

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE
UNION-DISCIPLINE-TRAVAIL



N° 1971/18

ANNÉE : 2017 – 2018

THESE

Présentée en vue de l'obtention du
**DIPLÔME D'ÉTAT DE
DOCTEUR EN PHARMACIE**

Par

BLE Siallou Jocelyne

**EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DE
BAIGNADE DE JACQUEVILLE EN CÔTE D'IVOIRE**

Soutenue publiquement le 22 Novembre 2018

COMPOSITION DU JURY :

Président	: Monsieur KOUADIO KOUAKOU LUC , Professeur Titulaire
Directeur de thèse	: Monsieur AMIN N'CHO CHRISTOPHE , Maître de conférences agrégé
Assesseurs	: Monsieur BONY NICAISE FRANCOIS , Maître de conférences agrégé
	: Madame KOUASSI AGBESSI THERESE , Maître Assistant

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

I. HONORARIAT

Directeurs/Doyens Honoraires :

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

II. ADMINISTRATION

Directeur	Professeur KONE-BAMBA Diénéba
Sous-Directeur Chargé de la Pédagogie	Professeur Ag. IRIE-N'GUESSAN A.G.
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

III. 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
M.	MALAN Kla Anglade	Chimie Ana., 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
	BONY François Nicaise	Chimie Analytique
	DALLY Laba Ismael	Pharmacie Galénique
	DEMBELE Bamory	Immunologie
	DJOHAN Vincent	Parasitologie -Mycologie
Mme	IRIE-N'GUESSAN Geneviève	Pharmacologie
M.	KOFFI Angely Armand	Pharmacie Galénique
Mme	KOUAKOU-SACKOU Julie	Santé Publique
MM.	KOUASSI Dinard	Hématologie
	LOUKOU Yao Guillaume	Bactériologie-Virologie
	OGA Agbaya Stéphane	Santé publique et Economie de la santé
	OUASSA Timothée	Bactériologie-Virologie
	OUATTARA Mahama	Chimie organique, Chimie thérapeutique
	SANGARE TIGORI Béatrice	Toxicologie

MM. YAPI Ange Désiré	Chimie organique, chimie thérapeutique
ZINZENDORF Nanga Yessé	Bactériologie-Virologie

3- MAITRES-ASSISTANTS

MM. ADJAMBRI Adia Eusebé	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
BARRO-KIKI Pulchérie	Parasitologie - Mycologie
MM. CABLAN Mian N'Dedey Asher	Bactériologie-Virologie
CLAON Jean Stéphane	Santé Publique
Mmes BLAO-N'GUESSAN Amoin Rebecca J.	Hématologie
DIAKITE Aïssata	Toxicologie
DONOU-N'DRAMAN Aha Emma	Hématologie
M. EFFO Kouakou Etienne	Pharmacologie
Mme FOFIE N'Guessan Bra Yvette	Pharmacognosie
MM. KABRAN Tano Kouadio Mathieu	Immunologie
KASSI Kondo Fulgence	Parasitologie-Mycologie
Mme KONAN-ATTIA Akissi Régine	Santé publique
M. KONAN Konan Jean Louis	Biochimie et Biologie moléculaire
Mme KONATE Abibatou	Parasitologie-Mycologie
M. KOUAME Denis Rodrigue	Immunologie
Mme KOUASSI-AGBESSI Thérèse	Bactériologie-Virologie

MM.	KPAIBE Sawa André Philippe	Chimie Analytique
	MANDA Pierre	Toxicologie
	N'GUESSAN Alain	Pharmacie Galénique
Mme	VANGA-BOSSON Henriette	Parasitologie-Mycologie
M.	YAYO Sagou Eric	Biochimie et Biologie moléculaire

4- ASSISTANTS

MM.	ADIKO Aimé Cézaire	Immunologie
	AMICHIA Attoumou Magloire	Pharmacologie
Mmes	AKOUBET-OUAYOGODE Aminata	Pharmacognosie
	ALLOUKOU-BOKA Paule-Mireille	Législation
	TAHOU-APETE 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
Mmes	DOTIA Tiepordan Agathe	Bactériologie-Virologie
	KABLAN-KASSI Hermance	Hématologie
MM.	KACOU Alain	Chimie organique, chimie thérapeutique
	KAMENAN Boua Alexis Thierry	Pharmacie clinique et thérapeutique
	KOFFI Kouamé	Santé publique
	KONAN Jean Fréjus	Biophysique
Mme	KONE Fatoumata	Biochimie et Biologie moléculaire
MM.	KOUAHO Avi Kadio 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 Déto Ursul Jean-Paul	Chimie organique, chimie thérapeutique
Mmes N'GUESSAN Kakwokpo Clémence	Pharmacie Galénique
N'GUESSAN-AMONKOU Anne Cynthia	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. TRE Eric Serge	Chimie Analytique
Mme KOUASSI-TUO Awa	Pharmacie Galénique
M. YAPO Assi Vincent De Paul	Biologie Générale
Mme YAPO-YAO Carine Mireille	Biochimie

5- CHARGES DE RECHERCHE

Mmes ADIKO N'dri Marcelline	Pharmacognosie
OUATTARA N'gnôh Djénéb	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 COMOE Léopold	Maître de Conférences Agrégé
Feu 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

IV. ENSEIGNANTS VACATAIRES**1- PROFESSEURS**

M.	DIAINE Charles	Biophysique
	OYETOLA Samuel	Chimie Minérale

2- MAITRES DE CONFERENCES

M.	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-Comptabilité
MM	KOFFI Alexis	Anglais
	KOUA Amian	Hygiène
	KOUASSI Ambroise	Management
	AHOUSI Ferdinand	Secourisme
	KONAN Kouacou	Diététique
Mme	PAYNE Marie	Santé Publique

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

I. BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE

Professeurs	LOUKOU Yao Guillaume	Maître de Conférences Agrégé Chef de département
	OUASSA Timothée	Maître de Conférences Agrégé
	ZINZENDORF Nanga Yessé	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	CABLAN Mian N'Dédey Asher	Maître-Assistant
	KOUASSI-AGBESSI Thérèse	Maître-Assistante
	TAHOU-APETE Sandrine	Assistante
	DJATCHI Richmond Anderson	Assistant
	DOTIA Tiepordan Agathe	Assistante
	KRIZO Gouhonon Anne-Aymonde	Assistante
	LATHRO Joseph Serge	Assistant

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

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

III. BIOLOGIE GENERALE, HEMATOLOGIE ET IMMUNOLOGIE

Professeurs	SAWADOGO Duni	Professeur Titulaire Chef du Département
	INWOLEY Kokou André	Professeur Titulaire
	DEMBELE Bamory	Maître de Conférences Agrégé
	KOUASSI Dinard	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	ABOLI-AFFI Mihessé Roseline	Maître-Assistante
	ADJAMBRI Adia Eusebé	Maître-Assistant
	AYE-YAYO Mireille	Maître-Assistante
	BAMBA-SANGARE Mahawa	Maître-Assistante
	DONOU-N'DRAMAN Aha Emma	Maître-Assistante
	KABRAN Tano K. Mathieu	Maître-Assistant
	KOUAME Denis Rodrigue	Maître-Assistant
	BLAO-N'GUESSAN A. Rebecca S.	Maître-Assistante
	ADIKO Aimé Cézaire	Assistant
	KABLAN-KASSI Hermance	Assistante
	YAPO Assi Vincent De Paul	Assistant

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

Professeurs	MALAN Kla Anglade	Professeur Titulaire Chef de Département
	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
	TRE Eric Serge	Assistant

V. CHIMIE ORGANIQUE ET CHIMIE THERAPEUTIQUE

Professeurs	OUATTARA Mahama	Maître de Conférences Agrégé Chef de Département
	YAPI Ange Désiré	Maître de Conférences Agrégé
Docteur	COULIBALY Songuigama	Assistant
	KACOU Alain	Assistant
	KOUAHO Avi Kadio Tanguy	Assistant
	N'GUESSAN Déto Ursul Jean-Paul	Assistant
	SICA-DIAKITE Amelanh	Assistante

VI. PARASITOLOGIE, MYCOLOGIE, BIOLOGIE ANIMALE ET ZOOLOGIE

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

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

Professeurs	KOFFI Armand Angelly	Maître de Conférences Agrégé Chef de Département
	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
	KOUASSI-TUO Awa	Assistante

VIII. PHARMACOGNOSIE, BOTANIQUE, BIOLOGIE VEGETALE, CRYPTOGRAMIE

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

**IX. PHARMACOLOGIE, PHARMACIE CLINIQUE ET THERAPEUTIQUE
ET PHYSIOLOGIE HUMAINE**

Professeurs	ABROGOUA Danho Pascal	Professeur Titulaire Chef de Département
	KOUAKOU-SIRANSY N'doua G.	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
	KAMENAN Boua Alexis	Assistant
	KOUAKOU Sylvain Landry	Assistant

**X. PHYSIQUE, BIOPHYSIQUE, MATHEMATIQUES, STATISTIQUES
ET INFORMATIQUE**

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

XI. SANTE PUBLIQUE, HYDROLOGIE ET TOXICOLOGIE

Professeurs	KOUADIO Kouakou Luc	Professeur Titulaire Chef de département
	DANO Djédjé Sébastien	Professeur Titulaire
	OGA Agbaya Stéphane	Maître de Conférences Agrégé
	KOUAKOU-SACKOU Julie	Maître de Conférences Agrégé
	SANGARE-TIGORI Béatrice	Maître de Conférences Agrégé

Docteurs	CLAON Jean Stéphane	Maître-Assistant
	MANDA Pierre	Maître-Assistant
	DIAKITE Aissata	Maître-Assistante
	HOUNSA-ALLA Annita Emeline	Maître-Assistante
	KONAN-ATTIA Akissi Régine	Maître-Assistante
	OUATTARA N'gnôh Djénéba	Chargée de Recherche
	BEDIAKON-GOKPEYA Mariette	Assistante
	KOFFI Kouamé	Assistant
	KOUAME Jérôme	Assistant
	N'GBE Jean Verdier	Assistant

DEDICACES

Je dédie cette thèse

A DIEU TOUT PUISSANT

Merci Seigneur

Que serais-je sans toi Père,

Tu m'as toujours soutenue dans les moments difficiles,

En toi j'ai mis toute ma confiance et tu ne m'as jamais déçue,

Ce diplôme je l'ai grâce à toi mais également pour toi,

Afin qu'aux yeux de mes frères et sœurs ton nom soit glorifié,

Je te rends toute la gloire oh Père très aimant, que mon âme te loue à jamais.

A mon père BLE KOUAME

J'ai l'honneur aujourd'hui de te montrer toute ma gratitude et mon énorme respect à ton égard. Merci pour tes nombreux sacrifices moraux, financiers, physiques consentis à-moi ta fille. Que le DIEU Tout Puissant te maintienne longtemps parmi nous dans la santé, la joie, la cohésion, l'amour.

Merci Papa pour tout

IN MEMORIUM

A ma très chère mère Koffi Amon

J'aurais tant voulu que tu sois là ce jour, voir ton sourire, lire sur tes lèvres combien tu es fière de moi.

Tu m'as permis de voir le jour mère, tu as vu mes premiers pas dans ce monde, tu as toujours cru en moi et as toujours été fière de moi, je te dis merci !

Ce diplôme, je le décroche grâce à toi et pour toi.

A mon oncle KOFFI KAN et sa femme

J'ai une pensée pour vous, mes parents adoptifs, merci pour tout ce que vous avez fait pour moi.

A mon grand frère KOUAME BERTIN

Tu es à la fois mon frère et mon père. Que la grâce soit rendue à DIEU de m'avoir donné un père de ton rang, affectueux, généreux, attentionné, toujours soucieux du bien-être de ses enfants. Je bénéficie de ton aide depuis la classe de 4^{ème} jusqu'aujourd'hui. Sans toi que serais-je devenue dans ce monde ? DIEU seul saura te récompenser pour tes sacrifices à mon égard. Merci infiniment
Grand Frère

A mon frère aîné BLE EUGENE

Tu m'as apporté ton aide toutefois que tu avais les moyens de le faire. Merci pour tout, Grand Frère

A mon frère KOUAME OLIVIER

Je prie que Dieu te bénisse. Merci pour tout

A mes frères et sœurs

Vous m'avez soutenue selon vos moyens. J'ai bénéficié de vos conseils, votre affection. Je remercie particulièrement ma grande sœur KOUAME Félicité qui a fait tout pour que je sois scolarisée. Que DIEU te comble de Ses Grâces ! Merci à tous

A mes cousins et cousines

Merci pour vos soutiens, vos conseils, vos prières...Je remercie particulièrement GNANZOU EMMANUEL, N'DA Apollinaire, KOFFI Larissa et BLE BELZANCE.

A toute la famille BLE et alliés

J'ai toujours été accueillie avec joie et gaieté chaque fois que nous nous réunissons. Je suis reconnaissante à Dieu pour votre soutien et amour.

Puisse Dieu vous donner la santé, le bonheur et la longévité.

Je remercie particulièrement mon oncle BLE CELESTIN.

A mon époux ZAH BI BORIS

Merci mon chéri pour ton soutien tant moral que financier, ta tolérance, ta patience, ta compréhension et surtout pour ton amour

A mon fils bien aimé ZAH BI CHRIST ISRAEL BENI

Merci de m'avoir rendue mère. Tu me donnes la joie, le courage de travailler davantage. Puisse DIEU me permettre de vivre longtemps afin de te voir grandir ! Je prie Le DIEU Tout Puissant jours et nuits afin qu'il guide tes pas et fasse de toi un chrétien pieux et sincère. Je t'aime très fort mon enfant.

A M. KONAN MODESTE

Tu as toujours répondu favorablement à mes sollicitations. Merci pour tout

A la famille des pharmaciens 7 étoiles « Pharma 33 »

Merci pour les actes de solidarité, de confraternité, pour les idées et conseils, pour l'affection...pour tout ce que vous avez fait pour moi.

A mes amis rapprochés de la fac ASSAMOA DANIELLE, KABRAN RICHMONDE, KOUADIO PARFAIT, DETTO DEZAI, DOA JEAN MARIE

Merci pour ces moments, pour tout ce qu'on a partagé ensemble, vous êtes pour moi, plus que des amis. Je porte chacun de vous dans mon cœur et je prie le Dieu qu'on adore tous afin qu'il puisse nous orienter là où chacun se sent le mieux. Que le bonheur et la grâce de Dieu vous accompagnent tous les jours de votre vie !

A ma très chère amie YAO HONORINE ZITA

Tu es une personne admirable, très intelligente, d'une grande bonté. Merci pour tes idées, tes conseils

A mon cadet de la fac CAMARA MOUSSA

Toutefois que j'ai eu besoin de ton aide tu as été là. Je t'encourage à demeurer toujours poli, serviable, sympathique... Merci infiniment

A Mr EMIEN JEAN BAPTISTE

Tu as toujours été disponible pour répondre à mes attentes. Je prie que DIEU comble toutes tes espérances. Merci pour tout

A mes Pasteurs KOFFI JOSUE et GBEHI ARTHUR

Merci pour l'affection, les conseils, le soutien... Que DIEU fasse de vous de Grands Serviteurs ! Merci infiniment Papa

Au personnel du service du laboratoire des eaux et aliments de L'INHP

Merci pour votre collaboration surtout pour vos conseils et votre disponibilité tout au long de ce travail. Vous avez été pour moi un guide, un encadreur et ce travail est le fruit de votre engagement.

Je vous suis reconnaissante pour tout. Puisse Dieu vous bénir !

Je remercie particulièrement Mr DEGNY SERGE, Mr N'GBAKOU ALPHONSE et M. AKIE PAUL pour leur disponibilité, leur sympathie.

A mon cher maître Dr AGBESSI THERESE

Vous êtes une personne d'une grande simplicité, d'un grand amour maternel. Vous avez donné de votre temps pour nous accompagner à chaque campagne. Merci pour tout

A mon Directeur de thèse Pr AMIN Christophe

Une personne d'une bonté admirable, d'un dynamisme particulier. Malgré votre état de santé, vous avez accepté de nous encadrer. Que le Dieu Tout Puissant vous accorde la guérison totale ! Merci pour votre disponibilité, votre sympathie, pour les conseils, grand merci pour tout.

A tout le personnel de la Marie de Jacqueline et particulièrement à son premier responsable, pour l'accueil et leur apport sans faille à la réalisation de notre enquête. Merci pour tout.

Aux pharmacies et services hospitaliers

A tout le personnel de la pharmacie AZI, particulièrement à Dr EWUSSI Lucien, merci pour tout.

A tout le personnel de la pharmacie EBEN-EZER avec à sa tête Dr POHE Luc, merci pour tout.

A tout le personnel de la pharmacie BEYNIIOUAH avec à sa tête Dr DJAYA Khissy, merci pour tout.

A tout le personnel de la pharmacie SEGAI avec à sa tête Dr DOUE Patrice, merci pour tout.

A tout le personnel de la pharmacie SAINT-VIATEUR avec à sa tête Dr KISSIEDOU RACHELLE, merci pour tout.

A tout le personnel de LABOREX CI, particulièrement à Dr BIKPO Simplicie "Assistance de direction LABOREX-Yopougon", merci pour tout.

A tout le personnel de la FSU-COM de PORT-BOUET II, particulièrement à Dr GRAH Modeste, merci pour tout.

A tout le personnel du laboratoire central du CHU de Yopougon, particulièrement à Dr SANGARE Mahawa et Dr KASSI Hermance, merci pour tout.

A tout le personnel du service d'hématologie du CHU de Yopougon avec à sa tête Pr SANOGO Ibrahima, merci pour tout.

A tout le personnel du service de pédiatrie du CHU de Cocody avec à sa tête Pr FOLQUET-AMORISSANI, merci pour tout.

La liste des personnes ci-dessus n'étant pas exhaustive, je réclame l'indulgence de toutes celles qui n'y retrouveront pas leurs noms. Je les assure que leur souvenir restera à jamais gravé dans ma mémoire.

