

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE
UNION-DISCIPLINE-TRAVAIL



N°2016/19

ANNÉE : 2018 – 2019

THESE
Présentée en vue de l'obtention du
DIPLOME D'ÉTAT DE
DOCTEUR EN PHARMACIE

Par

Monsieur SILUE FOUNGNIGUE EZECHIEL

**CARACTERISATION DE TROIS TYPES D'EAUX DE
BAIGNADE DE LA VILLE DE JACQUEVILLE EN CÔTE
D'IVOIRE DE MAI A DECEMBRE 2018**

Soutenue publiquement le 21 Juin 2019

COMPOSITION DU JURY :

Président : Madame KONE-BAMBA DIENEBA, Professeur Titulaire.
Directeur : Monsieur AMIN N'CHO CHRISTOPHE, Maître de Conférences Agrégé
Assesseurs : Monsieur KASSI KONDO FULGENCE, Maître de Conférences Agrégé
: Madame HOUNSA-ALLA ANNITA EMELINE, Maître-Assistante

**ADMINISTRATION ET PERSONNEL
ENSEIGNANT DE L'UFR SCIENCES
PHARMACEUTIQUES ET BIOLOGIQUES**

HONORARIAT

Directeurs/Doyens Honoraires

Professeur RAMBAUD André
Professeur FOURASTE Isabelle
Professeur BAMBA Moriféré
Professeur YAPO Abbé †
Professeur MALAN KlaAnglade
Professeur KONE Moussa †
Professeur ATINDEHOU Eugène

I. ADMINISTRATION

Directeur

Professeur KONE-BAMBA Diénéba

Sous-Directeur Chargé de la Pédagogie

Professeur Ag IRIE-N'GUESSAN Amenan

Sous-Directeur Chargé de la Recherche

Professeur Ag DEMBELE Bamory

Secrétaire Principal

Madame NADO-AKPRO Marie Josette

Documentaliste

Monsieur N'GNIMMIEN Koffi Lambert

Intendant

Monsieur GAHE Alphonse

Responsable de la Scolarité

Madame DJEDJE Yolande

II. PERSONNEL ENSEIGNANT PERMANENT

1- PROFESSEURS TITULAIRES

M. ABROGOUA Danho Pascal

Pharmacie Clinique

Mmes AKE Michèle

Chimie Analytique, Bromatologie

ATTOUNGBRE HAUHOUOT M.L.

Biochimie et Biologie Moléculaire

MM. DANO Djédjé Sébastien

Toxicologie

GBASSI K. Gildas

Chimie Physique Générale

INWOLEY Kokou André

Immunologie

Mme KONE BAMBA Diéneba

Pharmacognosie

M. KOUADIO Kouakou Luc

Hydrologie, Santé Publique

Mme KOUAKOU-SIRANSY Gisèle

Pharmacologie

MM. MALAN KlaAnglade

Chimie Analytique, Contrôle de Qualité

MENAN Eby Ignace

Parasitologie - Mycologie

MONNET Dagui

Biochimie et Biologie Moléculaire

Mme	SAWADOGO Duni	Hématologie
M.	YAVO William	Parasitologie-Mycologie

2- MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

M.	AHIBOH Hugues	Biochimie et Biologie Moléculaire
Mme	AKE-EDJEME N'guessan Angèle	Biochimie et Biologie Moléculaire
MM.	AMARI Antoine Serge G.	Législation
	AMIN N'Cho Christophe	Chimie Analytique
Mme	BARRO-KIKI Pulchérie	Parasitologie – Mycologie
	BONY François Nicaise	Chimie Analytique
	DALLY Labalmael	Pharmacie Galénique
	DEMBELE Bamory	Immunologie
Mme	DIAKITE Aïssata	Toxicologie
M.	DJOHAN Vincent	Parasitologie – Mycologie
Mmes	FOFIE N'Guessan Bra Yvette	Pharmacognosie
	IRIE-N'GUESSAN Amenan	Pharmacologie
MM.	KASSI Kondo Fulgence	Parasitologie-Mycologie
	KOFFI Angely Armand	Pharmacie Galénique
Mme	KOUAKOU-SACKOU Julie	Santé Publique
MM.	KOUASSI Dinard	Hématologie
	LOUKOU Yao Guillaume	Bactériologie-Virologie
	MANDA Pierre	Toxicologie
	OGA Agbaya Stéphane	Santé Publique et Economie de la Santé
	OUASSA Timothée	Bactériologie-Virologie
	OUATTARA Mahama	Chimie Organique, Chimie Thérapeutique
Mme	SANGARE TIGORI Béatrice	Toxicologie
MM.	YAPI Ange Désiré	Chimie Organique, Chimie Thérapeutique
	YAYO Sagou Eric	Biochimie et Biologie Moléculaire
	ZINZENDORF NangaYessé	Bactériologie-Virologie

3- MAITRES ASSISTANTS

MM.	ADJAMBRI AdiaEusebé	Hématologie
	ADJOUNGOUA Attoli Léopold	Pharmacognosie
Mmes	ABOLI-AFFI Mihessé Roseline	Immunologie
	AKA ANY-GRAH Armelle Adjoua S.	Pharmacie Galénique
	ALLA-HOUNSA Annita Emeline	Santé Publique
M.	ANGORA Kpongbo Etienne	Parasitologie-Mycologie
Mmes	AYE-YAYO Mireille	Hématologie
	BAMBA-SANGARE Mahawa	Biologie Générale
	BLAO-N'GUESSAN Amoin Rebecca J.	Hématologie
MM.	CABLAN Mian N'DédeyAsher	Bactériologie-Virologie
	CLAON Jean Stéphane	Santé Publique
Mme	DONOU-N'DRAMAN Aha Emma	Hématologie
MM.	EFFO Kouakou Etienne	Pharmacologie
	KABRAN Tano Kouadio Mathieu	Immunologie
Mme	KONAN-ATTIA Akissi Régine	Santé Publique
M.	KONAN Konan Jean Louis	Biochimie et Biologie Moléculaire
Mme	KONATE Abibatou	Parasitologie-Mycologie
M.	KOAME Denis Rodrigue	Immunologie
Mme	KOUASSI-AGBESSI Thérèse	Bactériologie-Virologie
MM.	KPAIBE Sawa André Philippe	Chimie Analytique
	N'GUESSAN Alain	Pharmacie Galénique
Mme	VANGA-BOSSON Henriette	Parasitologie-Mycologie

4- ASSISTANTS

MM.	ADIKO Aimé Cézaire	Immunologie
	AMICHIA Attoumou Magloire	Pharmacologie
Mmes	AKOUBET-OUAYOGODE Aminata	Pharmacognosie
	ALLOUKOU-BOKA Paule-Mireille	Législation
	APETE-TAHOU Sandrine	Bactériologie-Virologie
	BEDIAKON-GOKPEYA Mariette	Santé Publique
MM.	BROU Amani Germain	Chimie Analytique

	BROU N'Guessan Aimé	Pharmacie clinique et thérapeutique
	COULIBALY Songuigama	Chimie organique, Chimie Thérapeutique
	DJADJI Ayoman Thierry Lenoir	Pharmacologie
	DJATCHI Richmond Anderson	Bactériologie-Virologie
	DOFFOU Oriadje Elisée	Pharmacie clinique et thérapeutique
Mmes.	DOTIA Tiepordan Agathe	Bactériologie-Virologie
	HE-KOUAME Linda Isabelle	Chimie Minérale
	KABLAN-KASSI Hermance	Hématologie
M.	KACOU Alain	Chimie Organique, Chimie Thérapeutique
Mme	KAMAGATE Tairatou	Hématologie
MM.	KAMENAN Boua Alexis Thierry	Pharmacie clinique et thérapeutique
	KOFFI Kouamé	Santé Publique
	KONAN Jean Fréjus	Biophysique
Mmes	KONE Fatoumata	Biochimie et Biologie Moléculaire
	KONE-DAKOURI YekayoBenedicte	Biochimie et Biologie Moléculaire
MM.	KOUAHO AviKadio Tanguy	Chimie Organique, Chimie thérapeutique
	KOUAKOU Sylvain Landry	Pharmacologie
	KOUAME Jérôme	Santé Publique
Mme	KRIZO Gouhonon Anne-Aymonde	Bactériologie-Virologie
MM.	LATHRO Joseph Serge	Bactériologie-Virologie
	MIEZAN Jean Sébastien	Parasitologie-Mycologie
	N'GBE Jean Verdier	Toxicologie
	N'GUESSAN DétoUrsul Jean-Paul	Chimie Organique, Chimie Thérapeutique
Mmes	N'GUESSAN Kakwokpo Clémence	Pharmacie Galénique
	N'GUESSAN-AMONKOU Anne C.	Législation
	ODOH Alida Edwige	Pharmacognosie
	SIBLI-KOFFI Akissi Joëlle	Biochimie et Biologie moléculaire
	SICA-DIAKITE Amelanh	Chimie Organique, Chimie Thérapeutique
	TANOAH-BEDIA Valérie	Parasitologie-Mycologie
M.	TE BONLE Leynouin Franck-Olivier	Pharmacie hospitalière
Mme	TIADÉ-TRA BI Marie Laure	Santé publique - Biostatistiques
M.	TRE Eric Serge	Chimie Analytique

Mmes TUO-KOUASSI Awa	Pharmacie Galénique
YAO Adjoa Marcelle	Chimie Analytique
MM. YAO Jean Simon N'Ghorand	Chimie Générale
YAPO Assi Vincent De Paul	Biologie Générale
Mmes YAPO-YAO Carine Mireille	Biochimie
YEHE Desiree Mariette	Chimie Générale
ZABA Flore Sandrine	Bactériologie-Virologie

5- CHARGEES DE RECHERCHE

Mmes ADIKO N'dri Marcelline	Pharmacognosie
OUATTARA N'gnôhDjénéba	Santé Publique

6- ATTACHE DE RECHERCHE

M. LIA Gnahoré José Arthur	Pharmacie Galénique
----------------------------	---------------------

7- IN MEMORIUM

Feu KONE Moussa	Professeur Titulaire
Feu YAPO Abbé Etienne	Professeur Titulaire
Feu OUATTARA Lassina	Professeur Titulaire
Feu COMOIE Léopold	Maître de Conférences Agrégé
Feue POLNEAU-VALLEE Sandrine	Maître de Conférences Agrégé
Feu GUEU Kaman	Maître-Assistant
Feu ALLADOUM Nambelbaye	Assistant
Feu COULIBALY Sabali	Assistant
Feu TRAORE Moussa	Assistant
Feu YAPO Achou Pascal	Assistant

III. ENSEIGNANTS VACATAIRES

1- PROFESSEURS

MM.	DIAINE Charles	Biophysique
	OYETOLA Samuel	Chimie Minérale

2- MAITRES DE CONFERENCES

MM.	KOUAKOU Tanoh Hilaire	Botanique et Cryptogamie
	YAO N'Dri Athanase	Pathologie Médicale

3- MAITRE-ASSISTANT

M.	KONKON N'Dri Gilles	Botanique, Cryptogamie
----	---------------------	------------------------

4- NON UNIVERSITAIRES

MM.	AHOUSI Daniel Ferdinand	Secourisme
	COULIBALY Gon	Activité sportive
	DEMPAH Anoh Joseph	Zoologie
	GOUEPO Evariste	Techniques officinales
Mme	KEI-BOGUINARD Isabelle	Gestion
MM	KOFFI ALEXIS	Anglais
	KOUA Amian	Hygiène
	KOUASSI Ambroise	Management
	N'GOZAN Marc	Secourisme
	KONAN Kouacou	Diététique
Mme	PAYNE Marie	Santé Publique

**COMPOSITION DES DÉPARTEMENTS DE L'UFR
DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES ET
BIOLOGIQUES**

BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE

Professeur	LOUKOU Yao Guillaume	Maître de Conférences Agrégé Chef de Département
Professeurs	OUASSA Timothée ZINZENDORF NangaYessé	Maître de Conférences Agrégé Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	CABLAN Mian N'DédeyAsher KOUASSI-AGBESSI Thérèse APETE-TAHOU Sandrine DJATCHI Richmond Anderson DOTIA TiepordanAgathe KRIZO Gouhonon Anne-Aymonde LATHRO Joseph Serge ZABA Flore Sandrine	Maître-Assistant Maître-Assistante Assistante Assistant Assistante Assistante Assistant Assistante

I. BIOCHIMIE, BIOLOGIE MOLECULAIRE, BIOLOGIE DE LA REPRODUCTION ET PATHOLOGIE MEDICALE

Professeur	MONNET Dagui	Professeur Titulaire Chef de Département
Professeurs	HAUHOUOT-ATTOUNGBRE M.L. AHIBOH Hugues AKE-EDJEME N'Guessan Angèle YAYO Sagou Eric	Professeur Titulaire Maître de Conférences Agrégé Maître de Conférences Agrégé Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	KONAN Konan Jean Louis KONE-DAKOURI YekayoBenedicte KONE Fatoumata SIBLI-KOFFI Akissi Joëlle YAPO-YAO Carine Mireille	Maître-Assistant Assistante Assistante Assistante Assistante

II. BIOLOGIE GENERALE, HEMATOLOGIE ET IMMUNOLOGIE

Professeur	SAWADOGO Duni	Professeur Titulaire Chef de Département
Professeurs	INWOLEY Kokou André DEMBELE Bamory	Professeur Titulaire Maître de Conférences Agrégé

	KOUASSI Dinard	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	ABOLI-AFFI Mihessé Roseline	Maître-Assistante
	ADJAMBRI Adia Eusèbe	Maître-Assistant
	AYE-YAYO Mireille	Maître-Assistante
	BAMBA-SANGARE Mahawa	Maître-Assistante
	BLAO-N'GUESSAN A. Rebecca S.	Maître-Assistante
	DONOU-N'DRAMAN Aha Emma	Maître-Assistante
	KABRAN Tano K. Mathieu	Maître-Assistant
	KOUAME Denis Rodrigue	Maître-Assistant
	ADIKO Aimé Cézaire	Assistant
	KABLAN-KASSI Hermance	Assistante
	KAMAGATE Tairatou	Assistant
	YAPO Assi Vincent De Paul	Assistant

III. CHIMIE ANALYTIQUE, CHIMIE MINERALE ET GENERALE, TECHNOLOGIE ALIMENTAIRE

Professeur	MALAN Kla Anglade	Professeur Titulaire Chef de Département
Professeurs	AKE Michèle	Professeur Titulaire
	GBASSI Komenan Gildas	Professeur Titulaire
	AMIN N'Cho Christophe	Maître de Conférences Agrégé
	BONY Nicaise François	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	KPAIBE Sawa André Philippe	Maître-Assistant
	BROU Amani Germain	Assistant
	HE-KOUAME Linda Isabelle	Assistante
	TRE Eric Serge	Assistant
	YAO Adjoa Marcelle	Assistante
	YAO Jean Simon N'Ghorand	Assistant
	YEHE Desiree Mariette	Assistante

CHIMIE ORGANIQUE ET CHIMIE THERAPEUTIQUE

Professeur	YAPI Ange Désiré	Maître de Conférences Agrégé
		Chef de Département
Professeur	OUATTARA Mahama	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	COULIBALY Songuigama	Assistant
	KACOU Alain	Assistant
	KOUAHO AviKadio Tanguy	Assistant
	N'GUESSAN DétoUrsul Jean-Paul	Assistant
	SICA-DIAKITE Amelanh	Assistante

IV. PARASITOLOGIE, MYCOLOGIE, BIOLOGIE ANIMALE ET ZOOLOGIE

Professeur	MENAN Eby Ignace H.	Professeur Titulaire
		Chef de Département
Professeurs	YAVO William	Professeur Titulaire
	BARRO KIKI Pulchérie	Maître de Conférences Agrégé
	DJOHAN Vincent	Maître de Conférences Agrégé
	KASSI Kondo Fulgence	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	ANGORA Kpongbo Etienne	Maître-Assistant
	KONATE Abibatou	Maître-Assistante
	VANGA-BOSSON Henriette	Maître-Assistante
	MIEZAN Jean Sébastien	Assistant
	TANOI-BEDIA Valérie	Assistante

V. PHARMACIE GALENIQUE, BIOPHARMACIE, COSMETOLOGIE, GESTION ET LEGISLATION PHARMACEUTIQUE

Professeur	KOFFI Armand A.	Maître de Conférences Agrégé
		Chef de Département
Professeurs	AMARI Antoine Serge G.	Maître de Conférences Agrégé
	DALLY Laba Ismaël	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	AKA ANY-GRAH Armelle A.S.	Maître-Assistante
	N'GUESSAN Alain	Maître-Assistant
	ALLOUKOU-BOKA P.-Mireille	Assistante

LIA Gnahoré José Arthur	Attaché de recherche
N'GUESSAN Kakwokpo Clémence	Assistante
N'GUESSAN-AMONKOU A. Cynthia	Assistante
TUO-KOUASSI Awa	Assistante

VI. PHARMACOGNOSIE, BOTANIQUE, BIOLOGIE VEGETALE, CRYPTOGRAMIE

Professeur	KONE BAMBA Diénéba	Professeur Titulaire Chef de Département
Professeur	FOFIE N'Guessan Bra Yvette	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	ADJOUGOUA Attoli Léopold	Maître-Assistant
	ADIKO N'dri Marcelline	Chargée de recherche
	AKOUBET-OUAYOGODE Aminata	Assistante
	ODOH Alida Edwige	Assistante

VII. PHARMACOLOGIE, PHARMACIE CLINIQUE ET THERAPEUTIQUE ET PHYSIOLOGIE HUMAINE

Professeur	KOUAKOU SIRANSY N'Doua G.	Professeur Titulaire Chef de Département
Professeurs	ABROGOUA Danho Pascal	Professeur Titulaire
	IRIE N'GUESSAN Amenan G.	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	EFFO Kouakou Etienne	Maître-Assistant
	AMICHIA Attoumou M.	Assistant
	BROU N'Guessan Aimé	Assistant
	DJADJI Ayoman Thierry Lenoir	Assistant
	DOFFOU Oriadje Elisée	Assistant
	KAMENAN Boua Alexis	Assistant
	KOUAKOU Sylvain Landry	Assistant
	TE BONLE Leynouin Franck-Olivier	Assistant

VIII. PHYSIQUE, BIOPHYSIQUE, MATHÉMATIQUES, STATISTIQUES ET INFORMATIQUE

Professeur	GBASSI Komenan Gildas	Professeur Titulaire Chef de Département
Docteur	KONAN Jean-Fréjus	Assistant

IX. SANTÉ PUBLIQUE, HYDROLOGIE ET TOXICOLOGIE

Professeur	KOUADIO Kouakou Luc	Professeur Titulaire Chef de département
Professeurs	DANO Djédjé Sébastien	Professeur Titulaire
	DIAKITE Aissata	Maître de Conférences Agrégé
	KOUAKOU-SACKOU J.	Maître de Conférences Agrégé
	MANDA Pierre	Maître de Conférences Agrégé
	OGA Agbaya Stéphane	Maître de Conférences Agrégé
	SANGARE-TIGORI Béatrice	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	CLAON Jean Stéphane	Maître-Assistant
	HOUNSA-ALLA Annita Emeline	Maître-Assistante
	KONAN-ATTIA Akissi Régine	Maître-Assistante
	OUATTARA N'gnôhDjénéba	Chargée de Recherche
	BEDIAKON-GOKPEYA Mariette	Assistante
	KOFFI Kouamé	Assistant
	KOUAME Jérôme	Assistant
	N'GBE Jean Verdier	Assistant
	TIADÉ-TRA BI Marie Laure	Assistante

DEDICACES

*Je ne pourrais introduire ce modeste travail sans rendre gloire et honneur à mon **DIEU TOUT PUISSANT, L'OMNISCIENT, LE MISERICORDIEUX**, qui m'a donné la force et les moyens nécessaires à la réalisation de ce travail. Gloire et honneur ne revienne qu'à toi seul. Tous les jours de ma vie je te glorifierai !!!*

A MON PERE SILUE NAGNEHEPLE JOEL

A toi père toute ma reconnaissance à DIEU de t'avoir eu dans ma vie. Tu n'as cessé de croire en moi tout en mettant en ma disposition tout ce dont j'avais besoin pour ma réussite. Ta fierté et ton sens du travail bien fait ont été une source de motivation. Le chemin fut long et tumultueux mais nous y sommes parvenus. Puisse Dieu t'accorder longue vie !!!

A MA MERE SORO SITA LEA

Je ne pense pas qu'il ait des mots capables d'exprimer ce que tu as fait pour moi. En ton sein sont sortis des enfants merveilleux dont je fais partir. Merci pour toutes tes prières qui m'ont porté à ce niveau Puisse Dieu continuer ce qu'il a commencé !!!

A L'AINE DE LA FAMILLE LE COMMANDANT SILUE S DAVID

Que dire de toi si ce n'est un grand merci. Je te dédie ce modeste travail dont tu as joué un rôle clé celui de motivateur. Tu es un homme de principe, aimable, attentionné, jovial et protecteur prêt à tout pour voir ses petits réussir. Au travers ce travail moi, papa et toute la famille t'en sont reconnaissant pour tout ce que tu fais pour la famille. Je prie DIEU qu'il continue de t'élever de gloire en gloire et fasse de toi un éminent pilote de tous les temps !!!

A MON FRERE AINE LE TELECOM SILUE N ETIENNE

Un homme extraordinaire, à qui je dirai le bosseur de la famille. Merci pour tout ton soutien tant financier que physique. Dieu fasse de toi un télécom hors pair et t'élève de gloire en gloire !!!

A MON GRAND PERE ET GRANDE MERE MR ET MME COULIBAL

Mille mercis pour vos prières. Vous ne cessez de bénir vos petits-enfants et leur accorder une attention particulière, que le DIEU que nous servons continue à veiller sur vous. Une histoire prend fin et une autre commence, Dieu facilite le reste !!!

A MES FRERES ET SŒURS

Vous qui avez été toujours été là pour moi, dans les meilleurs comme les pires moments. Sachez que rien ne pourra mettre fin à cette fraternité. Dieu vous bénisse tous selon le besoin !!!

A MES COUSINS ET COUSINE

Merci pour vos prières de près comme de loin qui m'ont permis de gravir ces étapes. Je vous suis reconnaissant !!!

A TOUTE LA FAMILLE SILUE ET ALLIES

Que le bon DIEU ne cesse de bénir tous selon le besoin. Merci pour tout !!!

A MES AMIS D'ENFANCE YEO K YACOU, SEKONGO NAMOGO ET EHOUMAN GHISLAIN

Du stade d'amis nous sommes passés à celui de frère, juste vous dire merci pour tous ces mots d'encouragements et d'avoir cru en moi. Que DIEU vous le rendre au centuple !!!

A MA BIEN AIMEE COULIBALY GRACE DELPHINE DIT DOFING

Tu es une personne formidable,

aimable, sympa, jovial et surtout intelligente,

je veux donc marquer une pause.

Et chercher voir dans mon dictionnaire s'il y a un mot qui puisse exprimer tout mon amour et mon affection pour toi. Merci pour ton amour et soutiens a tous les plans. Que le Dieu que nous adorons te bénisse abondamment !!!

A MON GROUPE D'ETUDE

Dr Ehouman Antoine, Kouadio Elodie, Kouame Loukou Francoise,

Kouame Cyrielle Claire d'Avilla, Kouadio Anatole, Lath Meliane Sylvie,

Fry Emma Sandrine, Kobenan Mahoussi Faustine.

Je vous dire merci du fond du cœur pour tous ces moments passé ensemble. Que Dieu nous accorde d'être toujours réunis. Le meilleur est devant !!!

A LA PHARMA 3.5

Merci à vous mes compagnons de lutte. De diverse horizons nous avons fondés une famille, puisse Dieu consolider les liens a jamais !!!

A MON DIRECTEUR DE THESE, LE PROFESSEUR AMIN N'CHO CHRISTOPHE

Homme rempli de sagesse, attentionné par ce qu'il fait, amour du prochain, aimant le travail bien fait, vous m'avez encadré comme un père encadre son enfant, vos conseils tant sur le plan éducatif que sur le plan sentimental m'ont énormément aidé à comprendre certaines choses. Je rends gloire à Dieu de t'avoir mis sur ma route, encore merci pour ce travail abattu !!!

REMERCIEMENTS

A MON REVERAND PASTEUR COULIBALY VALY JEAN

Merci infiniment pour toutes tes prières à mon égard, de tes enseignements enrichissant qui venait à point nommé fortifier les cœurs. Dieu continue ce qu'il a commencé dans ta vie.

AUX PERSONNELS DE L'INHP

Je vous suis totalement reconnaissant pour le travail que nous avons abattu ensemble, merci de votre disponibilité. Remerciement spéciale à Mr. Degnis serge pour son temps si précieux accordé pour la réalisation de ce travail.

A MON PARRAIN KOUAME GUILLAUME

Merci à toi pour ton soutien et tes conseils durant ma vie estudiantine. Tu es homme travailleurs et suis fière de t'avoir eu comme parrain. Dieu te bénisse.

A MON VOISIN DE CHAMBRE MOROU MARUIS TRESOR

Homme plein de joie, de bonté, d'amour pour son prochain, jovial, gentil, aimable tant de qualité que je ne pourrai listées. Mes jours passés près de toi dans la même chambre n'ont été que des moments de joie, de paix de gaieté et d'amour. Merci mon vié comme je t'appelle affectueusement.

AU DOCTEUR DJEDRO FRANCK RENA

Merci à toi cher docteur pour ta disponibilité, tes conseils et surtout l'encouragement à mon égard. Je te suis entièrement reconnaissant. Puisse Dieu bénir l'œuvre de tes mains et excellente carrière professionnelle à toi.

A MES PRESIDENTS Dr ESUI PRIVAT, Dr KONAN YAO ERIC ET SEA DEMANOY CARINE

Merci à vous pour votre encadrement et le soutien tant sur le côté physique que spirituel. Dieu ne cesse ce qu'il à commencer dans vos vie.

A LA FAMILLE SILUE T DANIEL

Merci pour toute vos prières, vos encouragements, vos soutien qui m'ont permis de gravir ces différentes étapes. Puisse DIEU bénir votre famille abondamment.

A LA PHARMACIE MILIE HEVIE

Au Dr kouao aka augustin, mille merci de m'avoir fait confiance, votre compréhension et surtout vos conseils en tant qu'un aîné. Je vous suis totalement reconnaissant.

AU DOCTEUR NIANGORAN EPSE BONY TITULAIRE DE LA PHARMACIE ST ANTOINE SC ET AUX PERSONNELS

Mille mercis Docteur pour votre bonne compréhension, votre collaboration et vos conseils à mon égard. Un grand merci également à tous le personnel.

Puisse Dieu vous le rendre au centuple.

A MA STRUCTURE PHARMA DESIGN AND COM

Une famille merveilleuse, merci de votre collaboration et vos prières. Puisse DIEU bénir davantage cette structure.

AU DOCTEUR FOUABI EPSE SOUMAHORO

Merci infiniment Docteur pour vos conseils, votre confiance et vos questions concernant ma thèse qui m'ont permis de travailler d'arrache pieds pour produire ce modeste document. Je prie que DIEU bénisse votre pharmacie abondamment.

A MON GROUPE MUSICAL

Merci chers frères et sœurs pour toutes vos prières, grâces a elles nous sommes arrivés au bout. Dieu fortifie ce groupe

A L'ADEPHARM

Au président Kassi et à tout le bureau, merci à vous pour ces beaux moments passés ensemble et vos prières pour la réalisation de ce travail. Vive l'Adepharm.

AUX MEMBRES DU GEEAD

Merci pour la chaleur fraternelle, pour les enseignements et surtout les prières. Dieu bénisse le Geead.

