41.
- **Berton, S. (1988).** La maîtresse des crues dans les bas-fonds. Petits et micro-barrages en Afrique de l'Ouest. Dossier n° 12, CF/GRET/ACCT, 474p.
- **Blake P. A., (1993).** Epidemiology of cholera in the America. *Gastroenterology Clinics of North America*, 22: 639-330.
- **Bonhomme, A. J. C. (2003).** Les bactéries du genre *Vibrio* et la santé publique vétérinaire. Thèse de doctorat Vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort (France), 117p.
- **Bremner, J ; et Gribble, J.** Le défi d'atteindre le dividende démographique. Population référence bureau, 8p.
- **CEAEQ. (2007).** Détermination des Orthophosphates dans l'eau : méthode calorimétrique automatisée à l'acide ascorbique. MA.3030-P1.0, Revue3, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 12p.
- **CHU-PS. (2003).** Bactériologie DCEM1. Université Paris-VI Pierre et Marie Curie, Faculté de Médecine, Paris, 144p.
- **CIPRE, (2002).** L'agriculture urbaine et périurbaine à Yaoundé-Cameroun : Situation d'une activité montante et controversée. Tome 1. Document de projet, 56p.
- **CREPA. (2007).** Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées. Protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût. Ouagadougou, Burkina Faso, 43p.
- **Dedet, JP. (2007).** La microbiologie, de ses origines aux maladies émergentes. Paris : Dunod, 262p.
- **Delhalle, L., Daube, G., Adolphe, I., Crevecoeur, S., Clinquart, A., (2012).** Les modèles de croissance en microbiologie prévisionnelle pour la maîtrise de la sécurité des aliments (Synthèse bibliographique). *Biotechnologie, Agronomie, société et environnement*, 3(16) : 369-381.
- **Diakité, A. M. P. (2015).** Recherche et étude de *Vibrio cholerae* dans les eaux usées de l'Oued Boumerzoug : mémoire de master, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université des frères Mentouri constantine, 82p.
- **Djeddi, H. (2007).** Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines. Mémoire : Université Mentouri Constantine (Algérie), 136p.

- **Diagnostics Pasteur. (1987).** Milieux et réactifs de laboratoire pasteur. Maury M., 3^{ème} édition, Paris, 727p.
- **Edberg, S. C., Rice, E. W., Karlin, R. J., et Allen, M. J. (2000).** *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 88 : 106-116.
- **Ferguson, S., Roberts, C., Handy, E., et Sharma, M. (2013).** Lytic Bacteriophages Reduce *Escherichia coli* O157: H7 on Fresh Cut Lettuce Introduced Through Cross Contamination. *Landes Bioscience*, 3(1).
- **Festy, B., Haterman, P., Ledrans, M., Levallois, P., Payment, P., Tricard, D. (2003).** Qualité de l'eau, 37p
- **Foto, M. S., Ajeegah, G. A., et Njine, T. (2002).** Qualité des eaux de cinq cours d'eau du bassin du Mfoundi à Yaoundé, 5^{ème} conférence Interrégionale sur l'environnement et l'eau – Environnement et Eau – EnviroWater, Ouagadougou.
- **Foto, Menbohan. S., Tchakonté, S., Ajeegah, G. A., Zébazé, Togouet. S. H., Bilong Bilong, C. F ; et T, Njiné. (2013).** Water quality assessment using benthic macroinvertebrates in a periurban stream (Cameroon). *The International Journal of Biotechnology*, 2: 91-104.
- **Fournier, J. M. et Quilici, M. L. (2002).** Infections à vibrions non cholériques. *Encycl.Méd. Chir.* (éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS, Paris, tous droits réservés), *Maladies infectieuses*, 8-026-F15. Fr. 7p.
- **Gangarosa, E. J. et Mosley, W. H. (1974).** Epidemiology and surveillance of cholera. In : Barua D & Burrows W. Eds. Cholera. Philadelphia. *W.B saunders company*, 381-403p.
