UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Évaluation de la qualité de l’eau de quelques piscines de la ville de Bujumbura

Ntirampeba, Jonas

2020-10
UB, Faculté des Sciences
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/169

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi





UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES

ÉVALUATION DE LA QUALITE DE L'EAU DE QUELQUES PISCINES DE LA VILLE DE BUJUMBURA

Par

NTIRAMPEBA Jonas

Sous la direction de :

Dr. NIYUNGEKO Christophe

Membres du jury :

Président : Prof. NDAMANISHA Jean-Chrysostome

Secrétaire : Dr. NIHORIMBERE Manassé

Mémoire présenté et défendu publiquement en date du 14/10/2020 en vue de l'obtention du :

Diplôme de Master en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement

Option : Eaux et Assainissement

DEDICACES

A mes parents, BARANKIRIZA et BARAHIRAJE,

A ma chère épouse, IGIRANEZA,

A ma fille, Iolite Jasmin,

A toute ma famille,

A tous mes amis,

Je dédie ce mémoire.

REMERCIEMEMTS

Au terme du présent travail, il nous tient d'exprimer notre action de gratitude à l'endroit de toutes les personnes tant physiques que morales qui ont contribué à sa réalisation.

Ce travail est réalisé au Centre de Recherche des Sciences Naturelle et Environnement (CRSNE) plus particulièrement au Laboratoire d'Analyses Chimiques et Environnementales de la Faculté des Sciences et le Laboratoire de Microbiologie de la Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie (FABI) tous de l'Université du Burundi sous la direction du Dr NIYUNGEKO Christophe.

Nos vifs remerciements sont d'abord adressés à Monsieur Dr. NIYUNGEKO Christophe, promoteur et directeur de ce travail. Sa rigueur scientifique, sa détermination, ses conseils et ses remarques si judicieux ainsi que sa disponibilité malgré ses multiples obligations nous ont été d'une importance capitale dans la réalisation du présent travail.

Nos remerciements s'adressent aussi aux responsables et techniciens des Laboratoires d'Analyse Chimique et Environnementale de la Faculté des Sciences et Laboratoire de Microbiologie de la Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie pour leur assistance technique lors de nos analyses.

Nos sincères remerciements s'adressent également au VLIR-UOS pour son soutien matériel lors de l'échantillonnage.

Nous ne saurions pas terminer notre page sans exprimer notre reconnaissance à tous camarades de classe. Leur présence nous a réconfortés et fait aller de l'avant par notre entre-aide mutuelle et franche collaboration qui nous a rapprochés les uns des autres tous en étant l'un des facteurs importants non négligeables dans la réussite de notre cursus.

Il nous sied d'adresser nos sincères remerciements à ma chère épouse et ma fille pour leur patience, leur encouragement et leur soutien durant toute la période d'étude en Mastère. C'est le même sentiment envers nos parents, nos frères et sœurs, nos tantes, nos oncles et cousins.

Enfin, tous ceux qui, à différents degrés, nous ont donné un coup de tremplin, de près ou de loin dans notre formation et à l'aboutissement du présent travail et qui ne se trouvent pas nommément évoqués dans les paragraphes ci-haut, qu'ils rencontrent eux-aussi dans ces pages l'expression de notre profonde gratitude.

SIGLES ET ABREVIATIONS

AEP : Approvisionnement en Eau Potable

Cond. : Conductivité

NTU :Nephelometric Turbidity Unit

OMS : Organisation Mondiale pour la Santé

REGIDESO : Régie de Production et de Distribution de l'Eau et de l'Electricité

T^o :Température

MPN: Most Probable Number

UFC : Unité Formant Colonie

FABI : Faculté d'Agronomie et de Bio- Ingénierie

DPD: N, N-diethyl-p-phenylenediamine

CF : Coliformes fécaux

CT : Coliformes totaux

CRSNE : Centre de Recherche en Sciences Naturelles et de l'Environnement.

VRBL : Violet, Rouge neutre, sel Biliaire, lactose

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Contaminants microbiologique d'origine fécale.....6

Tableau 2: Contaminants microbiologique d'origine non fécale.....6

Tableau 3: Résultats des paramètres mesurés in situ 15

Tableau 4 : Résultats des paramètres chimiques analysés au laboratoire 20

Tableau 5: Normes utilisées pour interpréter les résultats 26

Tableau 6: Résultats des analyses microbiologiques 27

Tableau 7 Matrice de corrélation de Pearson de la piscine ES obtenu entre les paramètres physicochimiques et microbiologique analysés 29

Tableau 8: Matrice de corrélation de Pearson de la piscine MS obtenu entre les paramètres physicochimiques et microbiologique analysés 32

Tableau 9: Matrice de corrélation de Pearson de la piscine HC tenu entre les paramètres physicochimiques et microbiologique analysés 33

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Description des réactions chimiques formant les composés potentiellement toxiques dans les piscines désinfectées grâce au chlore : a) formation du chloroforme, b) formation des chloramines. 5

Figure 2: Profile d'évolution du pH au cours du période d'échantillonnage.....17

Figure 3: Profile d'évolution de la température.....18

Figure 4: Profile d'évolution de la turbidité au cours d'échantillonnage.....18

Figure 5: Profile d'évolution de la conductivité au cours d'échantillonnage.....19

Figure 6: Profile d'évolution du chlore libre 23

Figure 7 : Profile de l'évolution du chlore total.....23

Figure 8: Profile d'évolution du chlore combiné.....24

Figure 9: Profile d'évolution des nitrates.....24

Figure 10: Profile d'évolution de l'azote ammoniacal 25

Figure 11: Photo d'apparence des coliformes sur le milieu de culture VRBL 28

RESUME

Une mauvaise qualité d'eau des baignades constitue un danger sur la santé publique. Notre étude a porté sur l'évaluation de la qualité de l'eau de 3 piscines (MS, ES et HC) de la ville de Bujumbura. L'objectif principal de cette étude était d'évaluer les paramètres physicochimiques tels que le pH, la turbidité, la conductivité, les nitrates, le chlore libre, …et les paramètres microbiologiques (les coliformes totaux et les coliformes fécaux) dans une période de 3 mois s'ils sont conformes aux normes de l'OMS. À côté des paramètres mesurés sur terrain, deux échantillons, l'une pour les paramètres chimiques et l'autre pour l'analyse microbiologique ont été collecté pour chaque piscine.

Les résultats de ces recherches montrent qu'un seul paramètre (température) pour toutes les piscines était conforme aux normes de qualité de l'OMS. D'autres paramètres présentaient des fluctuations au cours de la période d'étude. 2/3 des jours d'échantillonnage montraient un pH >7.8 (piscine MS) et la piscine HC avait un pH<7.2. Toutes ces piscines ont montré une grande turbidité où MS (1.36 à 2.82 NTU), ES (2.86 à 6.05NTU) et HC (0.67 à 1.82 NTU). Le chlore libre apparait très faible (MS) avec une contamination par des coliformes totaux (<1UFC/ml et $1{,}17x10^{7}$UFC/1ml) pour MS (<1UFC/1ml et $6.32x10^{6}$ UFC/1ml) pour ES et (<1UFC/1ml et $5x10^{2}$UFC/1ml) pour HC. Les piscines MS et ES présentaient une grande contamination par les coliformes thermotolerant où MS avait des valeurs de (<1UFC/1ml et $2{,}18x10^{4}$UFC/1ml), ES (<1UFC/1ml et $2{,}32x10^{4}$UFC/1ml) mais la piscine HC a montré une contamination pour une fois pendant l'échantillonnage avec des valeurs de <1UFC/1ml et 5UFC/1ml. De plus, des valeurs extrêmes en nitrates (104,89 mg/L) ont été remarquées à la piscine ES. En définitive, les résultats ont révélé un non-respect aux normes de l'OMS pour toutes ces trois piscines échantillonnées.

Mots clés : piscine, nitrates désinfection, coliformes, Bujumbura

ABSTRACT

Inadequate swimming water quality is a danger to public health. Our study focused on the evaluation of the water quality of 3 swimming pools (MS, ES and HC) in the city of Bujumbura. The main objective of this study was to evaluate physicochemical parameters such as pH, turbidity, conductivity, nitrates, free chlorine ...and microbiological parameters (total coliforms and faecal coliforms) in a period of 3 months if they are compliant with WHO standards. Beside the parameters measured in the field, two samples, one for chemical parameters and another for microbiological analysis were collected for each swimming pool. The results of these researches show that only one parameter (temperature) for all pools was in accordance with the WHO quality standards. Other parameters showed fluctuations during the study period. 2/3 of the sampling days showed a pH >7.8 (MS pool) and the HC pool had a pH<7.2. All these pools showed high turbidity where ES (2.86 to 6.05NTU), MS (1.36 to 2.82 NTU) and HC (0.67 to 1.82 NTU). Free chlorine appears very low (MS) with contamination by total coliforms (<1MPN/ml and $1.17x10^{7}$MPN/1ml) for MS (<1MPN/1ml and $6.32x10^{6}$MPN/1ml) for ES and (<1MPN/1ml and $5x10^{2}$MPN/1ml) for HC. Both MS and ES pools show a high contamination by thermotolerant coliforms where MS (<1MPN/1ml and $2.18x10^{4}$MPN/1ml), ES (<1MPN/1ml and $2.32x10^{4}$MPN/1ml) but the HC pool showed a contamination for once during sampling with values of <1UFC/1ml and 5UFC/1ml. In addition, extreme values of nitrates (104.89 mg/L) were noticed at the ES pool. Finally, the results revealed a non-compliance with WHO standards for all three pools sampled.

KEY WORDS**:** swimming pool, nitrates, disinfection, coliforms, Bujumbura,

TABLE DES MATIERES

DEDICACES ..... **i**

REMERCIEMEMTS ..... **ii**

SIGLES ET ABREVIATIONS ..... **iii**

LISTE DES TABLEAUX ..... **iv**

LISTE DES FIGURES ..... **v**

RESUME ..... **vi**

ABSTRACT ..... **vii**

TABLE DES MATIERES ..... **viii**

INTRODUCTION GENERALE **1**

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PISCINES **4**

I.1. Fonctionnement d'une piscine 4

I.2. Type des piscines 4

I.3. Gestion des piscines 4

I.4. Désinfection et ses impacts 4

I.5. Risques microbiologiques 5

I.6. Paramètres de qualité de l'eau des piscines 7

I.6.1. Paramètres physico-chimiques 7

I.6.2. Matières organiques 7

I.7. Qualité microbiologique des eaux, les germes indicateurs de contamination fécale 7

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODE **9**

II.1. Description du lieu d'étude 9

II.2. Présentation du site et gamme d'échantillonnage 9

II.3. Mesure des paramètres caractéristique du milieu, prélèvement et transport des échantillons 10

II.3.1. Paramètres mesurés in situ 10

II.3.2. Prélèvement et transport des échantillons 10

II.4. Dosage des paramètres chimique au laboratoire 11
II.4.1. Nitrates 11
II.4.2. L'azote ammoniacal 11
II.4.3. Chlore libre, chlore total et chlore combiné 12
II.5. Paramètres microbiologiques 12
II.5.1. Milieux de cultures 12
II.5.2. Méthodologie d'inoculation pour la culture bactérienne 12
II.5.3. Dénombrement des coliformes totaux et fécaux 13
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS 14
III.1. Résultats 14
III.1.1 Résultats des paramètres mesurés in situ 14
III.1.1.1. pH 17
III.1.1. 2. La température 17
III.1.1.3. Turbidité 18
III.1.1.4. Conductivité 19
III.1.2. Résultats des paramètres analysés au laboratoire 19
III.1.2.1. Chlore libre 23
III. 1. 2.2. Chlore total 23
III.1.2.3. Chlore combiné 24
III.1.2.4. Nitrates 24
III.1.2.5. Azote ammoniacal 25
III.2. DISCUSSIONS DES RESULTATS 28
III.2.1. Qualité physico-chimique de l'eau 28
III.2.2. Qualité microbiologique 34
CHAPITRE IV. CONCLUSION GENERALE ET RECOMMENDATIONS 36
IV .1. Conclusion générale 36
IV.2. Recommandations 36
BIBLIOGRAPHIES 37

INTRODUCTION GENERALE

L'eau potable occupe une place importante pour la vie à tel point que l' OMS stipule que sa sécurité et sa qualité constituent un fondement crucial pour le bien-être et le développement de l'homme (OMS, 2015). Cependant, dans la plupart des cas, l'eau de consommation et celle de loisir dans beaucoup des communautés Africaines ne répond pas aux normes de qualité (Victor *et al*., 2019). L'homme fait recours à l'eau pour se détendre et pour des faits thérapeutiques. La natation peut avoir des effets bénéfiques sur la santé humaine (Zwiener *et al*., 2007). Ainsi, il a été démontré que la natation pendant la grossesse prévient à long terme les troubles de mémoire liés à la grossesse (Kim*et al*., 2012). De plus, la natation reste bénéfique aux personnes obèses, aux personnes âgés, aux asthmatiques, et présente peu de risques par rapport aux autres activités sportives (Carbonnelle *et al*., 2003).