AU DOCTEUR KROKPA ADOLPHE

Merci à vous cher Dr pour vos encouragements, votre confiance et soutien tant sur le côté physique, moral que financier. Dieu bénisse votre carrière.

A MON BINOME N'GORAN EDWIGE MARIE-JOELLE

Merci infiniment pour ta collaboration, tes conseils, ton soutien, ta compréhension et surtout ton sens du travail bien fait. J'ai été gracié d'être ton binôme durant ce parcours, laisse-moi te dire du fond du cœur que tu es une personne formidable. Puisse Dieu facilite tes travaux, le meilleur est devant.

AUX MEMBRES DU PALIER

Chers confrères ce travail est le vôtre, vous avez été pour moi non seulement un soutien mais aussi une source de motivation. Merci de votre bonne collaboration, puisse Dieu faciliter toute chose. Je prie que nous demeurons toujours ensemble et garder ce lien fraternel.

AUX MEMBRES DU CACQ (CHIMIE ANALYTIQUE CONTROLE QUALITE)

Kouakou Efai Carine Esmone laure, Kouamé Ahi Marlène Nancy, Komenan Marie Faustine, Assemian Marielle, Yavo Renée Paule Myriam.

Merci à vous chers confrères pour votre bonne collaboration, étant le seul garçon du CACQ, je n'ai manqué de rien et je sais compter sur vous, merci pour vos prières à mon égard, je prie que DIEU facilite également vos travaux. Merci famille CACQ

A TOUS CEUX QUE J'AI OUBLIE DANS CE DOCUMENT

Merci à vous pour votre soutien. Dieu vous le rendre au centuple.

A NOS MAITRES ET JUGES

A NOTRE MAITRE ET PRESIDENT DU JURY

Madame le Professeur KONE BAMBA Diéneba

- Doyen à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de l'Université de Cocody-Abidjan
- Professeur Titulaire de Pharmacognosie à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de l'Université de Cocody-Abidjan
- Chef de département de pharmacognosie à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de L'Université de Cocody-Abidjan
- Ancien Directeur de la pharmacie de la Santé Publique (PSP)
- Expert à l'OMS
- Membre de plusieurs sociétés savantes

Cher Maître,

Nous avons été impressionnés par vos qualités humaines et votre abnégation au travail. Votre disponibilité et l'intérêt que vous portez à vos étudiants font de vous une source de sagesse à laquelle tout étudiant doit s'abreuver. Vous nous avez fait ainsi l'honneur d'accepter de présider notre jury de thèse et cela en dépit de vos occupations. C'est un honneur pour nous de vous avoir dans notre jury. Que Dieu vous bénisse !

A NOTRE MAÎTRE ET DIRECTEUR DE THESE

Monsieur le Professeur AMIN N'CHO CHRISTOPHE

- Maître de Conférences Agrégé en Chimie Analytique, Bromatologie à l'Université Félix Houphouët-Boigny
- Chef de service adjoint du laboratoire d'hygiène à l'Institut National d'Hygiène publique
- Ancien Interne des Hôpitaux d'Abidjan
- Docteur en pharmacie diplômé de l'Université de Cocody
- Docteur des sciences pharmaceutiques et biologiques de l'Université de Montpellier 1
- Titulaire du DESS option Contrôle Qualité des médicaments, aliments et produits cosmétiques, du DEA en conception, réalisation, valorisation du médicament issu de la pharmacopée africaine option Chimie Analytique, du DEA option Chimie des matériaux, du CES de biochimie clinique, du CES d'hématologie-biologie, du CES d'immunologie générale et médicale, de la Maîtrise professionnalisée option santé publique de l'Université Félix Houphouët-Boigny
- Membre de la Société Ouest Africaine de Chimie (SOACHIM) et de la Société Pharmaceutique de Côte d'Ivoire (SOPHACI)

Cher maitre,

Nous avons découvert en vous plus qu'un directeur de thèse mais un homme d'une bonté sans pareil.

Votre humilité, votre simplicité et surtout votre disponibilité constante nous marquerons à jamais.

Nous sortons enrichis de ce temps de travail avec vous sur le plan scientifique mais surtout sur le plan humain.

Recevez ici l'expression de notre profonde et éternelle reconnaissance. Dieu vous comble de ses grâces.

A NOTRE MAÎTRE ET JUGE

Monsieur le Professeur KASSI Kondo Fulgence

- Maître de conférences agrégé de Parasitologie et Mycologie à l'UFR Sciences Pharmaceutiques et Biologiques d'Abidjan
- Responsable de l'unité de Parasitologie et Mycologie au Centre de Diagnostic et de Recherches sur le Sida et les autres maladies opportunistes (CeDReS, CHU de Treichville);
- Docteur ès Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de l'Université de Montpellier ;
- Docteur en pharmacie diplômé de l'université de Cocody ;
- Biologiste des hôpitaux (CES de Parasitologie-Mycologie, de Bactériologie et d'Hématologie-biologie) ;
- Titulaire d'un DEA (Diplôme d'étude Approfondie) de Biologie Humaine et Tropicale, option Parasitologie ;
- Ancien interne des hôpitaux de Côte d'Ivoire (Concours d'Internat 2004) ;
- Membre de la Société Pharmaceutique de Côte d'Ivoire ;
- Membre de la Société Ivoirienne de Parasitologie (SIPAM) ;
- Membre de la Société Africaine de Parasitologie (SOAP).

Cher maître,

En acceptant de siéger au sein de ce jury, vous confirmez votre caractère d'humilité, de disponibilité et simplicité. Nous avons eu le privilège de bénéficier de vos qualités d'enseignant au cours de notre cursus universitaire.

Nous vous prions de bien vouloir accepter, à travers ces mots l'expression de notre profonde gratitude.

.

A NOTRE MAÎTRE ET JUGE

Madame le Docteur HOUNSA épouse ALLA Annita Emeline

- Maître-assistante au Département de Santé Publique - Hydrologie -Toxicologie à l'UFR Sciences Pharmaceutiques et Biologiques d'Abidjan
- Docteur d'Etat en Pharmacie
- Titulaire d'une thèse unique en Sciences Médicales - Option : Santé Publique de l'Université de Liège
- Titulaire d'un Diplôme d'Etudes Spécialisées en Sciences de la Santé Publique (orientation politique et programmes de santé) de l'Université de Liège
- Titulaire d'un Certificat d'Université en Initiation à la recherche sur les systèmes de santé de l'Université Libre de Bruxelles
- Titulaire d'un Diplôme d'Université en Sources d'information et recherche bibliographique en santé de l'Université Victor Segalen Bordeaux 2
- Membre de la Société Pharmaceutique de Côte d'Ivoire (SOPHACI)

Cher maître,

Nous vous remercions infiniment pour l'intérêt spontané que vous avez porté à notre travail ainsi que votre disponibilité.

Vous êtes à nos yeux, un modèle tant par votre générosité de cœur que la qualité de vos enseignements reçus. Pour nous, vous êtes un Maître de par votre savoir-faire et être.

Que Dieu vous bénisse cher maître.

SOMMAIRE :

SOMMAIRE :	XXVI
ABREVIATIONS-ACRONYMES SIGLES	XXVIII
LISTE DES TABLEAUX	XXIX
LISTE DES FIGURES	XXX
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	4
I GENERALITES SUR LES EAUX DE BAINADES	5
I.1 Eaux de loisir	5
I.2 Pollution des eaux de baignade	11
I.3 Contrôle qualité des eaux de baignade	24
DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE.....	35
I MATERIEL ET METHODES	36
I.1 Type, cadre et durée de l'étude.....	36
I.2 Matériel.....	37
I.3 Méthodes.....	39
II RESULTATS.....	62
II.1 Campagnes de prélèvement.....	62
II.2 Analyse des paramètres organoleptiques et physico-chimiques	64
II.3 Analyse microbiologique.....	77

II.4	Comparaison aux normes	80
III	DISCUSSION.....	85
III.1	Caractérisation des trois types d'eau	85
III.2	Pollution des eaux.....	86
III.3	Comparaison aux normes d'eaux de baignade aménagées	87
	RECOMMANDATIONS	91
	PESPECTIVES	93
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	94
	TABLE DES MATIERES.....	100
	ANNEXE	106

ABREVIATIONS-ACRONYMES SIGLES

ASR	Anaérobies Sulfito-Réducteurs
BCYE	Buffered Charcoal Yeast Extract
BEA	Bile EsculineAzide
°C	Degré Celsius
CT	Coliformes Totaux
CTh	Coliformes Thermotolérants
DHT	Degré Hydrotimétrique Total
EDTA	Acide Ethylène Diamine Tétra acétique
GAL	β- Galactosidase
GPS	Global Position System
GLUC	β- Glucuronidase
CLHP	Chromatographie Liquide à Haute Performance
INHP	Institut National d'Hygiène Publique
ND	Non Détecté
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PCB	Polychlorobiphenyls
PED	Pays En Développement
pH	Potentiel d'Hydrogène
TAC	Titre Alcalimétrique Complet
TCBS	Thiosulfate Citrate Bile Saccharose
TSN	Tryptone Sulfite Néomycine
UCV	Unités de Couleur Vraie
UFC	Unités Format Colonies
UNICEF	Fonds des Nations Unies pour l'Enfance
UNT	Unité Néphélométrique de Turbidité
YGC	Yeast Bile Esculine

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Microorganismes et mode de contamination	22
Tableau II: Microorganismes et pathologies associées.....	23
Tableau III: Recommandations concernant les eaux de baignade	30
Tableau IV: Normes françaises de qualité relative aux eaux de baignade (extrait de l'annexe 1 du décret n° 81-324 du 7 avril 1981 modifié par le décret n° 91-980 du 20 septembre 1991)	33
Tableau V: Normes de qualité de base pour les eaux de surface ordinaires (AR du 4/11/1987)	34
Tableau VI : Avantages et limites de la méthode par filtration sur membrane ..	60
Tableau VII: Paramètres organoleptiques et physico-chimiques de l'eau du lac de Jacqueville	64
Tableau VIII: Paramètres organoleptiques et physico-chimiques de l'eau de la lagune de Jacqueville.....	65
Tableau IX: Paramètres organoleptiques et physico-chimiques de l'eau de mer de Jacqueville	66
Tableau X: Comparaison des moyennes	74
Tableau XII: Profil de caractérisation différentiel du lac, de la lagune et de la mer de Jacqueville par les paramètres physico-chimiques	76
Tableau XIII: Paramètres microbiologiques l'eau du lac de Jacqueville	77
Tableau XIV: Paramètres microbiologiques l'eau de la lagune de Jacqueville .	78
Tableau XV: Paramètres microbiologiques de l'eau de mer de Jacqueville	79
Tableau XVI: Comparaison aux normes ivoiriennes	80
Tableau XVII: Comparaison aux normes algériennes	82
Tableau XVIII: Comparaison aux normes américaines	83
Tableau XIX: comparaison aux normes canadiennes	83
Tableau XX: Comparaison aux normes européennes	83
Tableau XXI: Comparaison aux normes OMS	84

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Lac au quartier Mambé (Jacqueville)	10
Figure 2: cartographie de la région des grands ponts.....	36
Figure 3: Dénombrement des bactéries.....	61
Figure 4-Aperçu du lac de Mambe Eiminkoa de Jacqueville	62
Figure 5-Aperçu de la lagune Ebrié du côté de Jacqueville.....	63
Figure 6-Aperçu de la mer de Jacqueville.....	63
Figure 7: Evolution de la couleur du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.....	67
Figure 8: Evolution de la température du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps	68
Figure 9: Evolution du pH du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps	68
Figure 10: Evolution de la conductivité du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps	69
Figure 11: Evolution du TAC du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.....	69
Figure 12: Evolution du DHT du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.....	70
Figure 13: Evolution du manganèse du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.....	71
Figure 14: Evolution des silices du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.....	71
Figure 15: Evolution des silicates du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.....	72
Figure 16: Evolution du phosphore du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.....	72
Figure 17: Evolution du nitrate du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.....	73
Figure 18: Evolution du soufre du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.....	73
Figure 19: Boxplot de la turbidité du lac, de la lagune et de la mer	75
Figure 20: Analyse en composante principale de la turbidité en fonction des autres paramètres.....	75
Figure 21: Evolution des coliformes totaux du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.	81

Figure 22: Evolution des coliformes fécaux du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.	81
Figure 24: Evolution des Entérocoques du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.	82

INTRODUCTION




L'eau est le fondement de la vie. Elle est à la fois un aliment, éventuellement un médicament, une matière première industrielle, énergétique et agricole, et un moyen de transport. Ses usages sont donc multiples, mais s'agissant de santé humaine, ils sont dominés par l'agriculture et l'aquaculture, l'industrie et l'artisanat, les loisirs aquatiques dont la baignade [1].

En effet, les civilisations modernes utilisent de plus en plus le milieu aquatique pour les loisirs, les vacances et diverses activités nautiques et ludiques [2]. Les loisirs sont dominés par les piscines et les baignades. Il existe diverses catégories de baignades, aménagées ou non, littorales (eau de mer) ou intérieures (eau douce: rivière, lac, étang) qui connaissent des problèmes spécifiques liés à la contamination par des eaux usées, plus ou moins épurées, ou des eaux de ruissellement qui véhiculent divers polluants [2]. Si la baignade constitue une activité de loisirs qui permet la détente et les exercices physiques bénéfiques pour la santé, elle peut néanmoins présenter certains risques. Ceux-ci sont liés, soit à la qualité de l'eau, soit à des activités associées à la baignade et souvent à des comportements. Le risque sanitaire induit concerne des affections, le plus souvent bénignes, par contact cutané ou de façon exceptionnelle par ingestion ou par inhalation de l'eau.

La Côte d'Ivoire dispose de nombreux atouts rendant possibles différentes sortes de tourisms balnéaires. En plus des 550 km de littoral, elle est le seul pays africain à bénéficier de 300 000 hectares de plan d'eau lagunaire offrant les possibilités de sports nautiques et lacustres [3,4]. La Côte d'Ivoire dispose à cet effet d'une réglementation concernant les eaux de baignade aménagée [5]. Les récentes études sur la baignade concernant les plages de Vridi, de Port Bouët, d'Agboville et celles de Jacqueville pendant la période de décembre 2017 à avril 2018, ont montré une eau de qualité insuffisante notamment sur le plan microbiologique [6].

Jacquerville est une ville touristique de la Côte d'Ivoire avec 75 Km de côte balnéaire, 150 Km de rives lagunaires et un lac (situé au quartier Mambé). C'est un lieu fréquenté tant pour son caractère pittoresque que pour ses eaux de baignade. La surveillance constante des plages doivent être une nécessité. Il est dès lors important de connaître les caractéristiques de ces eaux pour apprécier la pollution et le risque sanitaire encouru par la population concernée par la baignade. En vue de poursuivre le travail mené par BLE de décembre 2017 à avril 2018 [6], cette étude a porté sur les mêmes eaux de Jacqueville (mer, lagune et lac) durant la période de mai 2018 à décembre 2018 avec pour objectif général de caractériser ses eaux de baignade en vue de déterminer le risque sanitaire des populations qui s'y baignent.

Les objectifs spécifiques ont été :

-  d'effectuer des campagnes de prélèvements et la géolocalisation de ces sites ;
-  de déterminer la composition physico-chimique des eaux de baignade de Jacqueville ;
-  de dénombrer les germes indicateurs de pollution fécale.

Pour atteindre ces objectifs, notre travail sera présenté en deux grandes parties :

- une première consacrée à la généralité sur les eaux,
- une seconde partie de type expérimentale, comportera :
 - le matériel et les méthodes,
 - les résultats de notre étude,
 - la discussion qui en découle ainsi que la conclusion et les recommandations.

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. GENERALITES SUR LES EAUX DE BAINADES

I.1 Eaux de loisir

I.1.1 Généralité

L'eau est utilisée depuis des millénaires à des fins récréatives. Les activités ludiques et sportives en rapport avec l'eau sont nombreuses et variées. La baignade est largement répandue. Au-delà de sa fonction récréative, elle joue un rôle social important et peut être pratiquée à tous les âges de la vie. Elle ne nécessite pas de conditions physiques particulières, mais, au contraire, peut être recommandée aux personnes souffrant de handicaps et aux femmes enceintes, voire aux bébés : c'est une activité accessible au plus grand nombre. L'eau est aussi le terrain de véritables activités sportives permettant le développement et l'équilibre physique des pratiquants; au premier rang de ces sports figure la natation sous ses formes les plus diverses, mais aussi la plongée, la planche à voile, le surf, le canoë et le ski nautique. Ces dernières années ont vu un regain d'intérêt pour les sports aquatiques, et de nouvelles pratiques sont apparues: rafting, canyoning, hydrospeed, bodysurf, etc. Si l'utilisation de l'eau à des fins récréatives est source de bienfaits et si la pratique de sports aquatiques tels que la natation est à juste titre encouragée chez les enfants, notamment dans le cadre scolaire, ces activités présentent cependant des risques divers, liés ou non à la qualité de l'eau.[2]. Les eaux de loisir peuvent être classées en deux catégories : la piscine et la baignade.

I.1.2 Piscine

Ce sont des établissements généralement couverts, comportant un ou plusieurs bassins permettant le bain, la natation ou les activités apparentées dans une eau désinfectée à une température de l'ordre de 28 °C, et des installations collectives annexes (vestiaires, sanitaires, plages). En termes de conception, de fonctionnement et de surveillance/contrôle, ces établissements réglementés sont assez bien maîtrisés aux plans technique et sanitaire. La qualité de l'eau y est,

certes, essentielle, mais ils constituent un tout en hygiène publique: eau, bassins, sols, air, annexes. Ils se caractérisent par des circuits à respecter (vestiaires, sanitaires, douches, pédiluves) et distincts pour baigneurs et non-baigneurs, par des pédiluves désinfectants avant l'accès au(x) bassin(s), par des annexes (sanitaires, vestiaires, douches) de capacité adaptée à la fréquentation potentielle, et par des matériaux, notamment de sols, d'entretien facile et assurant un compromis entre les exigences d'hygiène et de sécurité [2].

I.1.3 Baignades

Les baignades sont des eaux ou parties de celles-ci (zone d'un plan d'eau...), douces, courantes ou stagnantes, ainsi que l'eau de mer, dans lesquelles la baignade est soit expressément autorisée par les autorités compétentes dans la mesure où elles satisfont à des normes en vigueur, soit n'est pas interdite et habituellement pratiquée par un nombre important de baigneurs [7].

Il existe diverses catégories de baignades, aménagées ou non :

Les baignades en eau de mer, qui s'agrémentent souvent de plages très fréquentées ; la qualité de l'eau et des plages dépend en dehors des rejets de polluants et de la fréquentation, des phénomènes de marée dont l'amplitude varie suivant la région littorale et le moment de l'année ;

Les baignades en eau douce, qui présentent une grande variété de sites comme les rivières, les torrents, les retenues naturelles (lacs) ou artificielles (étangs, gravières, barrages-réservoirs) [4]. Diverses formes de pollutions affectent les eaux de loisirs et peuvent entraîner des risques pour les baigneurs [4].

I.1.3.1 Baignade en eau de mer

L'océan Atlantique communément appelé la mer est le deuxième par la surface des trois grands golfes de l'océan mondial, et le seul à recevoir des eaux froides boréales. Il sépare l'Europe et l'Afrique de l'Amérique et du Groenland, et il est né de cassures d'âge secondaire, qui n'ont cessé de s'élargir depuis. Sa surface, sans les mers bordières, est de l'ordre de 82 millions de kilomètres carrés, et sa profondeur moyenne est proche de 4 000 m. Avec les mers bordières, la surface est de l'ordre de 92 millions de kilomètres carrés. Le volume d'eau compris dans le bassin océanique est d'environ 323 millions de kilomètres cubes. Le bassin versant des fleuves qui s'y jettent directement ou par l'intermédiaire des mers bordières représente une surface double de celle des bassins versants de tous les autres fleuves réunis, puisqu'il draine la plus grande partie de l'Amérique, l'Europe et l'Afrique presque entières et la moitié nord de l'Asie [8].

Le golfe de Guinée est une partie de l'Océan Atlantique qui s'étend sur la côte occidentale d'Afrique depuis le cap des Palmes (frontière du Libéria et de la Côte d'Ivoire), jusqu'au cap Lopez (au Gabon) et qui forme le golfe du Benin et la baie du Biafra (Encyclopédie Imago Mundi) [9].

La Côte d'Ivoire exploite des gisements de pétrole sur le Golfe de Guinée. Ainsi la production nationale de pétrole en Côte d'Ivoire, qui a atteint officiellement 18,5 millions de barils en 2009, est en hausse de 12,5% par rapport à l'année précédente. Elle provient des puits situés au large de la cité balnéaire de Jacqueville, à une cinquantaine de km à l'ouest d'Abidjan, entre lagune et océan et exploités par plusieurs compagnies étrangères. Les plages au bord de la mer sont très fréquentées par les habitants.

I.1.3.2 Baignade en eau douce

I.1.3.2.1 Lagune Ebrie

Le système lagunaire Ebrié correspond à une dépression littorale d'origine fluviale creusée lors des dernières glaciations. Il est séparé de l'océan Atlantique par un cordon sableux de 1 à 8 km d'épaisseur, traversé, en sa partie centrale, par le canal de Vridi, large de 370m et profond d'une vingtaine de mètres. Auparavant la passe de Grand Bassam constituait l'exutoire naturel du fleuve mais elle s'est ensablée depuis l'ouverture du canal en 1950. Couvrant une surface de 566km², la lagune Ebrié s'étire sur 140 km le long du Golfe de Guinée entre 3°40' et 4°50' à la latitude de 5°20 N, Il est constitué de la lagune Ebrié proprement dite pour 523km² et des lagunes de Potou et d'Aghien pour 43km². La lagune Ebrié se compose d'un bassin central, d'un bras occidental et d'un bras oriental. Elle présente de nombreuses baies et des chenaux profonds (entre 4 et 6m environ) débouchant parfois sur des "fosses" de 20m de profondeur. La largeur et la profondeur moyennes de la lagune restent faibles, de l'ordre de 4km et 4,8m respectivement (Figure1). Le volume de la lagune est d'environ 2,5.109m³. La région d'Abidjan occupe le bassin central de la lagune Ebrié qui communique avec l'océan Atlantique par le canal artificiel de Vridi par la baie d'Abidjan, et autour duquel s'organisent les baies d'Adiopodoumé, de Biétri, du Banco, de Cocody, de Marcory et de Koumassi. La superficie moyenne est de l'ordre de 40km² (y compris les baies) pour une longueur de 10km. A l'exception de la zone d'influence du port (baie d'Abidjan et régions limitrophes) et d'une fosse à l'entrée de la baie de Koumassi, la profondeur n'excède pas 8m.

La lagune Ebrié est alimentée par trois fleuves d'inégale importance et drainant dans le sens nord-sud. Les régimes hydrologiques de ces trois fleuves s'apparentent étroitement au régime des précipitations sur les bassins versants. Ainsi, le fleuve Comoé, présentant un régime proche du type tropical de

transition, est caractérisé à son arrivée en lagune par une crue annuelle unique entre août et novembre (61% du volume total annuel) et par un étiage entre janvier et mai (3% du volume total annuel). La Mé et l'Agnéby sont des fleuves côtiers s'apparentant au régime équatorial de transition. Ce régime est caractérisé par l'existence de deux crues annuelles qui reflètent le régime des précipitations du climat équatorial. La lagune Ebrié reçoit près de $8,4 \times 10^9 \text{ m}^3$ d'eaux fluviales, soit 3 fois du volume total de la lagune. Le fleuve Comoé à lui seul contribue à 75% des apports fluviaux. Il en résulte que les volumes d'eau douce transitant en lagune sont géographiquement repartis de manière déséquilibrée, importants entre les embouchures des rivières et du canal de Vridi, faible ailleurs. En dehors des fleuves, le système lagunaire Ebrié reçoit directement les précipitations qui représentent 12% environ des apports continentaux. Les moyennes annuelles enregistrées pour la période 1950–2006 sont moins de 2000 mm. La variabilité interannuelle est également forte [10].

I.1.3.2.2 Lac

Un lac est une grande étendue d'eau douce terrestre, constitué par des rivières et autres cours d'eau qui servent à alimenter ou à vidanger le lac (Figure 1). Même si par certaines dimensions, certains lacs d'eau salée sont considérés comme des mers intérieures, les lacs sont intérieurs et ne sont pas une partie de l'océan ; ils sont donc distincts des lagunes, et sont plus grands et plus profonds que les étangs, tout en restant un plan d'eau par définition [11].

C'est un système dynamique qui évolue lentement avec le temps et le climat, et sous l'effet des activités humaines du bassin versant.

Plus le lac est profond, plus l'inertie thermique et chimique de la masse d'eau est importante. Inversement, certains vastes plans d'eau superficiels et très peu profonds seront très sensibles et immédiatement réactifs aux changements de l'environnement (climat, hydrologie, pollution, activités anthropiques).

Les lacs étant relativement fermés, ils sont vulnérables à certaines espèces invasives quand elles y ont été introduites (volontairement ou non). Ils sont, également pour cette raison, plus sensibles à certains micropolluants (médicaments, antibiotiques, biocides, pesticides) qui peuvent s'y accumuler ou se dégrader à une vitesse différente que dans les cours d'eau.

Selon l'espèce considérée et selon la qualité de l'eau, la saison et le type de lac les organismes lacustres ont une stratégie d'occupation spatiale du lac qu'ils adaptent aux variations de conditions environnementales.

Les lacs constituent d'importantes réserves d'eau douce et de ressources halieutiques. L'irrigation des cultures, la pêche, le pompage d'eau potable et l'énergie électrique, certaines formes de tourisme et d'activités sportives et nautiques sont des activités qui en dépendent et qui les affectent quantitativement et qualitativement [12].

La baignade peut être interdite dans les lacs non aménagés qui sont plus dangereux que les côtes maritimes.



Figure 1: Lac au quartier Mambé (Jacqueville)

I.2 Pollution des eaux de baignade

La contamination des eaux affecte aussi divers organismes aquatiques directement consommés par l'homme (poissons, crustacés, coquillages) ou est indirectement impliquée dans la contamination progressive de la chaîne alimentaire (composés organiques persistants bioaccumulables, comme les Polychlorobiphenyls (PCB)). Diverses formes de pollution affectent les ressources en eau. La mer et plus particulièrement le littoral, apparaît comme le réceptacle de tous les polluants d'origine tellurique ou marine. La pollution marine est l'introduction par l'Homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergies dans le milieu marin, estuaires compris, et qui a pour conséquence ou est susceptible d'engendrer des effets nuisibles tels qu'ils porteraient atteinte aux ressources vivantes et à la vie marine, mettraient la santé humaine en danger, gêneraient les activités marines, telles que la pêche et autre utilisation légitime de la mer [13].

I.2.1 Nature et origine de la pollution

I.2.1.1 Pollution

La pollution peut se définir comme une dégradation ou une destruction du milieu qui résulte en général de l'apport de matières ou de substances exogènes. Ses effets peuvent être modificateurs ou destructeurs vis-à-vis du fonctionnement du milieu selon la nature ou la quantité du polluant. Si cette définition générale reste assez floue, c'est que la notion de pollution est à la fois multiple et relative :

- multiple par les critères susceptibles de cerner les types de pollutions et de polluants selon leur nature, origine, et leurs effets ;
- relative car la notion de dégradation d'un milieu naturel sous-entend la comparaison avec une référence et l'attribution d'une

valeur négative à la différence observée, sur la base de critère souvent subjectifs ou partiels [14].

Les activités humaines regroupent essentiellement les activités industrielles, les implantations urbaines et le développement touristique. La dégradation du milieu littoral par l'activité humaine correspond à une modification de l'équilibre naturel susceptible de mettre en danger la santé de l'homme, de nuire aux ressources biologiques, à la flore et la faune, de porter atteinte aux agréments ou gêner toutes autres utilisations légitime de la mer [15].