- **Garrity., Brenner, D. J., Krieg, N.R. et Staley, J. R. (2005).** *Bergey's Manual of systematic Bacteriology: The proteobacteria, Part B: The gammaproteobacteria* 2nd edition, Williams et Wikins (ED.), XXVIII, 1108 p.
- **George, I. et Servais. (2002).** Sources et dynamique des coliformes dans le bassin de la Seine. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, France, 46 p.
- **Giller, P. S. et malmavist, B. (1999).** *The biology of rivers and streams.* Oxford University Press, Oxford. 296 p.
- **Grimont, P. (1987).** Taxonomie des *Escherichia*. *Méd Mal Infect*, 6-10.
- **Hanse, w. Frenet, J. (1995).** La fièvre typhoïde et autres salmonelloses, Histoire de leur diagnostic. *Ly Pharm*; 46(8) : 465-70p.
- **Hébert, s. et Hégaré, 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. et 3 annexes.

- **Hecky, R. E. (2000).** A biogeochemical comparison of lakes Superior in Malawie, and the limnological consequences of an endless summer. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, Vol 3, pp 23-33
- **Hutin, P; Garré, M., Picard. (1997).** Fièvre typhoïde; pp 8-19
- **Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, P. H. A., Staley, J. T., Williams, S. T. (1994).** *Bergey' s Manual of Determinate Bacteriology*, 9th Edition. Baltimore: Williams & Wilkins. 787 pages.
- **Holt, J. G., Krieg, N. R., Sneath, P. H. A., Staley, J.T., and Williams, S. T. (2000).** *Bergey' s manual of determinative bacteriology*. Lipponcott Williams and Wilkins, Philadelphia, pp.62-75.
- **INRA. (2005).** L'émergence d'une ingénierie écologique des milieux aquatiques. Rapport de l'Institut National de la Recherche Agronomique : Direction de l'information et de la communication, 8 p.
- **Isabelle, C. (2004).** Analyse d'eau pour fin d'irrigation : AGRI-VISION, 8p.
- **Jubelin, G. (2005).** Formation de biofilms par *Escherichia coli* K-12 : rôle des systèmes à deux composants dans la synthèse des curli. Thèse de Doctorat de l'institut National des Sciences Appliquées de Lyon. 66 pages.
- **Kilian, J., Teissier, J. (1973).** Méthodes d'investigation pour l'analyse et le classement des bas-fonds dans quelques régions de l'Afrique de l'Ouest : Proposition de classification d'aptitude des terres à la riziculture. *Agron. Trop.* Vol. 28 (2) 156-172.
- **Kirn, T. J., Lafferty, M. J., Sandoe, C. M. P., et Taylor, R. K. (2000).** Delineation of pilin domains required for bacterial association into microcolonies and intestinal colonization. *Molecular Microbiology*, 35(4): 896-910.
- **Koller, E. (2004).** Traitement des pollutions industrielles : Eau, air, déchets, sols, boues. Dunod, Paris, 117 p.
- **Kouam, K. G. R., Rosillon, F., Mpakam, H. G., et Nono, A. (2010).** Enjeux sanitaires, socio-économiques et environnementaux liés à la réutilisation des eaux usées dans le maraichage urbain : cas du bassin versant de l'Abiergué (Yaoundé-Cameroun), vertigO – *la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 10 N°2. 16P.
- **Kuété, M. (2000).** Les aspects physiques de l'environnement d'une bordure de socle tropical au fond du Golfe de Guinée. Presse universitaire de Yaoundé, 17 : 12-18.
- **Ladibe, P. (2021).** Abondance relative et diversité des staphylocoques dans quelques points d'eaux superficiels et souterrains à Yaoundé. Mémoire de Master faculté des sciences, Université de Yaoundé I, 78p
- **Lavigne-Deville, P ; Boucher, L., Vidal, L. (1996).** Les bas-fonds en Afrique tropicale humide. Collection LE POINT SUR, CF/CT/GRET, Paris/France, 451p.