Dans le monde entier, les piscines publics sont des lieux les plus visités : aux Etats-Unis d'Amérique 368 millions de personnes visitent les piscines publiques chaque année. En Allemagne, 1/3 de sa population visite les piscines publiques tandis qu'au Royaume Unis, 36% des personnes adultes fréquentent les piscines au moins une fois par semaine et 55% d'enfants de 5 à 9 ans se baignent dans les piscines au moins une fois le mois (Zwiener *et al*., 2007).Comme l'eau des piscines occupe une place importante en santé publique, sa préservation ou son traitement compte tenu des agents pathogènes est nécessaire. Selon Afsset(2010), l'eau des piscines comme tant d'autres bassins de rétention sont sujets à des contaminations microbiologiques et physico-chimiques. Pour cela, si cette eau n'est pas traitée régulièrement, elle peut être une source de contamination dangereuse pour l'homme. C'est dans cette perspective que l' OMS(2003) a mis en place une feuille de route pour une gestion durable des piscines afin d'éviter tous les risques sanitaires liés à leur fréquentation. Il met l'accent sur des activités à mener pour protéger la santé de leurs usagers, comme les activités de contrôle de qualité, leur protection à travers l'éducation des utilisateurs, ainsi que leur conception et leur construction conformément aux normes. En plus, il met en évidence une large gamme des risques liées aux piscines comme la qualité d'eau pouvant se compromettre à chaque instant à cause d'une éventuelle pollution ou le traitement inadéquat, ou même une source d'approvisionnement en eau qui est compromise.

Dans les pays d'Afrique subsaharienne comme ceux de l'Afrique de l'Est, la multiplication des piscines s'accélère et cela s'observe par leur présence dans les centres de récréation entre autres les hôtels, les établissements scolaires, les plages, les universités, etc (Ekopai *et al*., 2017).

Actuellement, il existe peu d'études scientifiques indépendantes sur la qualité des eaux des piscines surtout en Afrique malgré la prolifération de ces infrastructures. Dans une étude mené par El-Salam(2012) sur l'évaluation de la qualité de l'eau de quelques piscines en Egypte, il a remarqué une fluctuation importante des paramètres physicochimiques liée en grande partie aux travaux manuels de désinfection. En guise de conclusion, dans 80% des piscines évaluées, la concentration du chlore libre variait entre 0.2 à 1.0 mg/l au moment où la norme Egyptienne exigeait une concentration pouvant varier de 1.0 à 1.5mg/l. En plus, cela devrait être maintenu constamment pour tuer et inactiver les microorganismes introduis et disséminés par les baigneurs. Récemment, Victor *et al*.(2019), dans leur étude sur les propriétés physicochimiques et microbiologiques de quelques piscines semi-publiques du Nigeria, ont remarqué une contamination assez importante de ces eaux par des bactéries pathogènes à l'homme comme les *Salmonella-Shigella* pouvant être attribué à une origine zoonotique. Ils ont aussi remarqué une concentration de ces bactéries de loin supérieure aux normes de l'OMS.

Malgré son importance vitale dans la santé publique, l'eau des piscines ne peut manquer de risques sanitaires au moment où sa qualité physico-chimique et microbiologique n'est pas assurée (Timothy et al., 2003). La majorité des piscines de la ville de Bujumbura sont à ciel ouvert et s'approvisionnent en eau à partir du réseau de distribution d'eau potable mais d'autres s'approvisionnent eux-mêmes à partir d'eau de forage tout en sachant que leur système de fonctionnement est celui d'eau statique et non circulaire. Néanmoins, Al-Khatib *et al*.(2015) met l'accent sur la circulation de l'eau, sa filtration et sa désinfection comme des concepts clés pour accéder à la bonne qualité de l'eau des piscines. Les piscines plus particulièrement celles construites à ciel ouvert sont exposés aux poussières, aux pluies, aux aérosols et autres contaminants organiques apportés par les baigneurs. Ce qui prédispose les nageurs aux dangers microbiologiques lorsqu'il s'agit des contaminants microbiologiques et des dangers chimiques liés à une mauvaise qualité physicochimique (Victor *et al*., 2019). Jusqu'à présent, peu d'études scientifiques existent mais n'ont pas été publiées sur l'évaluation de la qualité des eaux des piscines de la ville de Bujumbura. Une seule étude faite par Kabogora (2014) a révélé une concentration en azote ammoniacal supérieure aux normes de qualité de l'OMS. Dans la ville de Bujumbura, il règne un climat chaud en été et comme c'est aussi une période de vacances, il s'observe un nombre important de la population qui fréquente ces piscines sans oublier que la plupart des parents y apportent leurs enfants pour leur apprendre à nager. La question qui se pose est de savoir si les bienfaits de ces piscines ne peuvent pas être inhibés par les pathologies liés à une mauvaise qualité d'eau qu'elles en contiennent. L'objectif global du présent travail

consiste à évaluer la qualité de l'eau de 3 piscines de Bujumbura et spécifiquement la qualité microbiologique et physicochimique.

Le présent travail s'articule sur trois chapitres précédés par une introduction générale qui donne l'orientation dudit travail. Le premier chapitre parle des généralités sur les piscines tout en indiquant les paramètres physico-chimiques et microbiologiques indicateurs de qualité des piscines dont leur évaluation constitue une étape clé pour la qualité d'une piscine.

Le deuxième chapitre donne des éclaircissements sur le matériel utilisé lors de l'échantillonnage sur terrain, au laboratoire et les différentes méthodes d'analyses et traitements des données. Dans le troisième chapitre de ce travail, nous montrons les résultats trouvés avec leur interprétation et la discussion des résultats trouvés en les confrontant aux résultats des autres chercheurs qui ont travaillé dans le même volet que le nôtre. Enfin, le quatrième chapitre est constitué d'une conclusion et quelques recommandations pour la gestion rationnelle des piscines.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PISCINES

I.1. Fonctionnement d'une piscine

Les piscines sont reconnues comme des établissements généralement couverts , comportant un ou plusieurs bassins permettant le bain, la natation ou des activités apparentées dans une eau désinfectée à une température de l'ordre de 28°C, et des installations collectives annexes (vestiaires, sanitaires, plages)(Anses, 2012). En termes de conception, de fonctionnement et de surveillance/contrôle, ces établissements doivent être réglementés et bien maîtrisés aux plans technique et sanitaire. La qualité de l'eau est essentielle y compris les sols, les bassins et l'air environnant (Ivoire, 2017).

I.2. Type des piscines

L'OMS reconnait des piscines privés, les piscines semi-publique (les piscines des Hôtels, des clubs de santé…) et les piscines publics (Yeh *et al*., 2014). Les piscines recouvrent des équipements très variés, suivant leur conception et leur taille, on distingue des piscines en plein air, les piscines couvertes et les piscines mixtes. A cote des bassins principaux, les piscines sont annexées à des bassins pour les bébés-nageurs. Il ya aussi des pataugeoires destinées aux enfants ayant 2 à 5 ans et sa profondeur varie entre 0, 2 à 0,4m.

I.3. Gestion des piscines

Une gestion non intégrée des piscines peut être un danger potentiel sur la santé public compte tenu des flambées des maladies microbiennes et d'autres risques sanitaires liés aux malaises de son environnement(OMS, 2011).

I.4. Désinfection et ses impacts

L'eau des piscines est un environnement dynamique qui change avec le climat, le nombre et les comportements des utilisateurs, les activités de natations ainsi qu'aux autres incursions éventuelles. Pour atteindre un niveau appréciable à l'égard de ses utilisateurs (enfants, jeunes gens, femmes enceinte, personnes âgées souvent à faible immunité), l'eau des piscines doit subir un traitement principalement la désinfection (Zwiener *et al*., 2007). Cette désinfection a pour but de prévenir les agents pathogènes microbiologique (Yeh *et al*., 2014). Beaucoup des piscines sont désinfectés par le chlore sous ses diverses formes (chlore gazeux, eau de javel surtout, hypochlorite de calcium, chloro-cyanurâtes). On utilise moins souvent le brome (brome liquide, bromo-cyanurâtes), les Ultra-violet, l'ozone (dénué d'effet rémanent, donc associé à une

désinfection d'appoint) et des désinfectants rémanents tels que des guanidines. Le procédé cuivre-argent a été aussi préconisé, mais ce qui permet à éviter de nombreuses infections bactériennes, virales et parasitaire (Ivoire, 2017 ; Al-khatib *et al*., 2015).

Dans les piscines traitées par chloration, l'acide hypochloreux est formé lors de l'ajout du désinfectant à l'eau. L'acide hypochloreux est l'agent biocide auquel assimilé à un oxydant puissant. Lorsqu'il réagit avec la matière organique apportée par les baigneurs (sueur, urine, squames de la peau, résidus de cosmétiques...) ou autre origine de pollution organique ponctuelle, de nombreux produits potentiellement toxiques sont formés, parmi lesquels notamment le chloroforme lors de la réaction avec la matière carbonée et des chloramines lors de la réaction avec la matière azotée (Figure 1). Les chloramines existent sous trois formes : la mono-, la di- et la trichloramine (ou trichlorure d'azote) (Carbonnelle, 2003).

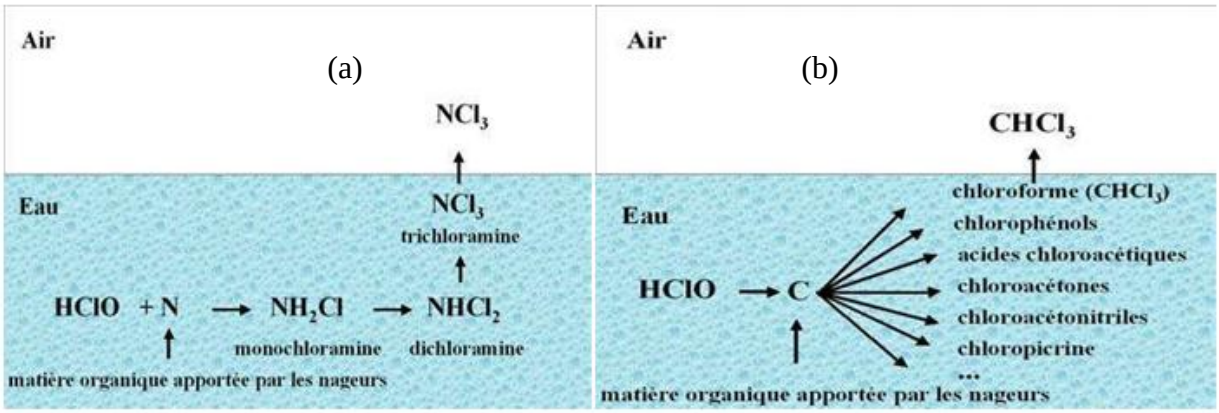


Figure 1: Description des réactions chimiques formant les composés potentiellement toxiques dans les piscines désinfectées grâce au chlore : a) formation du chloroforme, b) formation des chloramines (Carbonnelle *et al*., 2003)**.**

Les sous-produits de désinfection en association aux autres facteurs peuvent causer des problèmes sanitaires chez l'homme comme l'augmentation de la prévalence de l'asthme, les allergies chez les enfants, l'atteinte pulmonaire (Carbonnelle*et al*., 2003)etc. Il a été signalé que l'exposition prolongée aux trihalométhanes augmente l'incidence au cancer de la vessie (Teo etal., 2015).

I.5. Risques microbiologiques

Microbiologiquement, les piscines sont contaminés par les baigneurs par l'intermédiaire des secrétions cutané, buccales, narines, les urines, les selles voire même des habits pouvant apporter des éventuels contaminants microbiennes, ce qui rend l'eau un important vecteur des pathologies chez l'homme *(*Rabi*et al*., 2016). Les pathologies fréquemment rencontrées après

baignade en piscine sont des infections cutanées : mycoses, dermatoses virales ou bactériennes et verrues plantaires. Il s'en suit ensuite les otites, angines, rhinites, conjonctivites puis les gastro-entérites et les pneumopathies (Anses, 2012).Les microorganismes pathogènes susceptibles d'être contractés dans les piscines peuvent être classés en quatre grands groupes à savoir les virus, les bactéries, les protozoaires et les champignons microscopiques, celles d'origine fécale et d'autres non-fécaux.

Parmi les contaminants d'origine fécale, on connait les virus, les bactéries, les champignons et les protozoaires.

Le tableau 1 ci-dessous montre quelques exemples des contaminants microbiologiques d'origines fécales pouvant rencontrés dans les piscines.

Tableau 1: Contaminants microbiologique d'origine fécale

Les virus	**Bactéries**	**Protozoaires**	**Champignons microscopique**
Norovirus,	*Escherichia coli*	*Giardia*	
Virus hépatite A	*Shigellasp*		
Adenovirus	*Salmonella sp.*		
Entérovirus	*C. jejuni*		
Rotavirus	*Y. enterocolitica*		

Le tableau ci-dessous (tableau 2) montre quelques exemples des contaminants microbiologiques d'origine non-fécale pouvant être rencontrés dans les piscines.

Tableau 2: Contaminants microbiologique d'origine non fécale

Virus	**Bactéries**	**Protozoaires**	**Champignons microscopique**
	Mycobacterium balnei	*Crypordium*	*Penicillium spp*
	Pseudomonas aeruginosa	*Toxoplasma gondii* (Pineda *et al.*, 2020)	*Aspergillus spp*
		Antamoeba histolytica	*Cladosporium spp*
			Alternaria
			Pullularia
			Rhodotorula

Il peut y avoir aussi une prolifération algale lorsque les conditions physico-chimiques ne sont pas bien surveillées. Les algues prolifèrent beaucoup dans des piscines à ciel ouvert, flottant à

la surface ou collé à la surface des murs de piscines exposées au soleil. Lorsque l'approvisionnement en désinfectant est négligé, les algues commencent à se développer (Wiedrich *et al*., 1990).

I.6. Paramètres de qualité de l'eau des piscines

I.6.1. Paramètres physico-chimiques

Pour assurer une exploitation adéquate de tout étang d'eau de genre piscine, il est intéressant d'exiger certains paramètres de qualité qui permettront d'offrir une eau salubre, sécuritaire et stable en tout temps. Ces paramètres sont entre autres les matières organiques, le pH, la turbidité, la température, la conductivité, ….