I.2.1.2 Polluants

Les polluants sont des substances naturelles ou de synthèse (les substances naturelles sont représentées par les matières organiques surtout, substances minérales provenant de l'exploitation de mines, de carrières...). Les substances organiques sont dégradables, surtout sous l'action des microorganismes.

Les substances de synthèse (plastiques, pesticides) sont dégradables ou non, toxiques ou non à rémanence variable [15].

I.2.2 Origine des polluants

I.2.2.1 Pollution accidentelle et pollution chronique

La pollution accidentelle provient:

- * en mer, des collisions, des échouages de navire, des pertes de conteneurs, des accidents sur plate-forme de forage,
- * à terre, des accidents dans les usines, des accidents de transport

La pollution chronique (systématique) est faite de déversements volontaires, ou inconscients, et étalés dans le temps.

En mer il s'agit de rinçage des cuves de pétrolier, des ordures et eaux usées des navires (y compris la navigation de plaisance), le déversement volontaire de déchets solides à partir de navire, le rejet d'effluents par canalisation immergée ;

A terre, elle est représenté par les eaux usées des réseaux d'assainissement et des industries côtières, eaux de ruissellement des terres agricoles, eaux pluviales des zones urbaines et des axes routiers [15].

I.2.2.2 Trois types de pollution

La pollution physique qui se caractérise par une couleur ou un trouble données par des matières en suspension, une élévation locale de température par les rejets d'eau de refroidissement (centrale électronucléaires).

La pollution chimique est l'introduction des produits chimiques en solution, changeant les caractères de l'eau (acides, bases...) ou est directement toxiques pour les organismes (pesticides d'origine agricole...). Les micropolluants ont une teneur faible (< 1 microg/l).

Enfin **la Pollution microbiologique** est due à des microorganismes pathogènes ou non pathogènes mais proliférant au point de détruire l'équilibre naturel et les chaînes alimentaires (bloom planctonique, eutrophisation).

Les conséquences portent sur la pêche, la pisciculture et conchyliculture, le tourisme (qualité des eaux de baignade) [15].

I.2.2.2.1 La Pollution Physique

I.2.2.2.1.1 La pollution thermique

La pollution «thermique» est la conséquence du déversement dans le milieu aquatique (fleuves, eaux littorales) de quantités considérables d'eau utilisées pour le refroidissement, surtout lors de la production d'énergie électrique par les centrales thermiques ou nucléaires. L'élévation excessive de la température de l'eau fluviale, surtout en période d'étiage, peut modifier l'équilibre biologique

des eaux au regard des espèces piscicoles et faciliter le développement d'amibes libres, pathogènes pour les baigneurs [2].

I.2.2.2.1.2 La pollution radioactive

La pollution radioactive concerne, d'une part, des émetteurs de rayonnement alpha (^{226}Ra , ^{234}U , ^{238}U), généralement d'origine naturelle, et éventuellement présente dans les eaux souterraines de zones géographiques déterminées, granitiques pour le radon.

D'autre part, les émetteurs bêta sont en général associés à des activités humaines (^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{131}I) et la radio-contamination peut provenir de déversements hydriques volontaires ou accidentels, ou de retombées atmosphériques. La plupart des radionucléides s'absorbent facilement sur des particules (sédiments des eaux, boues de station d'épuration). Des organismes aquatiques (poissons, mollusques, crustacés) sont capables d'accumuler certains radioéléments, créant une contamination de la chaîne alimentaire [2].

I.2.2.2.2 La Pollution Chimique

I.2.2.2.2.1 Pollution d'origine industrielle ou chimique

La pollution chimique est engendrée par des rejets de produits chimiques à la fois d'origine industrielle et domestique tels que les micropolluants chimiques organiques représentés essentiellement par les hydrocarbures, les organochlorés (les pesticides (biocides) et les détergents), et inorganiques tels que les métaux lourds. L'industrialisation au XIX^{ème} siècle a eu pour conséquence, le rejet dans les eaux, des quantités de sels de plus en plus importants.

I.2.2.2.2.2 Pollution par les hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des corps combustibles et brûlent en donnant du gaz carbonique (CO_2) et de la vapeur d'eau et sont les plus abondants dans les produits pétroliers où ils représentent 60 à 97%. Leurs molécules comportent uniquement des atomes de carbone et d'hydrogène [16]. Plus d'une centaine

d'hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP) ont été découverts dans la nature, seulement 16 ont été sélectionnés comme polluants prioritaires [17]. A noter que les hydrocarbures à 3 noyaux sont la cause essentielle de l'impact éco toxicologique des pollutions pétrolières sur les écosystèmes aquatiques [18].

I.2.2.2.2.3 Pollution par les pesticides

Les pesticides sont des substances chimiques utilisées aussi bien en agriculture qu'en industrie pour la lutte contre les ravageurs des récoltes et certaines maladies de l'homme et du bétail.

Pour l'homme, la présence de pesticides dans le milieu aquatique peut entraîner un risque de toxicité aiguë à la suite de l'ingestion de grandes quantités de résidus de pesticides et d'une toxicité chronique dans le cas de faibles concentrations. Cette toxicité se traduit par des manifestations hépatiques, des manifestations endocriniennes (stérilité), une embryotoxicité, et des effets cancérogènes.

I.2.2.2.2.4 Pollution par les métaux lourds

Les oligo-éléments sont toujours présents dans l'eau à une quantité très faible. Leur présence est indispensable au développement des êtres vivants, leur absence entraîne des carences. A plus forte concentration, ils deviennent toxiques. Ces éléments sont soumis à des normes en eau potable, en rejets industriels, pour les boues d'épuration valorisables en agriculture [19].

➤ Le mercure

Le mercure, métal liquide à température ambiante, présente un risque majeur pour l'écosystème marin et pour le consommateur humain ; il est utilisé dans des activités très variées : industrie papetière, industrie pharmaceutique, industrie chimique, agriculture [19]. Les effets toxiques de méthylmercure se manifestent par des lésions du système nerveux central, spécialement les centres sensoriels

de la vision, de l'audition et de la coordination. Une exposition plus longue entraîne une ataxie (incoordination motrice) et des perturbations de la vision, débilité, paralysie puis mort [20]. L'intoxication aiguë par l'ingestion des sels mercuriques entraîne une soif intense, un goût métallique, une gastro-entérite avec des douleurs abdominales, des vomissements et diarrhées sanguinolentes. Alors que l'intoxication chronique par l'ingestion de composés organiques se manifeste par une dermatite, stomatite, diarrhée, anémie, des lésions hépatiques et rénales, ulcération intestinale avec hémorragie, fatigue générale, perte de poids et pâleur [21]. Pour les organismes aquatiques, les effets toxiques peuvent apparaître à des concentrations de 0,03 à 0,1µg/l d'eau avec inhibition de la fécondité et de la ponte.

➤ **Le plomb**

La pollution par le plomb a plusieurs origines : les industries (fonderies de la métallurgie, les câbles, bâtiments... etc.), les incinérations d'ordures et les peintures réalisées avec des composés de sulfates et de plomb basique [21]. Lors de l'absorption d'aliments contenant de fortes proportions de plomb, une intoxication appelée saturnisme peut avoir lieu. Les symptômes de l'intoxication aiguë qui est relativement rare, débutent par des nausées, des vomissements et des douleurs épigastriques. L'atteinte du système nerveux se traduit par des paresthésies, des myalgies et une asthénie musculaire intense. Le décès peut survenir en deux jours sinon, les signes d'intoxication chronique apparaissent. En effet, les manifestations cliniques de l'intoxication chronique sont l'anémie, la fatigue, les malaises intestinaux, la constipation ou la diarrhée avec des nausées [22].

➤ **L'arsenic**

A l'état naturel, les émissions volcaniques entretiennent 90 % des rejets d'arsenic. Il se trouve également dans presque tous les sulfures métalliques naturels. Les émissions, dues à l'activité humaine, proviennent du brûlage

de charbon et du fioul qui rejettent une quantité non négligeable dans l'environnement. C'est un poison à effet cumulatif ; il peut engendrer plusieurs maladies cutanées (cancer de la peau), neurologiques (douleurs névritiques), anémie, gangrènes, ictères et cancers hépatiques [19]. D'après l'OMS, la dose admissible des produits arsenicaux dans l'eau de boisson est de l'ordre de 0,05 mg/l.

➤ **Le cadmium**

Avec le zinc, la toxicité du Cadmium est accrue mais avec les cyanures et le plomb, il a un pouvoir synergique [23].

La présence du cadmium dans le milieu aquatique a un impact sur ses organismes, mais sa toxicité diffère selon l'espèce et la concentration. En effet, en présence des concentrations élevées estimées à l'ordre de 3,3-25mg/l, les mollusques peuvent s'isoler du milieu ambiant en fermant leurs valves. Par conséquent, le stress survient quand l'isolement est rapide, mais tôt ou tard, la mort aura lieu. Chez les crustacés exposés à des concentrations sublétales de 6,4g/l, la fertilité peut être affectée par une malformation de la carapace qui gênerait la femelle pour effectuer sa ponte, alors que chez les poissons, le cadmium peut perturber l'équilibre ionique en altérant la perméabilité des membranes cellulaires [24].

La pollution du milieu marin par le cadmium menace la santé humaine. Elle peut entraîner une intoxication aiguë suite à l'absorption ou l'inhalation de fortes quantités de cadmium pendant un temps court. Dans ce cas, une gastro-entérite aiguë avec nausées et vomissements sont observés. Cependant, une intoxication chronique peut apparaître après une exposition prolongée aux vapeurs et poussières contaminées et par conséquent, des difficultés respiratoires liées à un emphysème pulmonaire peuvent apparaître à divers degrés [25].

➤ Le chrome

Plus de 60 % de la production de chrome est réservée à la fabrication des produits métalliques, et environ 20 % est utilisé dans les réfractaires.

Le chrome se présente sous deux formes : trivalente (Cr^{3+}) indispensable à la vie humaine car il intervient dans l'utilisation de l'énergie des graisses et des sucres ; et hexavalente (Cr^{6+}) causant ainsi des irritations du nez, des yeux, de la gorge, des lésions de foie et des reins ainsi que le cancer des voies respiratoires. Les analyses du Cr^{3+} et Cr^{6+} doivent être examinées séparément vu que l'un d'eux est nocif [26].

I.2.2.2.3 La Pollution Microbiologique

Les sources de pollution microbiologiques sont issues notamment de mauvais raccordements d'habitations au réseau d'assainissement, de débordements des réseaux d'eaux usées, de rejets de station d'épuration d'eaux résiduelles et du ruissellement sur les sols lors des pluies importantes. L'existence de dispositifs d'assainissement autonome défectueux dans certaines zones d'habitation, mais aussi la pollution diffuse apportée par les rejets mal maîtrisés des zones d'élevages, en particulier par temps de pluie, constitue des causes de pollution microbiologique.

L'impact des rejets sur une zone de baignade dépend de divers facteurs:

- quantité de pollution rejetée, éloignement du point de rejet par rapport à la zone de baignade permettant une certaine auto-épuration des rejets, caractéristiques de la dispersion des rejets des courants marins, la charge microbienne des rejets, et de la survie des micro-organismes dans le milieu aquatique.

Les baignades constituent une source de pollution, celle-ci est étroitement liée à la densité des baigneurs et la capacité de renouvellement de l'eau. Au niveau du sable, la contamination est essentiellement directe, ainsi cette contamination

peut avoir comme origine l'eau de mer. Le degré de contamination microbiologique du sable est influencé par plusieurs facteurs tels que la concentration des polluants, la fréquence de nettoyage des plages, la capacité de dispersion par les vents, la survie des bactéries et leur concentration dans les éléments polluants : Origines des sources potentielles de contamination fécale dans le milieu marin [13].

➤ **Les bactéries**

Les bactéries sont des procaryotes de taille variable entre 0,1 et 10 μm .

Elles possèdent tout le matériel cellulaire nécessaire à leur multiplication. Certaines d'entre elles peuvent être rencontrées sous forme de spores: ce phénomène de sporulation a lieu en réponse à un environnement qui leur est peu favorable. Le pouvoir pathogène d'une bactérie est soit spécifique (il engendre des pathologies spécifiques), soit opportuniste (il ne s'exprime que sur des individus affaiblis). L'ingestion est la voie de contamination majoritaire

.Le tableau I et II répertorie différents exemples de bactéries retrouvées dans les eaux usées.

Parmi ces bactéries, les plus connues sont les espèces du genre *Salmonella* qui sont presque toutes pathogènes (responsables de fièvres typhoïdes et paratyphoïdes ainsi que de gastroentérites) et les *Escherichia coli* dont certaines souches sont responsables de redoutables gastroentérites et diarrhées [27].

➤ **Les virus**

Les virus sont des organismes de très petite taille (10 à 350 nm). Ils ne sont constitués que d'une molécule d'ADN ou d'ARN, entourée d'une capside. Ne possédant ni noyau, ni capacité de synthèse, ce sont des parasites obligatoires d'une cellule vivante dont ils détournent, à leur profit, les systèmes enzymatiques, énergétiques et de synthèse.

L'infection d'un individu par un virus hydrique se produit dans la majorité des cas par l'ingestion, sauf pour le Coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation. Les virus sont relativement spécifiques d'un hôte. Il existe des virus adaptés à chaque type d'hôtes (animaux, hommes, plantes, champignons, algues, bactéries). Les virus entériques transmis par ingestion sont, avec les virus respiratoires transmis par inhalation d'aérosols, les plus importants pour la santé humaine [27].

Le tableau I et II recense la plupart des virus que l'on peut trouver dans les eaux usées ainsi que les symptômes de la maladie qui leur est associée.

➤ Les protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires eucaryotes, plus complexes et plus gros que les bactéries. Leur taille varie de quelques microns à quelques millimètres, mais la plupart des espèces ne dépassent pas quelques centaines de microns. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites et se développent aux dépens de leur hôte. Ils sont souvent rencontrés dans les eaux où ils se nourrissent de matière organique ou de bactéries. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste (en particulier, oocyte pour *Cryptosporidium* et kyste pour *Giardia*) [27].

Le tableau I et II reprend des exemples de protozoaires d'origine hydrique, dont les plus importants sont *Cryptosporidium* et *Giardia*.

➤ Les helminthes

Il peut s'agir de vers plats (plathelminthes), ou ronds (némathelminthes), qui comprennent de nombreuses formes de parasites souvent à l'origine de maladies très graves. Ce sont pour la plupart, des vers intestinaux, rejetés avec les matières fécales animales ou humaines (souvent sous forme d'œufs très résistants). La contamination se fait par voie digestive lors de l'absorption d'eau

contaminée par des œufs ou des larves, ou alors par voie transcutanée c'est à dire, par fixation puis pénétration de larves à travers la peau [27].

Différents exemples d'helminthes sont repris dans le tableau I et II.

➤ Les champignons

Les champignons sont des organismes privés de tout organe de locomotion, incapables d'effectuer la photosynthèse, et de ce fait, réduit à l'état de parasite ou à celui de saprophytes (organismes qui tirent leur nourriture de matières organiques en voie de décomposition).

Les champignons recherchés dans l'eau se transmettent par voie cutanéomuqueuse, et sont à l'origine d'affections cutanées. Ce sont les moisissures et les levures (mycètes unicellulaires). Parmi les moisissures, l'on peut citer comme espèces pathogènes :

- *Allescheriabydii*,
- *Géotrichumcandidum*,
- *Aspergillus fumigatus*,

Parmi les levures, les *Candida albicans* en font partie, espèce très répandue, d'origine fécale, et responsables de diverses mycoses (infections cutanéomuqueuses buccales, vaginales et cutanées) [27]

Tableau I: Microorganismes et mode de contamination

Microorganismes		Origine	Lieux contaminés
Bactéries	Staphylocoques	Peau, lésions cutanées	Eau (film superficiel)
	Streptocoques	Muqueuses	Goulottes bord du bassin
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Hydrotelluriques, Muqueuses	
	Salmonelles	Peau, Région périanale	Eau
	Légionnelles	Eau	Atmosphère
Virus	Papillomavirus, entérovirus	Peau, muqueuses	
Protozoaires	Amibes cryptosporidies <i>giardia lamblia</i>	Tellurique	
Champignons	Dermatophytes	Peau (squames)	Eau
	Levures	Peau, muqueuses	Sols
	Moisissure pathogènes (peu)		

[28,29]

Tableau II: Microorganismes et pathologies associées

Microorganisme		Pathologies			
		Cutanées	O.R.L.	Digestives	Diverses
Bactéries	Staphylocoques	Furoncle	Rhinite pharyngite		Conjonctivite
	Streptocoques	Impétigo	Angine, otite		
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Dermite	Otite		
	Salmonelles			Diarrhée	
	Légionnelles				Affection respiratoire
Virus	Papillomavirus entérovirus			Diarrhée	
Protozoaires	Amibes cryptosporidies <i>giardia lamblia</i>			Diarrhée	
Champignons		Mycoses			
	Dermatophytes	Herpes circiné			
		Eczéma			
	Levures	Candidose (ongles et plis)			
	Moisissure (peu pathogènes)	Infections des orteils	Infections du conduit auditif externe		

I.3 Contrôle qualité des eaux de baignade

I.3.1 Contrôle microbiologique

I.3.1.1 Les méthodes de recherches des germes

I.3.1.1.1 La recherche des coliformes

Ils existent 3 méthodes pour la recherche des coliformes [30] :

- les méthodes classiques
- les méthodes enzymatiques
- les méthodes moléculaires

I.3.1.1.1 - Les méthodes classiques

➤ Technique de fermentation à tubes multiples

La technique de numération des coliformes par la technique de la fermentation à tubes multiples (MTF) a été utilisée pendant plus de 80 ans comme méthode de surveillance de la qualité de l'eau. La méthode consiste à inoculer une série de tubes avec des dilutions décimales appropriées de l'échantillon d'eau. La production de gaz, la formation d'acide ou la croissance abondante dans les éprouvettes après 48 heures d'incubation constitue une réaction présomptive positive. Tous les tubes avec une réaction présomptive positive sont ensuite soumis à un test de confirmation. La formation de gaz dans un bouillon de bile de lactose vert brillant dans les 48 h à 35° C constitue un test de confirmation positive. Les résultats de la technique MTF sont exprimés en termes du nombre le plus probable (NPP) de micro-organismes présents. Ce nombre est une estimation statistique du nombre moyen de coliformes dans l'échantillon. En conséquence, cette technique offre une approche semi-quantitative de dénombrement des coliformes [30].

➤ Technique de filtre à membrane

Cette méthode consiste à filtrer un échantillon d'eau donné sur un filtre stérile dont la taille de pore mesure 0,45 μm permettant de retenir des bactéries. Ce filtre est ensuite déposé sur un milieu de culture sélectif. Incubation de ce filtre qui sert à énumérer des colonies typiques [30].

I.3.1.1.1.2 Les méthodes enzymatiques

L'ajout de substrats fluorogènes et chromogènes aux milieux de culture (agar et milieux liquides) permet de détecter l'activité enzymatique des coliformes totaux, thermotolérant avec notamment les *Escherichia coli*. Cela a permis d'augmenté la sensibilité et la rapidité de la méthode classique d'estimation de la contamination microbienne [30].

I.3.1.1.1.3 Les méthodes moléculaires

Des méthodes moléculaires ont été développées pour augmenter la rapidité de l'analyse. Elles sont capables d'atteindre un haut degré de sensibilité et de spécificité sans la nécessité d'une culture et d'une étape de confirmation. En conséquence, certaines de ces méthodes permettent la détection de cultures spécifiques de bactéries cultivables ou non cultivables en quelques heures, au lieu des jours requis avec les méthodes traditionnelles [30].

I.3.1.1.2 La recherche des virus

La détection et le dénombrement des virus sont réalisés par culture de cellules humaines ou animales. La culture cellulaire est une technique qui permet de ne détecter que les particules virales infectieuses. La culture cellulaire est une méthode sensible, spécifique et quantitative.

Elle est à l'heure actuelle la méthode de référence de détection des virus dans l'eau, les aliments et l'environnement car c'est la seule méthode qui permet d'affirmer le caractère infectieux des particules virales [30].

I.3.1.1.3 Les cryptosporidies et champignons

Les méthodes d'analyses utilisées pour l'identification et le dénombrement des cryptosporidies sont l'immunofluorescence directe (oocystes) et la polymérase Chain reaction PCR (génome) [31]. Les méthodes d'identification et de dénombrement des champignons peuvent être également réalisées par une méthode spectrale (spectrophotométrie Infrarouge) et par l'utilisation de milieux de culture artificiels (Sabouraud-Chloramphénicol, dermatophytes...) [32].

I.3.1.1.4 Les germes recherchés au cours du contrôle de la qualité de l'eau

Les analyses microbiologiques de l'eau de mer n'ont pas pour but de recenser toutes les espèces microbiologiques présentes dans le milieu, mais uniquement celles qui sont soit susceptibles d'être pathogènes ; soit celles qui les accompagnent et qui par leur présence indiquent une contamination fécale. Ce qui est beaucoup plus pratiqué car plus facile [33].

En effet, il est impossible de baser la surveillance de la qualité de l'eau sur la détection des germes pathogènes eux-mêmes pour de multiples raisons :

- la très grande diversité des micro-organismes pathogènes qui peuvent être présents dans l'eau (virus, bactéries, protozoaires) [34];
- la faible abondance de chaque espèce de pathogène (nécessité de concentrer de grands volumes d'eau pour les détecter)
- et enfin, l'absence de méthodes standardisées et rapides pour la détection de tous ces micro-organismes pathogènes.

L'évaluation de la qualité microbiologique des eaux de baignade, porte donc sur la recherche des germes indicateurs de pollution de l'eau. Leur présence dans l'eau correspond à une contamination d'origine fécale plus ou moins forte en fonction des concentrations relevées.

I.3.1.1.4.1 Les bactéries

Les bactéries indicatrices de contamination n'ont pas nécessairement par elles-mêmes un caractère pathogène mais, leur présence indique l'existence d'une contamination par des matières fécales. Leur concentration est une indication du niveau de risque de présence de microorganismes. Sept (07) critères sont définis pour qu'une espèce bactérienne soit dite indicatrice de pollution fécale :

- appartenir à la flore intestinale des personnes en bonne santé
- avoir pour seul habitat le milieu intestinal
- être absente chez les autres espèces animales et présentes chez l'homme
- être plus abondant que les pathogènes,
- facile à détecter et à dénombrer
- être plus résistante dans le milieu extérieur que les pathogènes
- ne pas proliférer dans l'environnement

Aucun groupe de microorganisme ne remplit entièrement toutes ces exigences. Seuls 4 groupes de bactéries les vérifient en partie. Ce sont :

- les coliformes
- les entérocoques
- les clostridies
- les Pseudomonas

Il existe deux sortes de coliformes.

I.3.1.1.4.2 Les Coliformes totaux (CT)

Le groupe des CT est défini comme l'ensemble des bactéries aérobies et anaérobies facultatives Gram-, non sporulantes, en forme de bâtonnet, qui sont capables de se multiplier en présence de sels biliaires ou d'autres agents de

surface ayant des propriétés équivalentes et de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 48 heures entre 35-37°C. 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 [35]. Il s'agit des bactéries appartenant aux genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella*.

I.3.1.1.4.3 Les Coliformes thermotolérants (CTT)

Les Coliformes thermotolérants constituent un sous-groupe des CT capables de se développer à 44 °C. Les **CTT** sont considérés comme plus appropriés que les CT comme indicateurs de contamination fécale. Ce groupe est majoritairement constitué des *Escherichia coli* [35].

I.3.1.1.4.3.1 Les entérocoques

Les entérocoques sont des Cocci Gram+, se présentant sous formes de courtes chaînes et présents dans l'intestin grêle de l'homme et des animaux à sang chaud. Ce sont des indicateurs de pollution fécale car plus résistants aux désinfectants usuels que les coliformes. Ils se caractérisent par leur aptitude à répondre aux critères suivants :

- croissance à des températures variant de 10 à 45° C,
- résistance à 60° C pendant 30 minutes,
- croissance en présence d'une concentration de 6,5 % de chlorure de sodium et à un pH de 9.

Les entérocoques sont considérés comme les meilleurs indicateurs disponibles de la qualité des eaux marines à vocation récréative. Leur détection signale la contamination fécale de l'eau et de ce fait, la présence possible de bactéries, virus ou protozoaires fécaux pathogènes.

Principe pour la recherche des entérocoques

Les entérocoques sont cultivés sur gélose BEA (Bile Esculine Azide). L'Azide de sodium provoque l'inhibition des bactéries contaminantes Gram négatif. Les sels biliaires empêchent la croissance des bactéries Gram positif.

Les Entérocoques dans la gélose hydrolysent l'esculine en esculétine. Ce dernier composé forme un complexe noir en présence des ions ferriques apportés par le citrate de fer.

I.3.1.1.4.3.2 Les anaerobiosulfito-réductrices (ASR)

Les bactéries anaérobies strictes Gram positif et sporulées réduisent les sulfites en sulfure d'hydrogène. La plus caractéristique est *Clostridium perfringens*, seule espèce exclusivement fécale et seule pathogène du groupe. Ces spores sont résistantes au stress environnemental. Ils peuvent survivre plus longtemps dans l'eau et résister à la désinfection quand la concentration en désinfectant et le pH ou la durée de contact ne sont pas satisfaisants. Leur persistance dans l'eau désinfectée peut être un signe de défaut dans le traitement ou la pollution fécale ancienne.

Principe

Il s'agit d'une réaction de réduction du sulfite de sodium avec production de sulfure de fer qui se manifeste par l'apparition d'un halo noir autour des colonies.

Les bactéries ASR représenté essentiellement par les *Clostridium perfringens* sont des micro-organismes capables de sporuler. Ces spores résistent à un chauffage de 15 minutes à $(75 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Elles sont capables de se développer à $37 \pm 1 ^\circ\text{C}$ en 44 ± 4 heures en anaérobiose sur un milieu gélosé contenant des sels de fer.

Au Canada, et dans certains pays développés, dans les pays du Maghreb et en Côte d'Ivoire des recommandations concernant la qualité des eaux de baignade aménagée ont été établies. Elles sont consignées dans le Tableau III.

Tableau III: Recommandations concernant les eaux de baignade[36]

Pays ou organisation	Indicateur d'eaux marines	Paramètres et recommandations
U.S.EPA et canadienne	Entérocoques	Moyenne géométrique de la concentration : 35/100 ml, la concentration maximale dans un seul échantillon : 104/100 ml pour l'U.S.EPA et 70/100 ml pour le Canada
OMS	Entérocoques	95 e centile / 100 ml : A : ≤ 40 B : 41-200 C : 201-500 D : > 500
Union Européenne	Entérocoques	95 e centile / 100 ml : Excellente : 100/100 ml Bonne : 200/100 ml 90 e centile / 100 ml : Acceptable : 185/100 ml
	<i>Escherichia coli</i>	95 e centile / 100 ml : Excellente : 250/100 ml Bonne : 500/100 ml 90 e centile / 100 ml : Acceptable : 500/100 ml
Ivoirienne	<i>Coliformes totaux</i>	Pas plus de 2000 coliformes totaux ni plus de 10 000 coliformes fécaux. Pas de salmonelles, staphylocoques et de shigelles dans un litre ni d'entérovirus dans 10 litres

I.3.2 Contrôle physico-chimique

Les paramètres physico-chimiques classiques sont recherchés selon plusieurs méthodes d'analyse :

I.3.2.1 Électrochimie pour le pH

Le pH des systèmes aqueux mesure l'équilibre acido-basique atteint par différents composés en solution. Il représente la concentration en ions H_3O^+ (hydronium) selon cette formule $\text{pH} = -\log\text{H}_3\text{O}^+$

L'échelle du pH varie entre 0 et 14. Un pH inférieur à 6,5 est dit acide et basique lorsqu'il est supérieur à 8,5 [37].