- **Lawson, M. L. (2001).** Etude du fonctionnement hydrologique et hydraulique d'un bas-fond en vue de sa mise en valeur : cas du bas-fond de Sedjè-Dénou (Zè). Thèse d'ingénieur Agronome, FSA/UNB, 142p.
- **Le Minor, L; Popoff, M. Y., et Bockemuhl, J. (1990).** Supplement 1989 to the Kauffmann-White scheme. *Res Microbiol* 141: p1173-1177.
- **Le Minor, L. & Richard, C. (1993).** Méthodes de laboratoire pour l'identification des Entérobactéries. Edition, Institut Pasteur, Paris, 217 pages.
- **Levine, M. M. (1987).** *Escherichia coli* that diarrhea: enterotoxinogenic, enteropathogenic, enteroinvasive, enterohemorrhagic and enteroadherent. *Journal of Infections Diseases*, 155 : p377-389.
- **LEYNAUD, J., et VERREL, J. (1980).** Modifications du milieu aquatique sous l'influence des pollutions. In : P. Pesson, (Eds), La pollution des eaux continentales. Incidence sur les biocénoses aquatiques, Paris : Bordas. Pp. 1-28.
- **Lopez-Pila, J. M. et Szewzyk, R. (2000).** Estimating the infection risk in recreational waters from the faecal indicators concentration and from the ratio between pathogens and indicators. *Water Research*, 34: 4195-5200.
- **Mamadou, L. N. (2009).** Impacts sanitaires des eaux d'arrosage de l'agriculture urbaine de Dakar (Sénégal), thèse présentée à l'université de Genève pour obtenir le grade de docteur ès sciences. 163p.
- **Marshal, N., Bourdon, J. et Richard, C. (1991).** Les milieux de culture pour l'isolement et l'identification biochimique des bactéries. *Dion-biologie appliquée*, Paris, 505 p.
- **Mast Group. (2016)** Test à l'arginine-dihydrolase (*ADH*). Manassas, Virginia, 1p.
- **Milon, A. (1993).** Mécanismes moléculaires de pathogénicité des *Escherichia coli* inducteurs de diarrhées chez l'Homme et l'animal. *Revue Médical. Vétérinaire*, 144p.
- **Miquel, G. (2003).** La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Rapport numéro 215, tome 1 de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (Sénat). 195 p
- **Morris. (1995).** The attenuation of solar UV radiation in lakes and the role of dissolved organic carbon. *Limnology and Oceanography*, 40 : 1381- 1391p.
- **Moussa, H. C. (2014).** Evaluation de la qualité de l'eau du bassin supérieur de la rivière du Litani, Liban: approche hydrogéochimique. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, France, 329p.
- **Moussima, Yaka. D. A., Tiemeni, A. A., Bertrand, Zing Zing. B., Jokam, Nenkam. T. L. L., Aboubakar, A., Nzeket, A. B., Fokouong, Tcholong. B. H., et MFOPOU, Mewouo. Y. C. (2020).** Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines et risques

sanitaires dans quelques quartiers de Yaoundé VII, Cameroun. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14(5): 1902-1920.

- **Nations Unies. (2015).** Objectif du millénaire pour le développement, 75p.
- **Condom. N., Dr., Remi. D. (2016).** Réutilisation des eaux usées pour l'irrigation agricole en zone péri-urbaine de pays en développement: pratique, défis et solutions opérationnelles, 63p.
- **N'diaye, A. D., Mohamed, S. O. K., Aminata, D. S, et Baidy. L. (2010).** Evaluation de la qualité des eaux usées brutes de Nouakchott rejetées dans le périmètre maraîchère de Sebkh, *rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 15: 11-21.