I.6.2. Matières organiques

Les piscines présentent une certaine vulnérabilité face à des matières organiques surtout en provenance des baigneurs et d'autres inclusions environnementales comme les aérosols lorsqu'il s'agit des piscines à ciels ouvert. Leur augmentation dans l'eau chloré conduit à la formation des composés indésirables pour la santé (Amer Kanan, 2011). Ces matières organiques apportées par les baigneurs sont : la sueur, l'urine, les squames de la peau, des résidus de cosmétiques, (Carbonnelle *et al*., 2003), etc.

I.7. Qualité microbiologique des eaux, les germes indicateurs de contamination fécale

Dans les milieux aquatiques, la détection de tous les pathogènes potentiels est très difficile et incertaine en raison de leur très grande variété et diversité (virus, bactéries, protozoaires…), leur faible abondance en chaque espèce pathogène (nécessité de concentrer de très grands volumes d'eau pour les détecter) et l'absence de méthodes standardisées et rapides pour la détection de tous ces micro-organismes pathogènes (Attiffi & Ouadrassi, 2011).

L'évaluation de la qualité microbiologique des eaux est, par conséquent, basée sur le concept de germes dits « indicateurs de contamination ». Un indicateur idéal est par définition une espèce ou un groupe de bactéries qui présente certaines caractéristiques. Les bactéries indicatrices de pollutions utilisées sont des coliformes fécaux et coliformes totaux.

Les coliformes totaux et fécaux ont été très longtemps les principaux indicateurs de contamination fécale mais aujourd'hui, *Escherichia coli* et les entérocoques intestinaux sont reconnus comme plus appropriés.

Par définition, on entend par :

- **Coliformes totaux (CT).** La pertinence de ce groupe comme indicateur est aujourd'hui fortement contestée du fait que toutes les espèces incluses dans les CT ne sont pas spécifiques de la flore intestinale des animaux à sang chaud. En effet, certaines espèces sont d'origine tellurique ou aquatique et sont capables de se développer dans l'environnement aquatique

- **Coliformes fécaux (CF) (aussi appelés Coliformes Thermotolérants)**. Les CF constituent un sous-groupe des CT capables de se développer à 44 °C. Les CF sont considérés comme plus appropriés comme indicateurs de contamination fécale que les CT. Ce groupe est majoritairement constitué d'*Escherichia coli* mais comprend aussi des *Klebsiellas*, des *Enterobacter* et des *Citrobacter*.

- *Escherichia coli* : de nombreuses études ont montré que cette espèce était généralement associée à une source fécale. Aujourd'hui, l'*Escherichia coli* est considéré comme le meilleur indicateur d'une contamination récente du milieu aquatique par du matériel fécal humain ou d'animaux à sang chaud

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODE

II.1. Description du lieu d'étude

Bujumbura, la capitale économique du Burundi depuis 2019, est située à 3°22'S et 29°19'E en Afrique de l'Est. Le régime pluviométrique est caractérisé par deux saisons sèches et deux autres pluvieuses dont chaque fois une grande et une petite (Ndikubwayo *et al*., 2019).La grande saison sèche s'étend généralement du mois de juin à mi-septembre. Actuellement, suite à des perturbations climatiques caractérisées par une forte avancée de la sécheresse, on assiste à un changement de tendance avec une saison sèche souvent plus longue que prévue ou un arrêt précoce de pluies. La petite saison de pluie (première saison culturale) s'étend généralement de mi-septembre à mi-janvier alors que la petite saison sèche généralement très courte s'étend de mi-janvier à mi-février. Cette petite saison sèche constitue une séquence sèche entre les deux saisons pluvieuses. Elle est moins marquée et peut être assimilée à une diminution des précipitations.

La grande saison de pluie (deuxième saison culturale) commence de mi-février jusqu'au mois de mai.

De 1907 à 1983, la superficie de la ville de Bujumbura a passé de 0,3 km² à 37 km² et de 1983 à 2018, la superficie de cette ville a presque triplé passant de 37 km² à 115 km². Cette ville, en 1979sa population était estimée à 168368 d'habitats et a passé à 1200000 habitants en 2018(M. Intérieur, 2008 ,Ndikubwayo *et al*., 2019).Cela montre une croissance exponentielle de la population dans ladite ville. En été, la température peut augmenter surtout la journée et arriver à 27˚C (M.Interieur, 2008).

II.2. Présentation du site et gamme d'échantillonnage

Les sites d'échantillonnage constituent les 3 piscines les plus visitées par la population riveraine et certains touristes. Pour des raisons confidentielles aux responsables de ces piscines, les noms de ces piscines ont été codés. La première piscine a été baptisée MS, la deuxième ES et la troisième HC. Les deux piscines (MS et ES) sont publiques mais celle du HC est semi-publique (hôtel). En été, ces piscines peuvent acquérir un nombre important des baigneurs surtout les enfants en vacances. Toutes ces piscines sont à ciel ouvert et ont une forme rectangulaire et ne possèdent pas un système de recirculation d'eau sauf la piscine ES. Les gestionnaires de la piscine HC utilisent le chlore pour la désinfection ainsi que des produits anti-algues pour la réduction des algues qui peuvent s'y développer. Les deux piscines (ES et

HC) s'approvisionnent à l'aide d'eau de forage. Le forage auquel la piscine HC s'approvisionne c'est un forage de la REGIDESO qui alimente les quartiers périphériques du Nord-Ouest de la ville de Bujumbura comme le quartier Kajaga. L'eau de ce forage ne subit aucun traitement outre que l'oxydation du Fe^{2+} en Fe^{3+}. Par contre la piscine d'ES s'approvisionne par son propre forage qui ne subisse aucun autre traitement sauf la désinfection et la stabilisation du pH. On utilise souvent HCl et ou les comprimés de chlore. La piscine de MS s'approvisionne sur le réseau public de distribution d'eau de la REGIDESO en provenance du lac Tanganyika. Son produit de désinfection est l'hypochlorite de sodium. L'échantillonnage a été réalisé en été dans une période de 3 mois c'est-à dire du juin en Août chaque semaine, le matin du lundi entre 09h et 11h00.

II.3. Mesure des paramètres caractéristique du milieu, prélèvement et transport des échantillons

II.3.1. Paramètres mesurés in situ

Avant de procéder à l'échantillonnage, on a mesuré des paramètres caractéristiques des piscines évaluées. Ces paramètres mesurés sur terrain étaient la température, le pH, la conductivité, et la turbidité.

II.3.1.1. pH, température et conductivité

Le pH, la température et la conductivité ont été mesurés par le pH-mètre multisonde (de marque Consort C6010). La sonde spécifique a été plongée dans la piscine et les résultats s'affichaient sur l'écran, puis on notait les résultats après la stabilisation des valeurs(Rodier, 2009).

II.3.1.2. Turbidité

La turbidité a été mesuré par le turbidimètre (marque TURBIQUANT 1100 IR). Une quantité d'eau a été prélevé dans une petite bouteille en verre propre pour le turbidimètre et placé dans le turbidimètre, tourné dans le sens des aiguilles d'une montre, puis on a lit le chiffre qui s'affiche sur l'écran(Rodier, 2009).

II.3.2. Prélèvement et transport des échantillons

En totalité 72échantillons ont été collectés, 36 échantillons pour l'analyse chimique au Laboratoire de Chimie et d'Analyse Environnementale(LCAE) au moment où d'autres 36

échantillons étaient destinés aux analyses microbiologiques au Laboratoire Microbiologique de Faculté d'Agronomie et de Bio Ingénierie (FABI) au sein de l'Université du Burundi à travers le Centre de Recherche en Sciences Naturelle et Environnement (CRSNE) en sigle. Le prélèvement des échantillons pour l'analyse chimique a été réalisé à l'aide de la bouteille en plastique étiqueté, bien lavé et rincé deux fois par l'eau de cette piscine. Après avoir enlevé le couvercle, on enfoncer la bouteille à l'état renversé jusqu'à une profondeur du coude puis on la renverse de nouveau pour le remplir d'eau puis on ferme la bouteille et on emballe avec du sachet noir. Selon Ekopai*et al.*(2017), pour les échantillons d'analyse microbiologique, le bocal bien stérile fourni par le laboratoire, on y mettait du thiosulfate de sodium pentahydraté10 % (10mg/100 ml)$Na_2S_2O_3$, on enfonçait dans une piscine à un angle de 45˚ et le remplissait jusqu'à une jauge de 100ml tout en laissant quelque 5mm. Tous ces échantillons ont été directement transporté depuis le site jusqu'au laboratoire dans l'incubateur de terrain contenant des glaçons pour maintenir la température à -4˚C. L'analyse chimique et la culture microbiologique se faisaient le même jour dans une échéance de six heures pour maximiser les résultats.

II.4. Dosage des paramètres chimique au laboratoire

Ces paramètres ont été analysé dans le Laboratoire d'Analyses Chimiques et Environnementales de la Faculté des Sciences.

II.4.1. Nitrates

La concentration en nitrate a été analysée suivant le protocole annoncé par Rodier, (2009)qui stipule que 10ml d'échantillon soient introduit dans une capsule en alcalinisant faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium, puis évaporé l'eau et ajouté 1 ml de la solution de salicylate de sodium dans le résidu puis évaporer puis ajouté 1ml de l'acide chloridrique concentrée. Par après, 15ml d'eau déionisée ont été ajoutée puis 10 ml de solution d'hydroxyde de sodium, la couleur jaune s'est développée à la longueur d'onde de 415 nm.

II.4.2. L'azote ammoniacal

L'azote ammoniacal a été analysé suivant le procédé de Nessler tel que annoncé dans (ASTM, 2008) tel que : 50ml d'échantillon ont été mise dans une fiole puis mélangé avec 2 gouttes de tartrate de sodium et de potassium tout en homogénéisant.1ml du réactif de Nessler a été ajouté à cette solution puis la lecture des absorbances a été opérée au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 425nm.

II.4.3. Chlore libre, chlore total et chlore combiné

Après avoir rincé le tube à essai avec l'échantillon en laissant deux ou trois gouttes dans le tube deux pastilles de DPD N°$_1$puis 10ml d'échantillon ont été versé et en fin, la lecture du chlore libre au photomètre palintest se réalise immédiatement après deux minutes. Tout en gardant la même solution, une pastille DPD N^o 3 a été introduite dans cette solution et laisser reposer pendant 10minutes puis on faisait la lecture du chlore total au photomètre palintest. Le chlore combiné est obtenu en faisant la différence entre le chlore total et le chlore libre. Le chlore libre a été analysé à l'aide du Kit de Palintest (Jaunakais Broad *et al*., 2009).

II.5. Paramètres microbiologiques

Ces analyses microbiologiques ont été réalésées au sein du laboratoire de microbiologie de la Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie.

II.5.1. Milieux de cultures

Pour ces paramètres, on a utilisé un seul milieu de culture spécifique pour les coliformes à savoir la gélose VRBL (cristal Violet, Rouge neutre, sel Biliaire, lactose) avec d'eau peptone. L'alcool éthylique a été utilisé pour se désinfecter les mains et autres matériels.

II.5.2. Méthodologie d'inoculation pour la culture bactérienne

Une série des tubes contenant 9ml d'eau peptone, les boites de pétri de diamètre variant entre 90mm à 100mm en verre ont été préparé afin de les stériliser dans un autoclave pendant 15 minutes à 121^{o}C à 1 atmosphère. Ensuite, des dilutions décimales ont été opérées, 1ml d'échantillon dans un tube contenant 9ml d'eau peptone à l'aide d'une micropipette automatique stérile puis 'homogénéiser l'échantillon avec ce diluant et en fin transféré 1ml de ce liquide au centre de chaque boite de pétri (l'ensemencement). Les dilutions et l'ensemencement ultérieurs ont été faits par une nouvelle pipette stérile. Après cette étape 15mldu milieu de milieu VRBL ont été versé dans chaque boite puis mélanger soigneusement l'inoculum au milieu de culture puis le mélange se solidifiait en quelque minute. Après cette étape c'est le tour de l'incubation des boites de pétri renversé dans un incubateur à 37 ±1^{o}C pour les coliformes totaux et à 44^o ±1^{o}C pour les coliformes fécaux pendant 48heures. Le dénombrement se faisait par comptage direct des colonies caractéristiques observés dans les boites en se servant d'une loupe de grossissement (ISO 16649-2, 2001)

II.5.3. Dénombrement des coliformes totaux et fécaux

Après une incubation à 37 ±1^{o}C pour les coliformes totaux et à 44 ±1^{o}C pour les coliformes fécaux on a procédé à la sélection des boites de pétri ayant si possible dix colonies ou plus mais ne dépassant pas cent cinquante colonies (10≥ colonies ≤150). Puis on a procédé au comptage des colonies ayant une apparence rougeâtre, car sur le milieu de culture VRBL les coliformes apparaissent en rouge. Le dénombrement a été opéré à l'œil nu et à l'usage d'une loupe de grossissement (ISO 16649-2, 2001).Les données ont était traité par Statistical Package Social Sciences (spss) version 22.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

La présentation des résultats a été faite en deux catégories où la première représente les résultats des mesures effectués in situ et la deuxième catégorie présente les analysés effectués aux laboratoires à savoir le Laboratoire d'Analyses Chimiques et Environnementales de la Faculté des Sciences pour les paramètres chimiques et le laboratoire de Microbiologie pour les analyses microbiologiques.

III.1. Résultats

III.1.1 Résultats des paramètres mesurés in situ

Les résultats obtenus pour le pH, la température, la turbidité et la conductivité correspondante aux 3 piscines évaluées sont illustrées dans le tableau 3.

Le tableau ci-dessous montre les résultats des paramètres mesurés sur terrain pendant la période d'échantillonnage. Ces paramètres étaient le pH, la température, la conductivité et la turbidité.