**A NOS MAITRES
ET JUGES**

A NOTRE MAITRE ET PRESIDENT DU JURY

Monsieur le Professeur KOUADIO KOUAKOU LUC

- Chef de département de Santé Publique, d'Hydrologie et de Toxicologie à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques ;
- Chef du laboratoire d'analyse médicale et du service de contrôle des eaux à l'Institut National d'Hygiène Publique ;
- Responsable du Master Professionnel en Homéopathie et Complément Nutritionnel à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques ;
- Responsable de la filière Santé Publique, Hygiène et Développement à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques
- Président du conseil pédagogique de l'Université Félix Houphouët Boigny

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 Maître,

Vous avez accepté malgré vos multiples charges d'assurer l'encadrement de cette thèse. Tout au long de ce travail nous avons pu apprécier non seulement votre ardeur au travail, mais aussi et surtout votre disponibilité, votre simplicité et votre bienveillance. Travailler sous votre direction est très enrichissant.

Puisse ce travail vous rendre hommage.

A NOTRE MAÎTRE ET JUGE

Monsieur le Professeur BONY NICAISE FRANCOIS

- Maître de conférences agrégé en Chimie Analytique
Bromatologie
- Doctorat de l'Université Paris-Sud, France, option Chimie
Analytique
- Docteur en Pharmacie
- Pharmacien analyste (DESS en contrôle qualité médicaments,
aliments et produits cosmétiques)
- Chef du laboratoire de contrôle des médicaments au
laboratoire National de la santé publique (LNSP) de Côte
d'Ivoire
- Ancien interne des hôpitaux de Côte d'Ivoire
- Membre de la Société Ouest Africaine de Chimie
(SOACHIM)
- Membre de la société Pharmaceutique de Côte d'Ivoire
(SOPHACI)

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 KOUASSI-AGBESSI THERESE

- Docteur en pharmacie
- Maître-assistante au département de bactériologie - virologie, à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques
- Pharmacien biologiste (CES biochimie clinique, CES hématologie, CES parasitologie, CES bactériologie - virologie)
- Titulaire d'un DEA de biologie humaine tropicale option Bactériologie-virologie
- Chef de service adjoint du laboratoire d'hygiène chargé de la biologie médicale à l'INHP (Institut National d'Hygiène Publique)
- 1^{er} prix d'infectiologie en 1992
- Lauréat du concours d'internat (1989-1990)
- Membre de la Société Savante Pharmaceutique de Côte d'Ivoire (SOPHACI).

Chez maître,

Merci d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse. Nous avons eu de l'admiration pour vos qualités de pédagogue et votre présence dans ce jury est pour nous un très grand honneur. Nous vous en sommes infiniment reconnaissants. Puisse Dieu vous bénir !

SOMMAIRE

ABREVIATION – ACRONYME-SIGLE	XXXII
LISTE DES TABLEAUX	XXXIV
LISTE DES FIGURES	XXXVI
INTRODUCTION	1
PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
I. GENERALITES SUR LES EAUX	5
I.1. Cycle de l'eau.....	5
I.2. Sources d'approvisionnement en eau	6
I.3. Usages de l'eau	9
I.4. Eaux de baignade	11
I.4.1. Définition et classification	11
I.4.2. Baignade en eaux de mer	11
I.4.3. Baignade en eaux douces ou intérieures	12
II.QUALITE DES EAUX DE Baignade.....	15
II.1. Pollution des eaux de baignade	15
II.2. Caractérisation des eaux de baignade.....	23
PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE.....	27
I. MATERIEL ET METHODES.....	28
I.1. Type, cadre et durée de l'étude.....	28
I.2. Matériel	29
I.3. Echantillonnage et suivi des échantillons	31
I.4. Méthodes	32
I.5. Méthodes d'analyses statistiques des données	61

II. RESULTATS.....	62
II.1. Géolocalisation des sites de prélèvements	62
II.2. Analyse des paramètres organoleptiques et physico-chimiques	64
II.3. Analyse microbiologique.....	76
II.4. Recherche de métaux lourds.....	81
II.5. Recherche des HAP	82
II.6. Recherche des pesticides	84
III. DISCUSSION	86
III.1. Paramètres microbiologiques des eaux de baignade de Jacqueville	86
III.2. Paramètres physico-chimiques des eaux de baignade de Jacqueville.....	87
III.3. Pesticides, HAP et métaux lourds	88
CONCLUSION	90
RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	92
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	95
TABLE DES MATIERES	110
ANNEXES	105
RESUME.....	115

ABREVIATION – ACRONYME-SIGLE

AFNOR	: Agence Française de Normalisation
ASR	: Anaérobies Sulfito-Réducteurs
BEA	: Bile Esculine Azide
°C	: Degré Celsius
°F	: Degré Français
CNR	: Canadian Natural Ressources
CT	: Coliformes Totaux
CTh	: Coliformes Thermotolérants
DHT	: Degré Hydrotimétrique Total
EDTA	: Acide Ethylène Diamine Tétracétique
EPA	: Eau Peptonée Alcaline
EPT	: Eau Peptonée Tamponnée
GAL	: β - Galactosidase
GPS	: Global Position System# Système de Positionnement Global
GLUC	: β - Glucuronidase
HAP	: Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
CLHP	: Chromatographie Liquide à Haute Performance
INHP	: Institut National d'Hygiène Publique
LD	: Limite de Détection
LQ	: Limite de Quantification
ND	: Non Détecté
MES	: Matières En Suspension
MO	: Matières Organiques
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
OS ₁	: Oxalate de Sodium
PCB	: Polychlorobiphényles
PED	: Pays En Développement

pH	: Potentiel d' Hydrogène
PP ₁	: Permanganate de potassium
SIDA	: Syndrome d'Immunodéficience Acquise
SS	: Salmonella-Shigella
TAC	: Titre Alcalimétrique Complet
TCBS	: Thiosulfate Citrate Bile Saccharose
TSN	: Trypton Sulfite Néomycine
UCV	: Unités de Couleur Vraie
UFC	: Unités Formatrices de Colonies
UNICEF	: Fonds des Nations Unies pour l'Enfance
UNT	: Unité Néphélométrique de Turbidité
UV	: Ultra-Violet
YGC	: Yeast Glucose Chloramphenicol

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Microorganismes et mode de contamination.....	17
Tableau II : Microorganismes et pathologies associées.....	18
Tableau III : Recommandations concernant les eaux de baignade.....	24
Tableau IV : Normes françaises de qualité relatives aux eaux de baignade.....	26
Tableau V : Avantages et limites de la méthode par filtration sur membrane....	59
Tableau VI : Paramètres organoleptiques et physico-chimiques de l'eau du lac de Jacqueville	65
Tableau VI : Paramètres organoleptiques et physico-chimiques de l'eau de la lagune de Jacqueville.....	66
Tableau VII : Paramètres organoleptiques et physico-chimiques de l'eau mer de Jacqueville	67
Tableau IX : Comparaison de deux moyennes par les tests de t-Student et Mann Whitney pour le lac et la lagune.....	72
Tableau X : Comparaison de deux moyennes par les tests de t-Student et de Mann Whitney pour la lagune et la mer	73
Tableau XI : Comparaison de deux moyennes par les tests de t-Student et Mann Whitney pour le lac et la mer	74
Tableau XII : Profil de caractérisation différentiel du lac, de la lagune et de la mer de Jacqueville par les paramètres physico-chimiques.....	75
Tableau XIII : Paramètres microbiologiques l'eau du lac de Jacqueville	76
Tableau XIV : Paramètres microbiologiques l'eau de la lagune de Jacqueville	77
Tableau XV : Paramètres microbiologiques de l'eau de mer de Jacqueville	78
Tableau XVI : Comparaison aux normes algériennes	79

Tableau XVII : Comparaison aux normes américaines	79
Tableau XVIII : Comparaison aux normes canadiennes	80
Tableau XIX : Comparaison aux normes européennes.....	80
Tableau XX : Comparaison aux normes OMS	80
Tableau XXI : Valeurs des métaux lourds analysés des eaux de baignade de Jacqueville	81
Tableau XXII : Teneurs des HAP recherchés	82
Tableau XXIII : Teneurs en pesticides recherchés	84

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Cycle de l'eau.....	6
Figure 2- Cartographie de la région des Grands Ponts	28
Figure 3 - Dénombrement des bactéries.....	60
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.....	68
Figure 8-Evolution de la turbidité du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.....	68
Figure 9-Évolution des matières organiques du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps	69
Figure 10-Evolution des bicarbonates du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps	70
Figure 11-Evolution de l'ammonium du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps	70
Figure 12-Evolution des nitrates du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps.....	71
Figure 13-Chromatogramme des HAP recherchés au niveau du lac	83
Figure 14-Chromatogramme des HAP recherchés au niveau de la lagune	83
Figure 15-Chromatogramme des HAP recherchés au niveau de la mer.....	83
Figure 16-Chromatogramme des pesticides recherchés au niveau du lac	85
Figure 17-Chromatogramme des pesticides recherchés au niveau de la lagune.	85

Figure 18-Chromatogramme des pesticides recherchés au niveau de la mer 85

INTRODUCTION

L'eau est d'une importance biologique, économique, sociale, culturelle et religieuse capitale [1]. Elle est une ressource naturelle précieuse et essentielle pour de multiples usages. Elle est utilisée dans le transport maritime, la consommation, les loisirs aquatiques dont la baignade.

La baignade se fait essentiellement dans les eaux de surface qui regroupent toutes les eaux s'écoulant à la surface du sol, des versants jusqu'aux cours d'eau, en passant par les mares, les étangs, les lacs, les lagunes et les mers [2]. De nombreux pays possèdent des plans et des cours d'eau exceptionnels très prisés pour la baignade notamment en été pour les pays occidentaux [3,4]. Quant à la Côte d'Ivoire, elle regorge d'une pléiade de plages comme celles de Jacqueline qui sont d'une grande fréquentation. Jacqueline est une ville touristique de la Côte d'Ivoire avec 75 Km de côte balnéaire, 150 Km de rives lagunaires et un lac [5]. C'est un lieu fréquenté tant pour son caractère pittoresque que pour ses eaux de baignade.

Cependant, les eaux de surface, utilisées comme baignade, sont victimes de pollution par des eaux usées ou des eaux de ruissellement qui véhiculent divers polluants tels que les effluents industriels, les déchets ménagers ou agricoles, les excréta et divers déchets organiques [6]. La mauvaise qualité de ces eaux est associée à une augmentation de la fréquence des maladies entériques (salmonelloses), des maladies respiratoires (légielloses), des affections cutanées (mycoses) [7]. Pour réduire ces maladies d'origine hydrique, les pays doivent disposer des réglementations concernant les eaux de baignade. Cependant, la Côte d'Ivoire n'en possède pas comparativement aux pays européens, aux pays maghrébins, aux Etats-Unis et au Canada.

Dans un souci d'apprécier le risque sanitaire encouru par la population concernée par la baignade, cette étude a été initiée avec pour objectif général d'évaluer la qualité des eaux de baignade de Jacqueline.

Les objectifs spécifiques sont de :

- Déterminer les paramètres physico-chimiques des eaux de baignade de Jacqueville,
- Evaluer les paramètres microbiologiques
- Rechercher les contaminants chimiques (métaux lourds, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les pesticides).

Pour atteindre ces objectifs, notre travail s'articulera autour de deux parties :

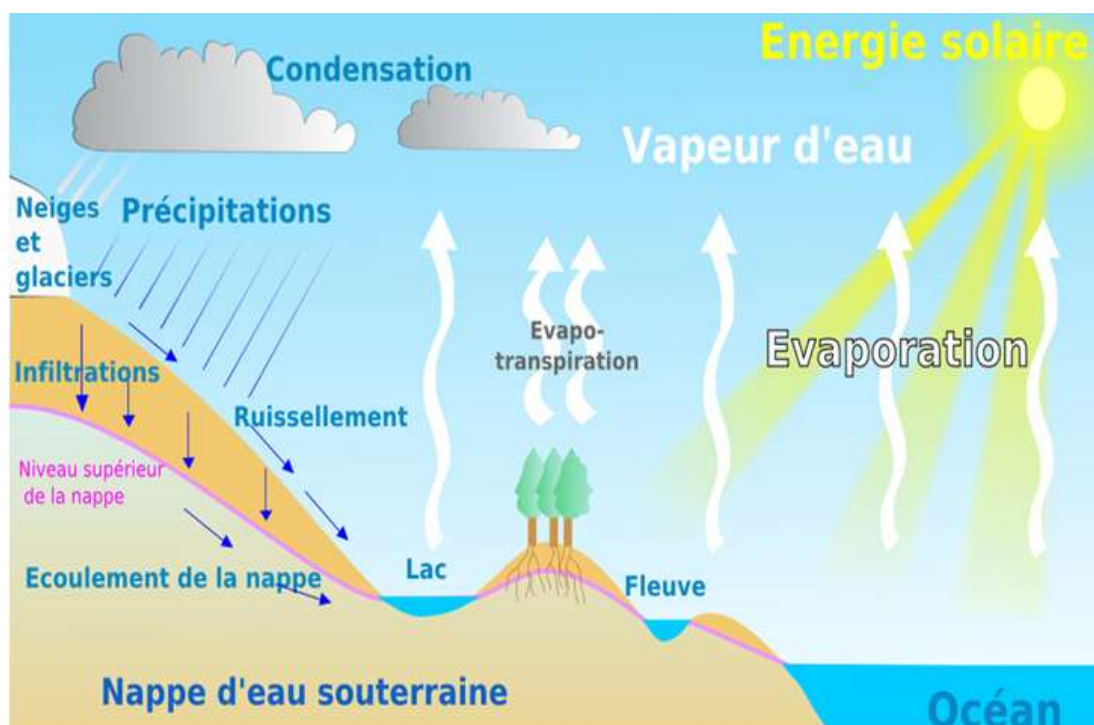
- La première partie, l'étude bibliographique, sera consacrée à des généralités sur les eaux et la qualité des eaux de baignade.
- La seconde partie, l'étude expérimentale, comprendra :
 - Le matériel et les méthodes
 - Les résultats et la discussion
 - Enfin une conclusion, quelques recommandations et perspectives.

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.GENERALITES SUR LES EAUX

I.1.Cycle de l'eau

La masse d'eau totale de l'hydrosphère n'évolue pas au cours des années, elle reste toujours constante. Les rayons du soleil réchauffent l'eau des rivières, des fleuves, des lacs, des mers, des océans et la fait passer de l'état liquide à l'état de vapeur d'eau (gazeux) : c'est l'évaporation. Au contact de l'atmosphère, la vapeur d'eau se refroidit et se transforme en petites gouttelettes qui vont être à l'origine de la formation des nuages. Sous l'action des vents, ceux-ci vont se diriger vers l'intérieur des terres : cette étape se nomme la condensation. Transportés par la circulation atmosphérique, les nuages se déplacent et l'effet de la gravité aidant, l'eau retombe sur le sol sous forme d'eau de neige ou de grêle : c'est la précipitation. L'eau qui n'est pas absorbée par le sol, ruisselle le long des pentes jusqu'à se déverser dans les rivières, les fleuves et les lacs. Elle sera ensuite transportée jusqu'aux mers et océans. Un peu moins de la moitié des précipitations va recharger les nappes phréatiques, le reste part en évaporation : ceci représente l'infiltration des eaux. Enfin, l'eau peut revenir directement à sa phase liquide dans l'atmosphère par la transpiration des végétaux qui éliminent ainsi une partie de l'eau contenue dans le sol et conservent une partie de l'eau de pluie dans leur feuillage. Le moteur de ce cycle est le soleil, ou plus exactement l'énergie solaire qu'il dégage. (Figure1) [8,9].



Source : [8,9]

Figure 1 - Cycle de l'eau

I.2.Sources d'approvisionnement en eau

I.2.1.Eaux de pluie

Les eaux de pluie sont collectées à partir des toitures des maisons dans des récipients ou des impluviums. Ces eaux présentent à l'origine sur le plan chimique, une carence en certains éléments indispensables à la santé comme le sodium, magnésium, manganèse, fer, iode tandis qu'elles sont pures sur le plan microbiologique [10].

I.2.2.Eaux souterraines

Les eaux souterraines ont toujours été une source importante d'approvisionnement en eau potable pour les populations [11].

Elles sont formées par les eaux d'infiltration et sont exemptes de pollution. Cependant, la proximité des latrines ou autres sources de pollution, le manque de protection, la technique de puisage sont autant de facteurs pouvant

contaminer ces eaux. En outre, elles peuvent être chargées en certains éléments minéraux ; on aura alors les eaux saumâtres riches en chlorure de sodium (NaCl), les eaux dures riches en calcium (Ca^{++}), les eaux ferrugineuses riches en fer (Fe^{++}) [11].

I.2.3.Eaux de surface

I.2.3.1.Origine

Les eaux de surface proviennent soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau, de rivière, soit des eaux de ruissellement. Elles se rassemblent en cours d'eau, caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs, fleuves) ou artificielles (retenues, barrages). Ces réserves sont caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable [1].

I.2.3.2.Caractéristiques des eaux de surface

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. Par échange à la surface eau-atmosphère, ces eaux se chargent en gaz dissous (O_2 , N_2 , CO_2).

Il faut noter :

- La présence quasi générale de gaz dissous, en particulier le dioxygène (O_2),
- La présence de matières organiques d'origine naturelle. Ces dernières proviennent de la décomposition des organismes végétaux et animaux vivant à la surface du bassin versant ou dans la rivière et qui se décomposent après leur mort,

Une concentration importante en matières en suspension, tout au moins pour les eaux courantes. Ces matières en suspension sont très diverses, allant des particules colloïdales aux éléments constitutifs entraînés par les rivières en cas d'augmentation du débit. Dans le cas des eaux de barrages, le temps de séjour provoque une décantation naturelle des éléments les plus grossiers : la turbidité résiduelle est alors colloïdale ;

- La présence de plancton : les eaux de surface sont le siège d'un développement important de phytoplancton (algues...) et de zooplancton. Dans certaines conditions, une vie aquatique intense (de végétaux saprophytes, de poissons) peut se développer ;
- Les variations journalières ou saisonnières : les variations journalières ou saisonnières sont constituées de variations climatiques et de variations de végétation (chute des feuilles). Elles peuvent être aléatoires (pluies soudaines, orages, pollutions accidentelles). Dans les retenues d'eau de surface, la qualité de l'eau varie de la surface de l'eau jusqu'au fond de la retenue (O₂, Fe, Mn Oxydabilité, plancton). Le profil de chacun de ces paramètres varie lui-même en fonction des périodes de l'année ;
- La pollution organique conduisant souvent à l'eutrophisation des eaux [10].

En Côte d'Ivoire, de nombreuses études sur la qualité des eaux de surface ont montrées une pollution de ces eaux du fait des activités humaines (agriculture, industries...) [6, 12, 13].