- **Ndjama, J., Kuitcha, D., Awah, T. M., Beyala, K. K. V., Nkamdjou, S. L; et Ekodeck, E. G. (2011).** Richesse spécifique et abondance bactérienne dans deux bassins versants (Mgoua et Bobongo) à Douala (Cameroun). *Journal Africain des Science de l'environnement*, 2 (12) : 71-83.
- **Neveu, A., Riou, C., Bonhomme, R., Chassin ; et Papy, F. (2001).** L'eau dans l'espace rural, vie et milieux aquatiques. INRA, Paris. 83 p.
- **Newell, D. G., Koopmans, M., Verhoef, L., Duizer, E., Aidara-Kane, A., Sprong, H. (2010).** Food borne diseases: The challenges of 20 years ago still persist while new ones continue to emerge. *International Journal of Food Microbiology*, 1 :3–15p.
- **Nguegang, P., Parrot, L., Lejoly, J., Joiris, V. (2005)** Mise en valeur des bas-fonds à Yaoundé: système de production et potentialités d'une agriculture urbaine et périurbaine en développement. 11p
- **Nola, M., Njiné, T; Boutin, C; Messouli, M. Servais, P; Foto, Menbohan. S ; Ngo, Bidjeck, L. M ; Zébazé, Togouet ; H. S ; et Kemka, N. (2004).** Retention of *Escherichia coli* from water infiltration in the equatorial soil in Cameroon (Central Africa): The role of various soil layers. *Journal of cameroon Academy of Sciences*, 2 : 107-116.
- **Nola, M., Njiné, T., Djuikom, E ; et Sikati, F. (2002).** Faecal coliforms and faecal streptococci community in the underground water in an equatorial area in Cameroon (Central Africa): the importance of some environmental chemical factors. *Water Research*, 36 : 3289-3297p.
- **Nola, M., Noah Ewoti, O. V., Nougang, M., Mougang, M. L., Chhib, N. E., Krier, F., Servais, P., Hornez, J. P. and Njine, T. (2010).** Involvement of cell shape and flagella the bacterial in retention during percolation of contaminated water through soil columns in tropical region, *Journal of Environmental Science and Health*. 45: (11): 1297-1306p.
- **Nougang, M. E. (2012).** Souches pathogènes d'*Escherichia coli* dans les eaux souterraines et de surfaces des villes de Douala et Yaoundé (Cameroun), et importance de quelques facteurs

abiotiques. Thèse de Doctorat/phD. DBPA. Faculté des sciences. Université de Yaoundé I. 145 pages

- **Ntangmo, Tsafack., Emile, Temgoua ; et Thomas, Njine. (2019)** : Persistance de *E.coli*, des œufs d'Helminthes et des kystes de protozoaires contenus dans les eaux usées urbaines d'arrosage sur les cultures maraichères à Dschang, Ouest-ameroun. *int.J.Biol.Chem. Sci.* 13(5) : 81-90.
- **OMS. (2006)** : Les facteurs environnementaux sont la cause de 24 % de maladies. <http://www.futura-science.com>.
- **Ouedraogo, D. (2019)**. Etude d'aménagement de bas-fonds rizicole de 20 HA de type PAFR a Tanibiaga, province de la Gnagna : Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur 2IE avec grade de master. 122p
- **Oulymata, G. (2007)**. Utilisation des méthodes biométriques dans l'identification de quelques bacilles à Gram négatif [thèse]. Dakar : Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 88p
- **Patoine, M. (2005)**. -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), (2011) 421-435 p.
- **Pay, D., Christopher, A., Scott, L. R. S., Mark, R, et Akiça, B. (2011)**. L'irrigation avec les eaux usées et la santé. 479p
- **Pennec, Y. L., Garré, M. (2003)** Salmonelloses de l'adulte. EMC ;8-018-A-15.