Tableau 3: Résultats des paramètres mesurés in situ

date	**Piscine**	**08/06/2020**	**15/06/2020**	**22/06/2020**	**29/06/2020**	**06/07/2020**	**13/07/2020**	**20/07/2020**	**27/07/2020**	**02/08/2020**	**09/08/2020**	**16/08/2020**	**24/08/2020**
pH	**MS**	8,1±0.0	8,3±0.0	8,0±0.1	8,1±0.3	8,1±0.0	7,8±0.0	7,2±0.1	7,4±0.2	7,5±0.0	8,1±0.0	8,3±0.0	8,4±0.0
	ES	7,90±0.1	8,18±0.0	7,91±0.0	7,97±0.3	7,97±0.3	7,20±0.0	7,30±0.0	7,16±0.8	7,18±0.0	7,38±0.0	7,12±0.1	7,23±0.0
	HC	6,91±0.1	6,93±0	6,82±0	6,84±0	6,84±0	6,81±0	6,9±0	7,0±0	6,9±0.1	7,0±0	7,1±0	7,1±0
T°C	**MS**	28,4±0.5	26,9±1.7	27,2±0.2	26,5±0.4	27,3±0.4	27,2±0.2	26,1±0.2	26,3±0.5	26,8±0.3	27,4±0.1	27,3±0.3	27,3±0.2
	ES	28,43±0.3	27,43±0.3	26,60±0.2	27,50±0.3	27,50±0.3	25,40±0.5	25,60±0.2	26,80±0	26,37±0.4	27,53±0.3	27,07±0.2	27,33±0.2
	HC	29,3±0.2	27,7±0.2	26,8±0.2	27,5±0.5	27,5±0.5	27,2±0.2	26,3±0.3	25,9±0.8	26,7±0.7	27,3±0.2	27,3±0.1	27,2±0.2
Conductivité en µS/cm	**MS**	1109,1±10.0	1124,3±6.0	1106,3±4.0	1096,7±38.0	1096,7±38.0	1133,7±12.0	1181,7±35.0	1085,0±50.0	1184,7±57.0	1137,3±3.0	1105,7±15.0	1167,0±6.0
	ES	1396,33±19	1380,67±30	1420,00±33	1388,33±28	1388,33±28	1536,33±38	1548,33±16	1477,00±2	1618,67±16	1666,00±59	1506,±195	1729,67±17
	HC	1067±17	1065±22	1073±28	1062±28	1062±32	1116±14	1136±31	1066±14	1183±31	1182±23	1213±32	1289±7
Turbidité (NTU)	**MS**	1,73±0.0	1,49±0.0	1,68±0.1	1,67±0.3	1,67±0.3	1,76±0.2	2,36±0.1	2,13±0.1	2,75±0.2	2,58±0.1	2,82±0.2	2,77±0.1
	ES	2,91±0.4	4,64±0.9	2,86±0.1	3,79±0.2	3,79±0.2	3,65±0.3	4,45±0.6	5,51±0.3	5,04±0.7	6,05±0.8	4,51±0.4	3,49±0.2
	HC	1,25±0.3	1,68±0.2	1,19±0.1	1,28±0	1,28±0	0,67±0	0,92±0.1	1,21±0.1	1,22±0	1,67±0.3	1,82±0	1,37±0.2

D'après ce tableau 3, les valeurs de la turbidité au cours d'échantillonnage variaient entre 0.67±0.0NTU et 6.05 ±0.8 NTU. La piscine MS avait une turbidité située entre 1,49±0,0 et 2,82±0,2. Concernant la piscine ES, les valeurs trouvées étaient entre 2,86±0,1 et 6.05±0,8 NTU. La valeur minimale a été trouvée au premier mois d'échantillonnage et la valeur maximale a été trouvée vers la fin du 3ème mois d'échantillonnage. La piscine HC a montré des valeurs situées entre 0,67±0,0 et 1,82±0 NTU. Quant à la conductivité, dans toutes les piscines évaluées, les valeurs variaient entre 1036±31µS/cm et 1729,67±17µS/cm. La piscine ES possédait des valeurs situées entre 1380±30µS/cm et 1729,67±17µS/cm.

La valeur minimale a été recueillie au premier mois d'échantillonnage alors que la valeur maximale a été recueillie à la fin du période d'échantillonnage. Pour la piscine HC, ses valeurs sont entre 1062±32µS/cm et 1289±7µS/cm. La valeur minimale a été enregistrée au premier mois d'échantillonnage et la valeur maximale a été enregistrée au dernier jour d'échantillonnage. Tandis que la piscine MS possède des valeurs oscillantes entre 1085±50 et 1184,7±57µS/cm.

Concernant le pH, leurs valeurs oscillent entre 6,8±0,0 et 8,4±0,0. Les valeurs trouvées au site MS variaient entre 7.2 ± 0.1 à 8.4±0, 0. Pendant cette période d'échantillonnage, 8 jours sur 12 ont été caractérisé par des valeurs entre 7.9 à 8.4. Quant à la piscine ES, les valeurs trouvées se trouvaient entre 7.1 à 8.18 et la piscine HC, son pH était entre 6.8 et 7.1

III.1.1.1. pH

La figure 2 ci-dessous montre les variations du pH des 3 piscines évalués au cours de l'échantillonnage.

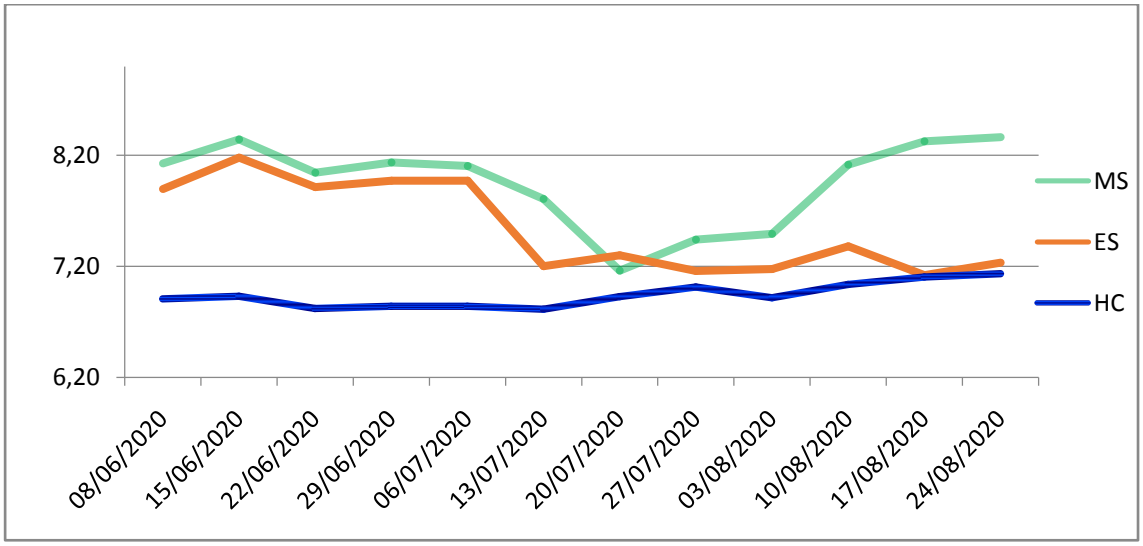


Figure 2: Profile d'évolution du pH au cours du période d'échantillonnage

D'après cette figure 2, l'allure de la courbe pour la piscine HC, est presque constante alors que pour les autres piscines surtout ES qui montre deux parties distinctes. La première commence du premier jour d'échantillonnage jusqu'à la date du 29/06/2020 c'est-à-dire le premier mois d'échantillonnage où le pH oscillait entre 7.2 et 8.2 et l'autre partie était caractérisée par un pH presque constante oscillant autour de 7.2. Quant à la piscine MS, la valeur minimale a été observée à la date 20/07/2020.

III.1.1. 2. La température

La figure 3 montre la situation de la température caractéristique des sites d'échantillonnage pendant la période d'échantillonnage.

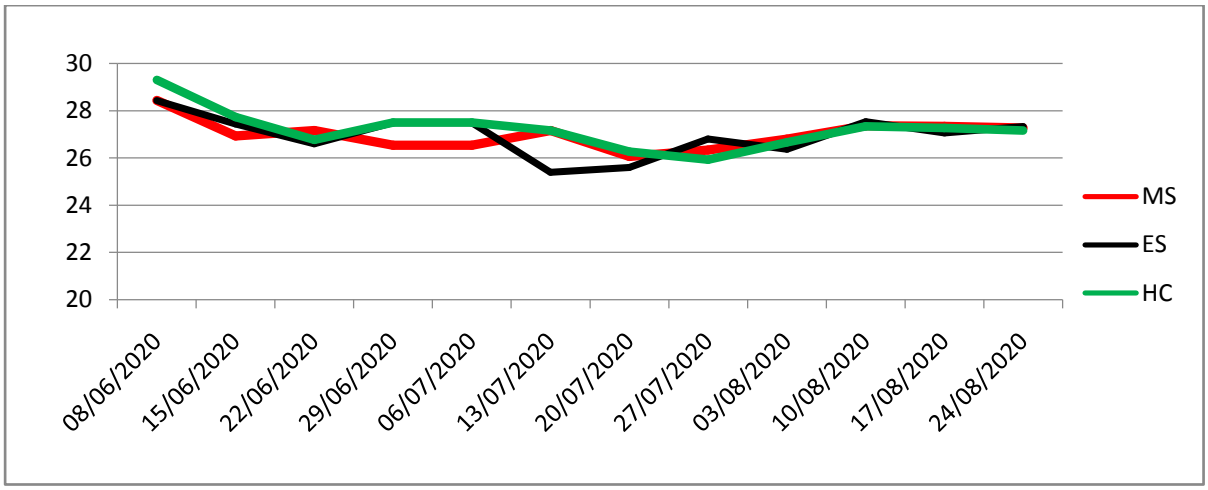


Figure 3: Profile d'évolution de la température

D'après cette figure 3, les valeurs de la température varient entre 25.4 ±0.5˚C et 29.3±0.2˚C. La valeur maximale a été recueillie au premier mois d'échantillonnage alors que celle minimale a été recueillie vers le milieu du deuxième mois d'échantillonnage.

III.1.1.3. Turbidité

La figure 4 ci-dessous montre l'évolution de la turbidité sur les 3 sites d'échantillonnage.

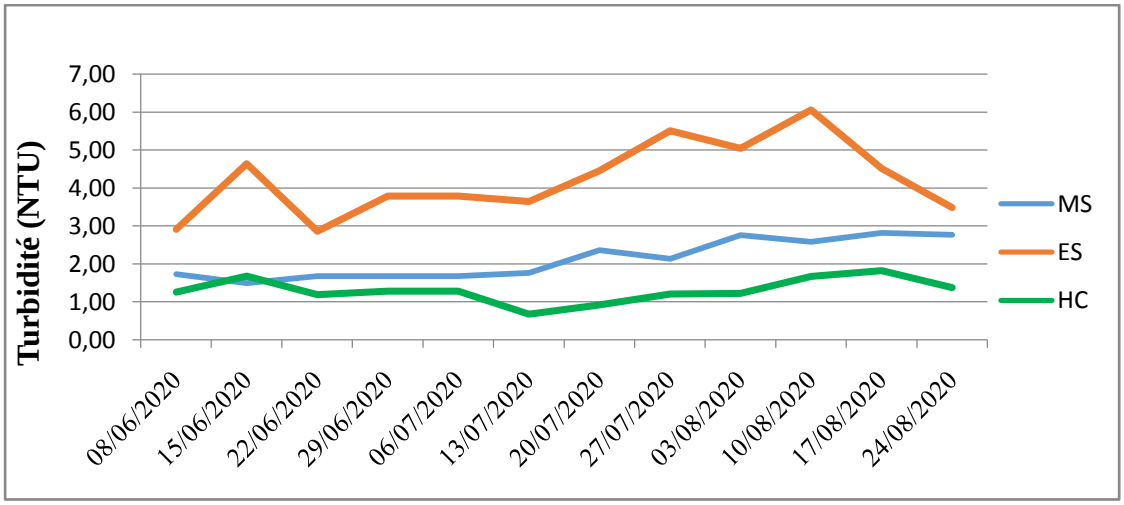


Figure 4: Profile d'évolution de la turbidité au cours d'échantillonnage

D'après la figure 4, on a constaté que les allures des courbes pour les piscines HC et MS varient très peu et des fluctuations importantes pour l'allure de la piscine ES ont été observées. Par rapport aux autres courbes, la courbe représentante de la piscine ES montre un grand écart.

III.1.1.4. Conductivité

L'évolution de la conductivité au cours de l'échantillonnage est représentée dans la figure 5 ci-dessous.

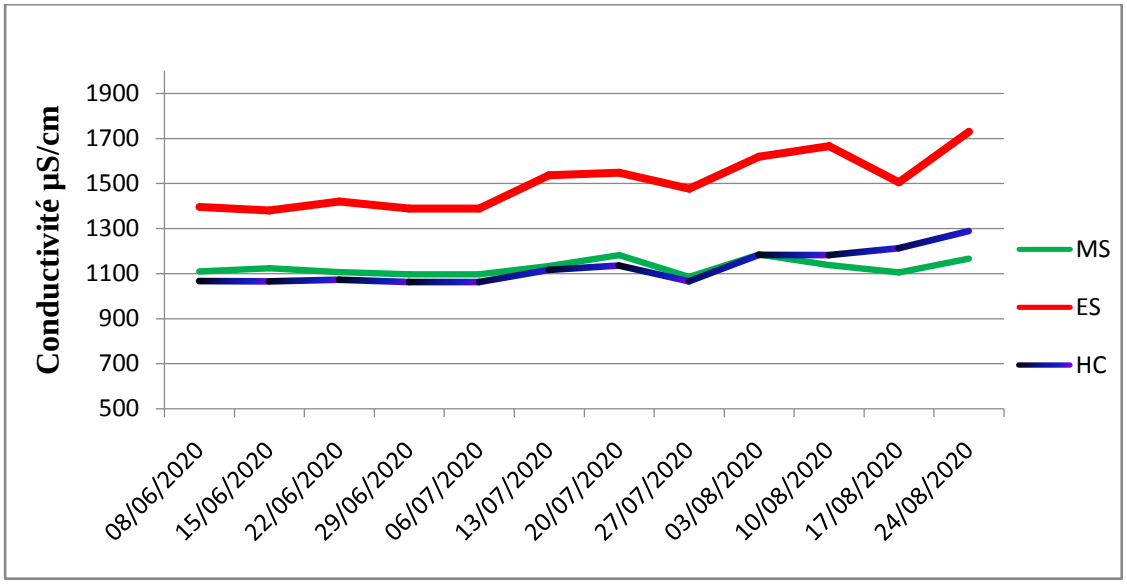


Figure 5: Profile d'évolution de la conductivité au cours d'échantillonnage

D'après cette figure, les deux courbes des piscines MS et HC sont presque constantes mais celle de la piscine ES montre un écart important par rapport aux autres. Pour les piscines MS et HC, leurs conductivités varient entre 1062±28 µS/ cm et 1289±7 28µS/ cm tandis que pour la piscine ES, elle varie entre 1380.67± 30µS/ cm et 1729.67±1728±17 µS/ cm.