I.2.3.3. Potabilités des eaux de surface

Elles sont rarement potables sans aucun traitement. Outre les éléments constitutifs, les eaux de surface sont généralement polluées bactériologiquement. De plus, elles peuvent présenter plusieurs pollutions d'origine :

- Urbaine : eaux usées provenant des latrines et des fosses septiques

- Industrielle : polluants et micro polluants organiques (hydrocarbures, solvants, produits de synthèse, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniacque, produits toxiques)
- Agricole : engrais et produits pesticides entraînés par les eaux de pluies et de ruissellement et également des rejets organiques dus à la présence d'élevages importants [10]

I.3. Usages de l'eau

- ✓ **Usages industriels** : en industrie, l'eau est utilisée sous trois formes : fluide thermique, agent de nettoyage et solvant ou matière première. Son utilisation à des fins industrielles augmente en fonction des revenus des pays. De 10% dans les pays à faible revenu, elle passe à près de 60% dans les pays à revenu élevé. En 2014, la consommation industrielle d'eau représentait environ 20% de la consommation mondiale [14].
- ✓ **Usages domestiques** : la consommation en eau domestique dans le monde est très inégale d'autant plus important que le niveau de vie des populations est élevé. Bien que très difficile à évaluer du fait de la multiplicité des usages, la consommation totale en eau domestique dans le monde est estimée en moyenne à 40 litres d'eau par jour et par habitant [15].
- ✓ **Usages agricoles** : l'agriculture est l'activité humaine qui utilise la plus grande quantité d'eau. Avec 70% de la consommation mondiale d'eau, elle est sans conteste le secteur d'activité le plus consommateur d'eau. Elle est utilisée en complément de l'irrigation pluviale afin d'augmenter les rendements et accroître la durée de la saison agricole [16].
- ✓ **Usages à des fins de loisir** :
 - Piscines

Les établissements comportant un ou plusieurs bassins artificiels sont regroupés sous le terme générique de **piscines**. La qualité de l'eau est assurée

par la mise en œuvre en continu d'un certain nombre de traitements, dont la désinfection. Les piscines sont des établissements généralement couverts, comportant un ou plusieurs bassins permettant le bain, la natation ou des activités apparentées dans une eau désinfectée à une température de l'ordre de 28 °C, et des installations collectives annexes (vestiaires, sanitaires, plages). 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 est essentielle y compris les sols, les bassins et l'air environnant. Les piscines se caractérisent par des circuits à respecter. Les circuits des baigneurs et non baigneurs sont bien distincts. Ces circuits comportent des pédiluves désinfectants disposés à l'entrée des bassins, des sanitaires, des vestiaires, des douches [1].

- Baignades

Les sites naturels, regroupés sous le terme générique de **baignades**, peuvent faire l'objet d'aménagements particuliers en vue d'accueillir du public, mais l'eau n'y est pas traitée. La qualité de l'eau est assurée par la qualité initiale du milieu naturel et le renouvellement constant de l'eau au niveau des zones de baignades. Ils se répartissent eux-mêmes en deux sous-groupes :

- Les baignades en eaux 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 eaux douces, qui présentent une grande variété de sites comme les rivières, les torrents, les retenues naturelles (lac, lagune) ou artificielles (étangs, gravières, barrages-réservoirs) [1].

I.4.Eaux de baignade

I.4.1. Définition et classification

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 [17].

Les différents types de baignade sont :

- Baignade en eaux de mer
- Baignade en eaux douces ou intérieures

I.4.2. Baignade en eaux de mer

L'océan Atlantique, localement 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 [18]. 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 [18].

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) [19].

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 Jacqueline, à une cinquantaine de km à l'ouest d'Abidjan, entre lagune et océan et exploités par plusieurs compagnies étrangères [20]. Les plages au bord de la mer sont très fréquentées par les habitants.

I.4.3. Baignade en eaux douces ou intérieures

❖ La lagune Ebrié

La Côte d'Ivoire a un plan lagunaire qui occupe le long de la moitié orientale de la façade littorale, jusqu'au Ghana sur près de 300 km. Il couvre une surface de près de 1.200 km² et comprend les lagunes de Fresco, de Grand-Lahou, d'Aby et d'Ebrié. Localisée dans la partie centrale et étirée d'Est en Ouest sur 130 km avec une largeur de 7 km, la lagune Ebrié couvre une superficie de 525 km² avec les lagunes Aghien et Potou. La profondeur moyenne des eaux est de 4 m et on observe des fosses de plus de 20 m dans la zone portuaire et la baie d'Abou-Abou [21]. La lagune Ebrié est alimentée en eau douce par trois principaux fleuves d'importance inégale qui sont les fleuves Comoé, Mé et Agnéby. En effet, elle reçoit, dans sa partie orientale, le fleuve Comoé, la rivière Mé et, dans sa partie centrale, les rivières côtières d'Agnéby et du Boubo. Depuis 1950, la lagune est en contact permanent avec la mer par le canal artificiel de Vridi (ouvrage de 2700 m de long, de 300 m de large et profond d'une vingtaine de mètres), et parfois par l'embouchure temporaire du fleuve Comoé à Grand-Bassam. L'ouverture du canal de Vridi a entraîné la fermeture du grau de Grand-Bassam qui constituait l'exutoire naturel de la lagune Ebrié. En dehors de ces trois fleuves, la lagune reçoit également des eaux résiduaires provenant des

entreprises industrielles. La zone urbaine de la lagune Ebrié est le bassin de réception de divers déchets d'origines anthropiques générés par les villes environnantes [21]. Elle est aussi fréquentée par la population pour la baignade.

❖ Le 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. 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 [22].

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.

La baignade peut être interdite dans les lacs non aménagés plus dangereux que les côtes maritimes [23].

II.QUALITE DES EAUX DE BAIGNADE

II.1.Pollution des eaux de baignade

II.1.1.Pollution d'origine biologique

Les indicateurs biologiques sont les paramètres les plus importants à considérer pour les eaux à usage domestique. Ils correspondent à des germes pathogènes qui proviennent du rejet des eaux usées domestiques ou industrielles directement dans les cours d'eau et/ou des lessivages des sols [24].

La transmission des microorganismes peut se faire par ingestion d'eau contaminée ou par contact direct avec la peau et les muqueuses. Pour de nombreux parasites, l'homme n'est qu'un hôte dans leur cycle vital. La contamination des eaux de surface est fréquente. Elle peut se faire par les eaux usées urbaines, par des sources ponctuelles de pollution (fosses « septiques ») ou par les excréments d'animaux domestiques ou sauvages. Ces sources sont associées à une augmentation de fréquence des maladies entériques, des maladies respiratoires ou des affections cutanées, comme l'ont montré plusieurs études épidémiologiques [25, 26].

La survie de la plupart des microorganismes pathogènes dans l'eau est fonction de la température. Les bactéries pathogènes et les virus survivent mal lorsque les températures sont élevées, alors que les parasites sont peu affectés. Dans les pays froids, le gel a généralement raison de la plupart des microorganismes, qu'ils soient bactériens ou parasitaires. Au contraire, les virus ont tendance à survivre plus longtemps lorsque les températures sont basses, même en dessous de 0 °C [27].

- Les bactéries

Les bactéries les plus souvent rencontrées sont les staphylocoques, les streptocoques, les salmonelles et les légionnelles. Elles sont responsables de diverses pathologies (tableau II).

- Les virus

Les virus les plus rencontrés dans les eaux de baignade sont essentiellement les papillomavirus, les entérovirus dont l'origine est diverse (tableau I). Ils proviennent essentiellement des baigneurs mais également des eaux souterraines servant à alimenter les eaux de surface. En effet, la présence des virus (entérovirus, rotavirus...) dans les eaux souterraines est fréquente, et leur survie peut être très longue dans ce milieu où la prédation microbienne est faible [11].

- Les parasites

Les parasites les plus recherchés au niveau des eaux de baignade sont essentiellement les amibes (*Naegleria fowleri*), les cryptosporidies et *Giardia lamblia* responsables respectivement de méningo-encéphalites, de cryptosporidiose et de giardiase [28] (tableau II).

- Les champignons

Les champignons responsables de pathologies liés aux eaux de baignade sont surtout dominés par les dermatophytes responsables de mycoses, d'herpès circiné d'eczéma. En outre on retrouve également des levures responsables de candidoses et des moisissures qui entraînent des infections des orteils [292] (tableau I et II).

Tableau I : Microorganismes et mode de contamination

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

Source : [28, 29]

Tableau II : Microorganismes et pathologies associées

Microorganisme		Pathologies			
		Cutanées	O.R.L.	Digestives	Diverses
Champignons	Dermatophytes	Mycoses			
		Herpes circiné			
		Eczéma			
	Levures	Candidose (ongles et plis)			
	Moisissure (peu pathogènes)	Infections des orteils	Infections du conduit auditif externe		
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	

Source : [28, 29]

II.1.2. Pollution d'origine agricole, industrielle ou chimique

II.1.2.1. Pollution d'origine agricole

Les engrais solubles et les engrais azotés provoquent une augmentation du taux de nitrates dans les eaux. Les nitrates, à température ambiante, et en solution non stérile, peuvent se transformer en nitrites, dont la consommation, pendant les six premiers mois de la vie provoque la méthémoglobinémie ou maladie bleue. Plus tard la consommation des eaux riches en nitrates est inoffensive. Les pesticides rémanents, c'est-à-dire non biodégradables, sont actuellement interdits mais, on en retrouve encore des traces [30].

II.1.2.2. 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 [31].

❖ Pollution par les hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des corps combustibles et brûlent en donnant du gaz carbonique (CO₂) 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 [32]. Plus d'une centaine de HAP ont été découverts dans la nature, seulement 16 ont été sélectionnés comme polluants prioritaires [33]. A noter que les hydrocarbures à 3 noyaux sont la cause essentielle de l'impact écotoxicologique des pollutions pétrolières sur les écosystèmes aquatiques [34].

❖ 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 les vecteurs de certaines maladies de l'homme (paludisme) 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 [35].

❖ 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 [36].

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 [36]. 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 [37]. 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 [38]. 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 [38]. 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 [39].

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 névrites), anémie, gangrènes, ictères et cancers hépatiques [36]. 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 [40].

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 [41].

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 [42].

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 [43].

II.2.Caractérisation des eaux de baignade

II.2.1.Contrôle microbiologique

En pratique, le contrôle de qualité biologique des eaux douces de baignade repose sur l'évaluation des niveaux de concentration de bactéries indicatrices de contamination fécale (coliformes thermotolérants, *E. coli*, entérocoques), de pathogènes fécaux (*Salmonella*) ou non (Staphylocoques) et, éventuellement, d'entérovirus dont la détection requiert des techniques beaucoup plus difficiles et onéreuses que les indicateurs bactériens [1].

II.2.1.1.Les bactéries

La détection et la numération des bactéries pathogènes ou indicatrices se fait à l'aide de méthodes relativement simples de filtration de volumes d'eau de 100 à 1000 mL sur des membranes filtrantes de porosité faible (0,45 μm) et l'utilisation de milieux de culture artificiels.

II.2.1.2. Les 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. L'infectiosité virale peut être décrite comme la capacité des virus à entrer dans des cellules hôtes et à utiliser la machinerie cellulaire pour produire de nouvelles particules virales infectieuses ou virions [44]. 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 [45].

II.2.1.3. Les cryptosporidies et champignons

Les méthodes d'analyse utilisée pour l'identification et le dénombrement des cryptosporidies sont l'immunofluorescence directe (oocystes) et la PCR (génomique) [46].

Les méthodes d'identification et de dénombrement des champignons sont réalisées par une méthode spectrale (spectrophotométrie Infrarouge) et l'utilisation de milieux de culture artificiels (Sabouraud-Chloramphénicol, dermatophytes...) après concentration [29].

Au Canada, des recommandations concernant la qualité des eaux de baignade ont été établies. Elles sont consignées dans le tableau III [47].

Tableau III : Recommandations concernant les eaux de baignade

Paramètres	Considérations	Recommandations
Escherichia coli (Activités récréatives de contact primaire).	Moyenne géométrique (d'au moins 5 échantillons)	≤ 200 <i>E. coli</i> /100mL
	Concentration maximale dans un seul échantillon	≤ 400 <i>E. coli</i> /100mL
Entérocoques (Activités récréatives de contact primaire)	Moyenne géométrique (d'au moins 5 échantillons)	≤ 35 entérocoques/100mL
	Concentration maximale dans un seul échantillon	≤ 70 entérocoques/100mL
Microorganismes pathogènes (bactéries, virus, protozoaires)	Analyse requise uniquement lorsque les données épidémiologiques ou autres le justifient	Aucune valeur numérique recommandée

Source : [47]

II.2.2. Contrôle physico-chimique

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

- colorimétrie pour les nitrates, nitrites, le sodium l'azote....
- titrimétrie pour le titre alcalimétrique complet, le DHT...
- électrochimie pour le pH, la conductivité....

En outre, les pesticides, les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont déterminés par des méthodes chromatographiques. Ce sont la chromatographie en phase gazeuse et la chromatographie liquide de haute performance qui sont les plus utilisées pour les analyses [48].

Quant aux métaux lourds, ils sont analysés par des méthodes spectrométriques. Ils peuvent être analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique ou par spectrophotométrie d'émission atomique [17]. Les valeurs limites de quelques paramètres physico chimiques sont consignées dans le (Tableau IV).

Tableau IV : Normes françaises de qualité relatives aux eaux de baignade

Paramètres physico-chimiques	Valeur guide (G*)	Valeur impérative (I*)
Ph	-	6-9
Coloration	-	Pas de changement anormal de la couleur
Huiles minérales (mg/L)	Inférieur ou égal à 0,3	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)	0,3	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 supérieure au-delà de laquelle la zone de baignade est considérée de mauvaise qualité

Source : 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 [1]

PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE

I. MATERIEL ET METHODES

I.1. Type, cadre et durée de l'étude

Ce travail est une étude descriptive 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. Les analyses ont été réalisées, d'une part, pour les paramètres physico-chimiques classiques et microbiologiques à l'Institut National Hygiène Publique (INHP) de Treichville, et d'autre part, pour les métaux lourds, les HAP et les pesticides au Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole (LANADA) à Abidjan. La campagne s'est déroulée de décembre 2017 à avril 2018 (5 mois).



Figure 2- Cartographie de la région des Grands Ponts

I.2. Matériel

I.2.1.Appareillage

L'appareillage est constitué de :

- Un chromatographe liquide (SHIMADZU)
- Spectrophotomètre ICP-OES (Perkin Elmer)
- Photomètre (WAGTECH 7100 Se – Grande Bretagne),
- Bain marrie (THERMOSTATIC BATH),
- Rampe de filtration (SARTORIUS Goethingen- Germany),
- Incubateurs de terrain (LABNET),
- Stérilisateurs UV,
- Autoclaves de paille (P SELECTA),
- GPS (GARMIN-Etats-unis),
- pH-mètre à sonde (HACH HQ 11d-France),
- Turbidimètre (TURB 430 IR-France),
- Conductimètre à sonde (HACH HQ 14 d-France),
- Appareil photo numérique (SONY-Japon).

I.2.2.Consommables

- Accumulateurs de glace
- Membranes de filtration de diamètre 47 mm
- Boîtes de Pétri de diamètres 55 mm (petites), 90 mm (grandes)
- Pipettes Pasteur
- Embouts de micropipettes

I.2.3. Verreries et autre matériel

- Flacons de prélèvement de capacités 500 ml, 1000 ml,
- Tubes à essais de 35 ml,
- Ballons à fond rond de 50 ml, 250 ml,

- Erlenmeyers de capacité : 250 ml, 500 ml,
- Glacières
- Micropipettes de marque Wagtech de capacités : 1-10 mL,
- 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 et poudre de zinc pour le dosage des nitrates
- pastille Nitricol pour le dosage des 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 Sulphate Turb 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 (d=1,84),
- Permanganate de potassium,
- Oxalate de sodium.

Réactifs de microbiologie :

Les réactifs de microbiologie sont constitués des milieux de culture : Rapid'*E coli* 2 Agar (Bio Rad France), Gélose Bile Esculine Azide (Bio Rad France), Gélose Tryptone Sulfite Néomycine (Bio Rad France), Gélose *Salmonella-Shigella*, Gélose Hektoen, Gélose Baird Parker, Eau Peptonée Tamponnée, Eau Peptonée Alcaline, eau oxygénée, Yeast Glucose Chloramphenicol (YGC), pseudosel, Gélose Thiosulfate Citrate Bile Saccharose (TCBS), Gélose à l'ADN, Gélose Chapman mannité, bouillon Rappaport Vassiliadis, bouillon cœur cervelle, plasma de lapin.

I.3.Echantillonnage et suivi des échantillons

I.3.1 Echantillonnage

Jacqueville, la presqu'île, présente un décor et un cadre paradisiaque propre aux villes du littoral ivoirien de par son paysage atypique. Réputée pour son climat, sa météo favorable à la baignade, surtout à partir du mois d'Avril, Jacqueville et ses plages magnifiques accueillent presque toute l'année des visiteurs dans la douceur de l'atlantique d'où le choix pour cette étude. Le prélèvement s'est fait sur 3 points d'eau pendant 5 campagnes. L'échantillonnage était constitué de :

- 15 échantillons de 1000 mL pour les analyses physicochimiques classiques ;
- 15 échantillons de 1000 mL pour la recherche des vibrions ;
- 45 échantillons de 500 mL pour les autres analyses microbiologiques ;

- 3 échantillons de 1000 mL pour les analyses des métaux lourds, des pesticides et des HAP. Ces analyses ont été réalisées uniquement lors de la première campagne.

I.3.2. Suivi des échantillons

Les prélèvements ont été réalisés selon les recommandations de l'OMS/PNUE [49]. 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 [50]. Les échantillons prélevés pour la recherche des vibrions avaient été mis dans une glacière sans accumulateurs de glaces (car les vibrions ont tendance à mourir à une température très basse). 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 pailleasse le temps que leur température revienne à la température ambiante.

I.4.Méthodes

I.4.1.Géolocalisation des eaux de baignades de Jacqueline : repérages par GPS

I.4.1.1.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.4.1.2.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.4.2.Analyses des échantillons

I.4.2.1. Analyses organoleptiques et physicochimiques

I.4.2.1.1.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 dans notre étude sont la couleur et la turbidité.