- **Pierce, N. F., Sack, R. B ; et Mitra, R.C., (1969)**. Replacement of water and electrolyte loss in cholera by an oral glucose- electrolyte solution. *Annals of internal medicine*, 70 : 1173-1181.
- **Prof JP, Mbo. (2008)** Cours de Physiopathologie, G3 Bioméd, inédit, UNIGOM.
- **Ramsar. (2010)**. Gestion des eaux souterraines. Dans *Manuels Ramsar pour l'utilisation rationnelle des zones humides*. Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse, pp. 8.
- **Raunet, Michel. (1985)**. Bas-fonds et riziculture en Afrique. Approche structurale comparative. *L'agronomie tropicale* (1975), 40(3) : pp 181-201.
- **Reynauld, J. P. (2002)**. *Eléments de microbiologie et d'Immunologie*. Ed Décarte. 6010 pages.
- **Rice, E.W. (1999)**. *Escherichia coli*. Dans: *American Water Works Association Manual of water supply practices: Waterborne pathogens*. AWWA # M48, pp :75-78.
- **Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., et coll. (2009)**. *L'analyse de l'eau*. 9e édition, DUNOD, Paris, 1579p.
- **Santé canada. (2006)**. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au canada : document technique Les bactéries pathogènes d'origine hydrique : micro-organismes préoccupants courants et émergent. Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario), 43p.

- **Santosh, M., Avvannavar, S. M ; et Shrihari, S. (2008).** Evaluation of water quality index for drinking for river Netravathi, Mangalore, South India. *Environmental Monitoring and assessment*, 143: 279-290
- **Savary, P. (2010).** Guide des analyses de la qualité de l'eau. Groupe Territorial, France 266p.
- **Selima, Berchi ; Armel, Ouati ; Kamel, Louadi. (2012).** Typologie des gîtes propices au développement larvaire de *Culex pipiens* L.1758 (Diptera-culicidae) source de nuisance à constantine (Algérie), In :Thierry Dutoit , *ecologia mediterranea* , Revue internationale d'écologie méditerranéenne, vol 38, p 8-12
- **Seni, A. E. (2013).** Effect of the temperature on the growth of *Enterococcus faecalis* cultivated in alkaliphilic conditions using hydrolysed sago starch. Thesis in resource science and Technology, University Malaysia Sarawak.
- **Simões, M., Pisani, B., Marques, E. G. L., Prandi, M. A. G., Martini, M. H., Chiarini, P. F. T., (2001).** Hygienic-sanitary conditions of vegetables and irrigation water from kitchen gardens in the municipality of Campinas. *Brazilian Journal of Microbiology*, 32 : 331-333.
- **Suchel, J. (1987).** Les climats du Cameroun. *Thèse de Doctorat d'état. Université Saint-Étienne, France*, 46p.
- **Salim, D. (2009).** Fiche technique de la recherche de l'uréase. Dans *Le diagnostic biochimique bactérien*. Éditions sciences et techniques, Ireland, pp.261-279.
- **Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M ; et Usseglio-Polatera, P. (2006).** Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie et écologie. CNRS édition, Paris-France, 588p.
- **Tamsa, Arfao. A., Onana, M. F., Koji, E., MOUNGANG, L. M., Noah, Ewoti. O. V., Tchumaleu, Emadjeu. J.B., Tchakonté, S., Manouore, Njoya. A., Téléphore, Sime- Ngando; and Nola, Moïse. (2021).** "Using Principal Component Analysis to Assess Water Quality from the Landing Stages in Coastal Region." *American Journal of Water Resources*, vol. 9, no. 1: 23-31. doi: 10.12691/ajwr-9-1-4.
- **Tap, (2004).** Caractérisation moléculaire des *Escherichia coli* O111 et diversité des souches isolées en France. Rapport de stage, Université Paris, 44 p.