III.1.2. Résultats des paramètres analysés au laboratoire

Les analyses des paramètres chimiques au laboratoire étaient le chlore libre, le chlore total, les nitrates et l'azote ammoniacal. Le chlore a été déduit par la différence entre le chlore total au chlore combiné. Ces résultats sont présentés dans le tableau 4.

Le tableau ci- dessous montre les résultats des paramètres chimiques analysés au laboratoire.

Tableau 4 : Résultats des paramètres chimiques analysés au laboratoire

Paramètres	Piscine	08/06/2020	15/06/2020	22/06/2020	29/06/2020	06/07/2020	13/07/2020	20/07/2020	27/07/2020	03/08/2020	10/08/2020	17/08/2020	24/08/2020
Chlore libre (mg/L)	MS	0,0±0	0,0±0	0,0±0	0,0±0	1,2±0	0,0±0	1,3±0.3	0,5±0	0,0±0	0,0±0	0,0±0	0,0±0
	ES	1,16±0	1,75±0.2	0,00±0	0,02±0	0,63±0.1	0,10±0	0,01±0	0,62±0	1,02±0	0,42±0	1,07±0	0,42±0
	HC	0,84±0	1,56±0	0,92±0	0,42±0	1,51±0.1	2,08±0.1	1,41±0	1,82±0	1,57±0	0,01±0	2,77±0.1	1,03±0
Chlore total (mg/L)	MS	0,08±0.0	0,05±0.0	0,05±0.0	0,08±0.0	1,32±0.0	0,15±0.0	1.97±0.3	0,65±0.0	0,16±0.1	0,10±0.0	0,19±0.0	0,06±0.0
	ES	1,40±0.1	2,45±0.1	0,05±0.0	0,11±0.1	0,74±0	0,26±0.1	0,22±0.0	0,78±0.0	1,17±0.0	0,46±0	1,13±0	0,52±0
	HC	0,90±0.1	1,65±0	1,07±0	0,92±0	1,85±0	2,16±0.1	1,65±0.1	1,88±0	1,65±0	0,23±0.2	2,81±0.1	1,10±0
Chlore combiné (mg/L)	MS	0,05±0	0,05±0	0,05±0	0,08±0	0,11±0	0,13±0	0,63±0	0,13±0	0,14±0.1	0,09±0	0,18±0	0,06±0
	ES	0,24±0.1	0,70±0.2	0,05±0	0,08±0	0,10±0	0,16±0.1	0,21±0	0,17±0	0,14±0.1	0,03±0	0,05±0	0,10±0
	HC	0,06±0.	0,09±0.1	0,14±0	0,50±0	0,34±0.1	0,08±0.0	0,24±0.1	0,06±0.0	0,08±0.0	0,22±0	0,04±0	0,07±0
Nitrates (mg/L)	MS	6,30±0.3	6,17±1.1	12,41±0.2	10,11±0.2	26,12±0.4	8,56±0.1	4,19±0.1	6,49±0.0	6,13±0.0	6,52±0.0	6,29±0.0	5,69±0.0
	ES	8,76±0.2	14,86±0.2	8,72±0.5	95,43±0.2	25,89±0.3	90,93±3	83,87±0	83,82±0	89,66±0	100,99±3.5	104,89±0.2	96,47±0
	HC	23,32±0.5	17,12±0.2	4,71±0.1	26,53±0.1	13,64±0.1	21,16±0.3	16,93±0.0	18,66±0	21,25±0.8	26,39±0	22,40±0	22,00±0

Tableau 4 : Résultats des paramètres chimiques analysés au laboratoire (Suite)

Azote ammoniacal (mg/L)	MS	0,1±0.1	1,5±0.0	1,0±0.0	0,8±0.0	1,7±0.0	2,4±0.0	0,8±0.0	2,4±0.1	1,3±0.1	1,7±0.0	1,2±0.0	1,6±0.0
	ES	0,40±0.1	1,18±0	0,58±0	0,42±0	0,53±0	1,41±0.1	0,57±0	0,69±0	0,87±0.1	2,90±1.3	2,21±0.9	1,17±0.1
	HC	0.17±0	0.13±0	0,29±0	1.19±0.4	2.29±0.1	0.68±0.3	0.68±0.2	3.44±0.2	1.20±0.2	2.02±0.1	1.36±0.1	0.89±0

D'après ce tableau, en ce qui concerne du chlore libre, la piscine MS possédait des valeurs situées entre 0,0mg/Let 1,3±0,3mg/L. Dans les 12 jours d'échantillonnage, 9 jours ont été caractérisé par des valeurs inférieures à 0,5 mg/L au moment où 3 jours seulement, le chlore libre oscillait entre 0,5mg/L et 1.6 mg/L. Pour la piscine ES, le chlore libre se trouvait entre 0,00±0mg/L et 1.75±0,2mg/L, au moment où la piscine HC, les valeurs étaient entre 0.01±0 mg/L et 2,77±0,1mg/L.

La concentration du chlore total variait entre 0.05±0.0 mg/L à 2.81±0,1 mg/L pour toutes les piscines. La piscine MS montre des valeurs situées entre 0,05±0 mg/L et 1,97±0,2 mg/L. Dans la période d'échantillonnage, la concentration minimale a été observée au premier mois mêmement le3^{ème} mois et le pic a été remarqué à la fin du deuxième mois. Pour la piscine ES, les concentrations en chlore totale étaient entre 0.05±0 mg/L et 2,45±0,1mg/L. Les valeurs maximales et minimales ont été trouvées au premier mois tandis qu'au 3ème mois, ses valeurs tendaient à se stabiliser entre 0.22 mg/L et 1mg/L. La piscine HC possédait des valeurs comprises entre 0,22±0,1 mg/L et 2,81±0,1mg/L.

Les valeurs du chlore combinées variaient entre 0.04±0.0mg/L et 0.7±0.2mg/L (tableau 4).La piscine MS avait des valeurs comprises entre 0,05±0mg/L et 0,63±0 mg/L. La valeur maximale a été trouvée à la 7 ^{ème} semaine d'échantillonnage alors que la valeur minimale se remarquait à la première semaine d'échantillonnage. Pour la piscine ES, la concentration en chlore combiné était entre 0,05±0mg/L et 0,7±0.2 mg/L. Les valeurs de la concentration en nitrates variaient entre 4.19±0.1mg/L et 104.89±0.2mg/L (tableau 4).Par rapport à deux autres piscines, la piscine ES avait des valeurs comprises entre 8,72± 0,5mg/Let 104,89±0,2mg/L. La valeur minimale a été trouvée au 1er mois d'échantillonnage et la valeur maximale a été trouvée vers le dernier échantillonnage. Pour la piscine MS, ses concentrations variaient entre 4,19± 0,1mg/L et 26,1±0,4mg/L. La valeur maximale a été remarquée au début du 2ème mois d'échantillonnage et celle minimale au milieu du deuxième mois d'échantillonnage. Quant à la piscine HC, ses valeurs se trouvaient entre 4,71±0,1mg/L et 26,56±0,1mg/L. La valeur minimale a été trouvée à la 3ème semaine d'échantillonnage alors que celle maximale a été trouvée à la 4ème semaine d'échantillonnage. Les deux piscines (ES et HC) possédaient de l'eau plus concentrée en nitrates. La plus grande concentration en nitrate a été remarquée à la piscine ES qui atteignent un pic de 104,89mg/L alors que la concentration la plus faible dans cette piscine a été remarqué au premier mois d'échantillonnage c'est-à-dire du 08/06/2020 au 22/06/2020.

L'analyse de l'azote ammoniacal montre des concentrations variant entre 0.12mg/L et 3.44mg/L (tableau 4). Pour la piscine MS, ses concentrations en azote ammoniacal variaient entre0.12±0,1mg/L et 2,39±0,1mg/L. La valeur minimale a été trouvée au premier jour de l'échantillonnage et la valeur maximale a été trouvée à la fin du deuxième mois d'échantillonnage. Pour la Piscine ES, l'azote ammoniacal variait entre0, 4±0,1mg/L et 2,90±1,3mg/L. Le pic a été trouvé au deuxième mois au moment où le minima a été trouvé à la première semaine d'échantillonnage. La piscine HC elle aussi a des concentrations en azote ammoniacal variaient entre 0.13±0mg/L et 3,44±0,2mg/L. Quant à elle, la valeur minimale a été trouvée au premier mois d'échantillonnage et le pic a été trouvé à la fin du deuxième mois d'échantillonnage.

III.1.2.1. Chlore libre

La figure6 ci-dessous montre la fluctuation du chlore libre résultat des analyses effectuées au laboratoire.

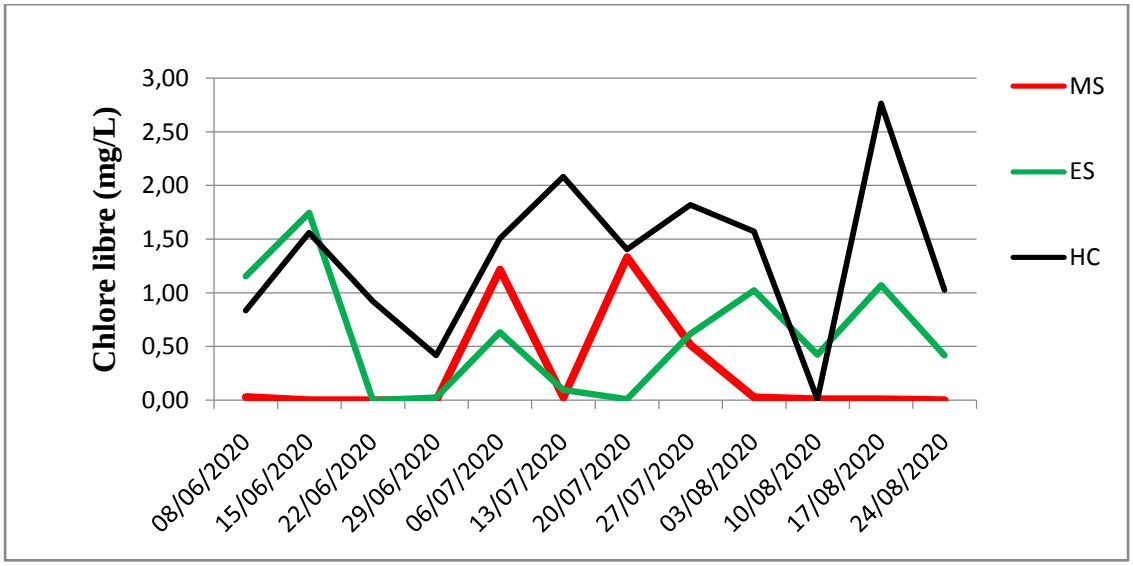


Figure 6: Profile d'évolution du chlore libre

D'après cette figure, dans toutes les piscines évaluées, on observe des fluctuations du chlore libre très remarquables. La piscine MS montre un écart important par rapport à la piscine HC, du fait que beaucoup des jours auxquels l'échantillonnage a été effectué, des valeurs minimales atteignant même 0 mg/L ont été remarquées. Les piscines ES et HC, l'apparence de leurs courbes paraît en peu constante.

III. 1. 2.2. Chlore total

Les analyses du laboratoire montrant la variation du chlore total caractéristique des piscines évaluées ont été montrées dans la figure 7.

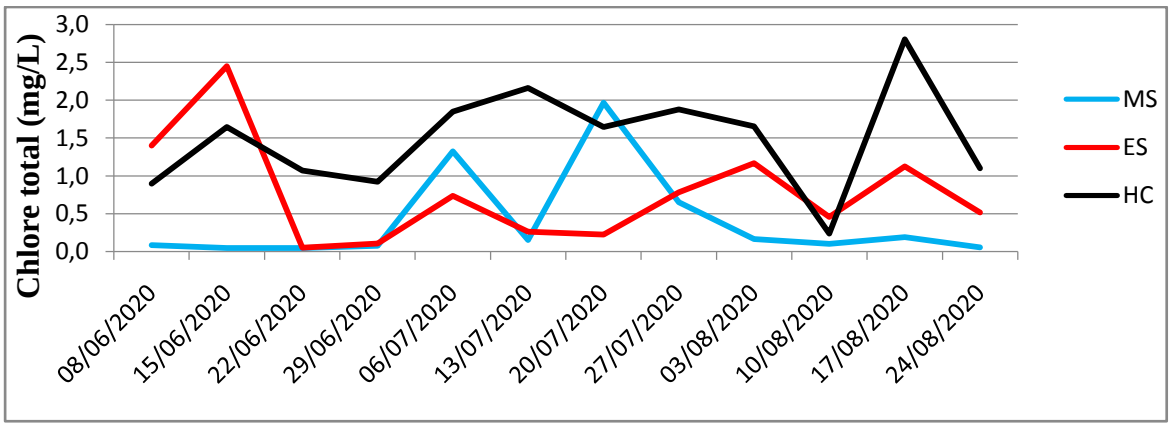


Figure 7 : Profile de l'évolution du chlore total

D’après cette figure7, l’allure du chlore total se présente d’une façon fluctuée plus particulièrement sur les piscines ES et MS.