I.4.2.1.1.1.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 [51].

La détermination de la couleur repose sur le principe de comparateur de couleur. Elle est mesurée à l'aide du photomètre par comparaison avec une solution d'eau distillée. Le résultat s'affiche en mg de platine (1mg de platine = 1UCV).

I.4.2.1.1.2. 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 [50].

✓ 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.4.2.1.2. Analyse physico-chimique

I.4.2.1.2.1. 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) laquelle différence de potentiel est liée à la présence d'ions hydrogènes $[H^+]$ 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.4.2.1.2.2.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 Opératoire

- 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 [52].

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

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

I.4.2.1.2.3.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.4.2.1.2.4.Dosage de l'Ammonium (NH₄⁺)

✓ 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.4.2.1.2.5.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.4.2.1.2.6.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.4.2.1.2.7. 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 ($[Na] = [NaCl] - [Cl]$)

I.4.2.1.2.8. 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.4.2.1.2.9. 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.4.2.1.2.10.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.4.2.1.2.11.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.4.2.1.2.12.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 SiO_2

✓ 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.4.2.1.2.13.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) [52].

✓ 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.4.2.1.2.14.Détermination du Degré Hydrotimétrique Total (DHT)

✓ Principe

La dureté totale ou degré hydrotimétrique total ou titre hydrotimétrique (TH) est essentiellement due aux ions calcium (Ca²⁺) et magnésium (Mg²⁺) 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 CaCO₃. 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.4.2.1.2.15.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 Opératoire

- 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 (Etape7). 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.
- AS_2 = acide sulfurique, deuxième solution fille
 PP_1 = permanganate de potassium, première solution fille
 OS_1 = oxalate de sodium, première solution fille

I.4.2.2. Analyse des pesticides

Les pesticides ont été analysés par chromatographie liquide de haute performance en utilisant comme phase mobile un mélange eau-acétonitrile en mode gradient. Les pesticides ont été analysés au cours de la première campagne. Cette technique a fait un balayage des métaux lourds.

✓ Protocole opératoire

- 1- Prélever 10 mL de l'échantillon
- 2- Activer la colonne C18 avec 10 mL de Méthanol
- 3- Ensuite 10 mL d'eau distillée
- 4- Faire passer les 10 mL de l'échantillon sur la colonne C18
- 5- Assécher la colonne pendant 30 minutes

6- Décrocher les pesticides avec 5 mL de méthanol

7- Récupérer dans un Vial pour l'injection au HPLC.

✓ **Conditions analytiques**

Débit de la phase mobile : 0,5 mL/min

Durée de l'analyse : 56 mn

Détection : 205 nm

Température du four : 40°C


Phase mobile : Eau (pompe B) –Acétonitrile (pompe A) en mode gradient

Temps (min)	Pompe B (%)	Pompe A (%)
0,01	75	25
40,00	40	60
47,00	0	100
55,00	0	100
56,0	75	25


✓ **Liste des pesticides recherchés**

 Désisopropylatratzine

 Metamitron

 Désethylatrazine

 Fénuuron

 Crimidine

 Aldicarbe








 Métoxuron

 Monuron

 Cyanazine

 Méthabenzthiazuron

 Chlortoluron

-  Monolinuron
-  Métazaclor
-  Chlorpropham
-  Parathion-méthyl
-  Chlorfenvinphos
-  Vinclozolin
-  Parathion-éthyl

I.4.2.3. Analyse des HAP

Les HAP ont été analysés par chromatographie liquide de haute performance (HPLC) en utilisant comme phase mobile un mélange eau-acétonitrile en mode d'élution isocratique. Les HAP ont été recherchés au cours de la première campagne.

✓ Principe

Les HAP sont extraits de l'échantillon à analyser par le dichlorométhane. Après concentration, l'extrait est purifié sur colonne d'alumine basique.

Les HAP sont séparés par HPLC et détectés par un détecteur fluorimétrique à longueurs d'excitation et d'émission variables pour les 8 HAP et par un détecteur à barrette d'iodes pour l'acénaphthylène.

✓ Mode opératoire

- 1- Prélever 250 mL de l'échantillon
- 2- Activer la colonne C18 avec successivement 10 mL de méthanol et 10 mL d'eau distillée
- 3- Faire passer les 250 mL de l'échantillon sur la colonne C18
- 4- Assécher la colonne pendant 30 minutes
- 5- Décrocher les HAP avec 5 mL de méthanol
- 6- Récupérer dans un Vial pour l'injection au HPLC.

✓ Conditions analytiques

Phase mobile : Acetonitrile - Eau, v/v

Débit : 0,5 mL/min

Température du four : 40°C

Détection : 280 nm

Durée de l'analyse : 10 mn

✓ Expressions des résultats

Formule de calcul

$$C_{Ech} = \frac{S.E_{ch} \times C_{Std} \times V_f}{S_{Std} \times V.Ech}$$

C_{Ech} : Concentration de l'Echantillon ($\mu\text{g/mL}$)

S_{Ech} : Surface du pic de l'échantillon

S_{Std} : Surface du pic du standard

C_{Std} : Concentration du standard ($\mu\text{g/mL}$)

V_f : Volume final (mL)

$V.Ech$: Masse de l'échantillon (mL).

I.4.2.4. Analyse des métaux lourds

Les métaux lourds ont été analysés par spectrométrie d'émission atomique (ICP-AES) dont la source est un plasma généré par couplage inductif selon la norme ISO 11885 : 2009. Un balayage des métaux lourds a été réalisé. Ils ont été recherchés au cours de la première campagne.

✓ Principe

La spectroscopie d'émission atomique avec plasma couplé par induction (ICP-AES) est une technique d'analyse multi-élémentaire à fort potentiel.

L'analyse par ICP-AES mesure les radiations émises par les atomes excités ou ionisés. Le rayonnement émis est spécifique d'un élément donné et son intensité est proportionnelle à sa concentration. Pour être excité, l'échantillon est nébulisé sous argon puis injecté dans une torche plasma où l'application d'un champ issu d'un générateur radio fréquence permet la création un plasma. Les températures atteintes par le plasma sont de l'ordre de 5000 à 10000 °K [53].

✓ Conditions d'analyse

Les eaux sont préalablement filtrées et acidifiées. Dans les cas d'échantillons contenant des matières en suspension ou pour des sédiments, une mise en solution est nécessaire.

I.4.2.5. 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 [54].

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) [49].

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 [55]**

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 100mL 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 thermotolérants, *E. coli*, des entérocoques, des légionnelles ;
- Le dénombrement des staphylocoques, de *Pseudomonas aeruginosa*, des vibrions et des 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'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 : *E. coli*
 - Violettes ou marron : coliformes totaux et thermotolérants ou autres coliformes

✓ 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 esculétine. 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 $46 \pm 1 ^\circ\text{C}$ 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 [55].

- 5- Lecture des boîtes ?

- **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 [56].

- ✓ **Culture et dénombrement des vibrions**

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 Ensemencement sur milieu TCBS et Mueller Hinton alcalin
- 5 Les colonies grosses, 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 vibrions :
Grosses colonies jaunes : saccharose positive (*Vibrio cholerae*)
Grosses colonies vertes : saccharose négative (*Vibrio parahemolyticus*).

✓ Dénombrement des salmonelles

Mode opératoire

- 1 Filtrer 250 mL d'eau
- 2 Faire le pré-enrichissement en eau peptonée tamponnée (100 mL ?) à 37°C pendant 18 à 24 heures de la membrane de filtraion
- 3 Mettre quelques gouttes de Rappaport Vassiliadis et 1 ml de l'eau peptonée tamponnée pré-enrichi dans 2 tubes à hémolyse
- 4 Incuber à l'étuve le 1^{er} tube à 37°C pendant 8 heures et le 2^{ème} tube à 44°C pendant 4 heures.
- 5 Isoler sur géloses SS et Hektoen par technique de stries ou d'épuisement à partir du bouillon d'enrichissement (bouillon de Rappaport)
- 6 Incubation à l'étuve à 37°C pendant 18 à 24 heures
- 7 Après 24 heures, repérer les colonies présentant les caractéristiques macroscopiques des salmonelles (colonies incolores à centre noir sur SS et colonies verdâtres ou bleuâtres à centre noir sur Hektoen)

8 Ensemencer les colonies suspectes sur le portoir réduit de Le minor pour l'identification des caractères biochimiques.

✓ **Dénombrement de *Pseudomonas aeruginosa***

Mode opératoire

- 1 Filtrer 100 ml d'eau
 - 2 Placer les membranes sur le milieu pseudosel ou cétrimide
 - 3 Incuber à l'étuve à 37°C pendant 18 à 24 heures
 - 4 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 Faire la coloration de Gram (Cocci Gram positif en amas ou en diplocoques)
- 6 Ensemencer sur les milieux : gélose Chapman mannité, plasma de lapin, gélose à ADN, gélose Baird Parker et gélose ordinaire.
- 7 Les staphylocoques sont mannitol positif et catalase positive. Ils possèdent une staphylocoagulase libre, une DNase et une thermo nucléase.

✓ **Culture et dénombrement des légionnelles**

Mode opératoire

- 1 Traiter l'eau pour la débarrasser des bactéries interférentes, en y ajoutant 2 ou 3 gouttes d'acide nitrique
- 2 Filtrer 100 ml de l'échantillon

3 Placer le filtre sur deux milieux (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 blanches qui pousseraient sur le milieu BCYE avec L cystéine.

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

Tableau V : 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'abimage des pores de la membrane ; - La possibilité d'avoir des colonies confluentes du fait de la prise d'essai importante.



Figure 3 - Dénombrement des colonies sur le milieu Rapid'*E. coli* 2

I.5.Méthodes d'analyses statistiques des données

Le traitement de texte a été fait à l'aide du logiciel WORD 2016. Les analyses statistiques des différents paramètres ont été réalisées à l'aide des logiciels EXCEL 2016, analysis Tool Pak. La comparaison des moyennes s'est faite par les tests de t Student et de Mann Whitney.

II.RESULTATS

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

- Réalisation du positionnement des sites de prélèvements par repérage GPS
- L'analyse des paramètres organoleptiques et physico-chimiques
- L'analyse des paramètres bactériologiques
- La recherche des métaux lourds
- La recherche de HAP
- La recherche des pesticides

II.1.Géolocalisation des sites de prélèvements

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



GPS : Longitude 004°24"730' ; Latitude : 05°12"222'

Figure 4-Aperçu du lac de Mambe Eiminkoa de Jacquerville



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 Mambe Eiminkoa de Jacqueville

La turbidité était plus perceptible en février et mars 2018. Le phosphore quant à lui était élevée de décembre 2017 à avril 2018. Les valeurs des chlorures étaient faibles. Le pH était élevé en mars et avril 2018 (Tableau VI).

Tableau VI : Paramètres organoleptiques et physico-chimiques de l'eau du lac de Jacqueline

Paramètres physico-chimiques	Déc-17	Jan-18	Fév-18	Mars-18	Avril-18	Normes [47,57]
Couleur (en UCV)	45	50	55	75	195	
Turbidité (en UNT)	43,3	45,2	78,1	74,8	52,6	50
Conductivité ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	85,6	93,3	94,9	124,2	195,9	
Température ($^{\circ}\text{C}$)	30,6	34,1	32,4	31,8	32,2	
pH	8,11	8,28	8,24	10,96	10,03	6-9
Nitrates (mg/L)	0,62	5,6	2,8	1,04	0,44	50
Nitrites (mg/L)	0,1	0,09	0,16	0,16	0,18	0,1
Ammonium (mg/L)	0,18	0,01	0,16	0,11	0,09	2
Chlorures (mg/L)	7	8,8	8,7	9,3	9,8	250
DHT ($^{\circ}\text{F}$)	50	50	95	85	55	
TAC (mg/L)	90	95	115	125	120	
Fer (mg/L)	0,85	0,75	1,3	1,35	0,9	0,3
Manganèse (mg/L)	0,002	0	0,003	0,004	0,003	0,1
Aluminium (mg/L)	0,25	0,23	0,17	0,3	0,23	0,2
Fluorures (mg/L)	0,03	0,01	0,8	0,36	0,1	1,5
Zinc (mg/L)	0,23	0,18	0,54	0,52	0,28	5
Sulfates (mg/L)	20	18	29	27	22	150
Sodium (mg/L)	4,6	6,7	5,7	15	6,4	
Bicarbonates (mg/L)	65	55	75	75	80	
Soufre (mg/L)	7	6	10	9	7	
Potassium (mg/L)	2,5	2,4	4,4	2,7	2,6	
Phosphore (mg/L)	9,2	10,2	16,7	15,4	11,4	1
Magnésium (mg/L)	23	21	40	24	5	
Calcium (mg/L)	76	20	2	20	0	
Silice (mg/L)	9	33	11	9	9,5	
Silicates (mg/L)	19	70	23	19,5	20,5	
Phosphates (mg/L)	27,8	30,8	505,5	46,7	34,5	
Matières organiques (mg/L)	5	7,14	11,23	9,04	10,6	

II.2.2. La lagune Ebrié de Jacqueville

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

Paramètres physico-chimiques	Déc-17	Jan-18	Fév-18	Mars-18	Avril-18	Normes [47,57]
Couleur (en UCV)	15	10	10	15	15	
Turbidité (en UNT)	3,99	6,93	1,42	2 ;43	5,39	50
Conductivité ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	1600	3650	4810	5150	5670	
Température (°C)	29,4	30,6	31,8	31	32,1	
Ph	6,89	7,3	7,33	9,79	8,22	6-9
Nitrates (mg/L)	0,54	4,8	1,9	0,74	0,3	50
Nitrites (mg/L)	0,06	0,11	0,04	0,03	0,06	0,1
Ammonium (mg/L)	0,31	0,06	0,32	0,15	0,3	0,5
Chlorures (mg/L)	14	17	14	3600	1900	250
DHT (°F)	440	440	390	1000	330	
TAC (mg/L)	60	55	55	100	60	
Fer (mg/L)	0	0	0,01	0,1	0,05	0,3
Manganèse (mg/L)	0,001	0,001	0,003	0,001	0,003	0,1
Aluminium (mg/L)	0,03	0,14	0,03	0,11	0,12	0,2
Fluorures (mg/L)	0,74	0,66	0,77	0,92	1	1,5
Zinc (mg/L)	0,01	0,01	0	0,15	0	5
Sulfates (mg/L)	140	124	169	140	165	150
Sodium (mg/L)	9	11	9,5	2200	1250	
Bicarbonates (mg/L)	45	35	35	60	35	
Soufre (mg/L)	46	42	55	46	55	
Potassium (mg/L)	14	46	102	130	100	
Phosphore (mg/L)	0,2	1,8	1,4	2,1	2,4	1
Magnésium (mg/L)	100	500	760	650	1100	
Calcium (mg/L)	34	26	36	400	600	
Silice (mg/L)	4	27,5	2	2,5	2,1	
Silicates (mg/L)	8,5	58	4,3	6	3,8	
Phosphates (mg/L)	0,7	4,4	4,2	6,3	7,2	
Matières organiques (mg/L)	4,33	5,44	5,1	3,82	5,11	

Les teneurs en chlorures dépassaient la norme en mars et avril 2018. Les concentrations en phosphore étaient supérieures à la norme à l'exception de décembre 2018 (Tableau VII).

II.2.3.La mer de Jacqueline

Tableau VIII : Paramètres organoleptiques et physico-chimiques de l'eau mer de Jacqueline

Paramètres physico-chimiques	Déc-17	Jan-18	Fév-18	Mars-18	Avril-18	Normes [47,58,59]
Couleur (en UCV)	10	10	10	20	10	
Turbidité (en UNT)	3,9	3,11	3,69	5,31	7,37	50
Conductivité ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	48200	49500	54500	50200	51700	10000-30000
Température (°C)	30,4	28,1	27,3	29,3	30	
Ph	6,89	6,66	8,14	7,35	6,8	6-9
Nitrates (mg/L)	0,46	2,14	1,56	0,58	0,44	50
Nitrites (mg/L)	0	0	0	0,06	0	0,1
Ammonium (mg/L)	8,5	1,5	5,95	0,1	5,97	2
Chlorures (mg/L)	4400	3800	3400	4400	3000	
DHT (°F)	5500	5500	17500	14000	18000	
TAC (mg/L)	100	265	120	270	125	
Fer (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,2	0,05	0,3
Manganèse (mg/L)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,1
Aluminium (mg/L)	0	0,01	0,01	0	0,02	0,2
Fluorures (mg/L)	7,4	5,6	0,02	5,8	0,8	1,5
Zinc (mg/L)	0	0,06	0	0,18	0,06	5
Sulfates (mg/L)	150	145	150	160	138	150
Sodium (mg/L)	2800	2400	2200	1800	2000	
Bicarbonates (mg/L)	70	160	85	160	55	
Soufre (mg/L)	50	50	50	55	45	
Potassium (mg/L)	24	560	1680	590	1200	
Phosphore (mg/L)	0,1	0,01	0,5	0,6	1,2	1
Magnésium (mg/L)	5500	6500	16000	17000	5500	
Calcium (mg/L)	200	1200	2200	1200	1600	
Silice (mg/L)	2,2	1,7	1,7	2,3	1,3	
Silicates (mg/L)	4,7	3,6	3,6	4,8	4,5	
Phosphates (mg/L)	0,01	0,01	1,5	1,7	3,6	
Matières organiques (mg/L)	3,33	6,12	4,42	3,13	4,56	

La conductivité était élevée pendant les cinq mois de l'étude. Les concentrations en fluorures étaient supérieures à la norme à l'exception du mois de février et avril 2018 (Tableau VIII).

II-2-4 Evolution globale des paramètres en fonction de la période

❖ La couleur

Les couleurs de la lagune et de la mer se chevauchaient tandis que celle du lac paraissait plus élevée (figure 7).