Le principe de la mesure électro-métrique du pH à l'aide d'un pH-mètre est basé sur la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel – chlorure de potassium saturé) cette différence de potentielle est liée à la présence d'ions hydrogène $[\text{H}^+]$ dans le milieu [38].

I.3.2.2 Détermination de la Turbidité

La détermination de la turbidité se fait par la méthode néphélométrie. Elle consiste à mesurer la lumière diffusée formant un angle de 90° avec la lumière incidente [39].

I.3.2.2.1 La conductivité

La conductivité d'une solution est la mesure de la capacité des ions à transporter le courant électrique. Ce passage du courant électrique s'effectue par la migration des ions dans un champ électrique produit par un courant alternatif. Un courant alternatif est utilisé pour atténuer la perturbation causée par la polarisation des électrodes résultant du passage d'un courant électrique. Les électrolytes peuvent être considérés comme des conducteurs métalliques et ils obéissent à la loi d'Ohm. En appliquant une force électromotrice constante entre

les électrodes, la variation de l'intensité de courant est inversement proportionnelle à la résistance de la solution [40].

I.3.2.2.2 La colorimétrie

Dans un colorimètre, un faisceau de lumière blanche passe à travers un filtre optique qui ne transmet qu'une certaine bande de longueur d'onde lumineuse au photodétecteur, au niveau duquel elle est alors mesurée. La différence entre la quantité de lumière colorée transmise par un échantillon incolore (le "blanc") et la quantité de lumière colorée transmise par un échantillon coloré correspond à l'analyse de la quantité de lumière colorée absorbée par l'échantillon [41].

I.3.2.2.3 Méthodes chromatographiques

La Chromatographie est une technique séparative d'analyse basée sur la distribution de substances contenues dans un échantillon (soluté) entre deux phases : une phase stationnaire fixe solide ou liquide et une phase mobile ϕ_m (liquide, gaz). Les pesticides, les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont déterminés par des méthodes chromatographiques[42].

I.3.2.2.4 Méthodes spectrométriques atomiques

Ils mettent en jeu l'interaction des radiations électromagnétiques avec la matière se traduisant par absorption ou émission de photons. Les métaux peuvent être analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique ou par spectrophotométrie d'émission atomique[43]. Les valeurs limites des paramètres physico chimiques sont consignées dans le Tableau IV et Tableau V.

Tableau IV: Normes françaises de qualité relative aux eaux de baignade (extrait de l'annexe 1 du décret n° 81-324 du 7 avril 1981 modifié par le décret n° 91-980 du 20 septembre 1991) [44]

Physico-chimie	Valeur guide (G*)	Valeur impérative (I*)
pH	-	6-9
Coloration	-	Pas de changement anormal de la couleur
Huiles minérales (mg/L)	-	Pas de film visible à la surface de l'eau et absence d'odeur
Substances tensio-actives réagissant au bleu de méthylène mg/L (lauryl-sulfate)	-	Pas de mousse persistante
Phénols (indices phénols) C ₆ H ₅ OH (mg/L)	-	Aucune odeur spécifique
Transparence (m)	2	1
Oxygène dissous (% de saturation O ₂)	80-120	-
Résidus goudronneux et matières flottantes telles que bois, plastique, bouteilles, récipients en verre, en plastique, en caoutchouc et en toute autre matière. Débris ou éclats	Absence	-

***G** : Le nombre guide G caractérise une bonne qualité de la zone de baignade vers laquelle il faut tendre.

*** I** : Le nombre impératif I constitue la limite au-delà de laquelle la zone de baignade est considérée comme étant de mauvaise qualité.

Tableau V: Normes de qualité de base pour les eaux de surface ordinaires (AR du 4/11/1987) [45]

Paramètres	Unités	valeurs normales
PH	degré c	6 à 9
Température	degré c	25
oxygène dissous	% saturation	50
NH ₄ ⁺	mg/ml	2
phosphore total	mg/ml	1
Chlorures	mg/ml	250
Sulfates	mg/ml	150
HAP	mg/ml	100
pesticides organochlorés par substance	ng/ml	30
cadmium total	mg/ml	10
chrome total	mg/ml	0,001
plomb total	mg/ml	0,05
mercure total	mg/ml	0,05
Zinc	mg/ml	0,0005
cuivre total	mg/ml	0,3
nickel total	mg/ml	0,05
Arsenic	mg/ml	0,05
cyanure totaux	mg/ml	0,05
hydrocarbures aromatique monocycliques	ug/ml	0,05

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

I MATERIEL ET METHODES

I.1 Type, cadre et durée de l'étude

Ce travail est une étude analytique réalisée dans le Sud de la Côte d'Ivoire dans la région des Grands Ponts (Figure 2) sur les eaux du lac de Mambé Eiminkoa, de la lagune Ebrié et de la mer de la ville de Jacqueville dans la région des grands ponts. Les analyses des paramètres physico-chimiques classiques à l'Institut National Hygiène Publique (INHP) de Treichville ont été réalisées à Abidjan. La campagne s'est déroulée de Mai à Décembre 2018 (8 mois).



Figure 2: cartographie de la région des grands ponts

I.2 Matériel

I.2.1 Appareillage

L'appareillage est constitué :

- D'un chromatographe liquide (SHIMADZU)
- D'un spectrophotomètre ICP-OES (Perkin Elmer)
- D'un Photomètre (WAGTECH 7100 Se – Grande Bretagne),
- D'un Bain marie (THERMOSTATIC BATH),
- D'une Rampe de filtration (SARTORIUS Goethingen- Germany),
- D'incubateurs de terrain (LABNET),
- De Stérilisateurs UV,
- D'autoclaves de paillasse (P SELECTA),
- D'un GPS (GARMIN-Etats-unis),
- D'un pH-mètre à sonde (HACH HQ 11d-France),
- D'un turbidimètre (TURB 430 IR-France),
- D'un conductimètre à sonde (HACH HQ 14 d-France),
- D'un appareil photo numérique (SONY-Japon).

I.2.2 Consommables

Les consommables ont été :

- Les accumulateurs de glace
- Les membranes de filtration de diamètre 47 mm
- Les boîtes de Pétri de diamètres 55 mm (petites), 90 mm (grosses)

I.2.3 Verreries et autre matériel

Les verreries et autre petits matériels sont :

- Les flacons de prélèvement de capacités 500 ml, 1000 ml,
- Les tubes à essais de 35 ml,
- Les ballons à fond rond de 50 ml, 250 ml,
- Les erlenmeyers de capacité : 250 ml, 500 ml,

- Les glacières
- Les micropipettes de marque Wagtech de capacités : 10 mL,
- Les burettes graduées

I.2.4 Réactifs

Les réactifs utilisés sont de qualité analytique. Ils sont constitués de réactifs de chimie et de microbiologie.

Réactifs de chimie :

Les réactifs de chimie utilisés sont de marque Wagtech[®] (Grande Bretagne). Ils sont constitués de :

- pastilles Nitratest, poudre Nitratest et pastille Nitricol pour le dosage des nitrates et de nitrites,
- pastilles Ammonia N°1 et Ammonia N°2 pour le dosage de l'ammonium,
- pastille Iron HR pour le dosage du fer,
- pastilles Aluminium N°1 et Aluminium N°2 pour le dosage de l'aluminium,
- pastilles de Manganèse N°1 et N°2 pour le dosage du manganèse,
- pastilles Hardicol N°1 et N°2 pour le dosage de la dureté totale,
- pastilles Fluorure N°1 et N°2 pour le dosage des fluorures,
- pastille Alkaphot pour le dosage de l'alcalinité,
- pastille Acidifying CD et la pastille Chloridol pour le dosage des chlorures,
- pastille SulphateTurb pour le dosage des sulfates et du soufre,
- pastille Potassium K pour le dosage du potassium,
- pastilles phosphate HR et Phosphate SR pour le dosage des phosphates,
- pastilles Calcicol N°1 et Calcicol N°2 pour le dosage du calcium,
- pastille Magnecol pour le dosage du magnésium,
- pastille Silica PR, Silica N°1 et Silica N°2 pour le dosage des silices et des silicates,
- pastille Dechlor et Zinc pour le dosage du zinc,
- acide sulfurique,

- permanganate de potassium,
- oxalate de sodium.

Réactifs de microbiologie :

Les réactifs de microbiologie sont constitués des milieux de culture : Rapide d'*E.coli* 2 Agar (Bio Rad France), Bile Esculine Azide (Bio Rad France), gélose Thiosulfate Néomycine (Bio Rad France), gélose Salmonella-Shigella, gélose Hektoen, gélose Baird Parker, Eau Peptonée Tamponnée, Eau Peptonée Alcaline, Yeast Glucose Chloramphenicol, pseudosel.

I.3 Méthodes

I.3.1 Géolocalisation des points de prélèvement des eaux de baignades

I.3.1.1 Principe de fonctionnement du GPS

Le GPS, Global Position System (en anglais) ou Système de Positionnement Global, est un appareil qui permet de déterminer les coordonnées spatiales d'un objet ou de se repérer dans l'espace géographique. Adapté pour les travaux de terrain, il a été utilisé pour le repérage du site.

I.3.1.2 Mode opératoire du GPS

L'appareil est d'abord mis sous tension. Il est ensuite placé sur ou près de la cible. Son écran fait face au ciel. Pour déterminer la position d'un objet, il lui faut capter le signal d'au moins trois satellites. En situation de bonnes conditions atmosphériques où le ciel est très dégagé, il peut capter un grand nombre de satellites et cela ne fait qu'affiner la précision des coordonnées de l'objet. Une fois les satellites captés, l'appareil détermine la longitude ; la latitude pour un repérage en Degré.

I.3.2 Méthodes de prélèvement, Transport et Conservation des échantillons

I.3.2.1 Echantillonnage

L'échantillonnage s'est fait au cours de huit campagnes bien distinctes : mai 2018, juin 2018, juillet 2018, août 2018, septembre 2018, octobre 2018, novembre 2018, décembre 2018. Le nombre d'échantillons par campagne était constitué de :

- un (1) échantillon de 1000 mL pour les analyses physicochimiques sur l'eau brute par point d'eau ;
- un (1) échantillon de 1000 mL pour la recherche des vibrions sur l'eau brute par point d'eau ;
- trois (3) échantillons de 500 mL pour les autres analyses microbiologiques sur l'eau brute par point d'eau ;

I.3.2.2 Prélèvement, Transport et Conservation des échantillons

Les prélèvements ont été réalisés selon les recommandations de l'OMS/PNUE [46]. Les échantillons d'eau sont rangés dans une glacière en vue de les amener au laboratoire tout en respectant la chaîne de froid assurée par des accumulateurs de glace. Les échantillons prélevés sont transportés à l'abri de la lumière à une température allant de 4°C à 8°C. Les échantillons prélevés pour la recherche de *Vibrio* avaient été mis dans une glacière sans accumulateurs de glaces. Ils ont été acheminés au laboratoire le plus rapidement possible c'est-à-dire dans les 4 heures qui suivent le prélèvement pour les différentes analyses.

Avant la détermination des paramètres physicochimiques classiques, les échantillons sont disposés sur la paillasse le temps que leur température revienne à la température ambiante.

I.3.3 Analyses des échantillons

I.3.3.1 Analyses organoleptiques et physicochimiques

I.3.3.1.1 Analyse des paramètres organoleptiques

Les caractères organoleptiques constituent les facteurs d'alerte pour une pollution sans présenter à coup sûr un risque pour la santé. Les paramètres organoleptiques analysés sont la couleur et la turbidité.

I.3.3.1.1.1 Mesure de la Couleur

La couleur de l'eau est liée à la présence de substances organiques, de métaux comme le fer, le manganèse ou de rejets industriels [47].

La détermination de la couleur repose sur le principe de comparateur de couleur. La couleur est évaluée par simple observation visuelle. Elle est mesurée par comparaison visuelle avec une série de solutions standards.

I.3.3.1.1.2 Détermination de la Turbidité

La détermination de la turbidité se fait par la méthode néphélométrique.

✓ Principe

C'est une méthode néphélométrique qui consiste à mesurer la lumière diffusée formant un angle de 90° avec la lumière incidente.

✓ Technique

1. Rincer le flacon avec environ 10 mL de l'échantillon d'eau, boucher le flacon avec le capuchon à vis et retourner le flacon plusieurs fois. Verser l'échantillon utilisé et répéter la procédure de rinçage deux ou trois fois.
2. Remplir le flacon rincé avec l'échantillon jusqu'au repère indiqué sur le flacon. Boucher le flacon avec le bouchon à vis fourni.
3. Essuyer le flacon avec un chiffon doux ou pelucheux fourni. Vérifier que l'extérieur du flacon est sec, propre et dépourvu de tâches.

4. Appliquer une fine couche d'huile de silicone (fournie) sur le flacon de d'échantillon. Essuyer avec un chiffon doux pour obtenir une répartition homogène sur toute la surface du flacon.
5. Placer le flacon dans la cuve échantillon et aligner le repère du flacon sur le repère de mesureur.
6. Pousser sur le flacon jusqu'à ce qu'il soit bien placé.
7. Obstruer le flacon avec le capuchon pare-lumière.
8. Allumer le mesureur en appuyant sur ON/OFF et attendre quelques secondes pour lire la valeur affichée sur l'écran de l'appareil (valeur en UNT)

I.3.3.1.2 Analyse physico-chimique

I.3.3.1.2.1 Mesure du pH

Le pH des systèmes aqueux mesure l'équilibre acido-basique atteint par différents composés en solution. Il représente la concentration en ions H_3O^+ (hydronium) exprimée en cologarithme **$\text{pH} = -\log\text{H}_3\text{O}^+$**

L'échelle du pH varie entre 0 et 14. Un pH inférieur à 6,5 est dit acide et basique lorsqu'il est supérieur à 8,5.

✓ Principe

Il s'agit de la mesure électrométrique du pH des échantillons d'eau prélevés à l'aide d'un pH-mètre. Cette mesure est basée sur la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel – chlorure de potassium saturé). Cette différence de potentiel est liée à la présence d'ions hydrogènes $[\text{H}^+]$ dans le milieu.

✓ Mode Opératoire

1- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée. Si l'électrode pH est desséchée, la tremper durant 30 minutes dans une solution de KCl 2M – 4M.

2- Allumer le pH-mètre.

3- Etalonner le pH-mètre avec une solution d'étalonnage de pH= 4 et pH=7

4- Plonger l'électrode dans l'échantillon. La membrane de verre doit être totalement immergée. Agiter légèrement l'électrode pour homogénéiser le milieu.

5- Attendre que la mesure se stabilise et procéder à la lecture directement sur l'affichage digital de l'appareil

I.3.3.1.2.2 Détermination de la conductivité

✓ Principe

La conductivité est l'expression numérique de la capacité d'un échantillon à laisser passer le courant électrique. Elle indique de façon générale le degré de minéralisation d'une eau et peut être un indicateur de salinité.

✓ Mode Opérateur

1- Rincer la cellule à l'eau distillée ou désionisée et égoutter. Afin d'éviter une dilution ou une contamination, rincer la cellule avec la solution de mesure.

2- Appuyer sur ON pour allumer l'appareil.

3- Etalonner l'appareil.

4- Plonger la cellule dans l'échantillon en s'assurant que les deux anneaux en acier sont immergés (Ne Pas retirer la protection en plastique jaune). Remuer légèrement à l'aide de la cellule.

5- Attendre que la mesure soit stabilisée et procéder à la lecture

Remarque : La conduction d'un liquide dépend largement de la température. Celle-ci est relevée au cours de la mesure de la conductivité. Lorsque la température est différente de 20°C, une correction est effectuée selon la formule générale [48].

$$Cd_{20^{\circ}C} = 0,95 \times Cd_{lue \text{ (à } 25^{\circ}C)}$$

La lecture de la conductivité à 25°C s'effectue après affichage à l'écran.

I.3.3.1.2.3 Mesure de la température

La température est mesurée sur le terrain à l'aide d'un appareil de mesure de température qu'on plonge dans un échantillon d'eau prélevé. Le résultat est lu directement sur l'écran de l'appareil en degré Celsius (°C).

I.3.3.1.2.4 Dosage de l'Ammonium (NH_4^+)

✓ Principe

En présence d'un catalyseur, le nitroprussiate de sodium, l'ion ammonium réagit avec le chlorure et le salicylate de sodium en milieu basique et donne une coloration dite bleu d'indophénol susceptible de dosage colorimétrique.

✓ Mode Opératoire

- 1- Remplir un tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon ;
- 2- Ajouter une pastille « Ammonia N°1 » et une pastille « Ammonia N°2 », écraser et remuer pour dissoudre ;
- 3- Attendre 10 minutes pour permettre le développement complet de la couleur ;
- 4- Sélectionner Phot 62 pour mesurer l'ammonium en milligramme par litre d'eau (mg/L NH_4^+);
- 5- Lecture du résultat à 640 nm.
- 6- Le résultat s'affiche en mg/L NH_4^+ .

I.3.3.1.2.5 Dosage des Nitrites (NO_2^-)

La méthode utilisée pour le dosage des nitrites est la méthode colorimétrique à la sulfanilamide.

✓ Principe

La diazotation de la sulfanilamide en milieu acide et sa copulation avec la N-1 Naphtyléthylènediamine donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage colorimétrique.

✓ **Mode Opératoire**

- 1- Remplir un tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon à analyser ;
- 2- Ajouter une pastille « Nitricol », écraser et remuer pour dissoudre;
- 3- Attendre 10 minutes pour permettre le développement de la couleur;
- 4- Sélectionner Phot 64 pour mesurer les nitrites en milligramme par litre d'eau (mg/L NO_2^-);
- 5- Lire le résultat à la longueur d'onde de 520 nm.

I.3.3.1.2.6 Dosage des Nitrates (NO_3^-)

Le dosage des nitrates s'est effectué par variation de la méthode colorimétrique à la sulfanilamide.

✓ **Principe**

Les nitrites obtenus par réduction des nitrates sont déterminés par colorimétrie après diazotation avec la sulfanilamide et copulation avec la N-1 Naphtyléthylènediamine.

✓ **Mode Opératoire**

- 1- Prélever 20 mL d'échantillon dans le tube Nitratest ;
- 2- Ajouter une cuillère de poudre Nitratest et une pastille Nitratest, ne pas écraser la pastille. Fermer le tube avec le capuchon et agiter pendant une minute ;
- 3- Attendre une autre minute puis remuer le tube trois ou quatre fois pour permettre la floculation. Attendre encore deux minutes ou jusqu'à l'obtention d'une solution claire ;
- 4- Enlever le capuchon et nettoyer le haut du tube avec un papier propre. Transférer le contenu de cette solution claire dans une éprouvette ronde, jusqu'au trait 10 mL ;
- 5- Ajouter une pastille Nitricol, écraser et remuer pour dissoudre ;
- 6- Attendre 10 minutes jusqu'au développement complet de la couleur ;
- 7- Sélectionner la longue d'onde 570 nm du photomètre ;

8- Lire le résultat qui s'affiche en milligramme de nitrates par litre d'eau (mg/L NO_3^-).

I.3.3.1.2.7 Dosage des Chlorures (Cl^-) et du Sodium (Na^+)

✓ Principe

Les chlorures d'un volume connu d'eau sont précipités par le nitrate d'argent (AgNO_3) en présence d'acide nitrique. La différence d'absorption permet le dosage.

✓ Mode Opératoire

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon.
- 2- Ajouter une pastille « Acidifying CD », écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Ajouter une pastille « Chloridol », laisser la pastille se dissoudre pendant 2 minutes. Ecraser ensuite toutes particules restantes (Une solution nuageuse indique la présence de chlorure).
- 4- Sélectionner Phot 46.
- 5- Lire le résultat à la longueur d'onde de 520 nm.
- 6- Le résultat s'affiche en milligramme de Chlorure par litre d'eau (mg/L)
- 7- Aller à la concentration en mg/L de Chlorure de sodium (NaCl)
- 8- Déduire la concentration de sodium par un calcul ($[\text{Na}] = [\text{NaCl}] - [\text{Cl}]$)

I.3.3.1.2.8 Dosage du Fer (Fe)

✓ Principe

Après oxydation en milieu acide, le fer est réduit à l'état ferreux et dosé par colorimétrie en utilisant la coloration rouge donnée par les sels ferreux avec la phénantroline

✓ Mode Opératoire

- 1- Remplir le tube de 10 mL de l'échantillon à analyser.
- 2- Ajouter une pastille « Iron HR », écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Attendre une minute pour permettre le développement de la couleur.

4- Sélectionner Phot 19.

5- Lire le résultat à la longueur d'onde de 520 nm.

6- Le résultat s'affiche en milligramme de fer par litre d'eau (mg/L Fe).

I.3.3.1.2.9 Dosage du Manganèse (Mn)

✓ Principe

Le dosage du manganèse s'effectue par la méthode colorimétrique au persulfate d'ammonium.

✓ Mode Opératoire

1- Dans un tube, introduire 10 mL d'eau à analyser.

2- Ajouter une pastille de manganèse N°1, écraser et remuer pour dissoudre.

3- Ajouter une pastille de manganèse N°2, écraser et remuer pour dissoudre.

4- Fermer le tube et attendre 20 minutes pour permettre le développement de la couleur.

5- Sélectionner Phot 20.

6- Lire le résultat par rapport à une longueur d'onde de 640 nm.

7- Le résultat s'affiche en milligramme de manganèse par litre d'eau (mg/L Mn).

I.3.3.1.2.10 Dosage des Fluorures (F⁻)

Le dosage des fluorures s'est effectué de la façon suivante :

1- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon.

2- Ajouter une pastille « Fluorure N°1 », écraser et remuer pour dissoudre.

3- Ajouter une pastille « Fluorure N°2 », écraser et remuer pour dissoudre.

4- Attendre 5 minutes pour permettre le développement complet de la couleur.

5- Sélectionner Phot 14.

6- Lire le résultat qui s'affiche en milligramme de fluorure par litre d'eau (mg/L F).

I.3.3.1.2.11 Dosage de l'Aluminium (Al)

Le dosage de l'aluminium s'est effectué par une méthode colorimétrique.

✓ **Principe**

En milieu tampon acétique, l'aluminon ou aurine tricarboxylate d'aluminium, donne avec les sels d'aluminium, une coloration rouge utilisée pour le dosage colorimétrique.

✓ **Mode Opératoire**

- 1- Prélever 10 mL de l'échantillon dans un tube ;
- 2- Ajouter une pastille « Aluminium N°1 », écraser et remuer pour dissoudre ;
- 3- Ajouter une pastille « Aluminium N°2 », écraser et remuer doucement pour dissoudre. Eviter d'agir vigoureusement ;
- 4- Attendre 5 minutes pour permettre le développement complet de la couleur.
- 5- Sélectionner Phot 3 ;
- 6- Lire le résultat par rapport à une longueur d'onde de 520 nm ;
- 7- Le résultat s'affiche en milligramme d'Aluminium par litre d'eau (mg/L Al.)

I.3.3.1.2.12 Dosage des minéraux (Calcium, Potassium, Magnésium), des Sulfates, du soufre, des Phosphate, de la silice et des silicates, du zinc

✓ **Procédure de dosage du calcium**

- 1- Filtrer l'échantillon pour obtenir une solution claire.
- 2- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon
- 3- Ajouter une pastille « Calcicol N°1 », écraser et remuer pour dissoudre.
- 4- Ajouter une pastille « Calcicol N°2 », écraser et remuer pour dissoudre.
- 5- Attendre 2 minutes pour permettre le développement complet de la couleur.
- 6- Sélectionner Phot 60.
- 7- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L Ca.

✓ **Procédure de dosage du potassium**

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon.
- 2- Ajouter une pastille « Potassium », écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Sélectionner Phot 30.

4- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L K.

✓ **Procédure de dosage du magnésium**

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon.
- 2- Ajouter une pastille « Magnecol », écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Attendre 5 minutes pour permettre à la couleur de se développer et à la turbidité de se dissiper.
- 4- Sélectionner Phot 21.
- 5- Lire le résultat s'affiche en mg/L Mg.

✓ **Procédure de dosage des sulfates et du soufre**

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon.
- 2- Ajouter une pastille « Sulphate Tub », écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Une solution nuageuse indique la présence de sulfate.
- 4- Attendre 5 minutes puis mélanger encore pour assurer l'homogénéité.
- 5- Sélectionner Phot 32.
- 6- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L SO_4^- .

✓ **Procédure de dosage des phosphates**

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon
- 2- Ajouter une pastille « Phosphate SR », écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Ajouter une pastille « Phosphate HR », écraser et remuer pour dissoudre.
- 4- Attendre 10 minutes pour permettre le développement complet de la couleur.
- 5- Sélectionner Phot 29.
6. Lire le résultat qui s'affiche en mg/L PO_4^- .

✓ **Procédure de dosage de la silice et des silicates**

1. Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon
2. Ajouter une pastille « Silica PR », écraser et remuer pour dissoudre.
3. Ajouter une pastille « Silica N1 », écraser et remuer pour dissoudre.
4. Ajouter une pastille « Silica N2 », écraser et remuer pour dissoudre

5. Attendre 5 minutes pour permettre le développement complet de la couleur.
6. Sélectionner Phot 56.-
7. Lire le résultat qui s'affiche en mg/L SiO₂

✓ **Procédure de dosage du zinc**

1. Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon
2. Ajouter une pastille « Zinc », écraser et remuer pour dissoudre.
3. Ajouter une pastille « Dechlor », écraser et remuer pour dissoudre.
4. Attendre 5 minutes pour permettre le développement complet de la couleur.
5. Sélectionner Phot 35.
6. Lire le résultat qui s'affiche en mg/L zinc

I.3.3.1.2.13 Détermination du Titre Alcalimétrique Complet (TAC) et bicarbonates

✓ **Principe**

Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la teneur de l'eau en alcalins libres, carbonates et bicarbonates. La détermination du TAC est basée sur la neutralisation de l'eau par l'acide chlorhydrique (HCl) ou l'acide sulfurique (H₂SO₄) en présence d'un indicateur coloré (l'hélianthine) [48].

✓ **Mode Opératoire**

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon.
- 2- Ajouter une pastille « Alkaphot », écraser et remuer pour dissoudre totalement la pastille.
- 3- Attendre une minute et mélanger encore.
- 4- Sélectionner Phot 2.
- 5- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L CaCO₃.

I.3.3.1.2.14 Détermination du Degré Hydrotimétrique Total (DHT)

✓ **Principe**

La dureté totale ou degré hydrotimétrique total ou titre hydrotimétrique (TH) est essentiellement due aux ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) dont les concentrations lui sont proportionnelles : 1°F équivaut à 4 mg/l de calcium et 2,4 mg/l de magnésium mais correspond aussi à une solution contenant 10mg/l de CaCO_3 . Le DHT est mesuré par complexation du calcium et du magnésium avec le sel disodique de l'EDTA en présence d'un indicateur coloré.

✓ Mode Opératoire

- 1- Filtrer l'échantillon pour obtenir une solution claire.
- 2- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon.
- 3- Ajouter une pastille « Hardicol N°1 », écraser et remuer pour dissoudre.
- 4- Ajouter une pastille « Hardicol N°2 », écraser et remuer pour dissoudre.
- 5- Attendre 5 minutes pour permettre le développement de la couleur.
- 6- Sélectionner Phot 15.
- 7- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L CaCO_3 .