III.1.2.3. Chlore combiné

La figure 8 montre l’évolution du chlore combiné résultats des analyses effectués au laboratoire.

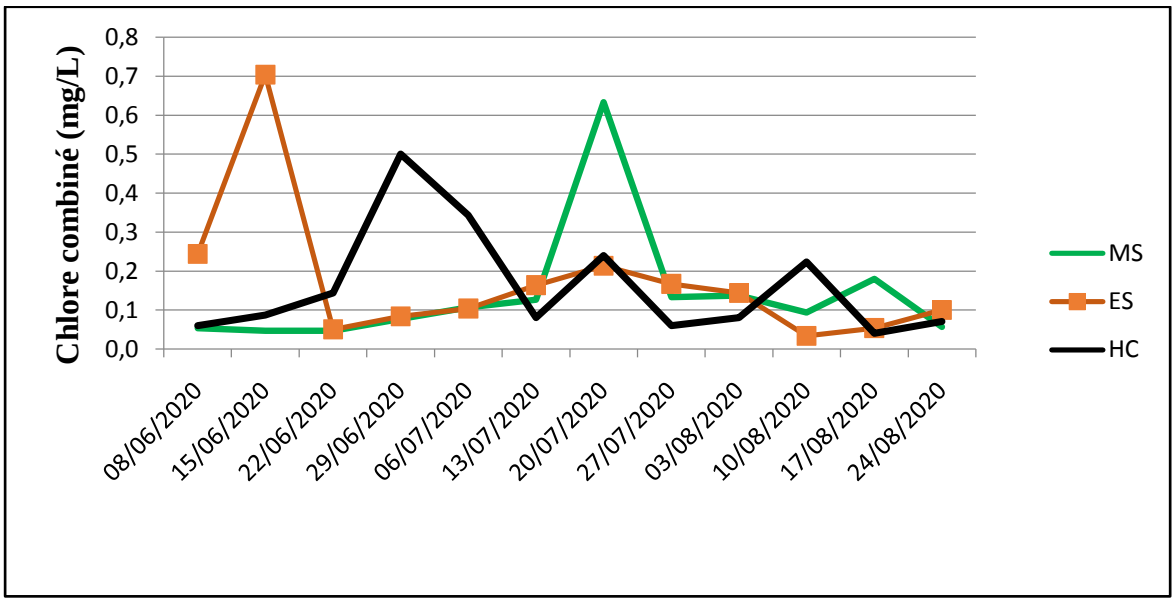


Figure 8: Profile d'évolution du chlore combiné

D’après cette figure 8, la piscine ES et MS montrent des courbes ayant aune apparence constante sauf qu’à la piscine ES montre un pic à la deuxième journée d’échantillonnage et la piscine HC montre un pic en date du 20/07/2020.

III.1.2.4. Nitrates

La figure 9 montre l’évolution de la concentration en nitrate au cours d’échantillonnage.

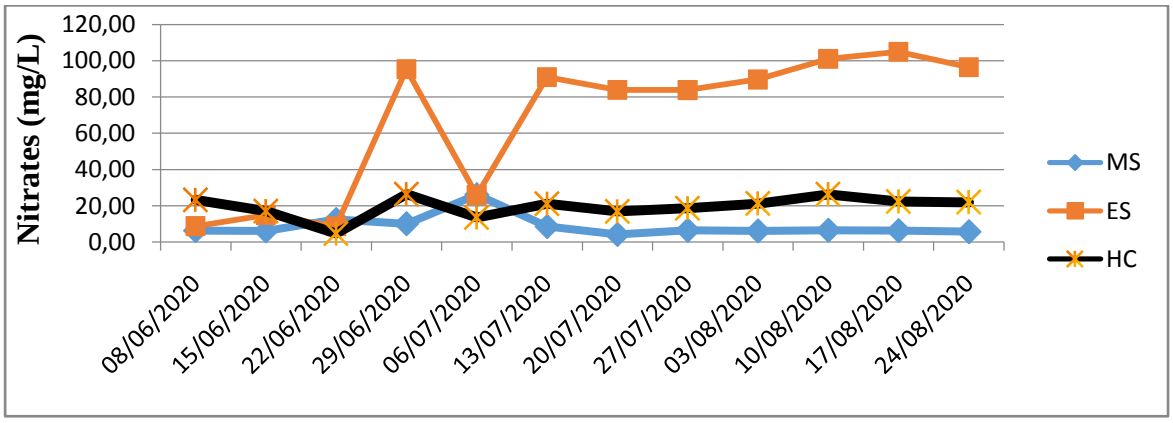


Figure 9: Profile d'évolution des nitrates

La figure ci-dessus montre un pic remarquable sur la piscine ES qui a été observé en date du 29/06/2020 et un autre pic qui demeura en peu constante à partir du date 13/07/2020 jusqu'à la fin du période d'échantillonnage. Pour les deux autres piscines (MS et HC) leurs courbes paraitraient presque constantes durant toute la période d'échantillonnage

III.1.2.5. Azote ammoniacal

La figure 10 montre l'évolution en azote ammoniacal des piscines évaluées.

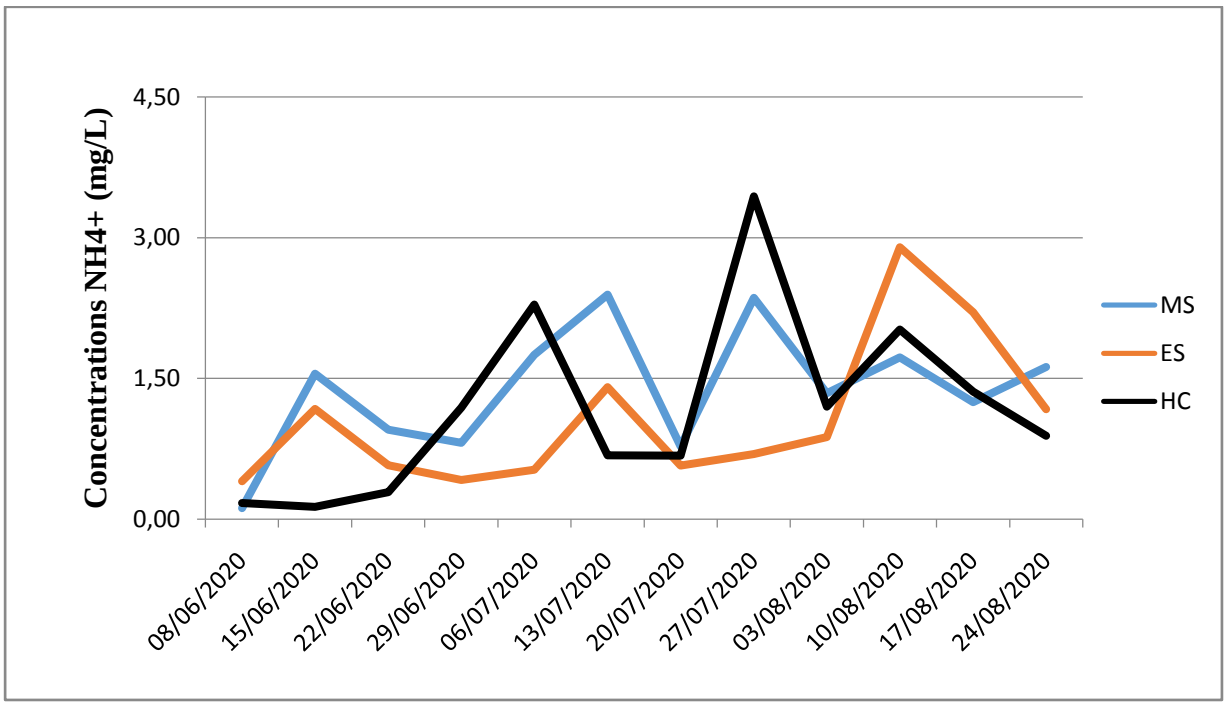


Figure 10: Profile d'évolution de l'azote ammoniacal

D'après cette figure10, toutes les piscines présentent des fluctuations importantes avec un pic très remarquable à la piscine HC.

Le tableau 5 rassemble les valeurs tirées des normes de l'OMS pour faciliter la discussion de nos résultats.

Tableau 5: Normes utilisées pour interpréter les résultats

Paramètres	Normes de l'OMS
pH	7,2-7,8(WHO, 2006)
T°C	21-32(WHO, 2006)
Conductivité en µS/cm	150(WHO, 2006)
Turbidité (NTU)	0,5-1,0
Chlore libre (mg/L)	1-3 (WHO, 2006)
Chlore total (mg/L)	Entre 0,3 et 0,6
Chlore combiné (mg/L)	0,2
Nitrates (mg/L)	<20
Azote ammoniacal (mg/L)	4(Yala, Souza, & Lepengue, 2017)
Coliformes totaux	<1 MPN /100ml(Victor Taghoghor Omoni, 2019)
Coliformes fécaux	<1 MPN /100ml(Victor Taghoghor Omoni, 2019)

III.1.3. Résultats des analyses microbiologiques

Les résultats des analyses microbiologiques de nos échantillons d'eau sont illustrés dans le tableau 6 suivant **:**

Tableau 6: Résultats des analyses microbiologiques

	MS		ES		HC	
Date d'échantillonnage	Coliformes totaux	Coliformes fécaux	Coliformes totaux	Coliformes fécaux	Coliforme totaux	Coliformes fécaux
08/06/2020	< 1 UFC	< 1 UFC	< 1 UFC	< 1 UFC	< 1 UFC	< 1 UFC
15/06/2020	< 1 UFC	1 ,00E+02	4,43E+03	< 1 UFC	< 1 UFC	< 1 UFC
22/06/2020	1,60E+03	1,45E+03	1,55E+03	< 1 UFC	< 1 UFC	< 1 UFC
29/06/2020	6,45E+03	< 1 UFC	4,43E+03	< 1 UFC	< 1 UFC	< 1 UFC
06/07/2020	9,00E+05	2,55E+02	5,14E+04	2,55E+02	2,05E+01	< 1 UFC
13/07/2020	1,17E+07	7,82E+02	6,32E+06	7,82E+02	1,36E+01	< 1 UFC
20/07/2020	1,36E+04	3,00E+02	< 1 UFC	2,32E+04	< 1 UFC	< 1 UFC
27/07/2020	3,76E+05	1,91E+03	1,33E+04	2,32E+04	1,41E+01	< 1 UFC
03/08/2020	2,14E+05	1,00E+01	6.00E+05	< 1 UFC	7,18E+01	< 1 UFC
10/08/2020	3,24E+05	8,00E+00	< 1 UFC	1,30E+01	< 1 UFC	5,00E+00
17/08/2020	9,23E+04	2,18E+04	1,55E+02	< 1 UFC	5,00E+02	< 1 UFC
24/08/2020	9,23E+04	1,00E+03	3,09E+03	< 1 UFC	1,00E+02	< 1 UFC

Ces résultats montrent que dans 72 échantillons analysés sur les coliformes fécaux et coliformes totaux, les valeurs étaient en moyenne de 0UFC/ml et $1.17x10^{7}$UFC/1ml (tableau 6). Concernant la piscine MS, la quantité des coliformes totaux se trouvaient entre <1UFC/1ml à $1.17x10^{7}$UFC/1ml. Le nombre maximal a été remarqué au début du deuxième mois de l'échantillonnage au moment où la valeur minimale a été constatée au début de l'étude. Les coliformes fécaux étaient entre <1UFC/1ml et $2,18x10^{4}$UFC/1ml. C'est à la fin d'échantillonnage que le nombre maximal des coliformes fécaux a été remarqué. Pour la piscine ES, les coliformes totaux se trouvaient entre <1UFC/1ml et $6,32x10^{6}$UFC/1ml sachant que les coliformes fécaux, leur quantité variait entre <1UFC/1ml et $2.32x10^{4}$UFC/1ml. Pour les coliformes fécaux, 7 jours d'échantillonnage sur 12 ont été caractérisés par 0 Coliforme Fécaux. Par contre, 9 jours d'échantillonnage sur 12 ont été caractérisés par un nombre important des coliformes totaux. Pour la piscine HC, concernant les coliformes fécaux, c'était une seule journée seulement qu'on a parvenu à trouver 5UFC/1ml mais pour les coliformes totaux, 6 jours sur 12 ont été caractérisé par un nombre entre $2.05x10^{1}$UFC/1ml et

$5x10^2$UFC/1ml. Cette valeur maximale a été remarquée à la 11 ème semaine d'échantillonnage. La figure 11 montre la photo illustra l'apparence des coliformes qui s'était observée au cours des cultures microbiologiques.



Figure 11: Photo d'apparence des coliformes sur le milieu de culture VRBL

III.2. Discussions des résultats

III.2.1. Qualité physico-chimique de l'eau

Les paramètres physico-chimiques évalués montrent une fluctuation au tour des normes de qualité exigées par l'OMS (Tableau 5). Dans une période d'échantillonnage de 12 semaines, la piscine MS totalise 8 jours où son pH était au-delà des normes de l'OMS donc > 7,8. Le pH que l'OMS exige constitue un paramètre clé pour le maintien de la qualité d'eau des piscines. L'OMS recommande une valeur de pH variant entre 7.2 à 7.8 pour faciliter l'efficacité du désinfectant, éviter l'altération de l'infrastructure (piscine) mais aussi assurer le bien-être des utilisateurs(WHO, 2006).Quant à la piscine ES (Tableau 3), 5 jours ont été caractérisés par un pH> à 7,8, valeurs supérieures à celles exigées par OMS, ce qui pourrait compromettre l'efficacité de la désinfection.