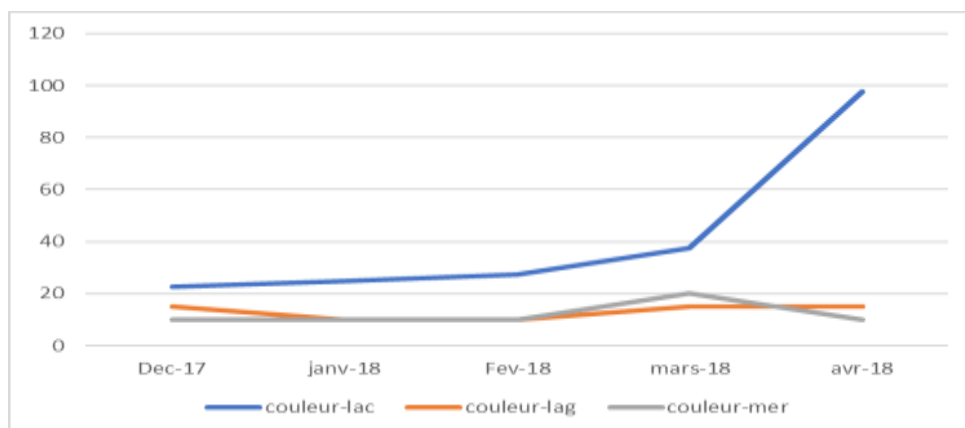


Figure 7-Evolution de la couleur du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

❖ La turbidité

La turbidité semblerait plus perceptible dans le lac que dans la lagune et la mer (figure 8).

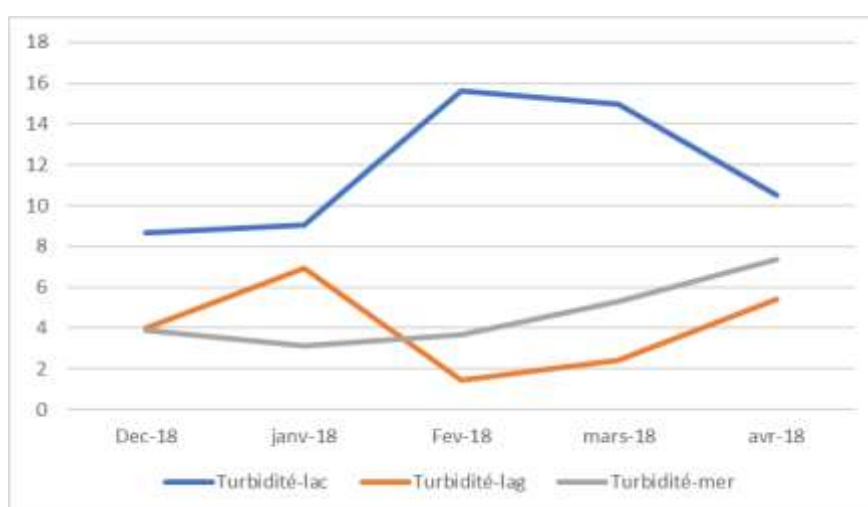


Figure 8-Evolution de la turbidité du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

❖ Les matières organiques

Les matières organiques de la lagune et de la mer évoluaient pratiquement dans le même sens durant toute la période de l'étude. Celles-ci semblaient plus élevées pour le lac avec un pic remarquable dans le mois de février 2018 (figure 9).

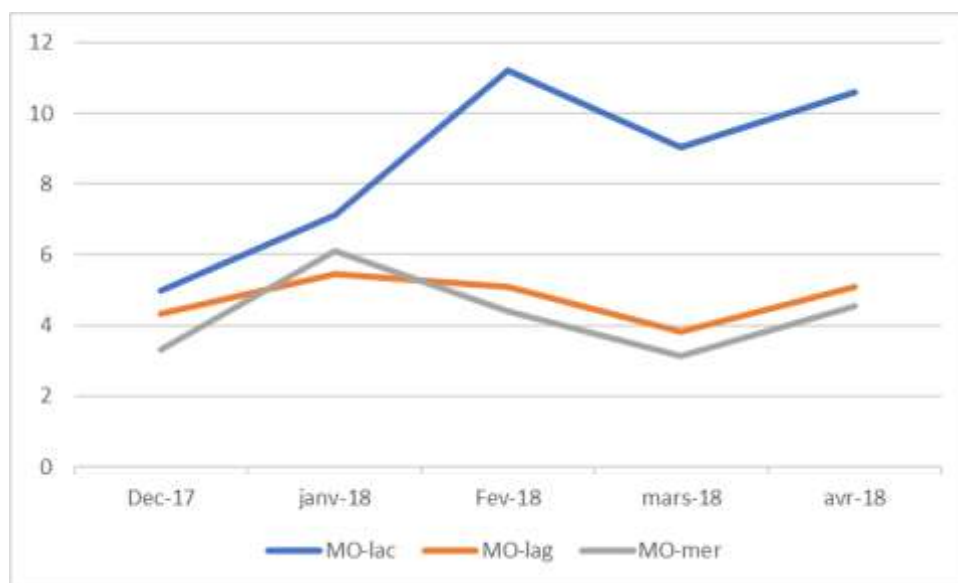


Figure 9-Évolution des matières organiques du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

❖ Les bicarbonates

Les bicarbonates dans la mer présentaient deux pics remarquables respectivement en janvier 2018 et en mars 2018 tandis que celles du lac et de la lagune évoluaient pratiquement dans le même sens de décembre à mars 2018 (figure 10).

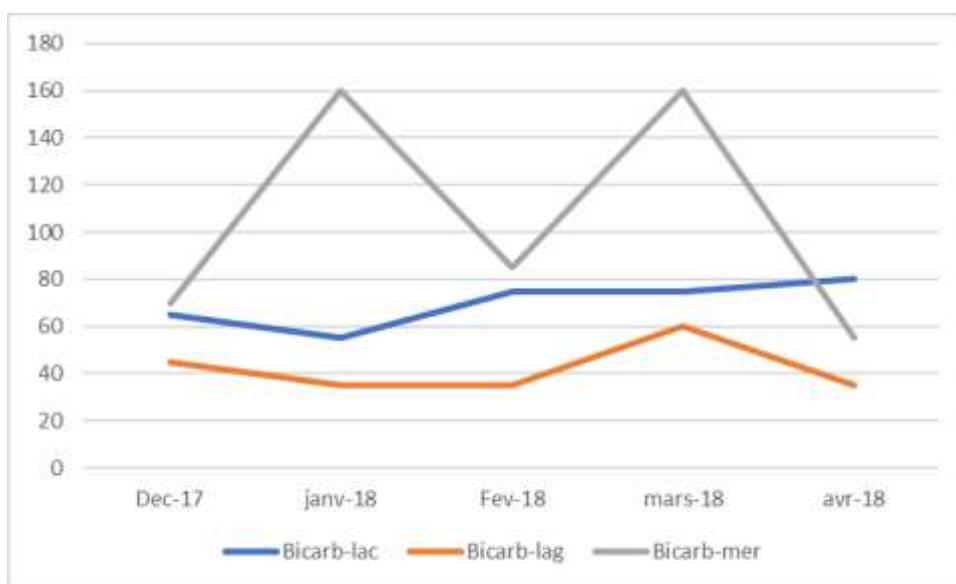


Figure 10-Evolution des bicarbonates du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

❖ L'ammonium

Les teneurs en ammonium dans le lac et la lagune étaient sensiblement identiques. Celles de la mer présentaient 2 pics respectivement en février et avril 2018 (figure 11).

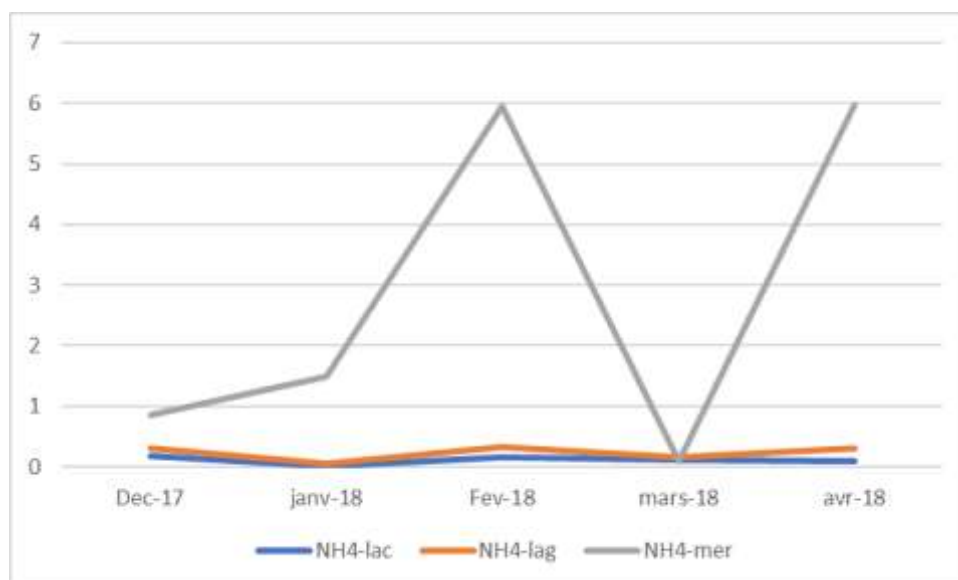


Figure 11-Evolution de l'ammonium du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

❖ Les nitrates

Les nitrates dans les trois zones de baignade évoluaient dans le temps et dans le même sens avec des pics en janvier 2018 (figure 12).

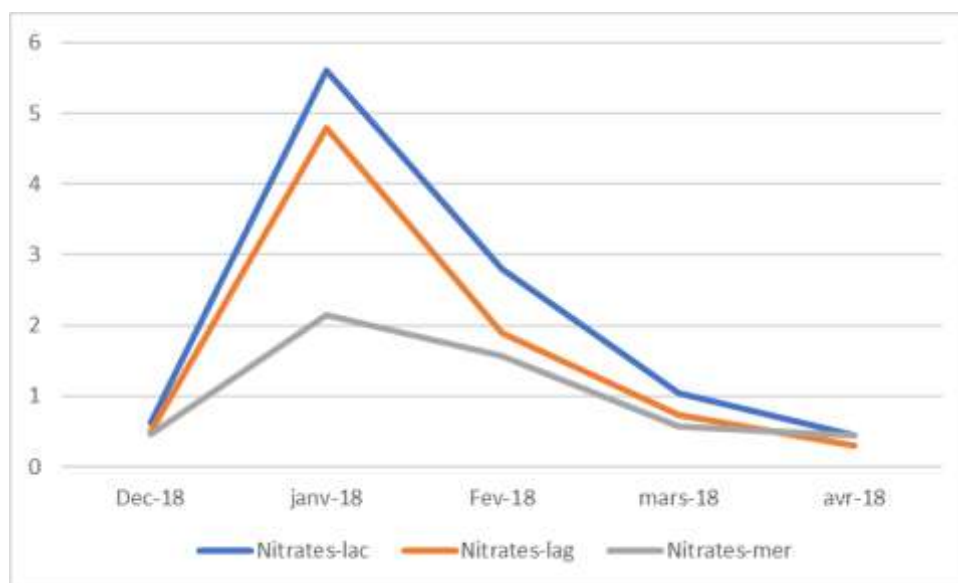


Figure 12-Evolution des nitrates du lac, de la lagune et de la mer en fonction du temps

II-2-5 Comparaison de l'analyse physico-chimique

❖ Lagune – mer – lac

La comparaison des moyennes avait été faite avec le test t-Student pour certains paramètres. Les autres paramètres qui ne répondaient pas aux conditions d'application du test t-Student ont été comparés avec le test non paramétrique de Mann Whitney (Tableaux IX, X et XI).

Tableau IX : Comparaison de deux moyennes par les tests de t-Student et Mann Whitney pour le lac et la lagune

Paramètres physico-chimiques	Lac Moyenne 1	Lagune Moyenne 2	Test utilisé	Comparaison
Couleur (en UCV)	84	13	MW	S
Turbidité (en UNT)	58 ,8	4,03	MW	S
Conductivité ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	118,78	4176	MW	S
Température (°C)	32,22	30,98	t-S	NS
pH	9,12	7,9	t-S	NS
Nitrates (mg/L)	2,1	1,65	t-S	NS
Nitrites (mg/L)	0,14	0,06	t-S	NS
Ammonium (mg/L)	0,11	0,23	t-S	NS
Chlorures (mg/L)	8,72	1109	MW	S
DHT (°F)	67	520	MW	S
TAC (mg/L)	109	66	t-S	S
Fer (mg/L)	1,03	0,03	MW	NS
Manganèse (mg/L)	0,002	0,002	t-S	NS
Aluminium (mg/L)	0,23	0,08	t-S	NS
Fluorures (mg/L)	0,26	0,81	t-S	NS
Zinc (mg/L)	0,35	0,03	MW	NS
Sulfates (mg/L)	23,2	147,6	MW	S
Sodium (mg/L)	7,68	695,9	MW	S
Bicarbonates (mg/L)	70	42	t-S	S
Soufre (mg/L)	7,8	48,8	MW	S
Potassium (mg/L)	2,92	78,4	MW	S
Phosphore (mg/L)	12,5	1,58	MW	S
Magnésium (mg/L)	22,6	622	MW	S
Calcium (mg/L)	23 ,6	219,2	MW	S
Silice (mg/L)	14,3	7,62	t-S	S
Silicates (mg/L)	30,4	16,12	t-S	S
Phosphates (mg/L)	129,06	4,56	MW	S
Matières organiques (mg/L)	8,6	4,76	MW	NS

t-S : test t-Student

MW : test Mann Whitney

S = différence significative

NS = différence non significative

Tableau VIII : Comparaison de deux moyennes par les tests de t-Student et de Mann Whitney pour la lagune et la mer

Paramètres physico-chimiques	Lagune Moyenne 1	Mer Moyenne 2	Test utilisé	Comparaison
Couleur (en UCV)	13	4,67	t-S	NS
Turbidité (en UNT)	4,03	12	t-S	NS
Conductivité ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	4176	50820	t-S	S
Température (°C)	30,98	29,02	t-S	NS
pH	7,9	7,16	t-S	NS
Nitrates (mg/L)	1,65	1,04	t-S	NS
Nitrites (mg/L)	0,06	0,01	t-S	NS
Ammonium (mg/L)	0,23	4,40	MW	S
Chlorures (mg/L)	1109	3800	M W	S
DHT (°F)	520	12100	MW	S
TAC (mg/L)	66	176	MW	S
Fer (mg/L)	0,03	0,05	t-S	NS
Manganèse (mg/L)	0,002	0,001	t-S	NS
Aluminium (mg/L)	0,08	0,01	MW	NS
Fluorures (mg/L)	0,81	3,92	MW	S
Zinc (mg/L)	0,03	0,06	t-S	NS
Sulfates (mg/L)	147,6	148,6	t-S	NS
Sodium (mg/L)	695,9	2240	MW	S
Bicarbonates (mg/L)	42	106	MW	S
Soufre (mg/L)	48,8	50	t-S	NS
Potassium (mg/L)	78,4	810	MW	S
Phosphore (mg/L)	1,58	0,48	t-S	NS
Magnésium (mg/L)	622	10100	MW	S
Calcium (mg/L)	219,2	1280	MW	S
Silice (mg/L)	7,62	1,84	MW	S
Silicates (mg/L)	16,12	4,24	MW	S
Phosphates (mg/L)	4,56	1,36	t-S	NS
Matières organiques (mg/L)	4,76	4,31	t-S	NS

t-S : test t-Student

MW : test Mann Whitney

S=différence significative

NS= différence non significative

Tableau IXI : Comparaison de deux moyennes par les tests de t-Student et Mann Whitney pour le lac et la mer

Paramètres physico-chimiques	Lac Moyenne 1	Mer Moyenne 2	Test utilisé	Comparaison
Couleur (en UCV)	84	4,67	t-S	S
Turbidité (en UNT)	58 ,8	12	MW	S
Conductivité ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	118,78	50820	MW	S
Température (°C)	32,22	29,02	t-S	NS
pH	9,12	7,16	t-S	NS
Nitrates (mg/L)	2,1	1,04	MW	NS
Nitrites (mg/L)	0,14	0,01	MW	NS
Ammonium (mg/L)	0,11	4,40	MW	S
Chlorures (mg/L)	8,72	2420	t-S	S
DHT (°F)	67	12100	t-S	S
TAC (mg/L)	109	176	t-S	NS
Fer (mg/L)	1,03	0,05	MW	NS
Manganèse (mg/L)	0,002	0,001	t-S	NS
Aluminium (mg/L)	0,23	0,08	MW	NS
Fluorures (mg/L)	0,26	3,92	MW	S
Zinc (mg/L)	0,35	0,06	MW	NS
Sulfates (mg/L)	23,2	148,6	MW	S
Sodium (mg/L)	7,68	2240	MW	S
Bicarbonates (mg/L)	70	106	t-S	S
Soufre (mg/L)	7,8	50	MW	S
Potassium (mg/L)	2,92	810	MW	S
Phosphore (mg/L)	12,58	0,48	MW	S
Magnésium (mg/L)	22,6	10100	MW	S
Calcium (mg/L)	23 ,6	1280	MW	S
Silice (mg/L)	14,3	1,84	t-S	S
Silicates (mg/L)	30,4	4,24	t-S	S
Phosphates (mg/L)	129,06	1,36	MW	S
Matières organiques (mg/L)	8,6	4,31	MW	NS

t-S : test t-Student

MW : test Mann Whitney

S=différence significative

NS= différence non significative

❖ Profil caractéristique de chaque type d'eau

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	Mer	Lagune	Lac
	Moyenne \pm écart type	Moyenne \pm écart type	Moyenne \pm écart type
Conductivité ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	50820 \pm 2413	4176 \pm 1619	118,78 \pm 45,54
Chlorures (mg/L)	2420 \pm 616	1109 \pm 1614	8,72 \pm 1,05
DHT (°F)	12100 \pm 6218	520 \pm 272	67 \pm 21
Sodium (mg/L)	2240 \pm 416	695,9 \pm 997,6	7,68 \pm 4,17
Potassium (mg/L)	810 \pm 639	78,4 \pm 47	2,92 \pm 0,83
Magnésium (mg/L)	10100 \pm 5867	622 \pm 365	22,6 \pm 12,42
Calcium (mg/L)	1280 \pm 729	219,2 \pm 265,9	23 ,6 \pm 30,8
Bicarbonates (mg/L)	106 \pm 50	42 \pm 10,9	70 \pm 10
Silice (mg/L)	1,84 \pm 0,4	7,62 \pm 11,14	14,3 \pm 10,48
Silicates (mg/L)	4,24 \pm 0,59	16,12 \pm 23,48	30,4 \pm 22,2

A l'issu de la comparaison des moyennes des paramètres physico-chimiques par les tests de t Student et Mann Whitney, il ressort que : 10 paramètres de différences significatives permettaient de caractériser ces eaux de baignade. En effet, 7 paramètres (**la conductivité, les chlorures, le DHT, le sodium, le potassium, le magnésium et le calcium**) ayant le même profil diminuaient de la mer au lac en passant par la lagune contrairement aux teneurs en **silice** et en **silicates** qui augmentaient de la mer au lac en passant par la lagune. Quant aux teneurs en **bicarbonates**, elles décroissaient de la mer à la lagune en passant par le lac (Tableau XII).