Remarque :

- $0 < \text{DHT} < 10^\circ\text{F}$: eau très douce
- $10^\circ\text{F} < \text{DHT} < 20^\circ\text{F}$: eau douce
- $20^\circ\text{F} < \text{DHT} < 30^\circ\text{F}$: eau moyennement dure
- $30^\circ\text{F} < \text{DHT} < 40^\circ\text{F}$: eau dure
- $\text{DHT} > 40^\circ\text{F}$: eau très dure

I.3.3.1.2.15 Détermination de la matière organique

✓ Principe

L'oxydation chimique des matières organiques est effectuée par le permanganate de potassium à chaud en milieu acide. L'eau est portée à l'ébullition en présence d'une solution diluée de KMnO_4 dont l'excès est dosé après 10 minutes exactement d'ébullition. Le résultat est exprimé en mg/L de KMnO_4 .

✓ **Mode Opérateur**

- 1- Transférer 25 mL de l'échantillon dans un tube à essai et y ajouter 5 mL de AS_2 .
Mélanger en agitant doucement.
- 2- Placer le tube à essai dans un bain d'eau bouillante pendant $10\text{ mn} \pm 2\text{mn}$.
- 3- Ajouter 5 mL de la solution PP_1 et démarrer le chronométrage.
- 4- Après $10\text{ mn} \pm 15\text{ s}$, ajouter 5 mL de la solution OS_1 et attendre que la solution se décolore.
- 5- Titrer pendant que la solution est encore chaude, avec PP_1 jusqu'à une coloration rose pâle persistante pendant 30s. Noter le volume V_1 de PP_1 consommé
- 6- Effectuer parallèlement à la détermination, un essai à blanc en utilisant le même mode opératoire, mais en remplaçant la prise d'essai par 25 mL d'eau distillée. Noter le volume V_0 de PP_1 consommé.
- 7- Conserver la solution (de l'essai à blanc) titré pour l'étalonnage de la solution PP_1 décrit comme suit :
- 8- Ajouter 5mL de la solution OS_1 à la solution titrée conservé (7). Réchauffer si nécessaire, à environ 80°C et titrer avec le PP_1 jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pâle persistante pendant 30s. Noter le volume V_2 de PP_1 consommé.

I.3.3.2 Analyse microbiologique

La contamination microbiologique est de loin le risque associé à l'eau de boisson le plus grave pour la santé publique, ce qui en fait la priorité lors de l'analyse de la qualité de l'eau. Les agents pathogènes dans l'eau (bactéries, virus, protozoaires et champignons) peuvent entraîner un grand nombre de problèmes de santé.

Il existe différentes méthodes d'analyses de la contamination microbiologique à savoir :

- La technique horizontale ;

- La méthode du Nombre le Plus Probable (NPP) de MAC GRADY ;
- La méthode de la membrane filtrante (technique de référence mondiale) [46].

Dans cette étude, la méthode utilisée est la méthode traditionnelle de la membrane filtrante.

➤ **Description de la méthode par la membrane filtrante**

✓ **L'appareil de filtration [49]**

La méthode par la membrane filtrante est la plus utilisée au laboratoire et nécessite un appareil de filtration constitué :

- d'un entonnoir cylindrique recevant le liquide;
- d'un poste de filtration en acier fritté sur lequel la membrane filtrante sera posée;
- d'un flacon à vide destiné à recueillir le filtrat et relié à une pompe à eau ou pompe à vide

Les membranes filtrantes utilisées pour la filtration sont généralement en ester de cellulose et d'une porosité de 0,45µm.

✓ **Principe**

Cette technique consiste à filtrer une prise d'essai du produit liquide à analyser à travers une membrane poreuse dont les pores ont un diamètre de 0,45µm. Il s'agit d'une porosité qui ne laisse pas passer les micro-organismes. La membrane ayant retenue ces micro-organismes est mise en culture sur un milieu de choix en fonction de la bactérie à rechercher. A partir d'une souche à la surface de la membrane va se former une colonie sur le milieu cultivé.

On dénombre alors le nombre de colonies qui correspond aux nombres de bactéries par rapport au volume de la prise d'essai. Le résultat est exprimé par rapport à la limite de référence en UFC par volume de prise d'essai.

✓ Procédure de la membrane filtrante

○ Activités préopératoires :

- Stériliser l'unité de filtration (le poste de filtration et l'entonnoir cylindrique) de préférence par flambage soit à l'alcool ou à l'aide d'un camping gaz ;
- Etiqueter les milieux de culture en fonction du numéro des échantillons ;
- Sécher les milieux de cultures pour ramener leur température à 37°C ;
- Allumer le feu du bec Bunsen favorisant un environnement stérile ;

○ Filtration :

- 1- Ouvrir les robinets des postes de filtration (seuls les robinets des postes de filtration à utiliser sont ouverts) ;
- 2- Porter la membrane sur le poste de filtration et placer l'entonnoir cylindrique ;
- 3- Prélever le volume préconisé de l'échantillon d'eau à analyser et transvaser dans l'entonnoir ;
- 4- Ouvrir le robinet servant à faire le vide pour permettre la filtration ou mettre en marche le moteur relié au dispositif et au collecteur en verre;
- 5- Oter l'entonnoir cylindrique pour retirer la membrane du poste de filtration avec une paire de pinces stérilisée à nouveau puis porter la membrane sur le milieu de culture correspondant pour la recherche et le dénombrement d'une bactérie donnée ;
- 6- Incuber les milieux ainsi cultivés aux températures correspondantes pendant 18 heures à 24 heures ;
- 7- A la fin du temps d'incubation, procéder à la lecture du milieu pour dénombrer les bactéries ;
- 8- Si nécessaire, confirmer les résultats de la culture par des tests de confirmation.

L'analyse microbiologique a porté sur :

- le dénombrement des coliformes totaux et thermo tolérants, *E. coli*, des entérocoques, des légionnelles ;

- le dénombrement des staphylocoques, de *Pseudomonas aeruginosa*, de *Vibrio* et de salmonelles ;
- le dénombrement des germes anaérobies sulfite réducteurs (ASR) ;
- le dénombrement des levures, moisissures.

✓ **Les coliformes totaux et thermotolérants**

• **Principe**

La méthode utilise le milieu chromogénique Rapid'E.coli 2 Agar pour le dénombrement. Le principe du milieu repose sur la mise en évidence simultanée de deux activités enzymatiques : β -D-Glucuronidase (GLUC) et la β -D-Galactosidase (GAL). Le milieu contient deux substrats chromogéniques :

- Un substrat spécifique de la GAL qui entraîne la coloration bleue des colonies positives pour cette enzyme ;
- La superposition de l'effet des 2 substrats spécifiques (GLUC et GAL) qui entraîne la coloration violette des colonies positives pour ces deux enzymes.

• **Mode opératoire**

- Filtrer sur une membrane d'une prise d'essai (100mL) de l'échantillon d'eau soigneusement homogénéisée à analyser. La membrane est ensuite placée à la surface de la gélose Rapid d'*E coli* 2 ;
- Incuber durant 18 à 24 heures à une température de 30°C pour les coliformes totaux et 44°C pour les coliformes thermotolérants ;
- Dénombrer les colonies :
 - Bleu-vert : coliformes totaux et thermotolérants
 - Violettes : *E. coli*

✓ **Dénombrement des entérocoques**

La culture des entérocoques s'est faite sur la gélose BEA (Bile-Esculine-Azide de sodium).

- **Principe**

- L'Azide de sodium provoque l'inhibition des bactéries contaminantes à Gram négatif
- Les sels biliaires empêchent la croissance des bactéries Gram positif
- Les Entérocoques dans la gélose hydrolysent l'esculine en esculetine. Ce dernier composé, forme un complexe noir en présence des ions ferriques apportés par le citrate de fer.

- **Mode opératoire**

- Filtrer sur une membrane une prise d'essai (100mL) de l'échantillon d'eau soigneusement homogénéisée à analyser. La membrane est ensuite placée à la surface de la gélose BEA
- Incuber durant 18 heures à 24 heures à une température de 44°C
- Dénombrer les petites colonies grises entourées d'un halo noir

- ✓ **Recherche des spores de micro- organismes anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) par filtration sur membrane**

- **Principe**

Les bactéries ASR ou les *Clostridies* sulfito-réducteurs représentées essentiellement par *Clostridium perfringens* sont des micro-organismes capables de sporuler. Ces spores résistent à un chauffage de 15 minutes à $(75 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Elles sont capables de se développer à $37 \pm 1 ^\circ\text{C}$ en 44 ± 4 heures en anaérobiose, sur un milieu gélosé contenant des sels de fer.

- **Mode opératoire**

- 1- On sélectionne les spores bactériennes dans l'échantillon par un chauffage au bain-marie à $75 \pm 5 ^\circ\text{C}$ pendant 15 minutes, pour que les cellules végétatives soient détruites.

- 2- Filtration de 100 mL d'échantillon au travers d'une membrane filtrante stérile dont les pores présentent une dimension de 0,45 μm pour que les spores de bactéries soient retenues à l'intérieur de la membrane filtrante.
- 3- Dépôt de la membrane à l'envers sur un milieu de culture spécialement sélectif (gélose Tryptone Sulfite Néomycine : milieu TSN).
- 4- L'anaérobiose est créée par une seconde couche de ce milieu sur la membrane.

Incubation des boîtes à 46°C pendant 44 \pm 4 heures [49].

○ **Dénombrement des spores de micro-organismes ASR**

Durant l'incubation, il y a réduction du sulfite de sodium et production de sulfure de fer se manifestant par un halo noir autour des colonies. Seul ce type de colonie est compté [53].

✓ **Culture et dénombrement des Vibrio**

Le transport des échantillons se fait sans accumulateurs de glace car les Vibrio ont tendance à mourir à une température très basse.

● **Mode opératoire**

- 1 Filtration de 1000 ml d'échantillon au travers d'une membrane filtrante stérile dont les pores présentent une dimension de 0,45 μm .
- 2 Placer les membranes enroulées dans de l'eau peptonée alcaline
- 3 Incuber pendant 16 h à 37°C
- 4 les Vibrio se situent en surface (surnageant est un film blanchâtre a la surface)
- 5 Ensemencement sur milieu TCBS et Mueller Hinton alcalin
- 6 Les colonies plates, lisses et de couleur jaune ou verte sont dénombrées. La recherche des caractères biochimiques par des tests complémentaires confirmera la présence ou non de Vibrio (*Vibrioparahemolyticus*).

✓ **Dénombrement des salmonelles**

• **Mode opératoire**

- 1 Filtrer 250 ml d'eau
- 2 Faire le pré-enrichissement en eau peptonée tamponnée à 37°C pendant 18 à 24 heures.
- 3 Mettre 0,1 ml de subculture à l'aide d'une pipette stérile dans 2 tubes de bouillon RappaportVassiliadis contenus dans chaque tube à vis stérile ; le 2^{ème} tube de RappaportVassiliadis est incubé à 37°C pendant 18 heures à 24 heures. Il sera lui aussi (le contenu du tube) isolé sur les milieux SS et Hektoen.
- 4 Incuber à l'étuve à 42°C pendant un temps de 4 heures.
- 5 Isoler sur géloses SS et Hektoen par la technique de stries d'épuisement à partir du bouillon d'enrichissement
- 6 Incubation à l'étuve 37°C pendant 18 à 24 heures
- 7 Après 24 heures, les colonies isolées sur les géloses présentant les caractéristiques macroscopiques des salmonelles (colonies incolores à centre noir sur SS et colonies verdâtres ou bleuâtres à centre noir sur Hektoen)
- 8 Utiliser le portoir réduit de Le minor pour l'identification biochimique

✓ **Dénombrement des pseudomonas**

Mode opératoire

- 1 Filtrer 100 ml d'eau
- 2 Placer les membranes sur le milieu pseudosel ou cétrimide
- 3 Après 18 à 24 heures dénombrer les colonies suspectes bleu vert L'identification du *Pseudomonas aeruginosa* est faite à partir du portoir réduit de Le minor.

✓ **Dénombrement des levures et moisissures**

Mode opératoire

- 1 Filtrer 100 mL d'eau
- 2 Placer les membranes sur le milieu YGC

3 Après 24 à 48 heures dénombrer les colonies

- grosses colonies blanchâtres muqueuses : levures. L'identification des levures se fait à partir de l'auxanogramme.
 - grosses colonies duveteuses : moisissures
 - Macroscopie :
 - Regarder la boîte de pétri de face (recto) et de dos (verso)
 - Faire une description des éléments observés
 - Microscopie : état frais
 - Gratter une colonie sur la gélose YGC et la déposer sur une lame
 - Ajouter une goutte d'eau physiologique et faire une lecture entre lame et lamelle
 - Observation des filaments mycéliens, de conidies et de têtes d'*Aspergillus*
- ✓ **Dénombrement des staphylocoques**

Mode opératoire

- 1 Filtrer 100 mL d'eau
- 2 Placer les membranes sur le milieu Baird Parker
- 3 Incuber 24 à 48 heures à 37°C
- 4 Lecture des colonies noires entourées d'un halo translucide et d'un halo transparent
- 5 Coloration de Gram (Cocci Gram positif en amas ou en diplocoques)
- 6 Ensemencements des milieux Chapman mannité, du bouillon cœur cerveau, la gélose à ADN et la gélose ordinaire.
- 7 Les staphylocoques sont mannitol, staphylocoagulase libre, DNase, catalase et thermo nucléase positifs.

✓ Culture et dénombrement des légionnelles

Mode opératoire

- 1 Traiter l'eau pour la débarrasser des bactéries interférentes, en y ajoutant de l'acide,
- 2 Filtrer 100 ml de l'échantillon,
- 3 Placer un filtre sur chaque milieu (milieux BCYE avec L cystéine et sans cystéine)
- 4 Incuber à 35°C-36°C pendant 11 jours mais à partir du 4^{ème} jour on recherche les colonies suspectes
- 5 Dénombrer les colonies blanchâtres qui pousseraient sur le milieu BCYE avec L cystéine.

Le développement des légionnelles est lent : environ onze jours d'incubation

Tableau VI : Avantages et limites de la méthode par filtration sur membrane

Avantages	Limites
<ul style="list-style-type: none"> - Elle fournit des résultats quantitatifs - Méthode la plus précise pour déterminer le nombre de bactéries indicatrices ; les résultats sont obtenus en comptant directement les colonies de bactéries indicatrices - De nombreux échantillons peuvent être testés en même temps - C'est une Méthode d'analyse reconnue internationalement 	<ul style="list-style-type: none"> - Il est plus difficile de tester une eau turbide ; - Le risque de colmatage des membranes ; - Le risque d'abîmage des pores de la membrane ; - La possibilité d'avoir des colonies confluentes du fait de la prise d'essai importante.



Figure 3: Dénombrement des bactéries

I.3.4 Méthodes d'analyses statistiques des données

Le traitement de texte a été fait à l'aide du logiciel WORD 2010. Les analyses statistiques des différents paramètres ont été réalisées à l'aide des logiciels EXCEL 2010. La comparaison des moyennes s'est faite par le test d'anova à un facteur, le logiciel R.

II RESULTATS

Les résultats de la présente étude seront présentés en trois volets :

- Réalisation des campagnes de prélèvement
- L'analyse des paramètres organoleptiques et physico-chimiques
- L'analyse des paramètres bactériologiques

II.1 Campagnes de prélèvement

Les coordonnées géographiques des points de prélèvements ont donné pour le lac de Jacqueville une longitude de $004^{\circ}24'730''$ et une latitude de $05^{\circ}12'222''$ (figure 4), pour la lagune Ebrié, une longitude de $004^{\circ}25'472''$ et une latitude de $05^{\circ}14'238''$ (figure 5) et pour la mer (figure 6) une longitude de $004^{\circ}24'842''$ et une latitude de $05^{\circ}12'082''$.



GPS : Longitude $004^{\circ}24'730''$; Latitude : $05^{\circ}12'222''$

Figure 4-Aperçu du lac de Mambe Eiminkoa de Jacqueville



GPS : Longitude 004°25'472" ; Latitude : 05°14'238"

Figure 5-Aperçu de la lagune Ebrié du côté de Jacqueville



GPS : Longitude 004°24'842" ; Latitude : 05°12'082"

Figure 6-Aperçu de la mer de Jacqueville

II.2 Analyse des paramètres organoleptiques et physico-chimiques

II.2.1 Lac de Mambé Eiminkoa de Jacqueville

Les non-conformités des paramètres analysés ont porté sur des teneurs élevée de la turbidité en mai, août, octobre, novembre, décembre ; du pH en juin, juillet, sept, décembre ; des nitrites (mai, août) ; de la couleur ; du fer et du phosphore sur toute la période d'étude (Tableau VII).

Tableau VII: Paramètres organoleptiques et physico-chimiques de l'eau du lac de Jacqueville

Paramètre physico-chimique	Mai-18	Juin-18	Juil-18	Août-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Déc-18	Norme	Moy	Min	Max
Turbidité (en UNT)	58,2	48,1	32,2	63,8	46,4	51,3	56,7	74,5	50	53,9	32,2	74,5
Couleur (en UCV)	470	485	380	330	270	300	290	510	15	379,4	270	510
Conductivité (µS/cm)	110,3	95,7	112,1	138,3	148,4	9,15	81,3	65,5		95,1	9,15	148,4
pH	8,83	9,63	9,66	8,3	10,59	8,86	8,94	9,53	(6-9)	9,3	8,3	10,59
Température (°C)	29,1	30,2	25,8	24,2	25,7	33,4	31,9	30,8		28,9	24,2	33,4
Fer total (mg/L)	0,65	5,3	0,35	1,15	0,9	0,8	0,65	1,3	0,3	1,4	0,35	5,3
TAC (mg/L)	105	65	70	85	100	110	100	125		95,0	65	125
DHT (°F)	45	30	50	50	50	40	40	60		45,6	30	60
Chlorures (mg/L)	6,6	7,9	11,5	9	6	32	5,9	6,3	250	10,7	5,9	32
Aluminium (mg/L)	0,04	0,02	0,02	0,27	0,05	0,34	0,14	0,27	0,2	0,1	0,02	0,34
Fluorures (mg/L)	0,6	0,29	0,13	0,07	0,01	0,01	0,27	0,37	1,5	0,2	0,01	0,6
Nitrites (mg/L)	0,11	0,05	0,07	0,12	0,05	0,09	0,06	0,01	0,1	0,1	0,01	0,12
Nitrates (mg/L)	1,32	1,42	0,82	0,84	0,74	0,8	0,84	1,34	50	1,0	0,74	1,42
Ammonium (mg/L)	0,01	0,01	0,14	0,15	0,18	0,2	0,19	0,23	0,5	0,1	0,01	0,23
Manganèse (mg/L)	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,1	0,0	0,001	0,002
Matières Organiques (mg/L)	9,04	6,6	2,33	9,96	7,84	7,3	0,6	0,34		5,5	0,34	9,96
Sodium (mg/L)	4,3	5,1	7,5	5,9	3,9	12	3,8	4,1		5,8	3,8	12
Magnésium (mg/L)	30	13	34	22	19	40	18	20		24,5	13	40
Calcium (mg/L)	4	6	10	0	4	2	6	6		4,8	0	10
Sulfates (mg/L)	22	14	14	22	20	18	15	24	150	18,6	14	24
Potassium (mg/L)	2,5	2	2,3	2,3	2,4	2,6	2,6	6,2		2,9	2	6,2
Phosphates (mg/L)	40	24,4	28,8	35,4	25,6	31,9	26,7	42,2		31,9	24,4	42,2
Bicarbonate (mg/L)	65	40	45	50	60	65	60	75		57,5	40	75
Soufre (mg/L)	7	5	5	7	7	6	5	8		6,3	5	8
Phosphores (mg/L)	13,2	8,1	7,5	11,7	8,4	10,5	8,8	13,9	1	10,3	7,5	13,9
Zinc (mg/L)	0,28	0,19	0,16	0,01	0,13	0,15	0,11	0,6	5	0,2	0,01	0,6
Silicates (mg/L)	18,5	8	10,5	5,3	13,5	107	12,5	89,5		33,1	5,3	107
Silice (mg/L)	8,5	3,5	5	2,5	6,5	50	6	42		15,5	2,5	50

II.2.2 Lagune Ebrie de Jacqueville

Les teneurs des paramètres élevés sont les fluorures en mai, les nitrites en juin, juillet, août, les sulfates en juin et le le phosphore en mai, août, septembre et octobre (Tableau VIII).

Tableau VIII: Paramètres organoleptiques et physico-chimiques de l'eau de la lagune de Jacqueville

Paramètre physico-chimique	Mai-18	Juin-18	Juil-18	Août-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Déc-18	Norme	Moy	Min	Max
Turbidité (en UNT)	3,51	36,3	1,25	1,61	5,43	1,62	2,24	1,52	50	6,33	1,25	36,3
Couleur (en UCV)	30	10	450	25	10	5	5	80		71,67	5	450
Conductivité (µS/cm)	5530	4880	5060	5040	4670	3190	4120	2700		4524,44	2700	5530
pH	6,79	7,25	7,65	6,5	8,24	7,11	6,71	7,01	(6-9)	7,12	6,5	8,24
Température (°C)	28,7	30,2	25,6	24,3	25,6	30,3	32	31,1		28,50	24,3	32
Fer total (mg/L)	0	0,01	0,05	0,35	0,01	0,05	0,01	0,25	0,3	0,08	0	0,35
TAC (mg/L)	105	65	115	130	45	115	80	115		97,22	45	130
DHT (°F)	2500	210	0	90	290	250	230	210		697,78	0	2500
Chlorures (mg/L)	1650	1900	2300	1300	1450	1750	15,5	1200	250	1468,39	15,5	2300
Aluminium (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,29	0,01	0,11	0,2	0,06	0,01	0,29
Fluorures (mg/L)	3,16	0,94	0,84	1,02	0,92	0,92	0,91	0,95	1,5	1,42	0,84	3,16
Nitrites (mg/L)	0	0,12	0,16	0,12	0	0	0,01	0,01	0,1	0,05	0	0,16
Nitrates (mg/L)	0,22	1,02	0,34	0,7	0,14	0,24	0,1	0,26	50	0,36	0,1	1,02
Ammonium (mg/L)	0,34	0,1	0,23	0,2	0,16	0,22	0,33	0,33	0,5	0,25	0,1	0,34
Manganèse (mg/L)	0,002	0	0,001	0,01	0,004	0	0,002	0,001	0,1	0,00	0	0,01
Matières Organiques (mg/L)	5,21	2,7	1,52	1,96	3,14	2,78	0,46	0,85		2,65	0,46	5,21
Sodium (mg/L)	1100	1250	1450	900	900	1100	14,4	350		907,16	14,4	1450
Magnésium (mg/L)	10	1700	900	1200	100	80	1900	100		666,67	10	1900
Calcium (mg/L)	1800	1200	1200	800	1200	3400	48	1600		1449,78	48	3400
Sulfates (mg/L)	150	155	136	122	124	160	106	95	150	133,11	95	160
Potassium (mg/L)	30	150	180	120	160	260	910	200		226,67	30	910
Phosphates (mg/L)	5,7	0	2,6	5	4	8,6	0,01	3,4		3,89	0	8,6
Bicarbonate (mg/L)	65	40	70	80	25	65	50	45		56,11	25	80
Soufre (mg/L)	50	50	46	40	42	50	36	31		43,89	31	50
Phosphores (mg/L)	1,9	0	0,9	1,7	1,3	2,8	0,01	1,1	1	1,29	0	2,8
Zinc (mg/L)	0,01	0,01	0	0,12	0,01	0,01	0,01	0,12	5	0,03	0	0,12
Silicates (mg/L)	4,1	0,1	3	21	4,3	17	1,4	55		12,22	0,1	55
Silice (mg/L)	1,9	0,1	1,4	10	2	8	0,7	26		5,78	0,1	26

II.2.3 La mer de Jacqueville

Les teneurs des fluorures sont élevées de juin à décembre, les ammoniums de mai à décembre, le phosphore de mai à août et en octobre (tableau IX).

Tableau IX: Paramètres organoleptiques et physico-chimiques de l'eau de mer de Jacqueville

Paramètres physico-chimiques	Mai-18	Juin-18	Juil-18	Août-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Déc-18	Norme	Moy	Min	Max
Turbidité (en UNT)	15,8	2,78	10,9	12,7	11	6,99	3,8	2,61	50	8,3	2,61	15,8
Couleur (en UCV)	85	10	270	60	5	5	5	35		59,4	5	270
Conductivité (µS/cm)	49800	52800	53500	55500	49700	37500	5520	37900		42777,5	5520	55500
pH	7,94	7,9	8,17	7,4	7,99	8,05	8,04	8,13	(6-9)	8,0	7,4	8,17
Température (°C)	27,2	25	25,1	23,8	25,3	30,1	30,1	29,5		27,0	23,8	30,1
Fer total (mg/L)	0,25	0	0,2	0,05	0	0	0,01	0	0,3	0,1	0	0,25
TAC (mg/L)	250	260	350	280	285	285	250	265		278,1	250	350
DHT (°F)	9000	6000	50	5500	3000	14500	5000	5000		6006,3	50	14500
Chlorures (mg/L)	3000	2550	4000	3600	3800	3200	3600	3200		3368,8	2550	4000
Aluminium (mg/L)	0,01	0,02	0,06	0,03	0,1	0,03	0,1	0,07	0,2	0,1	0,01	0,1
Fluorures (mg/L)	0,5	7,6	6,6	6,1	7,2	4,95	6,6	5,62	1,5	5,6	0,5	7,6
Nitrites (mg/L)	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,11	0,1	0,0	0	0,11
Nitrates (mg/L)	0,26	0,84	0,56	0,5	0,2	0,46	0,26	0,38	50	0,4	0,2	0,84
Ammonium (mg/L)	1,48	2,55	6,44	8,64	8,16	7,45	5,22	6,8	0,5	5,8	1,48	8,64
Manganèse (mg/L)	0,002	0	0,001	0,001	0	0	0	0,003	0,1	0,0	0	0,003
Matières Organiques (mg/L)	4,17	6,2	1,22	4,64	4,98	4,52	0,37	0,68		3,3	0,37	6,2
Sodium (mg/L)	2000	1700	2600	2400	2400	2000	2400	2000		2187,5	1700	2600
Magnésium (mg/L)	2200	8200	5000	10000	6500	1100	1400	290		4336,3	290	10000
Calcium (mg/L)	1000	2800	1000	800	1800	3000	1200	2200		1725,0	800	3000
Sulfates (mg/L)	94	134	138	128	155	150	134	110	150	130,4	94	155
Potassium (mg/L)	340	460	570	470	580	1100	1200	230		618,8	230	1200
Phosphates (mg/L)	5,6	5,9	4,1	4,6	2,3	3,9	0,01	0,1		3,3	0,01	5,9
Bicarbonate (mg/L)	150	155	201	165	170	170	150	160		165,1	150	201
Soufre (mg/L)	31	44	46	42	50	50	44	36		42,9	31	50
Phosphores (mg/L)	1,8	1,9	1,4	1,5	0,8	1,3	0,01	0,1	1	1,1	0,01	1,9
Zinc (mg/L)	0,09	0,08	0,13	0,3	0,05	0,02	0,01	0,09	5	0,1	0,01	0,3
Silicates (mg/L)	5	2,7	5	18	3,3	114	0,5	6		19,3	0,5	114
Silice (mg/L)	2,4	1,3	2,4	8,5	1,6	54	0,2	2,5		9,1	0,2	54

II.2.4 Évolution des paramètres mesurés en fonction des mois

✓ La couleur

Les couleurs de la lagune et de la mer se chevauchaient avec un pic en juillet tandis que celle du lac paraissait plus élevée.