Le Tableau 7 ci-dessous montre les degrés de corrélations entre les paramètres physico-chimiques et microbiologiques sur la piscine MS. Les paramètres microbiologiques n'ont pas été mentionnés dans ce Tableau du fait que ce test n'a montré aucune corrélation entre les paramètres physico-chimiques et microbiologiques pour cette piscine.

Tableau 7 Matrice de corrélation de Pearson de la piscine ES obtenu entre les paramètres physicochimiques et microbiologique analysés

		pH	Conductivité en µS/cm	Turbidité (NTU)	Chlore libre (mg/L)	Chlore combiné (mg/L)	Nitrates (mg/L)
pH 1	Corrélation de Pearson		-0,609	-0,348		0,369	-0,693
	Sig		0,00	0,038		0,027	0,00
Conductivité en µS/cm	Corrélation de Pearson	-0,609		0,345			0,621
	Sig.	0,00		0,04			0,00
Turbidité (NTU)	Corrélation de Pearson	-0,348	0,345				0,476
	Sig.	0,038	0,04				0,003
Chlore libre (mg/L)	Corrélation de Pearson					0,587	-0,332
	Sig.					0,00	0,048
Chlore combiné (mg/L)	Corrélation de Pearson	0,369			0,587		-0,438
	Sig.	0,027			0,00		0,008
Nitrates (mg/L)	Corrélation de Pearson	-0,693	0,621	0,476	-0,332	-0,438	
	Sig.	0,00	0,00	0,003	0,048	0,008	

La corrélation est significative au niveau ≤0.05.

Concernant la turbidité, dans toutes les piscines évaluées aucune d'entre elles est en conformité avec les normes de l'OMS qui recommandent des valeurs situées entre 0.5 à 1NTU avant et après les baignades (Victor et al., 2019). La piscine HC possédait une turbidité intéressante par rapport aux autres piscines évaluées (tableau 3). La piscine MS montre une turbidité qui dépasse plus d'une unité aux normes de l'OMS. La piscine ES a été caractérisée par une grande turbidité par rapport aux 2 autres (Tableau 3). Comme les piscines MS et ES sont des piscines publiques, des matières organiques causées par un grand nombre des baigneurs qu'elles reçoivent peuvent justifier leur turbidité importante. Par contre, la piscine HC qui est semi-publique, accueille surtout les touristes et l'accès au public est limité ce qui peut justifier sa turbidité plus proche des limites de la qualité exigée. Parmi les piscines évaluées, celle ES montre une grande turbidité par rapport aux autres, donc >5NTU.Lesrésultats trouvés sont similaires à ceux trouvés par Shittu *et al*.(2008) qui ont trouvé des valeurs supérieures à 5.5NTU. La turbidité représente des matières en suspension dans l'eau, ce qui entrave la désinfection. Cette turbidité pourrait également s'expliquer par un manque de traitement d'eau brute qu'on tire du forage. Il faudrait envisager les procédés de la coagulation-floculation et la filtration avant la désinfection car Amor *etal*.(2015)ont montré que le prétraitement par la

coagulation/floculation est un procédé essentiel pour réduire la quantité importante des matières en suspension (matières organiques et la couleur) afin d'améliorer le traitement ultérieur.

Les valeurs moyennes de température enregistrées au cours de cette étude coïncident avec les normes de l'OMS (Tableau 5). L'évaluation de la température pour les piscines est importante car la température joue un rôle important dans la multiplication des microorganismes (WHO, 2006). Ces résultats sont proches des résultats trouvés par Ajad *et al*.(2016) qui trouva pendant la saison sèche des valeurs variant entre 24.4°C et 29.3°C. Ainsi, Rabi *et al*.(2016)démontra que l'augmentation de la température au-delà de 27°C favorise la croissance bactérienne. Ces mêmes auteurs (Rabi *et al*., 2016) ont également démontré que cette augmentation de la température était corrélée à une la croissance bactérienne importante.

La conductivité était très élevée, 100% des résultats étaient supérieurs aux valeurs recommandées par l'OMS. Le test de corrélation de Pearson montre une corrélation significative (r=0,621) avec les nitrates (Tableau 8) pour la piscine ES. Ce test révèle une corrélation de la conductivité avec la turbidité du fait que la conductivité est fonction des matières minérales dissoutes dans l'eau sous forme des carbonates, des nitrates, des sulfates, etc. En étudiant la présence des sous-produits de la désinfection dans les piscines municipales en été, Sabrina Simard (2009) a trouvé une conductivité aussi importante de 1698±665µS/cm indicateur de la contamination d'eau par des matières solides dissoutes (Shaukat *et al*., 2008). L'évolution de ces paramètres au cours de la période d'étude (Figures 4 et 5) pourrait s'expliquer par l'augmentation des baigneurs au cours des vacances car, selon Yeh *et a*l. (2014), pendant les tournois sportifs, l'accroissement des matières organiques dans des piscines d'usage sportif s'observe beaucoup. En comparaison à une étude récente (Robles *et al*., 2019), ils ont trouvé une grande conductivité atteignant 6300 µS/cm. Pendant l'été, ces piscines de Bujumbura sont plus visitées pendant les périodes de vacances (en été) d'où l'augmentation des matières organiques.

Les piscines évaluées présentent une grande concentration en nitrates (Figure 10). Lors de la nage, l'homme peut ingérer quelques quantités d'eau par accident. Dans cette même optique, l' OMS(1998) propose des limites sur les nitrates qui soient de 10.2mg/L dans l'eau de consommation (Alan *et al*., 1980). Raison pour laquelle Suthar *et al*.(2009) montrent que la teneur en nitrates d'eau des piscines devrait être la même que celle d'eau de consommation. Nos résultats sur les nitrates sont des valeurs très alarmantes compte-tenu des inconvénients qui

en sont associés. Cela se remarque au niveau de la piscine ES qui, au cours de cette période d'étude, affiche un pic de nitrates allant jusqu' à 104,89mg/L (Tableau 4). Dans cette étude, les 3 premières semaines étaient une période d'avant les vacances, et le pic observé en date du 29/06/2020 (Figure 10) pourrait s'expliquer par des compétions en natation qui s'étaient passées la veille de cette date. La concentration extrême des nitrates à partir du 13/07/2020 jusqu'à la fin de l'étude pourrait s'expliquer par des matières organiques apportées par les baigneurs (vacanciers).Lors de son étude sur la variation des (NO_3^+ et NH_4^+), Sadikoglu(2017)avait trouvé des valeurs variant entre 0.003mg/L et 0.999mg/L pour l'azote ammoniacal, 0.04192mg/L et 76.844mg/L pour les nitrates. Contrairement à son explication sur les nitrates, les piscines qui présentent des valeurs excessives en nitrates dans notre étude ont comme source d'approvisionnement en eau de forage. Donc, ces concentrations excessives en nitrates pourraient également s'expliquer par le fait que cette eau souterraine pourrait être polluée en nitrates. En effet, dans un monitoring des eaux de forages au Burkina-Faso, Ibrahimou (2017) a constaté que des sites présentant des concentrations allant jusqu'à 469.9mg/L étaient associés à des activités anthropiques qui se font dans leurs environs comme l'élevage, des toilettes archaïques et les luxiviats des ordures. Une autre étude effectuée en Inde par Suthar *e tal*.(2009)sur l'évaluation de la contamination des eaux de forage par les nitrates, a trouvé une concentration variant entre 7.10mg/L et 162mg/L attribuée aux activités anthropogéniques. Une étude spécifique est nécessaire pour éclairer sur ce point compte tenu de nos résultats en rapport avec la concentration en nitrates.

Les tableaux 7 et 8 montrent les degrés de corrélations entre les paramètres physicochimiques et microbiologiques pour les piscines ES et HC.

Tableau 8: Matrice de corrélation de Pearson de la piscine MS obtenu entre les paramètres physicochimiques et microbiologique analysés

		pH	Conductivité en µS/cm	Turbidité (NTU)	Chlore libre (mg/l)	Chlore combiné (mg/L)	Nitrates (mg/L)	Azote ammoniacal (mg/L)
pH 1	Corrélation de Pearson		-0,35		-0,50	-0,60		
	Sig.		0,04		0,00	0,00		
Conductivité en µS/cm	Corrélation de Pearson	-,353		0,44	0,06	0,38	-0,36	
	Sig.	0,04		0,01		0,02	0,03	
Turbidité (NTU)	Corrélation de Pearson		0,44				-0,43	
	Sig.		0,01				0,01	
Chlore libre (mg/L)	Corrélation de Pearson	-0,50				0,56	0,42	
	Sig.	0,00				0,00	0,01	
Chlore combiné (mg/L)	Corrélation de Pearson	-0,60	0,38		0,56			
	Sig.	0,00	0,02		0,00			
Nitrates (mg/L)	Corrélation de Pearson		-0,36	-0,43	0,42			
	Sig.		0,03	0,01	0,01			
coliforme totaux	Corrélation de Pearson							0,52
	Sig							0,00
coliforme fécaux 1	Corrélation de Pearson			0,42				
	Sig.			0,01				

La corrélation est significative au niveau ≤0.05.

Une corrélation significative se remarque entre coliformes totaux et l'azote ammoniacal (p=0.52) (Tableau 8) et une faible corrélation significative entre les coliformes fécaux et la turbidité. Cette relation pourrait être liée au fait que la turbidité dans le réseau crée un dépôt de particules et favorise la croissance de biofilms algale avec la présence potentielle des agents pathogènes. L'azote ammoniacal est le nutriment des algues qui à leurs tours ont facilité leurs prolifération (Jung *et al*., 2014). Une autre corrélation très significative entre las coliformes totaux et l'azote ammoniacal a été observé chez la piscine HC (p= 0.86) (Tableau 9). La corrélation inverse entre la turbidité et les coliformes fécaux révèle l'efficacité du désinfectant dans une piscine à faible turbidité (Tableau 9) pour la piscine HC.

Tableau 9: Matrice de corrélation de Pearson de la piscine HC tenu entre les paramètres physicochimiques et microbiologique analysés

		pH	Conductivité en µS/cm	Turbidité (NTU)	Chlore libre (mg/L)	Chlore combiné (mg/L)	Nitrates (mg/L)	Azote ammoniacal (mg/L)
pH 1	Corrélation de Pearson		0,74	0,51		-0,4	0,38	
	Sig.		0,00	0,00		0,01	0,02	
Conductivité en µS/cm	Corrélation de Pearson	0,74		0,34			0,33	
	Sig.	0,00		0,04			0,05	
Turbidité (NTU)	Corrélation de Pearson	0,51	0,34					-0,44
	Sig.	0,00	0,04					0,01
Chlore libre (mg/L)	Corrélation de Pearson					-0,47		0,34
	Sig.					0,00		0,04
Chlore combiné (mg/L)	Corrélation de Pearson	-0,4			-0,47			
	Sig.	0,01			0,00			
Nitrates (mg/L)	Corrélation de Pearson	0,38	0,33		-0,17			
	Sig.	0,02	0,05		0,32			
Azote ammoniacal (mg/L)	Corrélation de Pearson			-0,44	0,34			
	Sig.			0,01	0,04			
coliforme totaux	Corrélation de Pearson	-0,34		-0,59	0,36			0,86
	Sig.	0,04		0,00	0,03			0,00
coliforme fécaux 1	Corrélation de Pearson				-0,55		0,36	
	Sig.				0,00		0,03	

La corrélation est significative au niveau ≤0.05.

III.2.2. Qualité microbiologique

Les résultats montrent une contamination microbiologique assez importante surtout pour les coliformes totaux mais aussi aux coliformes fécaux et cela plus particulièrement aux piscines MS et ES. Ces deux piscines présentent un grand nombre des coliformes totaux et fécaux (Tableau 6) par rapport à la piscine HC. La contamination microbiologique des deux piscines (MS et ES) pourrait s'expliquer par une absence de chlore libre dans les bassins, absence remarquée pendant des analyses de ce paramètre.

Dans une piscine où le service de désinfection était inefficace, la multiplication bactérienne s'en suivait comme conséquence directe. La grande quantité bactérienne observée dans la piscine ES pourrait être liée à une concentration en chlore libre dosée en dessous des limites de l'OMS. En faisant la désinfection, normalement on vise les bactéries (microorganismes) pathogènes à l'homme. Les paramètres qui guident le bien être des baigneurs sont entre autres le pH, turbidité, et le chlore libre. La contamination microbienne importante remarquée aux piscines (MS et ES) presque tous les jours (sauf une seule journée) pourrait s'expliquer d'une part par une faible quantité de désinfectant dans les bassins et d'autre part par une désinfection qui aurait été inefficace. Cela se remarque aux concentrations en chlore libre trouvé lors des analyses. Pour la piscine MS, sauf 9 jours sur 12 ont été caractérisés par 0mg/L de chlore libre avec beaucoup de contaminants microbiologiques. Cela pourrait montrer qu'on introduit une faible quantité de désinfectant dans l'eau chargée de beaucoup de microorganismes, et que son action comme désinfectant n'est pas efficace. D'autre part, la désinfection aurait été entravée par d'autres facteurs comme par exemple le pH et la turbidité. Comme ces piscines se sont caractérisées par une turbidité supérieure aux limites de la qualité, cela montre que l'eau de ces dernières peut contenir beaucoup des matières organiques ce qui nécessiterait une grande concentration en chlore. Le désinfectant aurait réagi avec les matières organiques en formant des chloramines justifié dans le Tableau 4et sa quantité serait terminée sans avoir été consommé par les microorganismes ciblés. La piscine HC montre une légère contamination qui évolue avec le début des vacances. Un constant similaire a été évoqué dans l'étude faite par Abdel-Salam (2012) en Egypte, où une grande contamination par les bactéries pathogènes a été attribuée à un grand nombre de baigneurs mais aussi à une faible concentration du chlore libre dans l'eau des piscines étudiées.