- **Tauxe, R., Saninario, L., Tapia, R., Libel, M. (1994).** *Vibrio cholerae* and cholera: Molecular to Global Perspectives. Washington, DC. *American Society for Microbiology (ASM) Press*, 29 : 321-344p.
- **Twedt, R. M, (1989).** *Vibrio parahemolyticus*. In: Doyle, M.P. (ed) *Foodborne Food bacterial Pathogens*, New York : Marcel Dekker, p 543-568.
- **UNFPA. (2007)** : Etat de la population mondiale. WWW.unfpa.org, 108p.
- **Vilaginès, R. (2003).** Eau, environnement et santé publique. Lavoisier ed, Paris, 236p.

- **Waldor, M. K ; et RayChaudhuri, D. (2000).** Bacterial genomics: Treasure trove for cholera research. *Nature*, 406 : 469-470.
- **Zebaze, Togouet. S. H., Njine, T., Kemka, N., Nola, M., Foto, M. S., Monkiedje, A., Niyitegeka, D., Sime-Ngandot; et Judiaël, L. B., (2005).** Variations spatiales et temporelles de la richesse et de l'abondance des Rotifères (Brachiomidae et Trichocercidae) et des Cladocères dans un petit lac artificiel eutrophe situé en zone tropical. *Revue des Sciences de l'Eau* 18 (4) : 485-505.
- **Zébazé, Togouet. S. H, Tuékam, kayo. R. P., Boutin, C., Nola, M. et Foto, Menbohan. S. (2011).** Impact de la pression anthropique sur l'eau et la faune aquatique des puits et sources de la pression anthropique sur l'eau et la faune aquatique des puits et sources de la région de Yaoundé (Cameroun, Afrique centrale). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 147 : 27-41.

ANNEXES

stations	mois	temp	pH	cond	TDS	sal	oxy dissous	CO2 dissous	nitrate	orthophosphate	MES	coul	amoniaque	BHAM	E.COLI	VIBRIO	s.typhi	
S1	JAN	25,3	6,36	236	118	0,01	2,8	24,64	7,1	1,88	34	47	0	712000	2000	314	3000	
	FEV	23,9	6,07	255	127	0,01	2,3	28,16	14,02	5,7	65	176	0,96	940000	0	215	5000	
	MARS	23	6,78	704	419	0,04	3,4	31,68	20,02	3,01	87	283	1,21	1416000	10000	607	18000	
	AVRIL	26,1	6,67	702	316	0,02	0,32	26,4	79,9	4,73	95	301	3,88	1104000	12000	302	2000	
	MAI	20,8	6,96	764	327	0,04	1,7	22,88	23,4	3,3	116	342	2,69	660000	34000	291	13000	
	JUIN	22	6,37	693	387	0,01	1,9	33,44	63,2	6,33	107	309	1,27	1430000	3000	620	10000	
	JAN	25,4	6,4	74	37	0	2,3	21,12	5,6	0,22	16	20	0,3	960000	8000	173	4000	
	FEV	23,5	6,74	66	35	0	3,03	21,12	14,34	4,6	69	213	1,57	1064000	4000	296	7000	
	MARS	23,7	6,95	97	48	0	2,9	24,64	7,8	0,34	42	87	0,17	388000	2000	207	5000	
	AVRIL	26,7	6,52	314	197	0,01	5,16	22,88	19,8	5,72	51	96	2	952000	3000	85	21000	
S2	MAI	20,1	6,92	107	54	0	1,8	28,16	9,1	0,74	59	101	0,34	304000	11000	64	1000	
	JUIN	22,3	6,84	84	39	0	1,8	29,12	16,4	0,97	73	220	0,78	448000	14000	151	4000	