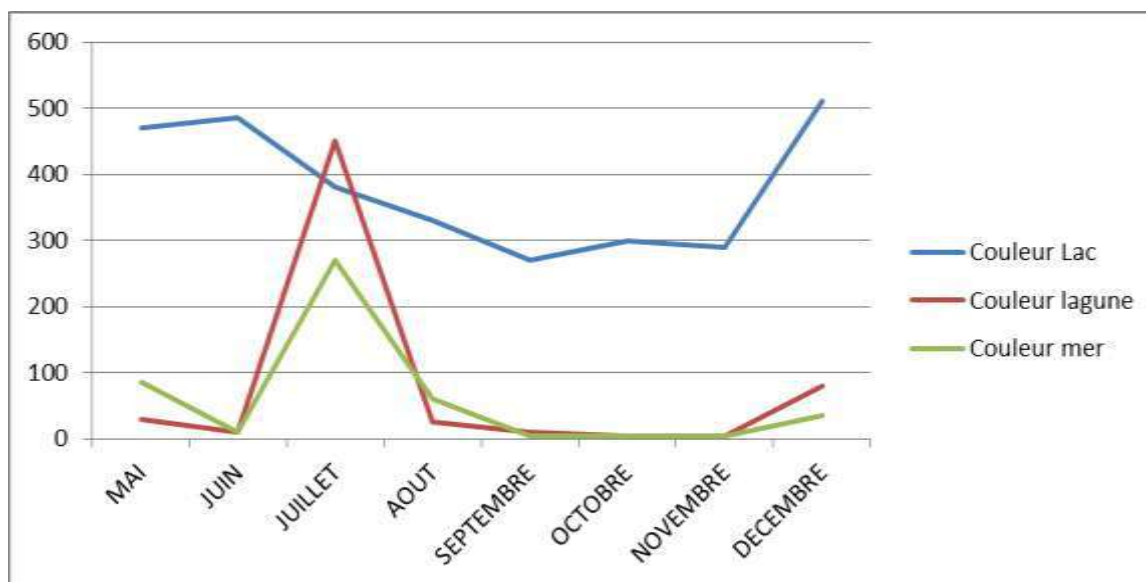


Figure 7: Evolution de la couleur du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

✓ La température

La température du lac, lagune et la mer évoluaient pratiquement dans le même sens.

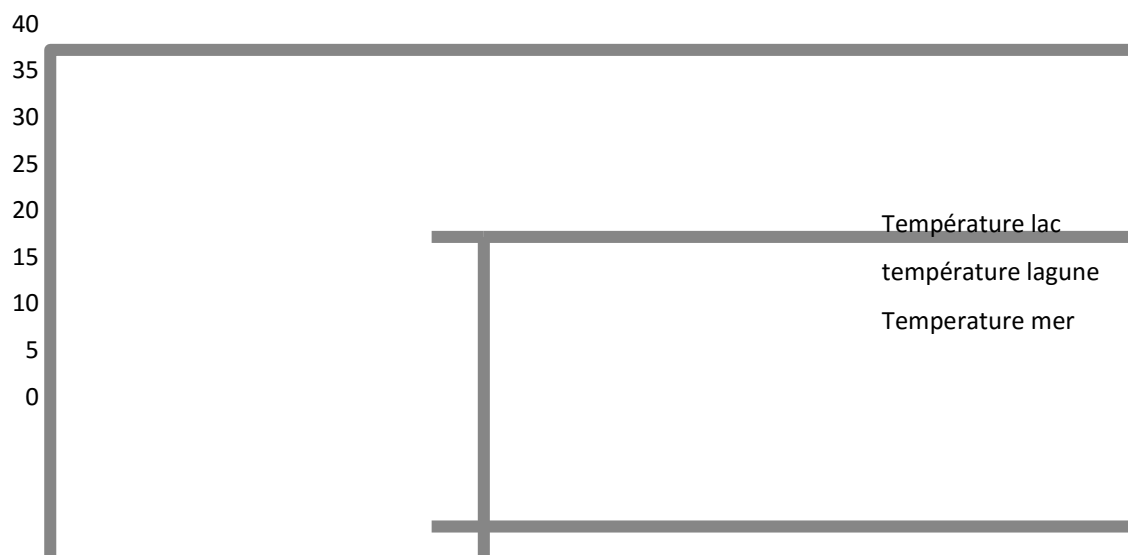


Figure 8: Evolution de la température du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

✓ Le pH

Le pH du lac, de la lagune et de la mer évoluaient pratiquement dans le même sens durant toute l'étude avec celle du lac qui était supérieure rapport aux deux autres.

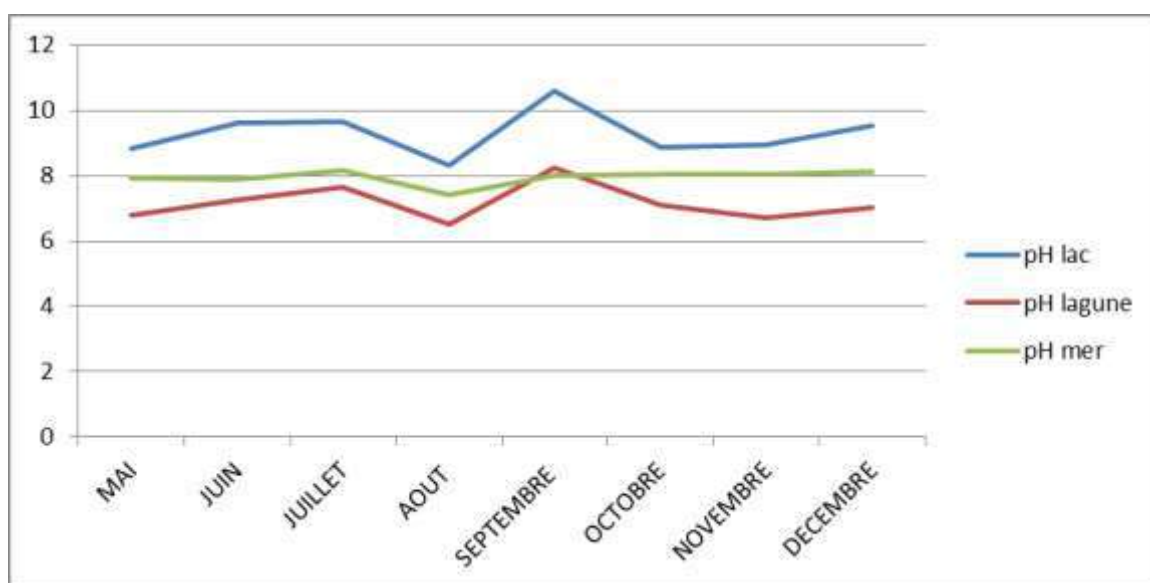


Figure 9: Evolution du pH du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

✓ La conductivité

La conductivité croît du lac à la mer en passant par la lagune.

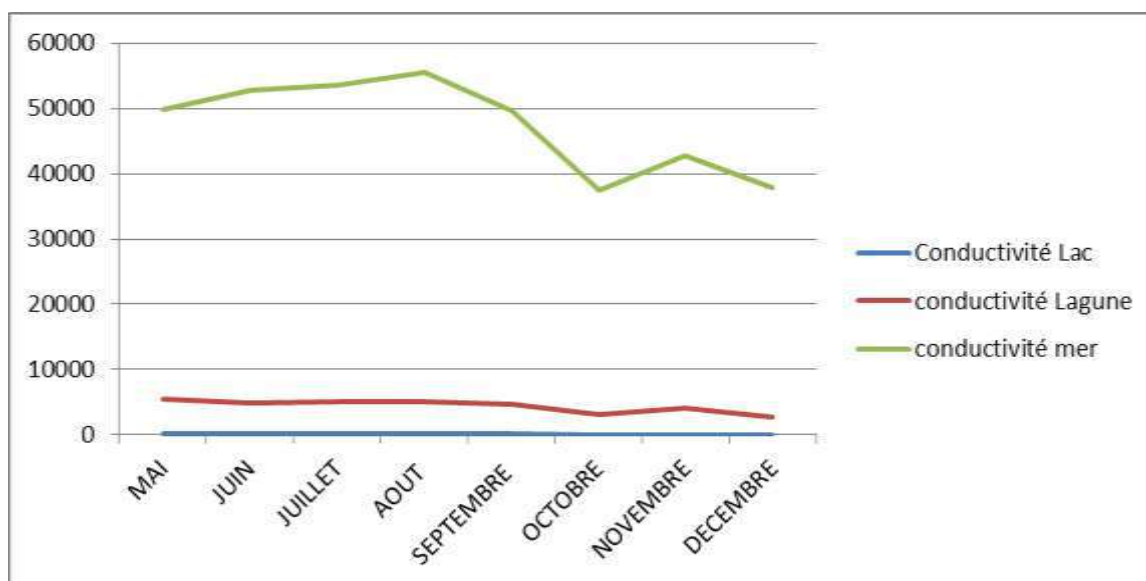


Figure 10: Evolution de la conductivité du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

✓ Le TAC

Le TAC évoluaient dans le même sens pratiquement et constant avec celui de la mer qui est au-dessus du lac et la lagune.

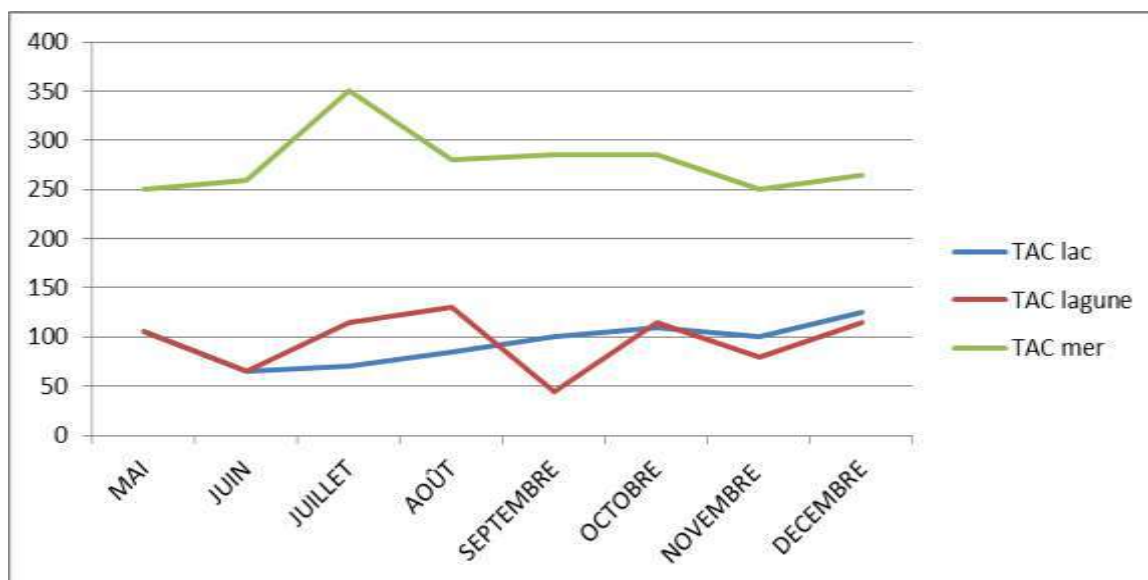


Figure 11: Evolution du TAC du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

✓ Le DHT

Le DHT du lac et de la lagune était constant et quasi nul par contre celui de la mer nous montre une décroissante avec un pic observé en juillet suivi d'une évolution pour atteindre un pic maximum dans le mois d'octobre.

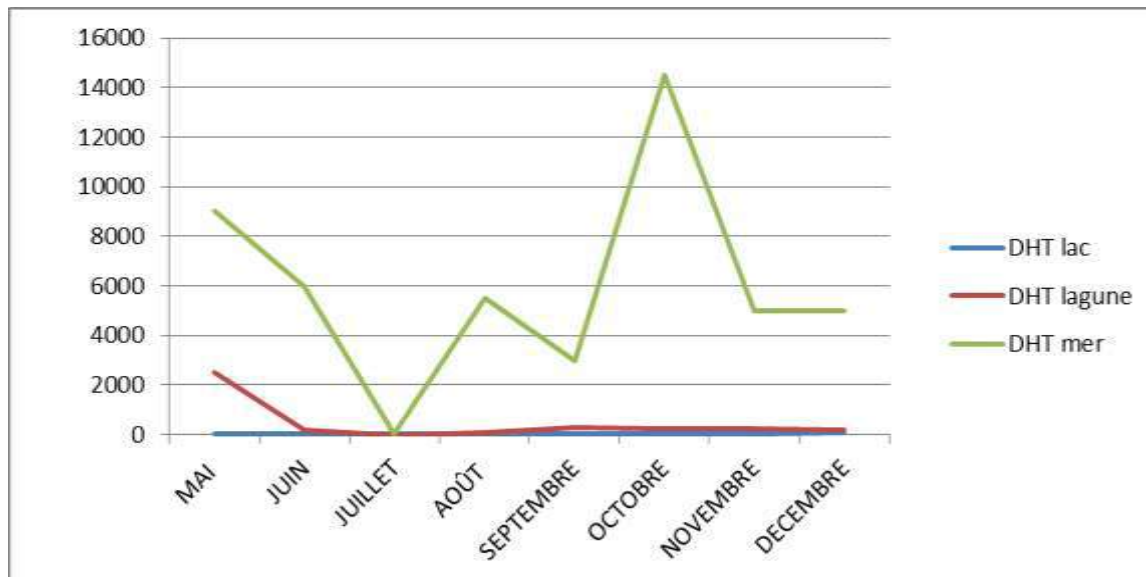


Figure 12: Evolution du DHT du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

✓ Le manganèse

Le manganèse du lac et de la mer évoluait dans le même sens tandis que celle de la lagune présentait un pic élevé dans le mois d'août.

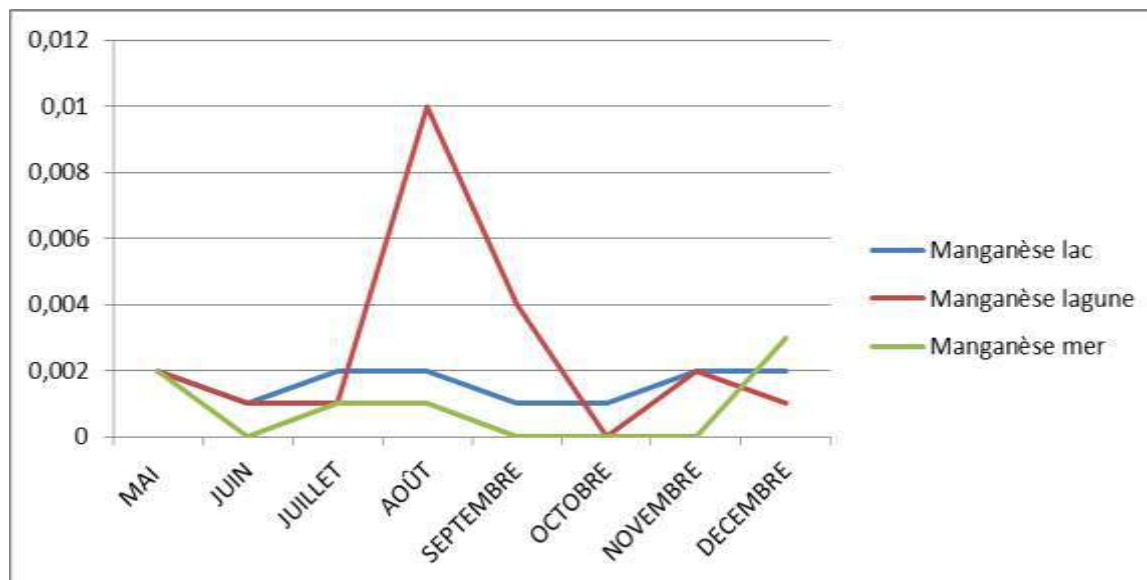


Figure 13: Evolution du manganèse du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

✓ Silice et silicate

Les silices et les silicates évoluaient pratiquement dans le même sens avec un pic élevé dans le mois d'octobre du lac et de la mer.

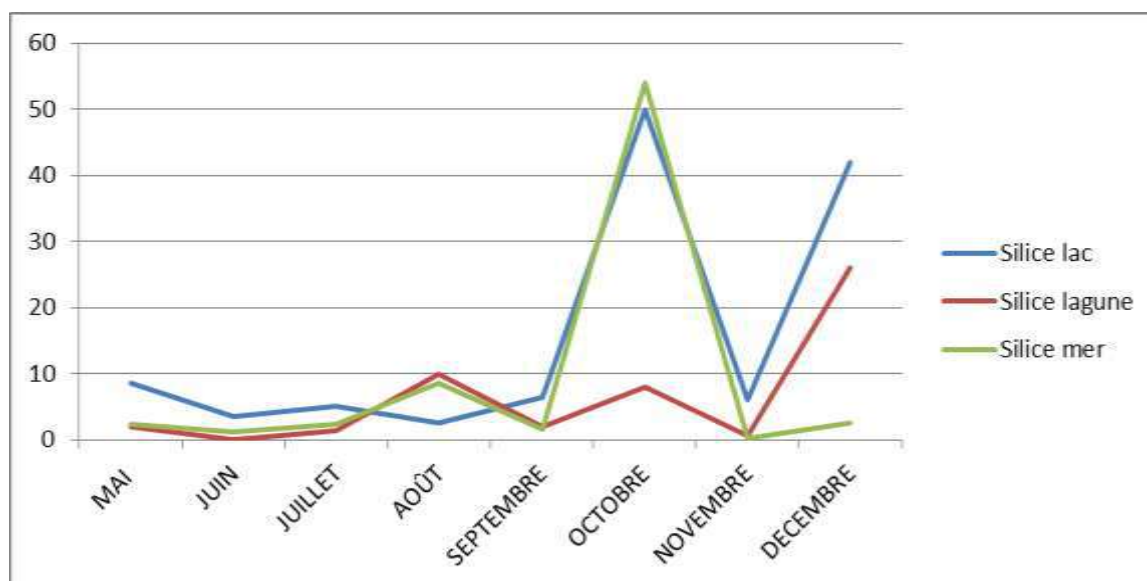


Figure 14: Evolution des silices du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

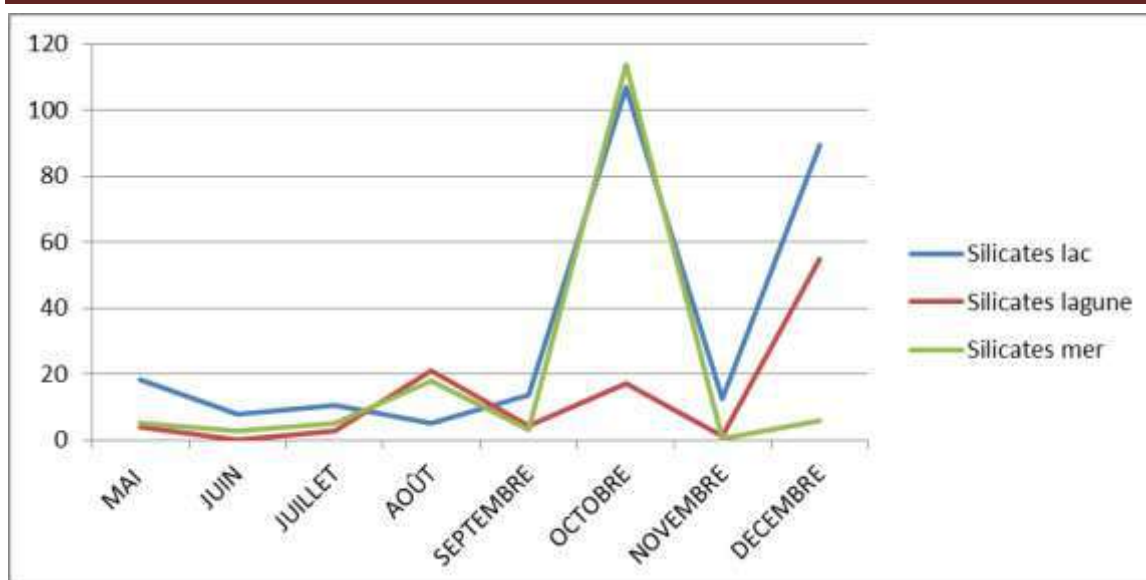


Figure 15: Evolution des silicates du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

✓ Phosphore, nitrate et soufre

Le phosphore, le nitrate et le soufre avaient une évolution similaire. Un chevauchement entre la lagune et la mer avec celui du lac significativement supérieure pour le phosphore et le nitrate. Tandis que l'inverse sera observé avec le soufre.

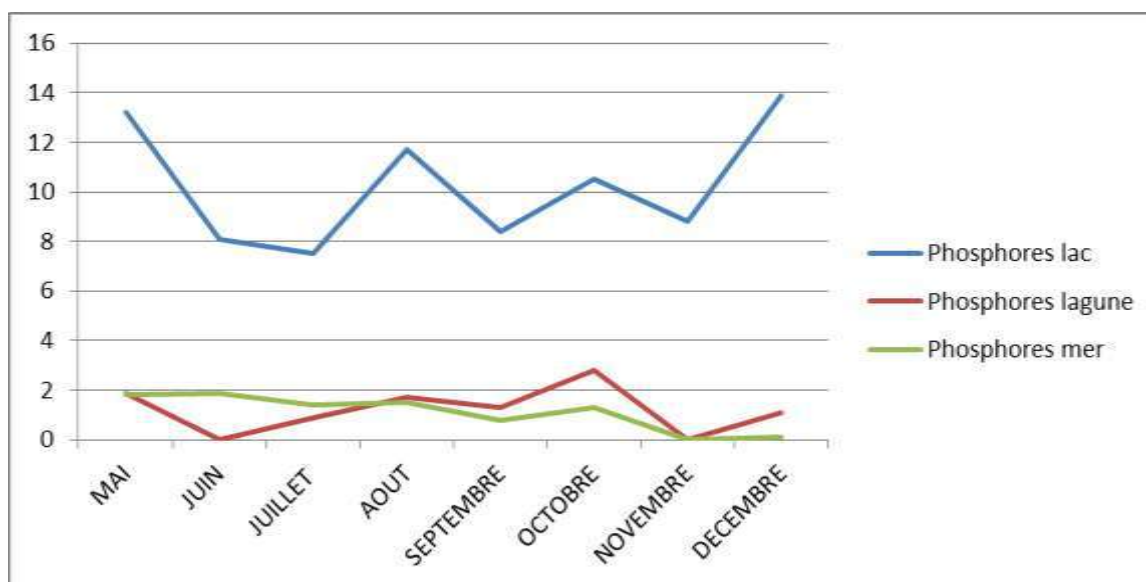


Figure 16: Evolution du phosphore du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

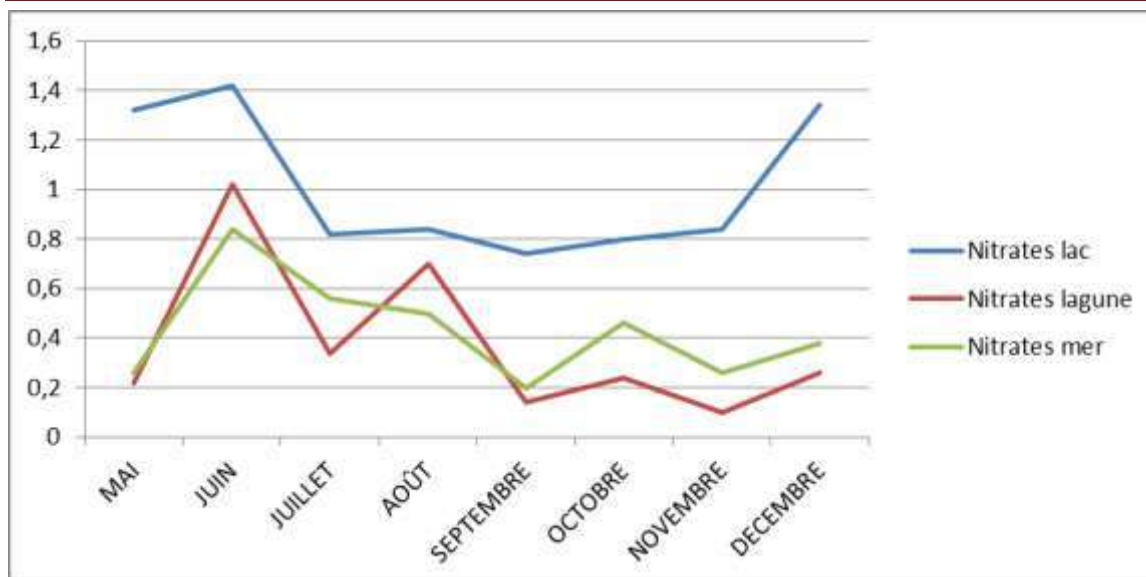


Figure 17: Evolution du nitrate du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

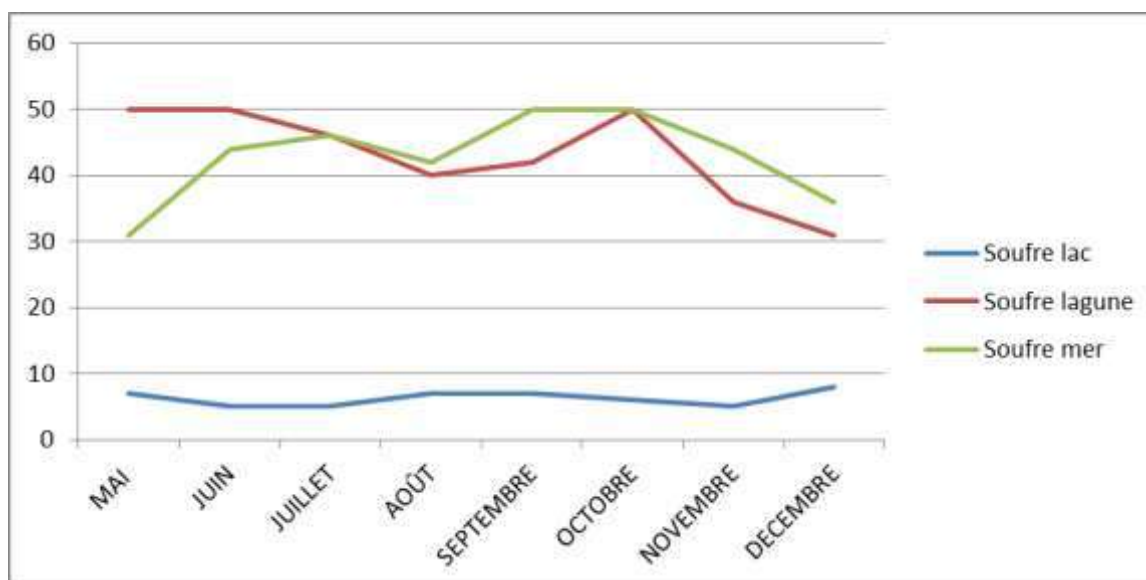


Figure 18: Evolution du soufre du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

II.2.5 Comparaison de l'analyse physico-chimique

- Lac - lagune - mer

La comparaison des moyennes de chacun des paramètres mesurés avait été faite avec le Test d'Anova à un facteur, comparant l'eau du lac à celle de la lagune et de la mer.