Les résultats de notre étude corroborent avec ceux de Ekopai *et al*.(2017) car dans une analyse microbiologique des piscines de Kampala en Ouganda, leurs résultats étaient au-delà des

limites de l'OMS qui stipula que dans les piscines, le nombre des flores aérobies mésophile total ne doit pas excéder $5x10^2$ UFC/100ml. Nous tenons à signaler que la culture pour ce type de bactéries analysé par Ekopai *et al*.(2017)est la même que celle des coliformes totaux sauf que dans notre étude nous avons utilisé le milieu de culture sélectif aux coliformes.

Le manque de performance du désinfectant pour le traitement des piscines les fait basculer en source importante de contaminants microbiologique (Badiee & Rouein, 2019). Cela se remarque dans une étude récente (Victor *et al*., 2019)au Nigeria, où ils ont constaté qu'avant et après les baignades, 86 % des échantillons étaient contaminés par les coliformes totaux et en coliformes fécaux. Notre étude révèle une plus grande contamination de deux piscines (MS et ES) par des coliformes totaux à 69.4% (n=25/36) et des coliformes fécaux à 52,2% (n=19/36).Par contre la piscine HC a une faible contamination par les coliformes fécaux où 1/12 jours avait 5UFC/1ml au moment où les coliformes totaux étaient de $1,36x10^1$UFC/1ml à $5,00x10^2$UFC/1ml.

Le traitement statistique des données pour cette piscine (HC) a montré une corrélation inverse (r=-0.552) (Tableau 12) entre le chlore libre et les coliformes fécaux. Cela s'explique par le fait que l'optimisation de la désinfection par le chlore, peut réduire considérablement le nombre des coliformes. Parmi les piscines évaluées, la piscine MS et ES étaient contaminées par les bactéries indicatrices de pollution. Du moins, ces deux piscines sont des piscines publiques qui accueillent un nombre important des baigneurs surtout en cette période de vacances. Par contre, HC est une piscine semi publique (hôtel) qui a une fréquentation moins importante par rapport aux deux autres (MS et ES) Ce qui pourrait justifier cette différence au niveau de la contamination microbiologique.

CHAPITRE IV. CONCLUSION GENERALE ET RECOMMENDATIONS

IV .1. Conclusion générale

L'étude décrite de ces 3 piscines montre une fluctuation des paramètres évalués surtout pour la piscine MS et ES. 2/3 des jours d'échantillonnages pour la piscine MS étaient caractérisés par un pH supérieur aux normes de l'OMS. Un autre cas s'observe à la piscine HC où presque dans tous les jours le pH était en dessous des limites de la qualité. Toutes les piscines évaluées présentent des valeurs de la turbidité qui ne coïncident pas aux normes de la qualité mais la piscine ES avait des valeurs atteignant à 6.05NTU. Des concentrations excessives en nitrates allant de 104.89mg/L étaient observées à la piscine ES. Le chlore libre était parfois faible voire même absent (piscine MS) et les grandes valeurs allant jusqu'à2.8mg/L se remarquaient à la piscine HC. Microbiologiquement, toutes les piscines évaluées étaient contaminées par les bactéries indicatrices de pollution (coliformes totaux et fécaux). La piscine MS vient en première position avec un pic de $1.17x10^{7}$UFC/100 ml pour les CT et $2.18x10^{4}$UFC/100 ml pour les CF. La piscine HC était moins contaminé par rapport aux deux autres avec 5UFC/100ml de coliformes fécaux et cela pour une seule journée.

Dans notre étude, aucune de trois piscines échantillonnées ne respecte les normes de la qualité de l'OMS.

IV.2. Recommandations

Au ministère de la santé publique :

- ✓ Etablir les normes locales pour les piscines
- ✓ Faire une meilleure et stricte inspection des indicateurs de la qualité de l'eau notamment lorsque le nombre des baigneurs augmente.

Aux gestionnaires des piscines et baigneurs

- ✓ Envisager un prétraitement d'eau brute avant la désinfection pour réduire la turbidité surtout pour la piscine ES.
- ✓ Sensibiliser aux utilisateurs sur les risques liés aux piscines afin de promouvoir le bon usage de la piscine.
- ✓ Changer régulièrement l'eau brute

Aux baigneurs

- ✓ Mettre en pratique des conseils hygiéniques fournis par les gestionnaires des piscines.

BIBLIOGRAPHIES

Afsset. (2010). Risques sanitaires liés aux piscines : évaluation des risques sanitaires liés aux piscines – Partie 1 piscines réglementées. *Edition Scientifique - Eau et Agents Biologiques*. Retrieved from http://www.afssa.fr/ET/DocumentsET/10_06_piscines_reglementees_vdef_2010.pdf

Ajadi, F. A., Bakare, M. K. and Oyedeji, O. (2016). Assessment of the physicochemical and microbiological qualities of swimming pools in selected hotels in osogbo metropolis, southwestern nigeria. *Ife Journal of Science*, *18*(4), 831–843.

Al-khatib, I., & Salah, S. (2015). Bacteriological and chemical quality of swimming pools water in developing countries : A case study in the West Bank of Palestine Bacteriological and chemical quality of swimming pools water in developing countries : a case study in the West Bank of Pales. 3123(November). https://doi.org/10.1080/0960312021000063278

Amer Kanan, T. K. (2011). Formation of disinfection by-products in indoor swimming pool water: The contribution from filling water natural organic matter and swimmer body fluids. *Water Research*, *45*(2), 926–932. https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.09.031

Amor, C., Torres-Socías, E. De, Peres, J. A., Maldonado, M. I., Oller, I., Malato, S., & Lucas, M. S. (2015). Mature landfill leachate treatment by coagulation/flocculation combined with Fenton and solar photo-Fenton processes. *Journal of Hazardous Materials*, *286*, 261–268. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.12.036

Anses. (2012).Évaluation Des Risques Sanitaires Liés Aux Piscines Partie I: piscines réglementées (Vol. 1). Retrieved from https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2007sa0409Ra.pdf

ASTM. (2008). Standard Test Methods for Ammonia Nitrogen In Water D 1426. https://doi.org/10.1520/D1426-08

Attiffi, E. L., & Ouadrassi, E. L. (2011). La qualite microbiologique des eaux de baignade.

Badiee, P., & Rouein, S. (2019). The Best Commercial Chemical Disinfectant for Swimming Pools Environments Contaminated With Fungi. 1–22.

El-Salam, M. M. A. (2012). Assessment of water quality of some swimming pools: A case study in Alexandria, Egypt. *Environmental Monitoring and Assessment*, *184*(12), 7395–7406. https://doi.org/10.1007/s10661-011-2508-6

Ibrahimou, M. N.(2017)..Évaluation De La Qualité Physico-Chimique Et Bactériologique Des Eaux Des Forages a Usage Particulier Et Semi-Industriels a Ouagadougou (Burkina Faso).

Interieur, M. D. E. L. (2008). Bureau Central du Recensement VOLUME 3 : ANALYSE. 3.

ISO 16649-2. (2001).Méthode horizontale pour le dénombrement des coliformes-méthode par comptage des colonies.

Ivoire, R. D. E. C. D. (2017). Evaluation de la qualité de l'eau de baignade de la cascade de Man ADMIN.

J. ALAN BEECH, RAYMOND DIAZ, BS, & CESAR ORDAZ, BS, AND BESTEIRO PALOMEQUE, B. (1980). Nitrates , Chlorates and Trihalomethanes In Swimming Pool Water. 70(1), 1–4.

Jaunakais Broad et al. (2009). (12) United States Patent Date of Patent : In *Reagent delvery and photometric chlorine analysis* (Vol. 1).

Joyce Margaret Ekopai, Nathan Lubowa Musisi, Howard Onyuth, Benigna Gabriela Namara, and C. S. (2017). Determination of Bacterial Quality of Water in Randomly Selected Swimming Pools in Kampala City , Uganda. 2017.

Jung, A. V., Cann, P. Le, Roig, B., Thomas, O., Baurès, E., & Thomas, M. F. (2014). Microbial contamination detection in water resources: Interest of current optical methods, trends and needs in the context of climate change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *11*(4), 4292–4310. https://doi.org/10.3390/ijerph110404292

Kabogora, M. (2014). Etude de la qualité et de la traitabilité de l'eau souteraine de la ville de Bujumbura: cas de l'eau de puit et de piscine située à kinindo (Avenue du large).

Kim, K., Chung, E., Kim, C. J., & Lee, S. (2012). Swimming exercise during pregnancy alleviates pregnancy-associated long-term memory impairment. *Physiology and Behavior*, *107*(1), 82–86. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.06.004

Ndikubwayo et al. (2019). Contribution de la teledetection et des systemes d ' information g e ographique (sig) dans l ' etude de la dynamique spatio- temporelle de l ' environnement urbain. Retrieved from http://hdl.handle.net/2268.2/8038

OMS. (2011).Sécurité sanitaire de l ' eau dans les bâtiments.

OMS. (2015). Directives de l ' OMS relatives à la protection de la santé contre les effets du changement climatique grâce à la planifi cation de l ' adaptation du secteur de la santé.

Pineda, C. O., Leal, D. A. G., Fiuza, V. R. da S., Jose, J., Borelli, G., Durigan, M., … Bueno Franco, R. M. (2020). Toxoplasmagondii oocysts, Giardia cysts and Cryptosporidium oocysts in outdoor swimming pools in Brazil. *Zoonoses and Public Health*, (July), 1–11. https://doi.org/10.1111/zph.12757

Rabi, A., Khader, Y., Alkafajei, A., & Aqoulah, A. A. (2016). Sanitary Conditions of Public Swimming Pools in Amman , Jordan. 5(June), 152–157. https://doi.org/10.3390/ijerph13070646

Robles, E., Ramírez, E., Sáinz, M. D. G., Martínez, B., Ayala, R., González, M. E., … Olmos, M. (2019). Microbiological and Physico-chemical Study of Swimming Pool Water. 4(4), 15–20.

RODIER, J. (2009). l-analyse-de-l-eau-9e-edition-entierement-mise-a-jour-jean-rodie.pdf. LIVRE0001.Pd, p. 1529. Retrieved from 978-2-10-054179-9

Sadikoglu, M. (2017). Variations in Nitrogen (NH4 +, NO2 -, NO3 -) and Heavy Metal (Al and Cu) Levels of Water from Swimming Pools in the City Center and Districts of Canakkale, Turkey. 4(2), 2–6. https://doi.org/10.4172/2380-2391.1000198

Shaukat Farooq & Imran Hashmi & Ishtiaq A. Qazi & Sara Qaiser & Sajida Rasheed, & Received: (2008). Monitoring of Coliforms and chlorine residual in water distribution network of Rawalpindi , Pakistan. 339–347. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9872-2

Shittu et al. (2008). Physicochemical and bacteriological analyses of water used in drinking and swimming purposes in Abeokuta, Nigeria. *African Journal of Biomedical Research*, *11*, 285–290.

Simard, S. (2009). Occurrence des sous-produits de la désinfection dans l ' eau des piscines.

Québec.

Suthar, S., Bishnoi, P., Singh, S., Mutiyar, P. K., Nema, A. K., & Patil, N. S. (2009). Nitrate contamination in groundwater of some rural areas of Rajasthan , India. 171, 189–199. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.111

Sylviane Carbonnelle, Médecin de Santé Publique. (2003). Les risques sanitaires des produits dérivés de la chloration des eaux de bassins de natation. *VertigO*, *4*(Volume 4 Numéro 1), 0–6. https://doi.org/10.4000/vertigo.4638

Tiffany L.L. Teo a, Heather M. Coleman b, S. J. K. a. (2015). Chemical contaminants in swimming pools: Occurrence, implications and control. *Environment International*, *76*, 16–31. https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.012

Timothy J. Wade, Nitika Pai, Joseph N.S. Eisenberg and John M. Colford, J. (2003). Do U.S. Environmental Protection Agency water quality guidelines for recreational waters prevent gastrointestinal illness? A systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, *111*(8), 1102–1109. https://doi.org/10.1289/ehp.6241

Victor Taghoghor Omoni, D. N. T. and S. E. O. (2019). Studies on the physicochemical and bacteriological properties of some semi-public Swimming pools in Makurdi, Nigeria. *African Journal of Microbiology Research*, *13*(14), 264–272. https://doi.org/10.5897/ajmr2019.9053

WHO. (1998). Guidelines for Drinking Water Quality, World Health Organization, Geneva. Geneve.

WHO. (2003). Guidelines for saferecreational water.

WHO. (2006). Guidelines for safe recreational water. *Guidelines*, *2*, 118.

Wiedrich, I. C. R., & Sare, E. J. (1990). United States Patent (19). (19).

Yala, J., Souza, A., & Lepengue, A. N. (2017).détection et dénombrement des coliformes totaux et fécaux dans quelques lacs de la ville de Franceville (Gabon) Etude préliminaire de l ' évaluation des paramètres physico-chimiques , détection et dénombrement des coliformes totaux et fécaux dans quelqu. (March).

Yeh, R. Y. L., Farré, M. J., Stalter, D., Tang, J. Y. M., Molendijk, J., & Escher, B. I. (2014). Bioanalytical and chemical evaluation of disinfection by-products in swimming pool water. *Water Research*, *59*, 172–184. https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.04.002

Zwiener, C., Richardson, S. D., De Marini, D. M., Grummt, T., Glauner, T., & Frimmel, F. H. (2007). Drowning in disinfection byproducts? Assessing swimming pool water. Environmental Science and Technology, 41(2), 363–372. https://doi.org/10.1021/es062367v