	JAN	26,4	6,39	236	104	0,01	2,51	29,92	10,7	0,8	19	31	0	1512000	3000	396	1000	
	FEV	27,2	6,6	212	104	0,01	1,88	27,64	30,06	0,41	107	317	3,04	1127000	13000	320	2000	
	MARS	27,3	6,78	168	91	0	2,8	30,1	45,2	1,34	184	480	5,09	1722000	17000	578	34000	
	AVRIL	27,1	6,7	447	226	0	2,7	29,92	44,8	4,59	48	139	1,96	1220000	5000	107	7000	
	MAI	21,4	6,79	232	119	0	0,32	24,74	43	2,89	244	447	10,06	1152000	19000	68	9000	
	JUIN	26,3	6,31	169	93	0,02	2,4	28,16	23,2	3,22	121	325	2,61	792000	11000	202	12000	
	JAN	27,6	6,4	239	121	0,01	2,51	22,88	10,7	0,22	147	357	0,14	2448000	0	244	18000	
	FEV	22,9	7,19	413	212	0,02	2,2	26,4	36	2,16	48	108	1,89	1101000	9000	250	12000	
S3	MARS	27,6	6,52	380	150	0,01	3	21,12	29,7	2,73	47	94	2,51	459000	21000	105	11000	
	AVRIL	27,3	6,59	613	302	0,01	6,09	33,44	30,5	6,28	71	214	3,39	996000	8000	67	16000	
	MAI	24,1	7,48	383	116	0	1,2	22,88	35,3	3,53	40	92	3,35	134000	23000	71	4000	
	JUIN	26,2	6,63	402	203	0,01	1,6	29,92	27,5	4,03	98	297	1,03	397000	7000	95	9000	
	JAN	28,6	6,49	372	186	0,01	2,8	26,4	9	0,65	24	34	0,18	836000	5000	284	3000	
	FEV	24,5	7,19	413	212	0	1,7	24,88	18,1	3,23	27	42	1,59	506000	7000	115	8000	
	MARS	27,7	7,17	279	159	0,02	3,1	28,88	17	1,89	57	72	2	447000	2000	147	19000	
	AVRIL	27,3	6,4	580	295	0	7,4	30,12	14	5,68	96	319	0,49	780000	0	73	9000	
	MAI	23,1	7,06	240	133	0	2,7	31,68	28,3	1,5	19	35	2,63	142000	16000	79	11000	
	JUIN	27,1	6,95	263	157	0,02	1,7	14,08	12,49	0,73	85	232	1,65	601000	0	127	27000	
S4	JAN	28,2	7,75	371	137	0,01	0,31	34,4	16,2	0,3	106	327	0,4	1531000	0	315	2000	
	FEV	21,3	6,07	255	127	0,01	2,04	31,68	31,9	2,07	74	218	2,06	879000	5000	216	8000	
	MARS	23,2	5,77	125	94	0	3,4	28,96	10,7	1,96	82	227	1,97	809000	6000	119	7000	
	AVRIL	25,9	7,2	387	125	0	8,1	29,92	97	2,93	14	51	1,91	998000	16000	110	4000	
	MAI	20,4	6,6	282	118	0,01	2,3	29,64	13,7	2,16	68	207	0,64	184000	10000	73	2000	
	JUIN	21,9	6,01	109	97	0	2,3	21,12	13,32	1,21	103	312	3,67	326000	18000	86	15000	
	MOY	24,8166667	6,6838889	324,055556	160,694444	0,00888889	2,67972222	27,0311111	25,8069444		2,6125	76,1944444	199,222222	1,92861111	874361,111	9000	210,333333	9527,77778
	EC	2,50376859	0,41712128	193,141982	97,0012723	0,01035865	1,67424949	4,39174146	4,39820418		1,877269103	48,049272	127,544527	1,87173587	494990,11	7782,76484	151,683505	7587,53154
	max	28,6	7,75	764	419	0,04	8,1	34,4	97		6,33	244	480	10,06	2448000	34000	620	34000
	Min	20,1	5,77	66	35	0	0,31	14,08	5,6		0,22	14	20	0	134000	0	64	1000
sommes														31477000	324000	7572	343000	