Tableau X: Comparaison des moyennes

P-value	Lagune vs Mer	Lac vs Mer	Lagune vs Lac
Turbidité (en UNT)	0,36388884	0,00012251	0,00021217
Couleur (en UCV)	0,3921614	3,9374E-06	0,00015955
Conductivité (μS/cm)	6,429E-06	1,954E-06	3,4552E-09
pH	0,00124806	8,4716E-05	5,186E-06
Température (°C)	0,15275766	0,11303561	0,39761024
Fer total (mg/L)	0,32471222	0,01789207	0,01972436
TAC (mg/L)	6,3239E-09	9,8061E-10	0,46150618
DHT (°F)	0,00146269	0,00073437	0,0826262
Chlorures (mg/L)	5,9336E-06	4,8564E-12	1,6138E-05
Aluminium (mg/L)	0,3817858	0,03920286	0,09404928
Fluorures (mg/L)	5,8323E-05	4,1963E-06	0,00205216
Nitrites (mg/L)	0,13549424	0,00841862	0,26547754
Nitrates (mg/L)	0,34439519	0,00019613	0,00044919
Ammonium (mg/L)	1,3878E-05	1,1532E-05	0,01795364
Manganèse (mg/L)	0,08354313	0,05449372	0,19911895
Matières Organiques (mg/L)	0,15116019	0,09587524	0,02345538
Sodium (mg/L)	6,7282E-06	4,4864E-12	6,6465E-05
Magnésium (mg/L)	0,00807864	0,00233015	0,01016561
Calcium (mg/L)	0,24835849	3,0068E-05	0,00053007
Sulfates (mg/L)	0,47757708	1,7201E-10	1,1689E-09
Potassium (mg/L)	0,01716136	9,7167E-05	0,01129977
Phosphates (mg/L)	0,39613241	9,3108E-09	1,5845E-08
Bicarbonate (mg/L)	2,2869E-09	2,4752E-10	0,3738217
Soufre (mg/L)	0,47152666	1,6376E-10	4,4529E-10
Phosphores (mg/L)	0,3967859	3,8701E-08	6,3276E-08
Zinc (mg/L)	0,06417239	0,0746641	0,01117685
Silicates (mg/L)	0,34716619	0,24911485	0,11461587
Silice (mg/L)	0,34858564	0,25253656	0,11640343

P-value < 0,05 : Différence significative

De plus la turbidité du lac est significativement plus trouble par rapport à celle de la lagune et de la mer (Figure 13). Il y a une forte corrélation positive de la turbidité avec les nitrates, la couleur et les phosphates avec un R proche de 1 (Figure 14).

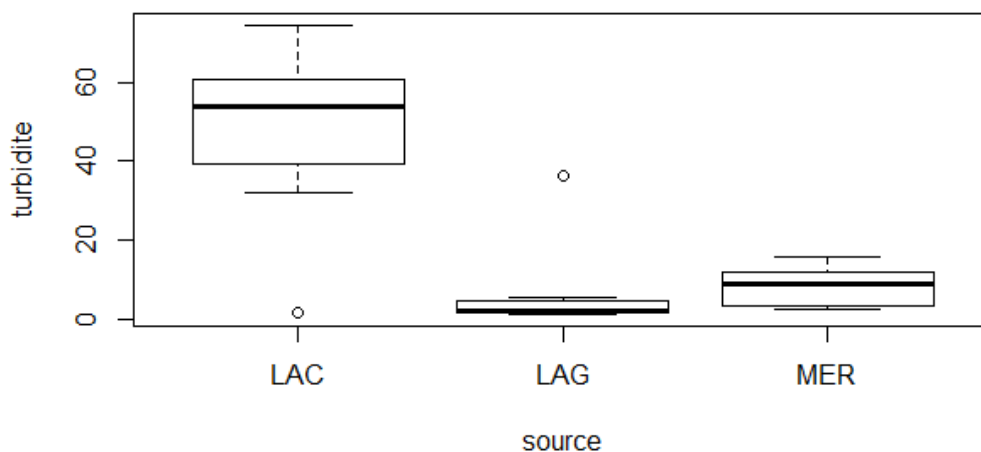


Figure 19: Boxplot de la turbidité du lac, de la lagune et de la mer

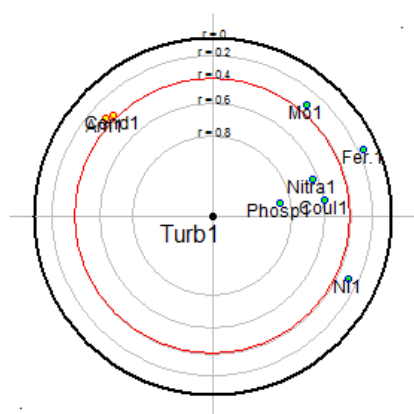


Figure 20: Analyse en composante principale de la turbidité en fonction des autres paramètres

❖ **PROFIL CARACTERISTIQUE DE CHAQUE TYPE D'EAU**

Quelques valeurs paramétriques de différences significatives ont permis de caractériser ces eaux de baignade. Les valeurs de la conductivité, des chlorures, du DHT, du sodium, du potassium, magnésium et du calcium croissaient significativement dans l'ordre de lac-lagune-mer. Les silicates et la silice décroissaient dans l'ordre de lac-mer-lagune par contre les bicarbonates et allaient de façon significative croissante dans l'ordre de lagune-lac-mer.

Tableau XI: Profil de caractérisation différentiel du lac, de la lagune et de la mer de Jacqueville par les paramètres physico-chimiques

Paramètres physico-chimiques	Lac	Lagune	Mer
	Moyenne±ecartype	Moyenne±ecartype	Moyenne±ecartype
conductivité (uS.cm)	95,09±44,21	4524,45±906,74	42777,50± 16536,90
chlorure (mg/l)	10,65±8,83	1468,39±727,79	3368,75± 471,27
DHT (°F)	45,62±9,04	697,78±208,74	6006,25± 4274,54
sodium (mg/l)	5,82±2,79	907,156±460,55	2187,5±304,43
potassium (mg/l)	2,8625±1,36	226,67±288,04	618,75±348,36
magnésium (mg/l)	24,5±9,19	666,67±688,25	4336,25±3628,45
calcium (mg/l)	4,75±3,011	1449,78±1130,93	1725±862,48
bicarbonates (mg/l)	57,5±2,44	56,11±16,67	165,12±16,57
silice (mg/l)	15,5±19,03	5,78±9,11	9,11±18,31
silicate (mg/l)	33,1±40,67	12,22±19,28	19,31±38,62

II.3 Analyse microbiologique

II.3.1 Lac de Mambé Eiminkoa de Jacqueville

Les *E. coli*, les coliformes totaux et thermo tolérants variaient de la même manière avec une concentration maximale de 1100 UFC/100 ml dans le mois de Mai et une minimale de 6 UFC/100 ml dans le mois de octobre 2018.

Entérocooccus faecalis avait une concentration élevée dans le mois de mai de 2000 UFC/100 ml et une minimale dans le mois de octobre.

On observe également la présence d'ASR, une forte présence de levure dans le mois de Mai et en faible quantité dans le mois de juin. Présence de quelques moisissures dans le mois de juin.

Tableau XII: Paramètres microbiologiques l'eau du lac de Jacqueville

Période de prélèvement	Mai-18	Juin-18	Juil-18	Août-18	Oct-18	Sep-18	Nov-18	Déc-18
Heure de prélèvement	10H 02	11H 16	11H 05	10H 54	10H 16	11H 05	9H 53	13h 10
Heure d'analyse	12H 30	14H 42	12H 33	12H 50	12H 44	12H 45	10H 20	14h 35
Coliformes T	1100	200	33	48	6	200	600	100
Coliformes TH	1100	200	33	48	6	200	600	100
<i>E coli</i>	1100	200	33	48	6	200	600	100
<i>Ent faec</i>	2000	1000	100	200	100	500	700	300
<i>Staph aureus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
ASR	0	2	0	0	4	3	4	10
<i>Pseud aerug</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Vibrio</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Salmonella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Shigelle</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
Levures	1800	10	0	0	0	0	0	0
Moisissures	0	57	0	0	0	0	0	0
<i>Légionnella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0

II.3.2 La lagune Ebrié de Jacqueville

Une forte concentration est observée dans le mois de octobre pour certains paramètres notamment les coliformes totaux et thermo tolérants, *E coli* avec 19200 UFC/100 ml et une minimale dans le mois de juillet 6 UFC/100 ml. Ces trois paramètres évoluaient tous dans le même sens. La présence des levures était remarquables avec une forte concentration de 12600 UFC/100 ml dans le mois de mai. Quant aux *Enterococcus faecalis* elles étaient plus présent dans le mois de juin avec une concentration maximale de 47200 UFC/100 ml et les moisissures avec une concentration de 62 UFC/100 ml.

Tableau XIII: Paramètres microbiologiques l'eau de la lagune de Jacqueville

Période de prélèvement	Mai-18	Juin-18	Juil-18	Août-18	Oct-18	Sep-18	Nov-18	Déc-18
Heure de prélèvement	9H 20	11H 30	10H 10	10H 16	10H 44	10H 15	10H 21	12H 25
Heure d'analyse	12H 30	14H 42	12H 33	12H 50	12H 44	12H 45	10H 20	14h 35
Coliformes T	16000	1700	6	1600	19200	100	1100	1800
Coliformes TH	16000	1700	6	1600	19200	100	1100	1800
<i>E coli</i>	16000	1700	6	1600	19200	100	1100	1800
<i>Ent faec</i>	8000	47200	100	700	15600	300	900	4500
<i>Staph aureus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
ASR	0	3	2	3	13	0	2	0
<i>Pseud aerug</i>	0	0	9	0	16	0	0	0
<i>Vibrio</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Salmonella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Shigelle</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
Levures	126000	17	0	0	0	1	0	2200
Moisissures	0	62	0	0	0	0	3	0
<i>Légionnella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0

II.3.3 La mer de Jacqueville

Une présence identique des coliformes totaux et thermo tolérants, remarquables dans le mois de novembre avec une concentration de 300 UFC/100 ml. Une présence également de *E coli* quasi identique sauf dans le mois d'octobre. Quant aux *Enterococcus faecalis* et les levures plus présent dans le mois de mai. On observe également la présence de quelques moisissures dans le mois de juin.

Tableau XIV: Paramètres microbiologiques de l'eau de mer de Jacqueville

Période de prélèvement	Mai-18	Juin-18	Juil-18	Aoû-18	Oct-18	Sep-18	Nov-18	Déc-18
heure de prélèvement	9H 47	12H 15	10H 44	10H 40	11H 03	10H 50	10H 41	12h 50
heure d'analyse	12H 30	14H 42	12H 33	12H 50	12H 44	12H 45	10H 20	14h 35
Coliformes T	37	200	20	17	47	55	300	200
Coliformes TH	37	200	20	17	47	55	300	200
<i>E coli</i>	37	100	20	17	38	55	300	200
<i>Ent faec</i>	800	300	100	1	300	100	100	100
<i>Staph aureus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
ASR	0	2	0	0	1	0	0	10
<i>Pseud aerug</i>	0	0	3	0	13	4	6	8
<i>Vibrio</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Salmonella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Shigelle</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
Levures	9800	11	0	0	0	0	0	0
Moisissures	0	196	0	0	0	0	0	0
<i>Légionnella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0

II.4 Comparaison aux normes

II.4.1 Comparaison aux normes ivoiriennes

Pour l'appréciation de la qualité de l'eau de baignade, les normes ivoiriennes tiennent compte des bactéries telles que les coliformes totaux, *E. coli*, Salmonelles, shigelles, Staphylocoques et des paramètres physicochimique comme le pH. Les non-conformités ont porté sur les coliformes totaux et coliformes thermo tolérants dans les mois de mai et de septembre 2018 et le pH dans les mois de juin, juillet, septembre et décembre 2018 (Tableau XV).

Tableau XV: Comparaison aux normes ivoiriennes

Sources	Germes	Mai-18	Juin-18	Juil-18	Août-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Déc-18	Normes Ufc/100 ml
Lac	coliformes totaux	1100	200	33	48	6	200	600	100	<10000
	coliformes thermo tolérants	1100	200	33	48	6	200	600	100	<2000
	salmonelles	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	staphylocoques	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	pH	8,83	9,63	9,66	8,3	10,59	8,86	8,94	9,53	6-9
Lagune	coliformes totaux	16000	1700	6	1600	19200	100	1100	1800	<10000
	coliformes thermo tolérants	16000	1700	6	1600	19200	100	1100	1800	<2000
	salmonelles	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	staphylocoques	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	pH	6,79	7,25	7,65	6,5	8,24	7,11	6,71	7,01	6-9
Mer	coliformes totaux	37	200	20	17	47	55	300	200	<10000
	coliformes thermo tolérants	37	200	20	17	47	55	300	200	<2000
	salmonelles	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	staphylocoques	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	pH	7,94	7,9	8,17	7,4	7,99	8,05	8,04	8,13	6-9

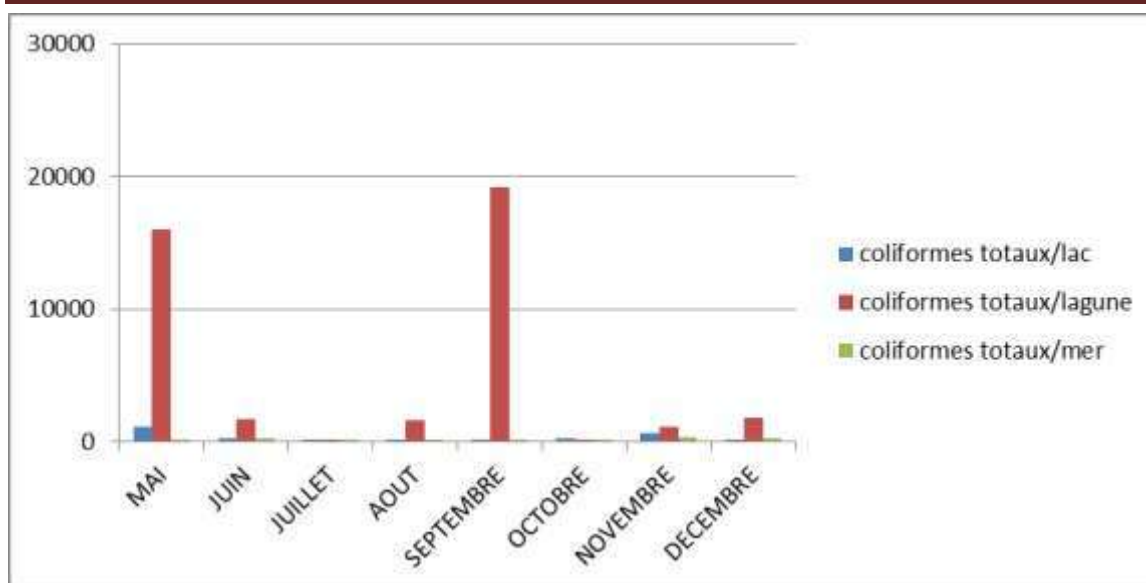


Figure 21: Evolution des coliformes totaux du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.

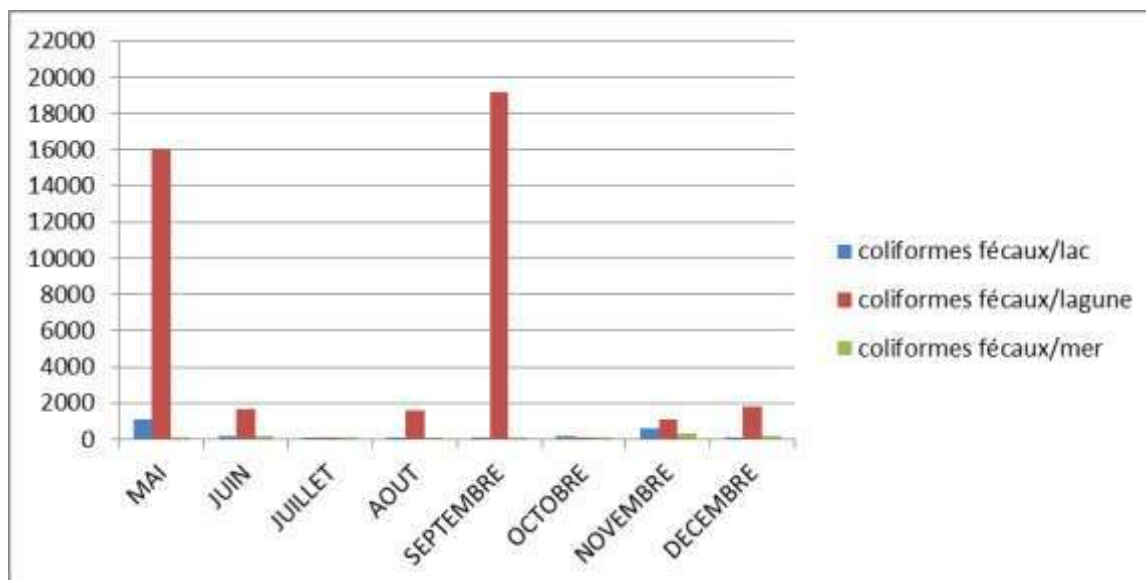


Figure 22: Evolution des coliformes fécaux du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.

II.4.2 Comparaison aux normes algériennes

Les normes algériennes prennent en compte les Entérocoque en plus des paramètres listés dans la norme ivoirienne pour l'appréciation de la qualité de l'eau de baignade. Les non-conformités ont porté sur les coliformes totaux, *E. coli* et les entérocoques (Tableau XVI).

Tableau XVI: Comparaison aux normes algériennes

Source	Germes	Mai-18	Jui-18	Juil-18	Août-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Déc-18	VG	VI
Lac	Coliformes totaux	1100	200	33	48	6	200	600	100	500	10000
	<i>E. coli</i>	1100	200	33	48	6	200	600	100	100	2000
	Entérocoques	2000	1000	100	200	100	500	700	300	100	-
	pH	8,83	9,63	9,66	8,3	10,59	8,86	8,94	9,53		6-9
Lagune	Coliformes totaux	16000	1700	6	1600	19200	100	1100	1800	500	10000
	<i>E. coli</i>	16000	1700	6	1600	19200	100	1100	1800	100	2000
	Entérocoques	8000	47200	100	700	15600	300	900	4500	100	-
	pH	6,79	7,25	7,65	6,5	8,24	7,11	6,71	7,01		6-9
Mer	Coliformes totaux	37	200	20	17	47	55	300	200	500	10000
	<i>E. coli</i>	37	100	20	17	38	55	300	200	100	2000
	Entérocoques	800	300	100	1	300	100	100	100	100	-
	pH	7,94	7,9	8,17	7,4	7,99	8,05	8,04	8,13		6-9

VG : valeur guide, VI : valeur impérative

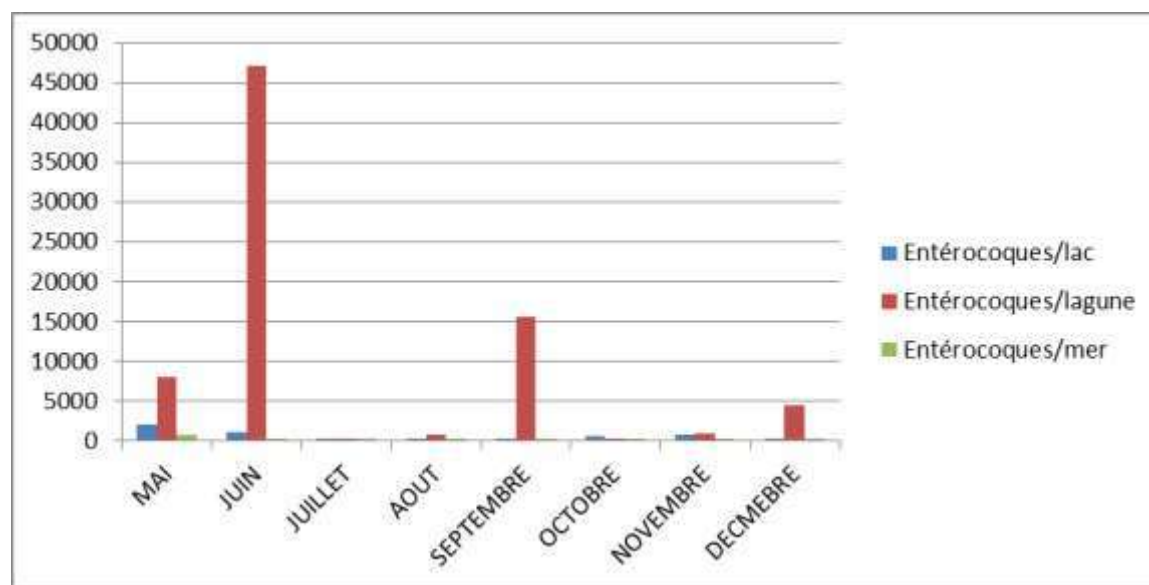


Figure 23: Evolution des Entérocoques du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.

II.4.3 Comparaison aux normes américaines et canadiennes

Comparativement aux normes américaines, les eaux analysées sont impropres à la baignade (Tableau XVIII). Tandis que l'eau du lac est conforme à la baignade selon la norme canadienne (Tableau XIX).

Tableau XVII: Comparaison aux normes américaines

Sources	Germes	Moyennes géométriques	Interprétation/ bactérie	Décision	Normes UFC/100 ml
Lac	<i>E. coli</i>	112,19	C	NC	126
	Entérocoques	378,36	NC		33
Lagune	<i>E. coli</i>	999,08	NC	NC	126
	Entérocoques	2175,1	NC		33
Mer	Entérocoques	95,98	NC	NC	35

C : Conforme ; NC : Non Conforme

Tableau XVIII: comparaison aux normes canadiennes

Sources	Germes	Moyennes Géométriques	Décision	Normes Ufc/100 MI
Lac	<i>E.coli</i>	112,19	C	<200
Lagune	<i>E.coli</i>	999,08	NC	<200
Mer	Entérocoques	95,98	NC	<35

C : Conforme ; NC : Non Conforme

II.4.4 Comparaison aux normes européennes et OMS

Comparativement aux normes européennes, les eaux du lac et de la lagune analysées sont impropres à la baignade. Concernant l'eau de mer, le taux d'*E.coli* était satisfaisant aux normes et le taux d'entérocoques supérieurs à la norme donc eaux également impropres à la baignade (Tableau XX).

Comparativement aux normes OMS, les eaux analysées du lac et de la lagune sont impropres à la baignade, tandis que celle de la mer avec un taux inférieur à la norme est satisfaisante à la baignade (Tableau XXI).

Tableau XIX: Comparaison aux normes européennes

Sources	Germes	95 Centiles	90 Centiles	Décision	Normes	
					95 Centiles	90 Centiles
Lac	<i>E.coli</i>	925	750	NC	<500	<500
	Entérocoques	1650	1300		<185	<200
Lagune	<i>E.coli</i>	18080	16960	NC	<500	<500
	Entérocoques	36140	25080		<185	<200
Mer	<i>E.coli</i>	265	230	NC	<500	<500
	Entérocoques	625	450		<185	<200

C : Conforme ; NC : Non Conforme

Tableau XX: Comparaison aux normes OMS

Sources	Germes	90 Centiles	Décision	Normes Ufc/100 Ml
Lac	Entérocoques	1300	NC	<500
Lagune	Entérocoques	25080	NC	
Mer	Entérocoques	450	C	

C : Conforme ; NC : Non Conforme

III DISCUSSION

III.1 Caractérisation des trois types d'eau

Une campagne de prélèvement d'échantillons d'eau a été effectuée dans la ville de Jacqueville sur une durée de 8 mois à raison d'un prélèvement mensuel sur chacun des trois types d'eau (mer, lagune et lac). Sur chaque échantillon d'eau, vingt-huit (28) paramètres physicochimiques et treize (13) paramètres microbiologiques ont été analysés. Il ressort de ces analyses que les valeurs de huit (8) paramètres que sont la conductivité, les fluorures, les chlorures, l'ammonium, le sodium, le magnésium, le potassium et le pH sont statistiquement différentes d'une eau à une autre. Ces résultats sont similaires à ceux de Blé qui a travaillé sur ces mêmes eaux de décembre 2017 à avril 2018 à l'exception du pH était non significative entre les eaux de la lagune et de la mer [6].

Les variations spatio-temporelles de la salinité et de la conductivité ont présenté une évolution parallèle. En effet les valeurs de ces deux paramètres ont évolué pour atteindre leur maximum dans le mois de juillet et septembre 2018. De tels résultats indique une étroite corrélation entre ces deux paramètres comme l'on déjà souligné **Kambiré et al.** en 2014 [50].

Les valeurs de la conductivité de la lagune (2,7-5,53 $\mu\text{S}/\text{cm}$) étaient inférieures à celles mesurés par **Affian et al.** (2002) [51] dans cette même lagune ébrié et supérieur à celles (0,06-2,13 $\mu\text{S}/\text{cm}$) mesurés par **kambiré et al.** (2012) dans la lagune aby [52].

Les teneurs des nitrates (0,36 mg/l) et les nitrites (0,05 mg/l) dans les eaux étaient très faibles par rapport aux normes OMS (2014) qui sont de 50 mg/l et de 0,1 mg/l respectivement [53].

III.2 Pollution des eaux

Sur le plan physico-chimique, les taux élevés de la turbidité et de la couleur du lac sont significativement supérieures à ceux de la lagune et de la mer. Ces résultats sont identiques à ceux de BLE [54]. Cela pourrait s'expliquer par des activités de lavandiers (fanico) et le lessivage des sols qui a drainé plus de matière organique et de débris important. Les concentrations en phosphates de la lagune et de la mer étaient inférieures à celle du lac avec une différence significative. Ces résultats étaient similaires à ceux réalisés par **Abai et al.** (2014) sur les eaux de surfaces à N'Gaoundéré au Cameroun [55].

Les pH du lac en juin, juillet, septembre et décembre 2018 sont supérieurs à 9. Ces valeurs sont différentes de ceux observés par **Kpidi et al.** en juin et juillet 2014 [56] sur le même lac avec des pH respectant les normes (pH 6-9). Cette hausse pourrait donc se justifier par l'accroissement de la population, la géologie du sol et l'activité des organismes aquatiques. Selon **Inza et al.** (2009) les valeurs des pH les plus élevés s'observent pendant la période d'étiage [57].

La température moyenne du lac, de la lagune et de la mer était respectivement de, 28,8°C, 28,5°C, 27°C. Celle du lac était comparable aux eaux du lac du Maroc dont l'étude a été réalisée par **Lalani et al.** (2011) [58]. La température du lac, de la lagune et de la mer pouvait atteindre les 33,4°C, 32°C et 30,1°C. Cette hausse s'expliquerait par le fait que la Côte d'Ivoire a un climat tropical. Ces résultats sont similaires à ceux de **Toule et al.** (30,5-35°C) sur le lac et la lagune [59].

Les germes indicateurs de pollution fécale les plus fréquemment rencontrés sont *E. coli* et *E. faecalis*. La lagune est la plus polluée au plan microbiologique devant le lac et enfin la mer. Les taux les plus élevés en *E. coli* et *E. faecalis* sont notés sur la lagune en mai, juin, septembre et décembre 2018.

Concernant les entérocoques, leurs concentrations maximales ont atteint 2000 UFC/100 ml pour le lac, 47200 UFC/100 ml pour la lagune et

800 UFC/100 ml pour la mer. Cette hausse pourrait s'expliquer par la saison pluvieuse (grande saison des pluies), la défécation sur pilotis. La détection de ces bactéries signale la contamination d'origine fécale de l'eau et de ce fait, la présence possible de bactéries, virus ou protozoaires fécaux pathogènes [41].

La présence de ces marqueurs qui sont des indicateurs de pollution fécale prouvent que les eaux analysées sont polluées. Cette pollution peut être due à un manque de latrine, la défécation à l'air libre et l'évacuation des déchets domestiques dans les eaux. Cette pollution des eaux de surface a été rapportée dans plusieurs pays africains notamment au Burkina Faso, au Bénin, au Maroc et en Algérie [50–52]

III.3 Comparaison aux normes d'eaux de baignade aménagées

La qualité hygiénique des eaux de baignades est d'une importance capitale. Le risque sanitaire lié à la pollution des eaux de baignade est avant tout microbiologique. Le contrôle repose essentiellement sur la détection et l'énumération de bactéries indicatrices de pollution fécale telles qu'*E. coli*, le meilleur indicateur de contamination fécale pour les eaux douces et *E. faecalis* pour les eaux marines.