II.3. Analyse microbiologique

II.3.1.Lac de Mambe Eiminkoa de Jacqueline

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

Paramètres microbiologiques	Décembre 2017	Janvier 2018	Février 2018	Mars 2018	Avril 2018	Moyennes géométriques (UFC/100 ml)
Heure de prélèvement	11H40	11H55	12H05	12H 48	11H 28	
Heure d'analyse	14H 40	14H 50	14H 55	12H 56	13H 57	
CT et Th	860	9900	500	1400	63000	3272,76
<i>E. coli</i>	170	100	0	400	63000	212,02
<i>Enterococcus faecalis</i>	930	100	900	1200	4400	849,32
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0	0	0	0	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0	0	0	200	2,88
<i>Vibrio</i>	0	0	0	0	0	-
<i>Salmonella</i>	0	0	0	0	0	-
Levures	0	0	0	0	0	-
Moisissures	550	0	0	0	0	3,53
<i>Légionnella</i>	0	0	0	0	0	-
ASR	0	0	0	0	9	1,55

E. coli étaient absents en février 2018. La concentration maximale était de 63000 UFC/100 ml pour les coliformes totaux et thermotolérants ainsi que pour *E. coli* en avril 2018. Celle d'*Enterococcus faecalis* atteignait 4400 UFC/100ml en avril 2018. Il y avait quelques moisissures et *Pseudomonas aeruginosa* respectivement en décembre 2017 et avril 2018 (Tableau XIII).

II.3.2. La lagune Ebrié de Jacqueline

Tableau XIIV : Paramètres microbiologiques de l'eau de la lagune de Jacqueline

Paramètres microbiologiques	Décembre 2017	Janvier 2018	Février 2018	Mars 2018	Avril 2018	Moyennes géométriques (UFC/100mL)
Heure de prélèvement	12H15	12H20	12H30	11H 48	11H 45	
Heure d'analyse	14H 40	14H 50	14H 55	12H 56	13H 57	
CT et Th	1500	28000	9200	4200	100	2767,30
<i>E. coli</i>	1320	14100	9200	4200	100	2351,61
<i>Enterococcus faecalis</i>	720	5900	800	5400	100	1129,1
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0	0	0	0	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0	0	0	2	0,18
<i>Vibrio</i>	0	0	0	0	0	-
<i>Salmonella</i>	0	0	0	0	0	-
Levures	0	0	0	0	0	-
Moisissures	620	0	0	0	0	3,62
<i>Légionnella</i>	0	0	0	0	0	-
ASR	0	8	0	3	0	1,88

La concentration maximale en coliformes totaux et thermotolérants était de 28000 UFC /100 ml dans le mois de janvier 2018. Celle-ci atteignait 14100 UFC/100 ml pour *E. coli* et 5900 UFC/100 ml pour *Enterococcus faecalis* en janvier 2018. Il y avait la présence de moisissures en décembre 2017 (Tableau XIV).

II.3.3.La mer de Jacqueline

Tableau XIII : Paramètres microbiologiques de l'eau de mer de Jacqueline

Paramètres microbiologiques	Déc 2017	Janvier 2018	Février 2018	Mars 2018	Avril 2018	Moyennes géométrique (UFC/100 mL)
Heure de prélèvement	12H52	12H47	13H03	12H 20	12H 00	
Heure d'analyse	14H 40	14H 50	14H 55	12H 56	13H 57	
CT et Th	1310	1200	200	1600	100	549,94
<i>E. coli</i>	930	400	200	2600	100	454,26
<i>Enterococcus faecalis</i>	860	1700	100	2900	500	733,27
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0	0	0	0	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0	0	0	1	-
<i>Vibrio</i>	0	0	0	0	0	-
<i>Salmonella</i>	0	0	0	0	0	-
Levures	1100	0	0	0	0	4,06
Moisissures	30	0	0	0	0	1,97
<i>Légionnella</i>	0	0	0	0	0	-
ASR	0	9	0	0	1	1,55

Les coliformes totaux et thermotolérants, *E. coli* et *Enterococcus faecalis* atteignaient respectivement les concentrations maximales de 1600 UFC/100ml, 2600 UFC/100 ml et 1900 UFC/100ml en mars 2018. Il y avait la présence de quelques levures et moisissures en décembre 2017 (Tableau XV).

II-3-4 Comparaison aux normes

Les concentrations en *E. coli* et en entérocoques dans les eaux du lac, de la lagune et de la mer de Jacqueline sont supérieures à la plupart des normes utilisées pour les eaux de baignade (Tableaux XVI, XVII, XVIII, XIX et XX).

Tableau XVI : Comparaison aux normes algériennes

Sources	Germes	Dec-17	Jan-18	Fev-18	Mars-18	Av-18	VG	VI
Lac	<i>E. coli</i>	170	100	0	400	63000	100	2000
	Entérocoques	930	100	900	1200	4400	-	-
Lagune	<i>E. coli</i>	1320	14100	9200	4200	100	100	2000
	Entérocoques	720	5900	800	5400	100	-	-
Mer	<i>E. coli</i>	930	400	200	2600	100	100	2000
	Entérocoques	860	1700	100	2900	500	-	-

Comparativement aux normes algériennes, les eaux analysées sont d'une qualité acceptable pour la baignade.

Tableau XVI : Comparaison aux normes américaines

Sources	Germes	Moyennes géométriques	Normes UFC/100mL
Lac	<i>E. coli</i>	212,01	126
	Entérocoques	849,32	33
Lagune	<i>E. coli</i>	2351,61	126
	Entérocoques	1129,1	33
Mer	Entérocoques	733,27	35

Comparativement aux normes américaines, les eaux analysées sont impropres à la baignade.

Tableau XVII : Comparaison aux normes canadiennes

Sources	Germes	Moyennes géométriques	Normes UFC/100mL
Lac	<i>E. coli</i>	212,01	<200
Lagune	<i>E. coli</i>	2351,61	
Mer	Entérocoques	733,27	<35

Comparativement aux normes canadiennes, les eaux analysées sont impropres à la baignade.

Tableau XIX : Comparaison aux normes européennes

Sources	Germes	95 centiles	90 centiles	Normes	
				95 centiles	90 centiles
Lac	<i>E. coli</i>	50480	44220	<500	<500
	Entérocoques	3760	3120	<185	<200
Lagune	<i>E. coli</i>	13120	12140	<500	<500
	Entérocoques	5800	5700	<185	<200
Mer	<i>E. coli</i>	2266	1932	<500	<500
	Entérocoques	2660	2420	<185	<200

Comparativement aux normes européennes, les eaux analysées sont impropres à la baignade.

Tableau XVII : Comparaison aux normes OMS

Sources	Germes	90 centiles	Normes UFC/100mL
Lac	Entérocoques	3120	<500
Lagune	Entérocoques	5700	
Mer	Entérocoques	2420	

Comparativement aux normes OMS, les eaux analysées sont impropres à la baignade.

II.4. Recherche de métaux lourds

Les teneurs en arsenic étaient supérieures à la norme belge (Tableau XXI).

Tableau XVIII : Valeurs des métaux lourds analysés des eaux de baignade de Jacqueline

	Lac	Lagune	Mer	Limite de quantification	Normes [56]
Zn (µg /l)	41,48	60,6	18,6	50	300
Pb (µg /l)	7,95	13,8	3,19	5	50
Cr (µg /l)	16,73	22,13	13,2	5	50
Ni (µg /l)	3,23	2,97	3,73	1,1	50
Cd (µg /l)	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	1
Mo (µg /l)	0,87	1	0,23	50	
Cu (µg /l)	10,43	11,7	6,59	0,003	50
Mn (µg /l)	12,38	21	15,68	50	
Co (µg /l)	0,83	0,55	0,94	50	
Se (µg /l)	<10	<10	<10	10	
Sb (µg /l)	0,07	0,98	0,1	10	
Hg (µg /l)	0,05	0,04	0,02	-	0,5
Sr (µg /l)	9,78	14,33	7,82	50	
As (µg /l)	3504	4050	3396	5	50
Fe (µg /l)	5953,5	7006,5	4519,8	50	
Al (µg /l)	0,83	0,55	0,94	10	

II.5. Recherche des HAP

Il y avait la présence de quelques HAP dans les eaux de baignade de Jacqueline (tableau XXII, figures 13, 14 et 15).

Tableau XIXI : Teneurs des HAP recherchés

*HAPs recherchés (mg/l)	Lac	Lagune	Mer
Fluoranthène	0,13	0,12	0,10
Pyrène	2,54	6,55	0,29
Benzo(k)fluoranthène	0,07	0,42	0,16
Benzo(a)pyrène	0,21	0,24	0,09
Indéno(1,2,3-cd) pyrilène	0,35	0,11	0,09
Benzo(g,h,i)pyrilène	0,11	0,37	0,22
Benzo(a)anthracène	0,05	0,02	0,44
Benzo(b)fluoranthène	0,05	0,39	0,11
Σ HAPs	3,50	8,21	1,48
HYDROCARBURES TOTAUX	28,41	14,36	32,21

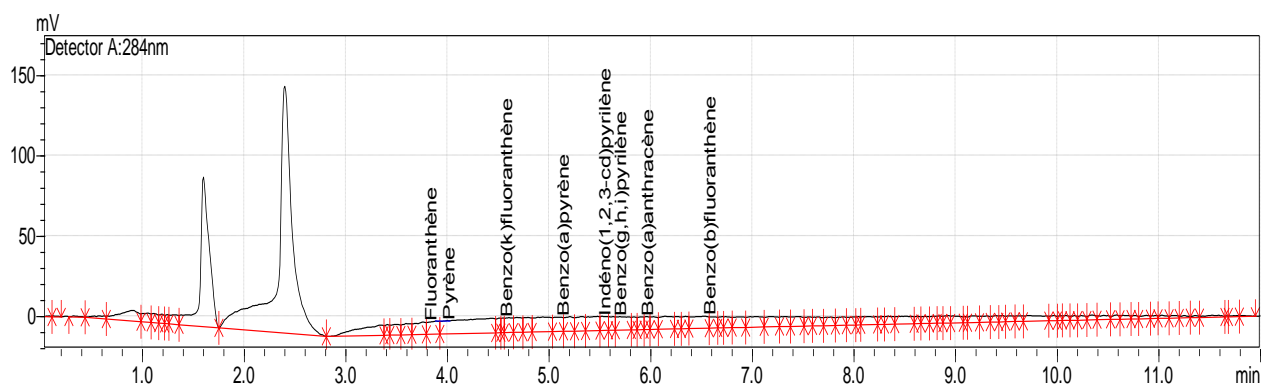


Figure 13-Chromatogramme des HAP recherchés au niveau du lac

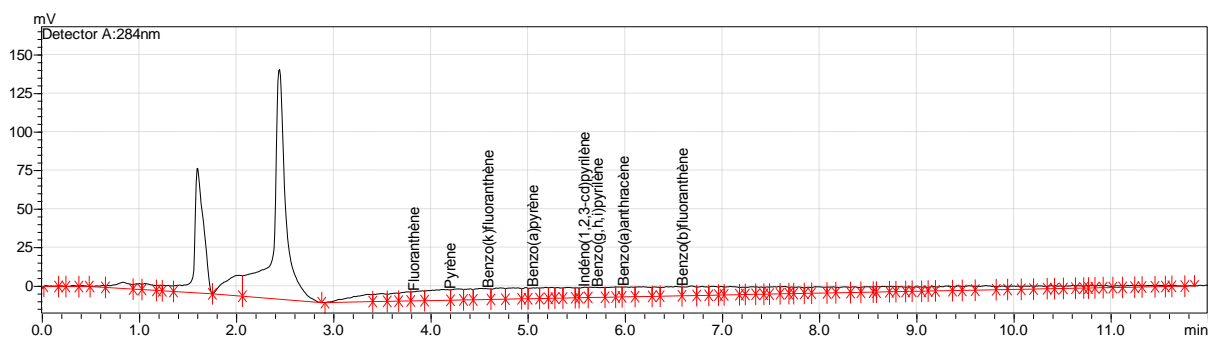


Figure 14-Chromatogramme des HAP recherchés au niveau de la lagune

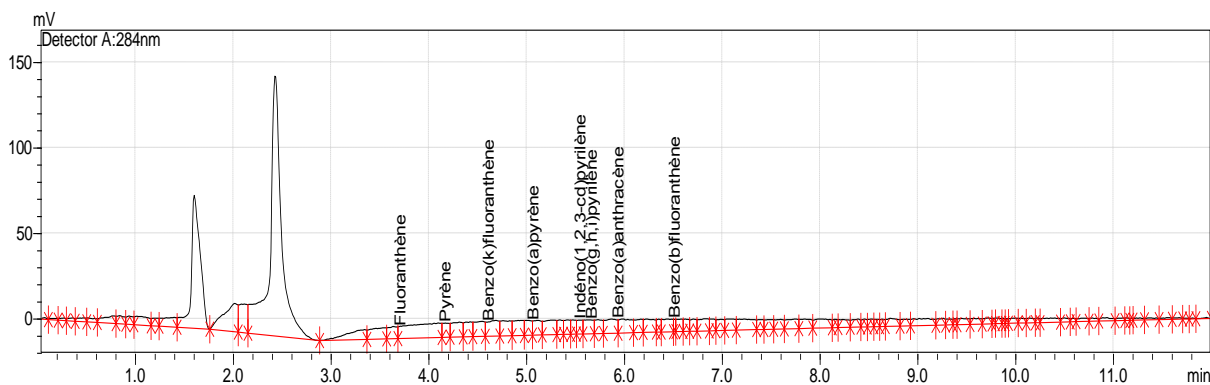


Figure 15-Chromatogramme des HAP recherchés au niveau de la mer

II.6. Recherche des pesticides

Tableau XXI : Teneurs en pesticides recherchés

*Pesticides recherchés (µg/l)		Lac	Lagune	Mer
Organophosphorés (O.P.)	Chlorpropham	N.D.	N.D.	N.D.
	Parathion-méthyl	0,005	N.D.	0,005
	Chlorfenvinphos	N.D.	N.D.	0,005
	Vinclozolin	N.D.	N.D.	N.D.
	Parathion-éthyl	N.D.	N.D.	N.D.
	Profénofos	N.D.	N.D.	N.D.
	Chlorpyrifos éthyl	N.D.	N.D.	N.D.
	Paraquat	N.D.	N.D.	N.D.
Organochlorés	Métolachlore	N.D.	N.D.	N.D.
	Endosulfan	N.D.	N.D.	N.D.
Herbicides dérivés de l'urée et Hétérocycles azotés + Carbamates + Triazines	2,4 D	N.D.	N.D.	N.D.
	Glyphosate	N.D.	N.D.	N.D.
	Fénuron	N.D.	N.D.	N.D.
	Aldicarb	0,008	0,003	0,002
	Métoxuron	0,010	N.D.	N.D.
	Monuron	N.D.	N.D.	0,001
	Méthabenzthiazuron	0,009	N.D.	N.D.
	Chlortoluron	N.D.	N.D.	N.D.
	Monolinuron	0,009	N.D.	0,009
	Isoproturon	N.D.	N.D.	N.D.
	Diuron	N.D.	N.D.	N.D.
	Métobromuron	0,009	N.D.	N.D.
	Métazachlor	N.D.	0,009	N.D.
	Buturon	N.D.	N.D.	N.D.
	Linuron	N.D.	0,009	N.D.
	Simazine	N.D.	N.D.	0,009
	Cyanazine	N.D.	N.D.	N.D.
	Atrazine	N.D.	N.D.	N.D.
	Propazine	N.D.	N.D.	N.D.
	Terbuthylazine	N.D.	0,009	N.D.
	Prometryn	N.D.	0,001	N.D.
	Terbutryn	N.D.	N.D.	N.D.
Pyréthrénoides	Cyperméthrine	N.D.	N.D.	N.D.
	Lambda Cyhalothrine	N.D.	N.D.	N.D.
Σ Pesticides		0,05	0,031	0,031

Quelques pesticides ont été détectés dans les eaux de baignade Jacqueline (tableau XXIII, figures 16,17 et 18). Les limites de détection et de quantification des pesticides recherchés sont présentées dans l'annexe III.