Les résultats microbiologiques des eaux de baignade du lac Mambé, de la lagune Ebrié et de la mer de Jacqueville ont été comparés aux normes ivoiriennes, algériennes, canadiennes, européennes; à celle de l'Agence américaine de protection de l'environnement (US EPA) et à celle de l'OMS.

Pour une eau de baignade de qualité satisfaisante, la norme ivoirienne recommande qu'il y'est une absence de salmonelle, vibrion, shigelle et moins de 10000 UFC/100 ml de coliformes totaux et 2000 UFC/100 ml de coliformes fécaux[5]. Pour cette norme, la mer et le lac sont de qualité satisfaisante sur toute la période d'étude et le lac de qualité non-satisfaisante en mai et en septembre 2018. Comparativement aux normes algériennes, une eau est de qualité satisfaisante lorsque les taux des coliformes totaux, d'*E coli* et d'*E faecalis* sont

respectivement inférieurs à 500, 100 et 100 UFC/100 ml. Une eau est de qualité acceptable et doit être mise sous surveillance lorsque les taux des coliformes totaux sont inférieurs à 10000 UFC/100 ml, d'*E. coli* à 2000 UFC/100 ml et celui d'*E. faecalis* supérieur à 100 UFC/100 ml. Sur cette base, les eaux du lac et de la mer ont été de qualité soit satisfaisante pour la baignade, soit acceptable sur la période de l'étude (mai à décembre 2018). Quant à la lagune, la qualité a été non-satisfaisante en mai et en septembre 2018. Ces résultats sont différents de ceux de BLE (2018) qui a obtenu des qualités non-satisfaisantes pour les trois types d'eau durant la période de décembre 2017 à avril 2018 [6].

La comparaison aux normes américaines et canadiennes se base sur des moyennes géométriques des valeurs paramétriques d'*E. coli* pour les eaux douces et ou d'*E. faecalis* pour les eaux marines. Le lac (une eau douce) a répondu aux spécifications de cette norme. Il est donc apte à la baignade. Les deux autres eaux, la lagune et la mer, ont été de qualité non satisfaisante à la baignade.

Comparé également aux normes OMS et européennes, les eaux du lac et de la lagune analysées sont de qualité non satisfaisante pour la baignade car les 90^e et 95^e centiles étaient supérieures aux valeurs de la classe D. En effet, la classe D (eaux de mauvaise qualité) correspond à des eaux dont les percentiles (bactéries) sont supérieurs à 1000 [60]. Le taux d'*E. coli* et/ou d'Entérocoques de la mer pour les normes européennes et OMS sont conformes et donc satisfaisant à la baignade. Ces résultats sont similaires à ceux de DJEDJRO (2018) [61] sur les eaux de mer de Vridi et Port bouet.

CONCLUSION

Notre étude avait pour objectif de caractériser les eaux de baignade de Jacqueville notamment le lac, la lagune et la mer de mai à décembre 2018. La stratégie adoptée était de :

- faire des campagnes de prélèvements des échantillons d'eau sur des sites géoréférencés ;
- réaliser l'analyse des paramètres physico-chimiques classiques et microbiologiques.

Huit campagnes de prélèvement des échantillons d'eau ont été effectuées. Les points de prélèvement sont localisés pour le lac selon la longitude 004°24"730' et la latitude 05°12"222', la lagune selon la longitude 004°25"472' et la latitude 05°14"238' et la mer selon la longitude 004°24"842' et la latitude 05°12"082'.

L'analyse des échantillons d'eaux a donné :

- au plan physico chimique, des eaux caractérisées par leur conductivité qui étaient faibles pour le lac ($95,1 \pm 44,2 \mu\text{S/cm}$), moyenne pour la lagune ($4524,5 \pm 906,7 \mu\text{S/cm}$) et très élevées pour la mer ($42777,5 \pm 16536,9 \mu\text{S/cm}$).
- au plan microbiologique, une forte pollution l'eau de la lagune était observée dans les mois de mai, juillet et septembre 2018.

Selon la norme ivoirienne, les eaux du lac et de la mer sont de qualité satisfaisante à la baignade. Celle de la lagune a été impropre à la baignade aux mois de mai et septembre 2018. Tandis que la lagune et le lac n'étaient pas conformes selon les normes européennes et OMS.

Au vu de tous ce qui précède, il est nécessaire pour le Ministère en charge de la santé de mettre en pratique la surveillance sanitaire des eaux de baignade en vue d'assurer à la population une bonne hygiène de leur milieu de loisirs, tout en garantissant leur santé.

RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

RECOMMANDATIONS

Afin de contribuer à la promotion du tourisme en Côte d'Ivoire via les eaux de baignade des recommandations sont faites :

A L'INHP

- Effectuer un contrôle régulier des eaux de baignade

A L'ETAT

- Réglementer les eaux de baignades publiques

AU MAIRE ET A LA POPULATION DE JACQUEVILLE

- Faire des campagnes de sensibilisation sur le péril fécal

PESPECTIVES

- Etendre l'étude aux eaux de surface utilisées comme baignades en Côte d'Ivoire.
- Actualiser la norme ivoirienne concernant les eaux de baignade

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Hartemann P. Eau de consommation, risque, santé. Sciences Eaux Territoires 2013:14–21.
- [2] Festy B, Hartemann P, Ledrans M, Levallois P, Payment P, Tricard D. Qualité de l'eau. Environnement et Santé Publique-Fondements et Pratiques 2003:333–368.
- [3] Rezo-Ivoire .net | La référence culturelle de la Côte d'Ivoire n.d. <http://www.rezoivoire.net/cotedivoire/patrimoine/272/les-plus-belles-plages-de-cote-d-ivoire.html#.XG1vLbi2zIU> (accessed February 20, 2019).
- [4] Top 5 des plus belles plages de la Côte d'Ivoire - Linfodrome n.d. http://www.linfodrome.com/astuces-maison/21355-top-5-des-plus-belles-plages-de-la-cote-d-ivoire?fb_comment_id=978949578802172_1390354990994960 (accessed February 21, 2019).
- [5] ministre de la santé et de la protection sociale. ARRETE N°74/MSPS/INHP. vol. 74. n.d.
- [6] BLE Siallou Jocelyne. EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DE BAINADE DE JACQUEVILLE EN CÔTE D'IVOIRE. felix houphouet boigny, n.d.
- [7] Hebbar C. Surveillance de la qualité bactériologique des eaux de baignades. Cas des plages d'Ain Franin et de Kristel. Mémoire de Magistère Université d'Oran, Algérie 2005.
- [8] Universalis E. OCÉAN ATLANTIQUE. Encyclopædia Universalis n.d. <http://www.universalis.fr/encyclopedie/ocean-atlantique/> (accessed February 15, 2019).
- [9] Golfe de Guinée. n.d. <http://www.cosmovisions.com/Golfe-Guinee.htm> (accessed February 15, 2019).
- [10] SOCOPRIM 2009 Preliminary ESIA Annexes.pdf n.d.
- [11] Lac: définition et explications. AquaPortail n.d. <https://www.aquaportail.com/definition-2630-lac.html> (accessed February 9, 2019).
- [12] Geodumonde. Étendue d'eau Lac. Skyrock 2015. <https://geodumonde.skyrock.com/3259020192-Etendue-d-eau-Lac.html> (accessed February 9, 2019).
- [13] EL ATTIFFI EL OUADRASSI A. La qualite microbiologique des eaux de baignade. PhD Thesis. 2011.
- [14] Genin B, Chauvin C, Ménard F. Cours d'eau et indices biologiques: pollution, méthodes, IBGN. Educagri Editions; 2003.
- [15] pollution littorale n.d. <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/pol-litt/pol-litt.htm> (accessed February 15, 2019).
- [16] Marchand M. LES POLLUTIONS MARINES ACCIDENTELLES n.d.:20.
- [17] Wise SA, Sander LC, May WE. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons by liquid chromatography. Journal of Chromatography A 1993;642:329–49. doi:10.1016/0021-9673(93)80097-R.

- [18] Titah-Benbouzid H. Comportement physico-chimique des produits chimiques déversés accidentellement en milieu marin. PhD Thesis. Université de Bretagne occidentale-Brest, 2010.
- [19] Gaujous D. La pollution des milieux aquatiques Aide-mémoire, 2^{eme} Ed Lavoisier. ISBN; 1995.
- [20] Rao DS, Saxena AB. Acute toxicity of mercury, zinc, lead, cadmium, manganese to the *Chironomus* sp. International Journal of Environmental Studies 1981;16:225–226.
- [21] Lauwerys R. Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles. Masson; 1982.
- [22] Rodier J. L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer [Analysis of water, natural water, waste water, sea water]. Paris. Bordas 1984.
- [23] Merzouki M, Talib N, SIF J. Indice de condition et teneurs de quelques métaux (Cu, Cd, Zn et Hg) dans les organes de la moule *Mytilus galloprovincialis* de la côte d'El Jadida (Maroc) en mai et juin 2004. Bul Inst Sci 2009:21–26.
- [24] Remili S, Kerfouf A. Évaluation de la qualité physico-chimique et du niveau de contamination métallique (Cd, Pb, Zn) des rejets d'eaux usées d'Oran et de Mostaganem (littoral Ouest algérien). Physio-Géo Géographie Physique et Environnement 2013:165–182.
- [25] True B-L, Dreisbach RH. Handbook of poisoning: prevention, diagnosis, and treatment. 13th ed. Pearl River, N.Y: Parthenon Pub. Group; 2001.
- [26] BENDERBOUZ H, FELAHI K. Contribution a L'Etude Physico-chimique et Microbiologique des eaux de baignades (Salamandre _ *Stidia*) 2018.
- [27] Vandermeersch S. Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes. Mémoire En Gestion de l'Environnement de l'Université Libre de Bruxelles 2006.
- [28] Lecellier A. Caractérisation et identification des champignons filamenteux par spectroscopie vibrationnelle. Reims: Université de Reims Champagne-Ardenne 2013:195.
- [29] Hartemann P. Contamination des eaux en milieu professionnel. EMC-Toxicologie-Pathologie 2004;1:63–78.
- [30] Ait Chaban O, Ait Saada D, Mohamed Al A, Selselet-A G, Boudroua K, Eddine Kat D, et al. In vitro Study of the Antimicrobial Effects of Phenolic Extract of the *Salvadora persica* (Miswak) on the Growth of Certain Microorganisms Responsible for Oral Infections. Research Journal of Microbiology 2016;12:58–73. doi:10.3923/jm.2017.58.73.
- [31] Servais P, Billen G, Garcia Armisen T, George I, Goncalves A, Thibert S. La contamination microbienne dans le bassin de la Seine, 8. Fascicules PIREN 2009;8.
- [32] VILLARROEL J. Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio 1988.

- [33] Vin O international de la vigne et du. Recueil des méthodes internationales d'analyse des boissons spiritueuses, des alcools et de la fraction aromatique des boissons. Office international de la vigne et du vin - Recherche Google n.d. https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&ei=INFmXImECo3DlwT7vY-QCw&q=Vin+O+international+de+la+vigne+et+du.+Recueil+des+m%C3%A9thodes+internationales+d%E2%80%99analyse+des+boissons+spiritueuses%2C+des+alcools+et+de+la+fraction+aromatique+des+boissons.+Office+international+de+la+vigne+et+du+vin&oq=Vin+O+international+de+la+vigne+et+du.+Recueil+des+m%C3%A9thodes+internationales+d%E2%80%99analyse+des+boissons+spiritueuses%2C+des+alcools+et+de+la+fraction+aromatique+des+boissons.+Office+international+de+la+vigne+et+du+v&gs_l=psy-ab.3..35i39l6.73192958.73194659..73195525...1.0..0.0.0.....0....1j2..gws-wiz.....6.dtGisWz7O2w (accessed February 16, 2019).
- [34] Manuel pratique d'analyse de l'eau - Recherche Google. Natl Health Found 2013. https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&ei=KfJnXObgKsHeav6-vqAI&q=Manuel+pratique+d%E2%80%99analyse+de+l%E2%80%99eau&oq=Manuel+pratique+d%E2%80%99analyse+de+l%E2%80%99eau&gs_l=psy-ab.3..0i13.10841.13080..14735...1.0..0.226.226.2-1.....0....1j2..gws-wiz.....6..0i71j35i39.UQeiKjaVG0E (accessed February 16, 2019).
- [35] Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Wikipédia 2019.
- [36] Photomètre Pooltest 3 Compact | Palintest n.d. <https://www.palintest.com/fr/produits/pooltest-3-photom%C3%A8tre> (accessed February 20, 2019).
- [37] Maibach HI. Pesticides studied in man. Journal of the American Academy of Dermatology 1983;9:301. doi:10.1016/S0190-9622(83)80166-2.
- [38] Lamathe J. Methode d'elution selective pour l'extraction des metaux lourds de l'eau de mer sur resine chelatante: A selective method of elution for the extraction of heavy metals from sea waters on a chelating resin. Analytica Chimica Acta 1979;104:307–317.
- [39] Freycon V, Fauvet N. Les GPS: de l'acquisition des relevés à leur intégration dans un SIG. CIRAD-Foret, Montpellier, France; 1998.
- [40] Organization WH. Recommandations pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles. Recommandations pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles, 1995, p. 1v–various.
- [41] (Canada) G de travail fédéral-provincial-territorial sur la qualité des eaux à usage récréatif, Canada. Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada. Place of publication not identified: Santé Canada; 2012.

- [42] Pourcher A-M, Solecki O, Jardé É, Jeanneau L, Jadas-Hécart A, Caprais M-P, et al. Des micro-organismes et des composés chimiques pour identifier les sources de contamination fécale: étude de leur persistance en microcosmes et de leur présence dans les eaux à l'échelle d'un bassin versant. *Sciences Eaux and Territoires: La Revue Du IRSTEA* 2012;p–92.
- [43] Hounsou M, Agbossou E, Ahamide B, Akponikpe I. Qualité bactériologique de l'eau du bassin de l'Ouémé: cas des coliformes totaux et fécaux dans les retenues d'eau de l'Okpara, de Djougou et de Savalou au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 2010;4.
- [44] Festy B, Hartemann P, Ledrans M, Levallois P, Payment P, Tricard D. Qualité de l'eau. *Environnement et Santé Publique-Fondements et Pratiques* 2003:333–368.
- [45] Juliette DV, Marianne S, Catherine Y. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement. Observatoire Des Données de l'Environnement n.d.;16.
- [46] Organization WH. Recommandations pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles. *Recommandations pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles*, 1995, p. 1v–various.
- [47] mondiale de la Santé O. Directives de qualité pour l'eau de boisson. vol. 2: critères d'hygiène et documentation à l'appui 2000.
- [48] Association française de normalisation. Jus de fruits et de légumes: Spécifications et méthodes d'analyse. Paris-La Défense: AFNOR; 1996.
- [49] Rodier J, Legube B, Merlet N. L'analyse de l'eau: contrôle et interprétation. 2016.
- [50] Kambiré O, Adingra AA, Eblin SG, Aka N, Kakou AC, Koffi-Nevry R. Caractérisation des eaux d'une lagune estuarienne de la Côte d'Ivoire: la lagune Aby. *LARHYSS Journal* ISSN 1112-3680 2014.
- [51] Affian K, Djagoua VE, Kouamé KF, Gioan P, Bémi J. Étude par télédétection aéroportée d'un environnement lagunaire en zone tropicale: cas de la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire. *Télédétection* 2002;2:233–242.
- [52] Kambire O, Adingra AA, Kakou CA, Koffi-Nevry R. Indicateurs de pollution fécale dans une lagune tropicale à forte influence continentale (lagune Aby, Côte d'ivoire). *Agronomie Africaine* 2012;24:89–100.
- [53] Organization WH. Guidelines for drinking-water quality. vol. 1. World Health Organization; 2004.
- [54] Côte d'Ivoire: Climat, saisons et météo. Routard.com n.d. https://www.routard.com/guide/cote_d_ivoire/3229/climat_et_meteo.htm (accessed May 23, 2019).
- [55] Abai EA, Ombolo A, Ngassoum MB, Mbawala A. Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des cours d'eau de Ngaoundéré, au Cameroun. *Afrique Science: Revue Internationale Des Sciences et Technologie* 2014;10:135–145.

- [56] Kpidi YH, Yapo OB, Ballet TG, Ohou-Yao M-J. Variabilité journalière de la qualité physico-chimique du lac M'koa de Jacqueville (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 2017;11:901–910.
- [57] Inza B, Soro M, Etchian A, Trokourey A, Bokra Y. Caractérisation physico-chimique des eaux et des sédiments de surface de la baie des milliardaires, lagune Ebrié, Cote d'Ivoire. *Rev Ivoir Sci Technol* 2009;13:139–154.
- [58] Lalami AEO, Merzouki M, El Hillali O, Maniar S, Koraichi SI. Pollution des eaux de surface de la ville de Fès au Maroc: typologie, origine et conséquences. *LARHYSS Journal* ISSN 1112-3680 2011.
- [59] Toule AC, Adingra AA, Kouadio-N'Gbesso N, Kambire O, Koffi-Nevry R, Koussemon M. Caractérisations physico-chimiques et bactériologiques des eaux des stations aquacoles de Layo et de Jacqueville (Lagune Ebrié, Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 2018;11:2842. doi:10.4314/ijbcs.v11i6.22.
- [60] Ministère chargé de la santé / Eaux de baignade / Évolution du classement n.d.
http://baignades.sante.gouv.fr/baignades/editorial/fr/controle/normes_s.html#f1 (accessed May 23, 2019).
- [61] Meless djedjro. caractérisation des eaux de baignade en océan atlantique : cas de la plage de vridi et port- bouët centre (abidjan-côte d'ivoire). these. université felix houphouet boigny, n.d.

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE :	XXVI
ABREVIATIONS-ACRONYMES SIGLES	XXVIII
LISTE DES TABLEAUX	XXIX
LISTE DES FIGURES	XXX
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.	
GENERALITES SUR LES EAUX DE BAINADES	4
I. GENERALITES SUR LES EAUX DE BAINADES	5
I.1 Eaux de loisir	5
I.1.1 Généralité	5
I.1.2 Piscine	5
I.1.3 Baignades	6
I.1.3.1 Baignade en eau de mer	7
I.1.3.2 Baignade en eau douce.....	8
I.1.3.2.1 Lagune Ebrie	8
I.1.3.2.2 Lac	9
I.2 Pollution des eaux de baignade	11
I.2.1 Nature et origine de la pollution.....	11
I.2.1.1 Pollution	11
I.2.1.2 Polluants	12

I.2.2	Origine des polluants.....	12
I.2.2.1	Pollution accidentelle et pollution chronique	12
I.2.2.2	Trois types de pollution.....	13
I.2.2.2.1	La Pollution Physique	13
I.2.2.2.1.1	La pollution thermique	13
I.2.2.2.1.2	La pollution radioactive.....	14
I.2.2.2.2	La Pollution Chimique	14
I.2.2.2.2.1	Pollution d'origine industrielle ou chimique.....	14
I.2.2.2.2.2	Pollution par les hydrocarbures	14
I.2.2.2.2.3	Pollution par les pesticides	15
I.2.2.2.2.4	Pollution par les métaux lourds	15
I.2.2.2.3	La Pollution Microbiologique.....	18
I.3	Contrôle qualité des eaux de baignade	24
I.3.1	Contrôle microbiologique	24
I.3.1.1	Les méthodes de recherches des germes.....	24
I.3.1.1.1	La recherche des coliformes	24
I.3.1.1.1.1	- Les méthodes classiques	24
I.3.1.1.1.2	Les méthodes enzymatiques.....	25
I.3.1.1.1.3	Les méthodes moléculaires.....	25
I.3.1.1.2	La recherche des virus.....	25
I.3.1.1.3	Les cryptosporidies et champignons.....	26
I.3.1.1.4	Les germes recherchés au cours du contrôle de la qualité de l'eau.....	26
I.3.1.1.4.1	Les bactéries	27
I.3.1.1.4.2	Les Coliformes totaux (CT).....	27

I.3.1.1.4.3	Les Coliformes thermotolérants (CTT).....	28
I.3.1.1.4.3.1	Les entérocoques	28
I.3.1.1.4.3.2	Les anaerobiosulfito-réductrices (ASR)	29
I.3.2	Contrôle physico-chimique	31
I.3.2.1	Électrochimie pour le pH	31
I.3.2.2	Détermination de la Turbidité	31
I.3.2.2.1	La conductivité.....	31
I.3.2.2.2	La colorimétrie	32
I.3.2.2.3	Méthodes chromatographiques	32
I.3.2.2.4	Méthodes spectrométriques atomiques	32
DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE.....		35
I	MATERIEL ET METHODES	36
I.1	Type, cadre et durée de l'étude.....	36
I.2	Matériel.....	37
I.2.1	Appareillage	37
I.2.2	Consommables	37
I.2.3	Verreries et autre matériel	37
I.2.4	Réactifs	38
I.3	Méthodes.....	39
I.3.1	Géolocalisation des points de prélèvement des eaux de baignades	39
I.3.1.1	Principe de fonctionnement du GPS	39
I.3.1.2	Mode opératoire du GPS	39

I.3.2	Méthodes de prélèvement, Transport et Conservation des échantillons.....	40
I.3.2.1	Echantillonnage.....	40
I.3.2.2	Prélèvement, Transport et Conservation des échantillons	40
I.3.3	Analyses des échantillons.....	41
I.3.3.1	Analyses organoleptiques et physicochimiques	41
I.3.3.1.1	Analyse des paramètres organoleptiques	41
I.3.3.1.1.1	Mesure de la Couleur.....	41
I.3.3.1.1.2	Détermination de la Turbidité	41
I.3.3.1.2	Analyse physico-chimique.....	42
I.3.3.1.2.1	Mesure du pH	42
I.3.3.1.2.2	Détermination de la conductivité	43
I.3.3.1.2.3	Mesure de la température	44
I.3.3.1.2.4	Dosage de l'Ammonium (NH_4^+).....	44
I.3.3.1.2.5	Dosage des Nitrites (NO_2^-)	44
I.3.3.1.2.6	Dosage des Nitrates (NO_3^-).....	45
I.3.3.1.2.7	Dosage des Chlorures (Cl^-) et du Sodium (Na^+)	46
I.3.3.1.2.8	Dosage du Fer (Fe)	46
I.3.3.1.2.9	Dosage du Manganèse (Mn).....	47
I.3.3.1.2.10	Dosage des Fluorures (F^-).....	47
I.3.3.1.2.11	Dosage de l'Aluminium (Al).....	47
I.3.3.1.2.12	Dosage des minéraux (Calcium, Potassium, Magnésium), des Sulfates, du soufre, des Phosphate, de la silice et des silicates, du zinc	48

I.3.3.1.2.13	Détermination du Titre Alcalimétrique Complet (TAC) et bicarbonates.....	50
I.3.3.1.2.14	Détermination du Degré Hydrotimétrique Total (DHT)	50
I.3.3.1.2.15	Détermination de la matière organique	51
I.3.3.2	Analyse microbiologique	52
I.3.4	Méthodes d'analyses statistiques des données.....	61
II	RESULTATS.....	62
II.1	Campagnes de prélèvement.....	62
II.2	Analyse des paramètres organoleptiques et physico-chimiques	64
II.2.1	Lac de Mambé Eiminkoa de Jacqueville	64
II.2.2	Lagune Ebrie de Jacqueville	65
II.2.3	La mer de Jacqueville.....	66
II.2.4	Évolution des paramètres mesurés en fonction des mois.....	67
II.2.5	Comparaison de l'analyse physico-chimique	74
II.3	Analyse microbiologique.....	77
II.3.1	Lac de Mambé Eiminkoa de Jacqueville	77
II.3.2	La lagune Ebrié de Jacqueville	78
II.3.3	La mer de Jacqueville.....	79
II.4	Comparaison aux normes	80
II.4.1	Comparaison aux normes ivoiriennes	80
II.4.2	Comparaison aux normes algériennes.....	81
II.4.3	Comparaison aux normes américaines et canadiennes	82
II.4.4	Comparaison aux normes européennes et OMS	83

III	DISCUSSION	85
III.1	Caractérisation des trois types d'eau	85
III.2	Pollution des eaux.....	86
III.3	Comparaison aux normes d'eaux de baignade aménagées	87
	RECOMMANDATIONS	92
	RECOMMANDATIONS	92
	PESPECTIVES	93
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	94
	TABLE DES MATIERES	100
	ANNEXE	106



ANNEXE

Annexe 1 : Qualité requise des eaux de baignade (extrait de l'annexe du décret exécutif n°93-164 du 10 juillet 1993

Les germes indicateurs	Valeurs guides (VG)	Valeurs limites obligatoires (VL)	Méthodes d'analyse ou d'insp
Coliformes totaux /100 ml	500	10000 CT.	Norme NF EN ISO 9308-2 ou NF T 90-413. - Filtration sur membrane et culture sur milieu approprié (gélose lactosée au tergitol, gélose d'endo, bouillon au teepol 0,4%,....) ; repiquage et identification des colonies suspectes. Ou - Fermentation en tubes multiples. Repiquage des tubes positifs sur milieu de confirmation. Dénombrement selon NPP (nombre le plus probable). Température d'incubation adaptée à la recherche des
Coliformes fécaux /100 ml	100	2000	Norme Afnor T 90-433. NF EN ISO 9308-2. - Filtration sur membrane et culture sur milieu approprié (gélose lactosée au tergitol, gélose endo, bouillon,...) ; repiquage et identification des colonies suspectes. Ou - Fermentation en tubes multiples. Repiquage des tubes positifs sur milieu de confirmation. Dénombrement selon NPP (nombre le plus
Streptocoques /100 ml	100		Norme Afnor T 90-411. NF EN ISO 7899-1. - Méthode de Litsky. Dénombrement selon NPP Ou Filtration sur membrane. Culture sur milieu approprié

RESUME

Les eaux de baignade regroupent toutes les eaux où l'activité de baignade est autorisée, c'est - à-dire, aussi bien la baignade en mer que la baignade en eau douce (rivières, lacs, lagune et plans d'eau naturels, barrages). La présente étude concerne des eaux de baignade de la ville de Jacqueville. Le but de cette étude était de caractériser ces eaux de baignades de mai à décembre 2018.

La méthodologie a consisté à réaliser huit (08) campagnes de prélèvements d'échantillons de ces eaux géo-référencées à raison d'une campagne mensuelle. Sur ces échantillons, vingt-huit paramètres physico-chimiques classiques ont été déterminés par des méthodes électrochimiques et spectrophotométriques. La recherche de treize bactéries a été réalisée par la technique de filtration sur membrane.

Au total 72 échantillons ont été collectés à raison de 24 échantillons pour chaque type d'eau. Le lac est localisé selon la longitude 004°24"730' et la latitude 05°12"222', la lagune selon la longitude 004°25"472' et la latitude 05°14"238' et la mer selon la longitude 004°24"842' et la latitude 05°12"082'. Au plan chimique ces eaux sont caractérisées par leurs conductivités qui étaient de $42\,778 \pm 16\,537 \mu\text{S/cm}$ pour la mer, $4\,524 \pm 906 \mu\text{S/cm}$ pour la lagune et de $95 \pm 44 \mu\text{S/cm}$ pour le lac. La lagune s'est révélée être la plus polluée au plan microbiologique.

Comparativement aux normes ivoiriennes sur les eaux de baignade, les eaux du lac et de la mer sont de qualité satisfaisante. Celle de la lagune a été impropre à la baignade aux mois de mai et septembre 2018. Tandis que les eaux du lac et de la lagune ne sont pas satisfaisantes pour la baignade par rapport aux normes européennes et OMS.

Une surveillance sanitaire des eaux de baignades conformément à la norme ivoirienne s'avère nécessaire pour garantir la santé des usagers.

Mots clés : Eaux de baignade, Physicochimie, Microbiologie, Jacqueville