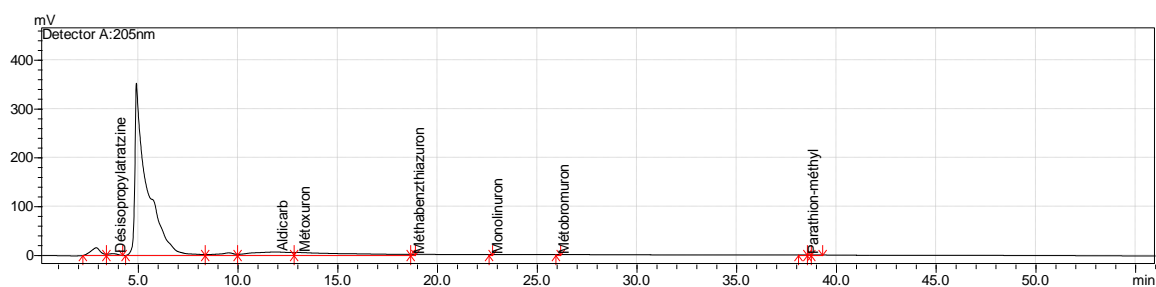


Figure 16-Chromatogramme des pesticides recherchés au niveau du lac

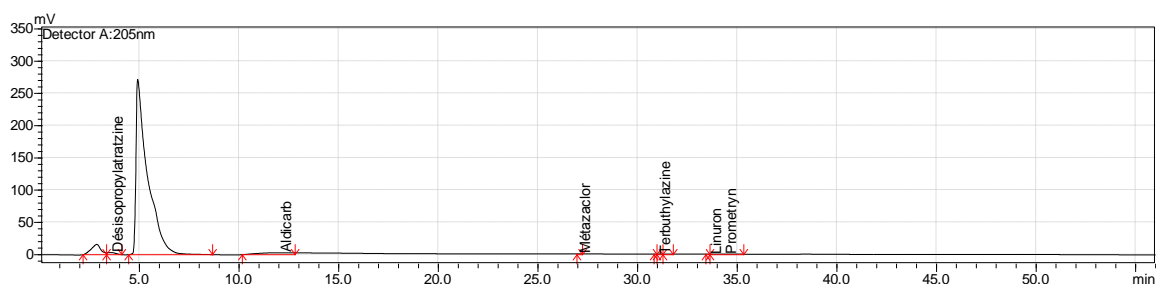


Figure 17-Chromatogramme des pesticides recherchés au niveau de la lagune

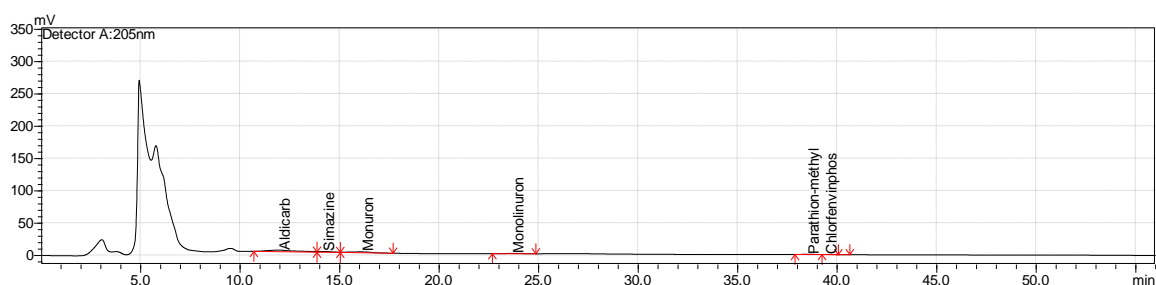


Figure 18-Chromatogramme des pesticides recherchés au niveau de la mer

III. DISCUSSION

III.1. Paramètres microbiologiques des eaux de baignade de Jacqueline

La pollution de l'environnement constitue un problème majeur de santé publique dans les pays en développement. Elle atteint de plus en plus les eaux de surfaces notamment les eaux de baignade. Ces eaux doivent être garanties de qualité et de sécurité pour tous. La réglementation des eaux de baignade des pays (Canada, Etats-Unis d'Amérique, Union Européenne) qui en possèdent, se focalise généralement sur les paramètres microbiologiques, particulièrement *Escherichia coli* en ce qui concerne les eaux douces et sur les entérocoques pour les eaux marines [47,60,61]. Le lac, la lagune et la mer de Jacqueline contenaient des indicateurs de pollution fécale tels que des coliformes totaux et thermotolérants, des *Enterococcus faecalis* et *E. coli*. Les *E. coli* atteignaient 63000 UFC /100 mL pour le lac, 14100 UFC /100 mL pour la lagune et 2600 UFC /100 mL pour la mer. Les *Enterococcus faecalis* avoisinaient 4400 UFC/100 mL pour le lac, 5900 UFC/100mL pour la lagune et 2900 UFC/100 mL pour la mer.

Ces concentrations étaient non conformes aux vues des normes algériennes car elles sont supérieures à la valeur impérative qui est de 2000 *E. coli* /100 mL pour les *E. coli*. De plus, les moyennes géométriques des concentrations en *E. coli* des eaux du lac et lagunes étaient respectivement de 212,01 UFC /100 mL et 2351,61 UFC /100 mL ; celle des *Enterococcus faecalis* était de 733,27 UFC/100 mL pour la mer de Jacqueline. Ces taux étaient largement supérieurs à la moyenne géométrique de la concentration en *E. coli* requise par la recommandation canadienne (inférieure ou égale à 200 *E. coli*/ 100 ml pour les eaux douces et 35 entérocoques pour les eaux marines) [47].

Les eaux du lac, de la lagune et de la mer de Jacqueline sont donc de qualité non satisfaisante pour la baignade aux vues des normes algériennes et

canadiennes. La présence de ces marqueurs dans l'eau serait due à un manque de latrines, la défécation à l'air libre. Cette pollution des eaux de surface a été rapportée dans plusieurs pays africains notamment au Burkina Faso, au Bénin, au Maroc et en Algérie [62, 63, 64, 65]. Un aménagement de l'environnement des eaux de baignade permettrait d'obtenir des plages avec des eaux d'une bonne qualité pour la baignade qui seraient semblables à celles trouvées sur la baie d'Agadir au Maroc [66].

III.2. Paramètres physico-chimiques des eaux de baignade de Jacqueline

Sur le plan physico-chimique, la forte coloration de l'eau du lac dans le mois d'avril 2018 (195 UCV) est due à la survenue de pluies (début de la saison des pluies). La turbidité semblerait plus perceptible dans le lac que dans la lagune. Ces observations sont comparables à celles d'Eblin et *al.* qui ont travaillé sur l'hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké (sud-est côtier de la Côte d'Ivoire) [67]. Une hausse des matières en suspension justifie ce caractère trouble de l'eau du lac. Une telle hausse pourrait aussi entraîner un réchauffement de l'eau, lequel aurait pour effet de réduire la qualité de l'habitat pour les organismes d'eau froide.

Les valeurs moyennes en phosphore (12,5 mg /L) et en phosphates (129,06 mg/L) dans le lac étaient largement supérieures à celles retrouvées dans les eaux de la lagune de Porto-Novo au Sud du Bénin [68]. Cette disponibilité du phosphore et des phosphates peut se justifier par les rejets urbains des agglomérations avoisinantes. En moyenne, le pH du lac était de 9,12 et celui de la lagune de 7,9. Le caractère basique de ces eaux situées au sud-est de la Côte d'Ivoire est similaire au pH de l'eau du fleuve Bandama situé au centre de la Côte d'Ivoire [69].

Les faibles teneurs en nitrites (0,14 mg/L pour le lac et 0,06 mg/L pour la lagune) et en nitrates (2,1 mg/L pour le lac et 1,65 mg /L pour la lagune) retrouvées dans les eaux du lac et de la lagune de Jacqueville sont similaires à celles de Traoré (2012) sur la lagune d'Aghien. Cependant, les teneurs en ammonium étaient inférieures à celle de la lagune Aghien [70]. Les valeurs de la conductivité du lac et de la lagune variaient respectivement de 85,6 à 195,9 $\mu\text{S/cm}$ et de 1600 à 5670 $\mu\text{S/cm}$. Celles-ci indiquent que l'eau du lac est faiblement minéralisée et celle de la lagune moyennement minéralisée. Quant à l'eau de mer, les valeurs des paramètres physico-chimiques étaient similaires à celles de Meless (2018) sur les plages de Port Bouet à l'exception des teneurs en potassium, en silice, en silicates et en phosphates qui étaient plus élevées à Port Bouet [71]. La valeur moyenne de la conductivité de l'eau de mer était de 50820 $\mu\text{S/cm}$. Celle-ci reflète une forte minéralisation de l'eau de mer. Cette observation est similaire à celle de Marchand (2008) qui a travaillé sur la pollution chimique marine [72].

Les concentrations en ammonium (4,4 mg/L) dans la mer étaient supérieures à 2mg/L qui est la norme de qualité de base pour les eaux de surface [59]. L'ammonium dans l'eau traduit un processus de dégradation incomplète de la matière organique. C'est un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole ou domestique.

III.3.Pesticides, HAP et métaux lourds

Les concentrations en métaux lourds étaient inférieures pour la plupart à la norme de qualité de base pour les eaux de surface sauf celles de l'arsenic qui étaient supérieures à la norme [59]. La présence élevée d'arsenic dans ces différentes eaux reflète une pollution anthropique en accord avec Soro et *al.* (2009) qui ont trouvé des quantités élevées de métaux lourds dans les sédiments de surface de la lagune Ebrié [73]. En effet, les teneurs en arsenic qui étaient de 3504 $\mu\text{g/l}$ dans le lac, de 4050 $\mu\text{g/l}$ dans la lagune et de 3396 $\mu\text{g/l}$ dans la mer

surpassent la valeur limite qui est fixée à 50µg/l. Cela peut être attribué, d'une part aux activités humaines (travaux de creusement de canal), et d'autre part aux sources locales : rejets domestiques. Ces quantités importantes d'arsenic dans l'eau pourraient exposer, à long terme, les baigneurs à des dépigmentations de la peau, des cancers (peau, vessie, poumons), ainsi que diverses autres pathologies [74].

Quelques pesticides ont été détectés dans les eaux de baignade de Jacqueline mais à des taux faibles. Ces résultats diffèrent de ceux de Agbohessi et *al.* (2012) qui ont retrouvé des pesticides en quantités importantes dans le fleuve Ouémé au Bénin [75]. La présence de pesticides dans ces eaux est due à la déviation des usages des pesticides à d'autres fins non recommandées telles que la pêche.

Les eaux de baignade de Jacqueline contenaient de faibles quantités de HAP. Ces observations sont similaires à celles de Amin et *al* (2017) qui ont retrouvé des HAP en quantités faibles dans l'eau de la cascade de Man [76]. Ces teneurs en HAP étaient inférieures aux taux retrouvés dans les eaux des plages de Port Bouet à Abidjan [71]. Leur présence dans le lac, la lagune et la mer s'explique par la découverte de pétrole dans le sous-sol dont une partie est exploitée au niveau de la mer par les sociétés CNR, Foxtrot.

CONCLUSION

Au terme de cette étude qui avait pour but l'évaluation de la qualité des eaux de baignade de Jacqueline, la stratégie adoptée était de :

- Déterminer les paramètres physico-chimiques des eaux de baignade de Jacqueline,
- Evaluer les paramètres microbiologiques
- Rechercher les contaminants chimiques (métaux lourds, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les pesticides).

Trois sources d'eau, un lac, une lagune et la mer ont fait l'objet de cette étude. 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'.

Sur le plan physico-chimique, les valeurs moyennes de la conductivité étant respectivement de 50820 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la mer, 4176 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la lagune et de 118,78 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le lac montrent que l'eau de mer est fortement minéralisée, l'eau de la lagune, moyennement minéralisée et celle du lac, faiblement minéralisée. Des teneurs élevées d'arsenic, des quantités faibles de HAP et des traces de pesticides ont été aussi détectés dans ces eaux de baignade.

Au plan microbiologique, les moyennes géométriques des concentrations étant de 849,32 *Enterococcus faecalis* et 212,01 *E. coli* pour le lac, 1129,1 *Enterococcus faecalis* et 2351,61 *E. coli* pour la lagune, 733,27 *Enterococcus faecalis* et 454 *E. coli* pour la mer montrent une forte contamination fécale.

Globalement, les eaux du lac, de la lagune et de la mer de Jacqueline sont d'une qualité acceptable pour la baignade selon les normes algériennes et d'une qualité insatisfaisante pour la baignade aux vues des normes canadiennes, américaines, européennes et OMS.

Il est impératif pour l'Etat de veiller à l'assainissement de ces eaux de baignade ainsi qu'à une gestion rationnelle de ces sites naturels tout en associant les communautés territoriales et coutumières.

RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

RECOMMANDATIONS

A L'INHP

- Equiper le laboratoire en chromatographe liquide, spectromètre atomique pour une meilleure surveillance des eaux de baignade
- Effectuer un contrôle régulier des eaux de baignade

AUX COLLECTIVITÉS LOCALES

- Sensibiliser les populations sur les dangers de l'insalubrité des sites de baignade
- Imposer la construction de toilettes à tout exploitant.

AUX AUTORITÉS VILLAGEOISES ET POPULATIONS

- Eviter de déverser les ordures dans les eaux de baignade (le lac, la lagune, la mer)
- Interdire la défécation aux abords des eaux de baignade

.

PESPECTIVES

- Etendre les études à toutes les eaux de surface utilisées comme baignades en Côte d'Ivoire.
- Etablir des normes nationales en matière d'eaux de baignade

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Festy B, Hartemann P, Ledrans M, Levallois P, Payment P, Tricard D.** Qualité de l'eau. Environnement et santé publique - Fondements et pratiques, Paris : Edisem; 2003, p. 333–368.
- [2] **Rassou KK.** Etudes des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface dans le bassin côtier d'Oualidia. Université Cadi Ayyad ; 2009.
- [3] **Garteiser M.** Baignade en lacs et rivières : des eaux pas si tranquilles que ça, Revue journaliste santé. 21 juillet 2014. En ligne [https : //www.e.sante.fr/baignade-en-lacs-rivieres-eaux-pas-si-tranquilles-que-ca/actualites/1375](https://www.e.sante.fr/baignade-en-lacs-rivieres-eaux-pas-si-tranquilles-que-ca/actualites/1375).
- [4] **Manon I.** 20 baignades exceptionnelles dans le monde. [Internet]. [Visité le 08/09/2018]. En ligne : <https://www.easyvoyage.com/actualités>.
- [5] **Kamagaté I.** Tourisme : Investisseurs et journalistes espagnols en immersion entre terre et mer. [Internet]. [Visité le 13/01/2019]. En ligne : <https://www.fratmat.info/index.php/culture/tourisme-investisseurs-et-journalistes-espagnols-en-immersion-entre-terre-et-mer>
- [6] **Aw S, N'goran E, Siaka S, Parinet B.** Intérêt de l'analyse multidimensionnelle pour l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un système lacustre tropical B cas des lacs de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). Journal of Applied Biosciences. 2011 : 2573–2585.
- [7] **Brousseau N.** Etude de la qualité de l'eau de spas publics au Quebec: une analyse des facteurs influençant la contamination par Legionnella spp, Pseudomonas aeruginosa et Escherichia coli [Mémoire de maîtrise]. 2009 ; 130p.
- [8] **Bobbie K, Rebecca S.** The Water Cycle. Crabtree Publishing Company ISBN: 978-0-7787-2276-2. 2006.

- [9] Le cycle de l'eau en 6 étapes. [Internet]- [Visité le 05/01/2019] En ligne: <https://www.mplux.be/pecher/l-eau/le-cycle-de-l-eau-en-6-etapes>
- [10] **Coulibaly K.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako [Thèse de pharmacie]. [Bamako]; 2005.
- [11] **Conseil des académies canadiennes**, Comité d'experts sur les eaux souterraines. La gestion durable des eaux souterraines au Canada. Ottawa : Conseil des académies canadiennes ; 2009.
- [12] **Ahoussi KE, Kouassi AM, Biemi J, Soro G, Soro N.** Étude des caractéristiques chimiques et microbiologiques des ressources en eau du bassin versant du N'zi : cas de la commune de N'zianouan (Sud de la Côte d'Ivoire). International Journal of Biological and Chemical Sciences 2012; 6(4) :1854–73.
- [13] **Coulibaly A, Mondé S, Wognin V, Aka K.** State of anthropic pollution in the estuary of Ebrié lagoon (Côte d'Ivoire) by analysis of the metal elements traces. European Journal of Scientific Research. 2008 ;19 : 372–90.
- [14] **Cheret S.** Les grandes catégories d'usage de l'eau dans l'industrie. 2007.
- [15] Usages : consommations domestiques. [Internet]. [Visite le 06/01/2019]. En ligne : <https://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/usages/consoDom.html>
- [16] L'eau et les activités agricoles. [Internet]. [Visite le 06/01/2019]. En ligne : <https://planet.vie.ens.fr/content/eau-activites-agricoles>
- [17] **Hebbar C.** Surveillance de la qualité bactériologique des eaux de baignade : Cas des plages d'Aïn-Franin et de Kristel. Université d'Oran / Es-Senia ; 2005.

[18] **PINOT JP** « ATLANTIQUE OCEAN », **Encyclopaedia Universalis** [en ligne], consulté le 06 août 2018.URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/ocean-atlantique/>

[19] **Jodra S.** 2013. **Encyclopédie Imago Mundi** : [Internet]. En ligne : www.cosmovisions.com/Golfe-Guinee.htm

[20] Côte d'Ivoire : à Jacqueville, on veut sa part de la manne pétrolière. [Internet]. [Consulté le 02/07/2018]. En ligne : <https://www.jeune.afrique.com/depeches/89392/politique/cote-divoire-a-jacqueville-on-veut-sa-part-de-la-manne-petroliere/>

[21] **Nogbou AB.** **Mémoire Online** : La pollution de la lagune Ebrié :la berge lagunaire d'Abobo Doume. Cerap et Université de Bouaké- DESS en éthique économique et développement durable 2012. <https://www.memoireonline.com/04/17/9825/m-La-pollution-de-la-lagune-Ebrie-la-berge-lagunaire-d-Abobo-Doume2.html>

[22] **Dictionnaire Aquaportail.** [Modifié le 04/12/2016 ; Consulté le 06/08/2018] <https://www.aquaportail.com/definition-2630-lac.html>

[23] **Geodumonde SKYROCK.** [Créé le 05/09/2015 ; consulté le 05/08/2018] <https://geodumonde.skyrock.com/3259020192-Etendue-d-eau-Lac.html>

[24] **Wheal C.** Freshwater pollution 1991.

[25] **El Attiffi El O.** La qualité microbiologique des eaux de baignade. [Thèse de Pharmacie]. [Rabat]: Université Mohammed V; 2011. 121p.

[26] **Keddal H, N'dri Y.** Impacts de l'intensification agricole sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. HTE 2008:13–29.

- [27] **Vandermeersch S.** Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des microorganismes pathogènes. [Mémoire]. [Bruxelles]: Université Libre de Bruxelles; 2006. 81p.
- [28] **Hartemann P.** Contamination des eaux en milieu professionnel. EMC-Toxicologie-Pathologie. 2004 ; 1(2) : 63–78.
- [29] **Lecellier A.** Caractérisation et identification des champignons filamenteux par spectroscopie vibrationnelle [Thèse de Biologie-Biophysique]. [Ardenne] : Université Reims Champagne ; 2013. 194p.
- [30] **Apfelbaum M.** 2009. Eaux de boisson, café, thé, tisanes. Diététique et nutrition.
- [31] **Angelier E.** Ecologie des eaux courante 2001.
- [32] **Gerard M F.** Pollution des mers par le pétrole 1977.
- [33] **Wise S A, Sander L C, May W E.** Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons by liquid chromatography 1993.
- [34] **Marchand M.** Comportement des hydrocarbures déversés en milieu marin 1999.
- [35] **Ayad W.** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région de la région d'El-Harrouch (Wilaya de skikda) [Thèse de Microbiologie]. [Annaba] : Université Badji Mokhtar ; 2017. 156p.
- [36] **Gaujous D.** La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire 1995.
- [37] **Rao D S, Saxena A B.** Aquatic toxicity of Mercury Lead, cadmium, manganese chironomus sp. 1981.
- [38] **Lauwreys R.** Toxicologie industrielle et Intoxication professionnelle 1990.

- [39] **Rodier J.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer 1984.
- [40] **Touarsi N, Tegbou GR.** Indice de contamination métallique de la moule (*Mytillus galloprovincialis*) du port d'Oran 2000.
- [41] **Sahbaoui F.** contribution à l'étude de la contamination par quelques métaux lourds chez le poisson *Sardina pilchardus* au niveau de littoral de Ghazaouet (Wilaya de Tlemcen) [Mémoire de Pathologie des Ecosystèmes]. [Tlemcen] : Université Abou Bekr Belkaid ; 2015. 67p.
- [42] **Dreisbach RH.** Handbook of poisonings: Prevention, Diagnostic and Treatment 1983.
- [43] **Bouchriti N.** Surveillance des zones de production conchylicole 2003.
- [44] **Black JG.** Microbiology: principles and applications. Prentice Hall. 1996.
- [45] **Hamza IA, Jurzik L, Wilhelm M, Überla K.** Détection et quantification du bocavirus humain dans l'eau de rivière. J Gen Virol DOI 10.1009/vir.0.013557-0. 2009 ; 90(11) :2634–2637.
- [46] **Tissier A.** Evaluation de l'état de viabilité et du pouvoir d'infectiosité de trois microorganismes pathogènes pour l'homme (bactérie : *Campylobacter*, virus : *Adénovirus* et parasite : *Cryptosporidium*) détectés dans des échantillons d'eaux destinées à des fins alimentaires [Thèse de Science de la vie et de la santé]. [Lorraine] : Université de Lorraine ; 2012. 368p.
- [47] **Santé Canada (2102).** Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada, troisième édition. Bureau de l'eau, de l'air et des changements climatiques, Direction Générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario).

- [48] **Benzine M.** Les pesticides: Toxicité, résidus et analyse. Les technologies de laboratoire ISSN:1114- 9981. 2006; 1(0): 1-6.
- [49] **OMS/PNUE.** Recommandations pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles. Recommandations générales. 1995.
- [50] **AFNOR.** Analyse microbiologique: Contrôle de qualité des produits alimentaires. Méthodes Horizontales 1976 :1193.
- [51] **OMS.** Directives de qualité pour l'eau de boisson 1994.
- [52] **AFNOR.** Jus de fruits et de légumes: Spécifications et méthodes d'analyses 1996.
- [53] **Dean JR.** Practical inductively coupled plasma spectroscopy. Hoboken, NJ: Wiley. 2005.
- [54] **UNICEF.** Manuel de qualité de l'eau de l'UNICEF 2008.
- [55] **Rodier J.** Analyse de l'eau 1996.
- [56] **Méligne M.** Analyse microbiologique de l'eau. 2010.
- [57] **Orou RK, Coulibaly KJ, Tanoh GA et al.** Qualité et vulnérabilité des eaux d'aquifère d'altérites dans les sous-préfectures de Grand-Morié et d'Azaguié dans le département d'Agboville au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Rev.Ivoir.Sci.Technol, ISSN : 1813-3290. 2016 ; 28 : 243-272. [http : //www.revist.ci](http://www.revist.ci)
- [58] **Rodier J, Bazin C, Broutin JP.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et de mer : chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Dunod ; 1996.

- [59] **Juliette DV, Mariam S, Catherine Y.** Qualité physico-chimique des eaux de surface : cadre général. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement. Obs Données Environ.
- [60] **US EPA.** Implementation guidance for ambient water quality criteria for bacteria (ébauche mai 2002). Washington DC : 2002.
- [61] **Union Européenne.** Directive 2006/7/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 février 2006 concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade et abrogeant la directive 76/160/CEE. 2006.
- [62] **Dianou D, Savadogo B, Zongo D et al.** Qualité des eaux de surface dans la vallée du Sourou: cas des rivières Mouhoun, Debe et Gana au Burkina Faso, Int. J Biol. Chem. Sci ISSN : 1997-342X. 2011 ; 5(4) : 1571-1589.
- [63] **Dovonou F, Aina M, Boukari M, Alassane A.** Pollution physico-chimique et bactériologique d'un écosystème aquatique : cas du lac Nokoué au Sud Benin. Int. J Biol. Chem. 2011; 5(4):1590-1602.
- [64] **Makhoulkh M, Sbaa M, Berrahou A, Clooster MV.** Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). Larhyss Journal ISSN 1112-3680. 2011 ; (9): 149-169.
- [65] **Djad MA EL,** Encadreur : **Kerfouf A.** Qualité bactériologique des eaux littorales et méthodes d'analyses : cas du littoral Ouest algérien [Thèse d'Hydrologie]. [Oran] : Université Djillali Liabes De Sidi Bel Abbes; 2015. 162 p.
- [66] **Mimouni R, Alla AA, Anajjar ELM, FinanceL, Moukrim A.** Impact du rejet des eaux usées sur la qualité microbiologique des plages de la baie d'Agadir. Journal européen d'hydrologie. 2002 ; 33 (01) : 115-123.

- [67] **Eblin S, Sombo A, Soro G, Aka N, Kambire O, Soro N.** Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké (sud-est côtier de la Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* Doi :10.4314/jab.v75i1.10. 2014 ;75 (1) : 6259-6271.
- [68] **Mama D, Chouti W, Alassane A et al.** Etude dynamique des apports en éléments majeurs et nutritifs des eaux de la lagune de Porto-Novo (Sud Bénin). *Int.J.Biol.Cem.Sci* : ISSN :1997-342 X. 2011 ; 3(5).
- [69] **Iltis A, Lévêque C.** Caractéristiques physico-chimiques des rivières de Côte d'Ivoire. *Rev Hydrobiol Trop* ISSN : 0240 – 8783. 1982 ; 15 (2) :115–130.
- [70] **Traoré A, Soro G, Kouadio EK et al.** Evaluation des paramètres physiques, chimiques et bactériologiques des eaux d'une lagune tropicale en période d'étiage : la lagune Aghien (Côte d'Ivoire). *Int J Biol Chem Sci* n.d. 2012 ; 6(6) : 7048-7058.
- [71] **Meless DFR.** Caractérisation des eaux de baignade en océan atlantique : cas de la plage de Vridi et Port Bouët Centre (Abidjan-Côte d'Ivoire) [Thèse de pharmacie 1947/18]. [Abidjan] : Université de Cocody ; 2018. 98p.
- [72] **Marchand M.** La pollution chimique marine. Quelles politiques pour la protection durable de l'océan et des mers côtières ? *Actualité chimique* ISSN : 0151-9093. 2008 ; (325) : 35-40.
- [73] **Soro G, Metongo B, Soro N et al.** Métaux lourds (Cu, Cr, Mn et Zn) dans les sédiments de surface d'une lagune tropicale africaine: cas la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Int. J Biol. Chem. Sci* DOI: 10.4314/ijbcs. v3i6.53161 ISSN: 1997-342 X. 2009; 3 (6): 1408-1427.

- [74] **Adjagodo A, Tchibozo MAD, Kelome C, Ahouangnivo V, Lawani R.** Flux des polluants liés aux activités anthropiques et risques sur les ressources en eau de surface à travers le monde (synthèse bibliographique). Larhyss Journal ISSN 1112-3680. 2016 ; (28) : 7-23.
- [75] **Agbohessi TP, Toko II, Kestemont P.** Etat des lieux de la contamination des écosystèmes aquatiques par les pesticides organochlorés dans le Bassin cotonnier béninois. Cahiers Agricultures ISSN : 1777-5949. 2012 ;1(21) : 46-56.
- [76] **Amin NC, Agbessi T, Gbassi KG, Dosso OV, Kpaibe S A Ph, Kouadio L.** Contrôle qualité de l'eau de baignade de la cascade de Man en Côte d'Ivoire. Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé ISSN : 2413-354X. 2017 ;19 (4) :85- 90.

ANNEXES

ANNEXE I: Normes de qualité de base pour les eaux de surface ordinaires (AR du 4/11/1987) [59]

pH	Degré c	6 à 9
Température	Degré c	25
Oxygène	Pourcentage de saturation	50
NH₄⁺		2
Phosphore total	mg/ml	1
Chlorures	mg/ml	250
Sulfates	mg/ml	150
HAP	ng/ml	100
Pesticides organochlorés totaux	ng/ml	30
Pesticides organochlorés par substances	ng/ml	10
Cadmium total	mg/ml	0,001
Chrome total	mg/ml	0,05
Plomb total	mg/ml	0,05
Mercure total	mg/ml	0,0005
Zinc	mg/ml	0,3
Cuivre total	mg/ml	0,05
Nickel total	mg/ml	0,05
Arsenic	mg/ml	0,05
Cyanure totaux	mg/ml	0,05
Hydrocarbure aromatique monocyclique	µg/ml	2

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

Les germes indicateurs	Valeurs (VG)	Valeurs limites obligatoires (VL) méthodes d'analyse ou d'insp	
Coliformes totaux / 100 ml	500	10.000	Norme NF ISO 9308-2 ou NF T 90-413. - Filtration sur membrane et culture sur milieu approprié (gélose lactosée au terigol, gélose d'endo, bouillon au teelpol 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 CT.
Coliformes fécaux / 100 ml	100	2.000	Norme Afnor T90-433. 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 probable).
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 appropriée

ANNEXE III: Limite de détection et de quantification des pesticides recherchés

Pesticides recherchés		Matrice solide		Matrice liquide		NQE(µg/L)
		Pesticides recherchés	Matrice solide	Matrice liquide	NQE (µg/L)	
Organophosphorés (O.P.)	Métolachlor	0,01	0,032	0,004	0,01	0,3
	Chlorpropham					
	Parathion-méthyl					
	Chlorfenvinphos					
	Vinclozolin					
	Parathion-éthyl					
Herbicides dérivés de l'urée et Hétérocycle azotés + Carbamates	Fénuron	0,007	0,022	0,006	0,018	N.A
	Aldicarb					
	Métoxuron					
	Monuron					
	Méthabenzthiazuron					
	Chlortoluron					
	Monolinuron					
	Isoproturon					
	Diuron					
	Métobromuron					
	Métazachlor					
	Buturon					
	Linuron					
Pyréthrénoides	Prometryn	0,01	0,032	0,002	0,006	-
	Terbutryn					

Pesticides recherchés		Matrice solide		Matrice liquide		NQE(µg/L)
		Pesticides recherchés	Matrice solide	Matrice liquide	NQE(µg/L)	
Triazines	Désisopropylatrazine	0,010	0,032	0,008	0,025	2
	Déséthylatrazine					
	Simazine					
	Cyanazine					
	Atrazine					
	Propazine					
	Terbuthylazine					
Autres	Métamitron	0,1	0,35	0,95	2,85	N.A
	Crimidine					
ORGANO-CHLORE	Métolachlore	0,01	0,032	0,004	0,01	N.A

- ND = Non Détecté
- N.A. = Non Admissible
- Ppm = µg/ml ou µg/g
- Ppb = µg/l ou µg/kg

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE	XXX
ABREVIATION – ACRONYME-SIGLE	XXXII
LISTE DES TABLEAUX	XXXIV
LISTE DES FIGURES	XXXVI
INTRODUCTION	1
PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	4
I. GENERALITES SUR LES EAUX	5
I.1. Cycle de l'eau	5
I.2. Sources d'approvisionnement en eau	6
I.2.1. Eaux de pluie	6
I.2.2. Eaux souterraines	6
I.2.3. Eaux de surface	7
I.2.3.1. Origine	7
I.2.3.2. Caractéristiques des eaux de surface	7
I.2.3.3. Potabilités des eaux de surface	8
I.3. Usages de l'eau	9
I.4. Eaux de baignade	11
I.4.1. Définition et classification	11
I.4.2. Baignade en eaux de mer	11
I.4.3. Baignade en eaux douces ou intérieures	12
II. QUALITE DES EAUX DE BAIGNADE	15

II.1. Pollution des eaux de baignade	15
II.1.2. Pollution d'origine agricole, industrielle ou chimique	19
II.1.2.1. Pollution d'origine agricole	19
II.1.2.2. Pollution d'origine industrielle ou chimique	19
II.2. Caractérisation des eaux de baignade	23
II.2.1. Contrôle microbiologique	23
II.2.1.1. Les bactéries	23
II.2.1.2. Les virus	23
II.2.1.3. Les cryptosporidies et champignons	24
II.2.2. Contrôle physico-chimique	25
PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE	27
I. MATERIEL ET METHODES	28
I.1. Type, cadre et durée de l'étude	28
I.2. Matériel	29
I.2.1. Appareillage	29
I.2.2. Consommables	29
I.2.3. Verreries et autre matériel	29
I.2.4. Réactifs	30
I.3. Echantillonnage et suivi des échantillons	31
I.3.1 Echantillonnage	31
I.3.2. Suivi des échantillons	32
I.4. Méthodes	32
I.4.1. Géolocalisation des eaux de baignades de Jacqueville : repérages par GPS	32

I.4.1.1. Principe de fonctionnement du GPS	32
I.4.1.2. Mode opératoire du GPS.....	33
I.4.2. Analyses des échantillons	33
I.4.2.1. Analyses organoleptiques et physicochimiques	33
I.4.2.1.1. Analyse des paramètres organoleptiques	33
I.4.2.1.1.1. Mesure de la Couleur	33
I.4.2.1.1.2. Détermination de la Turbidité.....	33
I.4.2.1.2. Analyse physico-chimique.....	34
I.4.2.1.2.1. Mesure du pH.....	34
I.4.2.1.2.2. Détermination de la conductivité.....	35
I.4.2.1.2.3. Mesure de la température.....	36
I.4.2.1.2.4. Dosage de l'Ammonium (NH_4^+).....	36
I.4.2.1.2.5. Dosage des Nitrites (NO_2^-).....	37
I.4.2.1.2.6. Dosage des Nitrates (NO_3^-).....	37
I.4.2.1.2.7. Dosage des Chlorures (Cl^-) et du Sodium (Na^+).....	38
I.4.2.1.2.8. Dosage du Fer (Fe).....	39
I.4.2.1.2.9. Dosage du Manganèse (Mn)	39
I.4.2.1.2.10. Dosage des Fluorures (F^-)	40
I.4.2.1.2.11. Dosage de l'Aluminium (Al)	40
I.4.2.1.2.12. Dosage des minéraux (Calcium, Potassium, Magnésium), des Sulfates, du soufre, des Phosphate, de la silice et des silicates, du zinc	42
I.4.2.1.2.13. Détermination du Titre Alcalimétrique Complet (TAC) et bicarbonates.....	44
I.4.2.1.2.14. Détermination du Degré Hydrotimétrique Total (DHT)	44

I.4.2.1.2.15. Détermination de la matière organique.....	45
I.4.2.2. Analyse des pesticides	46
I.4.2.3. Analyse des HAP	48
I.4.2.4. Analyse des métaux lourds	49
I.4.2.5. Analyse microbiologique	50
I.5. Méthodes d'analyses statistiques des données	61
II. RESULTATS.....	62
II.1. Géolocalisation des sites de prélèvements	62
II.2. Analyse des paramètres organoleptiques et physico-chimiques	64
II.2.1. Lac de Mambe Eiminkoa de Jacqueville.....	64
II.2.2. La lagune Ebrié de Jacqueville.....	66
II.2.3. La mer de Jacqueville	67
II-2-4 Evolution globale des paramètres en fonction de la période	68
II-2-5 Comparaison de l'analyse physico-chimique	71
II.3. Analyse microbiologique.....	76
II.3.1. Lac de Mambe Eiminkoa de Jacqueville.....	76
II.3.2. La lagune Ebrié de Jacqueville.....	77
II.3.3. La mer de Jacqueville	78
II-3-4 Comparaison aux normes.....	79
II.4. Recherche de métaux lourds.....	81
II.5. Recherche des HAP	82
II.6. Recherche des pesticides	84
III. DISCUSSION	86
III.1. Paramètres microbiologiques des eaux de baignade de Jacqueville.....	86

III.2. Paramètres physico-chimiques des eaux de baignade de Jacqueville.....	87
III.3. Pesticides, HAP et métaux lourds	88
CONCLUSION	90
RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	92
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	95
ANNEXES	105
TABLE DES MATIERES	110
RESUME.....	115

RESUME

Jacqueville est une ville touristique offrant des côtes balnéaires, une lagune et un lac. C'est un lieu fréquenté tant pour son caractère pittoresque que pour ses eaux de baignade. L'objectif de cette étude était d'évaluer la qualité des eaux de baignade de Jacqueville pour apprécier le risque sanitaire encouru par la population qui les fréquente.

La méthodologie a consisté à réaliser cinq campagnes de prélèvements d'échantillons de ces eaux dans les mois de décembre 2017, janvier 2018, février 2018, mars 2018 et avril 2018. Sur ces échantillons, les paramètres physico-chimiques classiques ont été déterminés par des méthodes électrochimiques et spectrophotométriques, les métaux lourds par la spectrométrie atomique, les pesticides et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) par la chromatographie liquide. L'analyse microbiologique a été réalisée par la technique de filtration sur membrane. La localisation des sites de prélèvements a été faite par repérage GPS.

Les résultats ont montré que les points de prélèvements du lac sont localisés selon la longitude 004°24"730' et la latitude 05°12"222', ceux de la lagune selon la longitude 004°25"472' et la latitude 05°14"238' et ceux de la mer selon la longitude 004°24"842' et la latitude 05°12"082'. Au plan physico-chimique, les eaux sont minéralisées dans l'ordre suivant : mer > lagune > lac. Des teneurs élevées d'arsenic, des quantités faibles de HAP et des traces de pesticides ont été également retrouvés dans ces eaux de baignade. Au plan microbiologique, les eaux du lac, de la lagune et de la mer de Jacqueville sont d'une qualité acceptable pour la baignade selon les normes algériennes mais d'une qualité insatisfaisante pour la baignade aux vues des normes américaines, canadiennes, européennes et OMS.

Il convient aux autorités de définir les mesures de gestion à mettre en œuvre pour prévenir les pollutions à court terme et améliorer la qualité des eaux de baignade afin de préserver la santé de la population qui s'adonne à cette activité.

Mots clés : Eaux de baignade, Physicochimie, Microbiologie, Métaux lourds, Pesticides, Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques