# MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

# REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE UNION-DISCIPLINE-TRAVAIL





ANNÉE: 2018 – 2019

N° 2028/19

# **THESE**

Présentée en vue de l'obtention du

# DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

Par

# **BROU KOUADIO THIERRY VIANEY**

# EVALUATION DE LA QUALITE PHYSICOCHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DE L'EAU DE BAIGNADE BANCO

Soutenue publiquement le 31 juillet 2019

# **COMPOSITION DU JURY**

Président Madame KOUAKOU SIRANSY GISELE, Professeur Titulaire

**Directeur de thèse**Monsieur AMIN N'CHO CHRISTOPHE, Professeur Titulaire

Assesseurs Monsieur DJOHAN VINCENT, Maître de conférences agrégé

Madame KONAN-ATTIA AKISSI REGINE, Maitre-Assistante

# ADMINISTRATION ET PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'UFR DES 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

Mme AKE Michèle Chimie Analytique, Bromatologie

MM AMARI Antoine Serge G. Législation

AMIN N'Cho Christophe Chimie analytique et bromatologie

Mme ATTOUNGBRE HAUHOUOT M.L. Biochimie et Biologie Moléculaire

MM. DANO Djédjé Sébastien Toxicologie

GBASSI K. Gildas Chimie Physique Générale

INWOLEY Kokou André Immunologie

Mme KONE BAMBA Diéneba Pharmacognosie

M. KOUADIO Kouakou Luc Hydrologie, Santé Publique

Mme KOUAKOU-SIRANSY Gisèle Pharmacologie

MM. MALAN Kla Anglade Chimie Analytique et bromatologie

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

BARRO-KIKI Pulchérie Parasitologie – Mycologie

BLAO-N'GUESSAN Amoin Rebecca J. Hématologie

MM BONY François Nicaise Chimie Analytique et bromatologie

DALLY Laba Ismael Pharmacie Galénique

DEMBELE Bamory Immunologie

Mme DIAKITE Aïssata Toxicologie

DJOHAN Vincent Parasitologie – Mycologie

FOFIE N'Guessan Bra Yvette Pharmacognosie IRIE-N'GUESSAN Geneviève Pharmacologie

MM KASSI Kondo Fulgence Parasitologie-Mycologie

M. KOFFI Angely Armand Pharmacie Galénique

Mme KOUAKOU-SACKOU Julie Santé Publique

MM. KOUASSI Dinard Hématologie

LOUKOU Yao Guillaume Bactériologie-Virologie

MANDA Pierre Toxicologie

OGA Agbaya Stéphane Santé publique et Economie de la santé

OUASSA Timothée Bactériologie-Virologie

OUATTARA Mahama Chimie organique, Chimie thérapeutique

SANGARE TIGORI Béatrice Toxicologie

MM YAPI Ange Désiré Chimie organique, chimie thérapeutique

YAYO Sagou Eric Biochimie et Biologie moléculaire

ZINZENDORF Nanga Yessé Bactériologie-Virologie

#### **3- MAITRES-ASSISTANTS**

Mme ABOLI-AFFI Mihessé Roseline Immunologie
 MM. ADIKO Aimé Cézaire Immunologie
 ADJAMBRI Adia Eusebé Hématologie
 ADJOUNGOUA Attoli Léopold Pharmacognosie

Mmes 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

MM. CABLAN Mian N'Dedey Asher Bactériologie-Virologie

CLAON Jean Stéphane Santé Publique

COULIBALY Songuigama Chimie organique, chimie thérapeutique

Mme DONOU-N'DRAMAN Aha Emma Hématologie

M. EFFO Kouakou Etienne Pharmacologie

Mme KABLAN-KASSI Hermance Hématologie

M. KABRAN Tano Kouadio Mathieu Immunologie

Mme KONAN-ATTIA Akissi Régine Santé publique

M. KONAN Konan Jean Louis Biochimie et Biologie moléculaire

Mme KONATE Abibatou Parasitologie-Mycologie

M. KOUAME Dénis Rodrigue Immunologie

Mme KOUASSI-AGBESSI Thérèse Bactériologie-Virologie

MM. KPAIBE Sawa André Philippe Chimie Analytique et bromatologie

N'GUESSAN Alain Pharmacie Galénique

N'GUESSAN Déto Ursul Jean-Paul Chimie organique, chimie thérapeutique

Mme VANGA-BOSSON Henriette Parasitologie-Mycologie

### 4- ASSISTANTS

Mmes AKOUBET-OUAYOGODE Aminata Pharmacognosie

ALLOUKOU-BOKA Paule-Mireille Législation

M. AMICHIA Attoumou Magloire Pharmacologie

Mme BEDIAKON-GOKPEYA Mariette Santé publique

MM. BROU Amani Germain Chimie Analytique et bromatologie

BROU N'Guessan Aimé Pharmacie clinique et thérapeutique

DJADJI Ayoman Thierry Lenoir Pharmacologie

DJATCHI Richmond Anderson Bactériologie-Virologie

Mme DOTIA Tiepordan Agathe Bactériologie-Virologie

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 KOUASSI-TUO Awa Pharmacie GaléniqueMme KRIZO Gouhonon Anne-Aymonde Bactériologie-Virologie

MM. LATHRO Joseph Serge Bactériologie-Virologie

MIEZAN Jean Sébastien Parasitologie-Mycologie

N'GBE Jean Verdier Toxicologie

Mmes N'GUESSAN-AMONKOU Anne Cynthia Législation

N'GUESSAN Kakwokpo Clémence Pharmacie Galénique

ODOH Alida Edwige Pharmacognosie

SIBLI-KOFFI Akissi Joëlle Biochimie et Biologie moléculaire

SICA-DIAKITE Amelanh Chimie organique, chimie thérapeutique

Mmes TAHOU-APETE Sandrine Bactériologie-Virologie

TANOH-BEDIA Valérie Parasitologie-Mycologie

M. TRE Eric Serge Chimie Analytique et bromatologie

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. AHOUSSI Ferdinand Secourisme

COULIBALY Gon Activité sportive

DEMPAH Anoh Joseph Zoologie

GOUEPO Evariste Techniques officinales

Mme KEI-BOGUINARD Isabelle Gestion-Comptabilité

MM KOFFI Alexis Anglais

KONAN Kouacou Diététique KOUA Amian Hygiène

KOUASSI Ambroise Management

Mme PAYNE Marie Santé Publique

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

# I. <u>BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE</u>

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

DJATCHI Richmond Anderson Assistant

DOTIA Tiepordan Agathe Assistante

KRIZO Gouhonon Anne-Aymonde Assistante

LATHRO Joseph Serge Assistant

TAHOU-APETE Sandrine Assistante

# II. <u>BIOCHIMIE, BIOLOGIE MOLECULAIRE, BIOLOGIE DE LA</u>

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

YAYO Sagou Eric Maître de Conférences Agrégé

Docteurs KONAN Konan Jean Louis 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

ADIKO Aimé Cézaire Maître-Assistant ADJAMBRI Adia Eusebé Maître-Assistant **AYE-YAYO** Mireille Maître-Assistante **BAMBA-SANGARE** Mahawa Maître-Assistante BLAO-N'GUESSAN A. Rebecca S. Maître-Assistante DONOU-N'DRAMAN Aha Emma Maître-Assistante KABLAN-KASSI Hermance Maître-Assistante KABRAN Tano K. Mathieu Maître-Assistant KOUAME Dénis Rodrigue Maître-Assistant

YAPO Assi Vincent De Paul Assistant

# IV. <u>CHIMIE ANALYTIQUE, CHIMIE MINERALE ET GENERALE,</u> <u>TECHNOLOGIE ALIMENTAIRE</u>

Professeurs MALAN Kla Anglade Professeur Titulaire

Chef de Département

AKE Michèle Professeur Titulaire

AMIN N'Cho Christophe Professeur Titulaire
GBASSI Komenan Gildas Professeur Titulaire

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 Maître-Assistant

N'GUESSAN Déto Ursul Jean-Paul Maître-Assistant

KACOU Alain Assistant
KOUAHO Avi Kadio Tanguy Assistant
SICA-DIAKITE Amelanh Assistante

# VI. <u>PARASITOLOGIE, MYCOLOGIE, BIOLOGIE ANIMALE ET</u> <u>ZOOLOGIE</u>

Professeurs MENAN Eby Ignace H. Professeur Titulaire

Chef de Département

YAVO William Professeur Titulaire

BARRO-KIKI Pulchérie Maître de Conférences Agrégé

DJOHAN Vincent Maître de Conférences Agrégé

Docteurs ANGORA Kpongbo Etienne Maître-Assistant

KASSI Kondo Fulgence Maître-Assistant

KONATE Abibatou Maître-Assistant

VANGA-BOSSON Henriette Maître-Assistante

MIEZAN Jean Sébastien Assistant
TANOH-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. Professeur Titulaire

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, CRYPTOGAMIE

Professeur KONE-BAMBA Diénéba Professeur Titulaire

Chef de Département

FOFIE N'Guessan Bra Yvette Maître de Conférences Agrégé

Docteurs ADJOUGOUA Attoli Léopold Maître-Assistant

ADIKO N'dri Marcelline Chargée de recherche

AKOUBET-OUAYOGODE Aminata Assistante
ODOH Alida Edwige Assistante

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

BROU N'Guessan Aimé

DJADJI Ayoman Thierry Lenoir

KAMENAN Boua Alexis

KOUAKOU Sylvain Landry

Assistant

Assistant

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

DIAKITE Aissata Maître de Conférences Agrégé

KOUAKOU-SACKOU Julie Maître de Conférences Agrégé

MANDA Pierre Maître de Conférences Agrégé

OGA Agbaya Stéphane Maître de Conférences Agrégé

SANGARE-TIGORI Béatrice Maître de Conférences Agrégé

Docteurs CLAON Jean Stéphane Maître-Assistant

HOUNSA-ALLA Annita Emeline Maître-Assistante KONAN-ATTIA Akissi Régine Maître-Assistante

OUATTARA N'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 LE PERE, LE TOUT PUISSANT

Comme tu l'as dit en *Josué 1v9*: << *Ne t'ai-je pas donné cet ordre:fortifie-toi* et prends courage? Ne t'éffraie point et ne t'épouvante point, car je suis avec toi dans tout ce que tu entreprendras >>. Ainsi mon DIEU tu m'a soutenu durant toutes ces années, a toi toute la gloire et l'honneur. Seigneur tu es l'auteur de ce que je suis.

# A MA MOITIE, MADEMOISELLE.....

Dans l'attente du croisement de nos chemins, je te promets de te rendre heureuse et de t'aimer.

# A MON PERE N'GUESSAN BROU

Papa, te dire merci n'est pas assez mais souffre que je te le dise car aucun mot ne saurait traduire ma reconnaissance pour tous les sacrifices que tu as dû consentir. Je prie le Seigneur JESUS qu'il te donne de très nombreuses années heureuses et en bonne santé auprès de tes enfants et petits enfants.

# A MA MERE KOUAME AMOIN CLEMENTINE

Maman, reçois ma reconnaissance et ma gratitude car plus qu'une mère tu es une amie, une conseillère,une éducatrice. Merci de m'avoir instruit dans les voies du SEIGNEUR dès mon enfance, d'avoir exercé toutes ces activités pour soutenir tes enfants et ton époux, maman notre SEIGNEUR se souviendra toujours de toi.

# A MES FRERES ET SOEURS

*MODESTE*, *TATIANA*, *PARFAIT*, *GEOFFROY*, *FIDELE*, *JEAN-MARI*, vous m'avez encouragé, vous avez toujours cru en moi. Merci pour votre soutien puisse le seigneur vous combler de ses grâces.

# A MES COUSINS ET NEVEUX

EMMA (BLEDJA), MADHY, GONTRAN, HERMANN, SYLVAIN, BIENVENU, SANDRINE vous me procurez tant de joie. Puisse le SEIGNEUR vous faire grandir en statut, en sagesse et en intélligence.

# A MES TANTES

AFFOUE EDWIGE, KONAN THERESE, DIBY AHOU, merci pour votre aide, vos prières et conseils qui m'ont conduit à ce niveau.

# A MES ONCLES

DIBI FRANCIS, KOUAME BLAISE, KOFFI MAXIME, AURELIEN, merci infiniment à vous pour votre aide alors que c'était difficile pour moi, que DIEU vous comble infiniment de ses grâces.

# A TOUTE LA FAMILLE DIBI ET BROU

Oncles, tantes, cousins, cousines, grands-parents, merci pour tout le soutien que j'ai reçu de vous.

# A MES AMIS DE P7E

Merci à la 33<sup>ième</sup> promotion (*Pharmaciens7Etoiles*<sup>R</sup>) des pharmaciens de Côted'Ivoire pour ces bons moments passés sur la faculté.

# A MES AMIS

KOUDOU Stéphane (Médecine Abidjan), André Bhéllys (Médecine Bouaké), LOBOGNON Vanessa (Odonto-Stomatologie). Nous avons commencé ensemble les sciences de la santé et nous avons terminé ensemble. Merci pour le soutien moral et financier tout au long de notre parcours.

AKA AGNIMOU, KOUADIO N'GUESSAN, MELESS DJEDJRO, FOFANA MAMERY,...., mes amis de la faculté de pharmacie et aussi de la cité universitaire du campus 2 batiment D6, merci pour tout. Vous n'êtes plus des amis mais des frères.

# AU PERSONNEL DU SERVICE DU LABORATOIRE DES EAUX ET ALIMENTS DE L'INHP

Un merci spécial à monsieur *DEGNY*, pour votre collaboration.

# A TOUT CEUX DONT J'AI OMIS LE NOM

Merci pour tout ce que vous avez fait de près ou de loin pour moi, merci pour vos prières.

A tout le personnel de la pharmacie Bokosso Nouvelle de Sinfra avec à sa tête Dr KONE MAMADOU, merci pour tout.

A tout le personnel de la Formation Sanitaire Urbaine d'Abobo Avocatier, spécialement à Dr GAMENE, merci pour tout.

A tout le personnel du service d'Immunohématologie du CHU de Cocody, spécialement A Dr YAPO, merci pour tout.

A tout le personnel de la pharmacie Des 4 Etages à Abobo avec à sa tête Dr TRAORE, merci pour tout.

A tout le personnel du service de Chirurgie de l'H.M.A., spécialement au Colonel-médecin NANKAN, merci pour tout.

# À MON DIRECTEUR DE THESE MONSIEUR LE PROFESSEUR AMIN N'CHO CHRISTOPHE

Professeur Agrégé à l'Université Felix Houphouët Boigny, UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Département de chimie analytique et bromatologie.

Je vous remercie d'avoir accepté d'être mon directeur de thèse, ainsi que de m'avoir guidé au-cours de cette année afin de finaliser cette thèse.

# A NOS MAITRES ET JUGES

# A NOTRE MAÎTRE ET PRESIDENT DE JURY

### Madame le Professeur KOUAKOU SIRANSY GISELE

- ➤ Professeur titulaire en pharmacologie à l'UFR Sciences Pharmaceutiques et Biologiques ;
- Ancien interne des hôpitaux ;
- ➤ Pharmacien hospitalier au CHU de Cocody ;
- ➤ Titulaire d'une thèse de doctorat unique en pharmacologie de l'université Félix Houphouët-Boigny de Cocody ;
- ➤ Titulaire d'un DEA en physiologie animale ;
- Membre de la Société Française d'Ethnopharmacologie ;
- ➤ Membre de la Société de Pharmacologie et de Toxicologie du Burkina Faso ;
- ➤ Membre de la Société Française de la Pharmacologie et de la thérapeutique ;
- Membre de la Société Ouest Africaine de Chimie.

# Cher Maître,

Vous nous avez fait un grand honneur en acceptant de présider ce jury malgré vos multiples occupations, cela témoigne encore de l'intérêt que vous accordez à notre formation. Nous restons convaincus que vous êtes un modèle d'intellectuels et de cadres.

Veuillez trouver ici, cher maître, l'expression de notre profond respect et de notre profonde considération.

# A NOTRE MAÎTRE ET DIRECTEUR DE THESE

### Monsieur le Professeur AMIN N'CHO CHRISTOPHE

- ➤ Professeur Titulaire en chimie analytique, bromatologie à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques ;
- ➤ Chef de service adjoint du laboratoire d'hygiène de l'Institut National d'Hygiène Publique d'Abidjan ;
- Ancien Interne des Hôpitaux d'Abidjan ;
- Titulaire d'une thèse de docteur d'Etat en pharmacie de l'Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan;
- ➤ Titulaire d'une thèse de doctorat unique 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 amour pour le travail, mais aussi et surtout votre disponibilité, votre simplicité et votre bienveillance. Travailler sous votre direction fut très enrichissant.

Puisse ce travail vous rende hommage.

# A NOTRE MAÎTRE ET JUGE

# Monsieur le professeur DJOHAN VINCENT

- ✓ Maître de Conférences Agrégé en parasitologie-mycologie à l'UFR Sciences Pharmaceutiques et Biologiques ;
- ✓ Entomologiste médical à l'Institut Pierre Richet de Bouaké ;
- ✓ Ancien Interne des hôpitaux d'Abidjan (Lauréat du concours de 2001) ;
- ✓ Titulaire d'une thèse de doctorat unique en pharmacie de l'Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan ;
- ✓ Biologiste des hôpitaux (CES de Parasitologie-Mycologie, CES d'Immunologie, CES d'Hématologie biologie, DEA d'entomologie médicale et vétérinaire) ;
- ✓ Membre de la Société Africaine de Parasitologie ;
- ✓ Membre de la Société Ivoirienne de Parasitologie et de Mycologie ;
- ✓ Membre de la Société Pharmaceutique de Côte d'Ivoire (SOPHACI).

# Cher Maître,

Votre simplicité et votre amour pour le travail bien fait ont suscité en nous une très grande admiration.

Recevez cher maître le témoignage de notre sincère reconnaissance et de notre profond respect.

Que Dieu vous bénisse.

# A NOTRE MAÎTRE ET JUGE

### Madame le Docteur ATTIA AKISSI REGINE

- ✓ Maître-Assistante en économie de la santé et du médicament à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques ;
- ✓ Chargé d'études à la Direction de la Prospective, de la Planification Sanitaire (DPPS)
- ✓ Ancien interne des Hôpitaux ;
- ✓ DESS d'Hygiène Agro-alimentaire
- ✓ Maîtrise professionnalisée de Santé Publique
- ✓ DEA de Santé Publique
- ✓ Membre de l'Association Africaine des politiques et Economie de la Santé (AfHEA)
- ✓ Membre de la Société Française de Santé Publique

### Cher Maître.

Votre disponibilité et votre simplicité forcent respect et admiration.

C'est donc un grand honneur que vous nous faites en acceptant de siéger dans ce jury.

Soyez rassurée de notre profond respect et notre reconnaissance.

# **SOMMAIRE**

SOMMAIRE	XXIII
ABREVIATIONS – ACRONYMES – SIGLES	XXV
LISTE DES TABLEAUX	XXVII
LISTE DES FIGURES	XXVIII
INTRODUCTION	1
Première partie : REVUE DE LA LITTERATURE	4
I- PRESENTATION DES BAIGNADES	5
I-1- Définition	5
I-2- Classification	5
I-3- Quelques aspects bénéfiques liés à la baignade	7
II- POLLUTION DES EAUX DE BAIGNADE	8
II-1- Risques liés à la fréquentation des eaux de baignade	8
II-2- Origines des contaminations	8
II-3- Nature des contaminants	9
III- CONTROLE QUALITE DES EAUX DE BAIGNADE	15
III-1- Contrôles microbiologiques	15
III-2- Contrôles physicochimiques	17
III-3- Réglementations des eaux de baignade	21
. Deuxième partie : ETUDE EXPERIMENTALE	27
I- MATERIEL ET METHODES	28
I-1- Type et cadre de l'étude	28
I-2- Matériel	29
I-3- Méthodes	30
II- RESULTATS	48
II-1- Campagnes de prélèvement de la rivière Banco	48
II-2- Analyse des paramètres organoleptiques et physicochimiques	50
II-3- Analyse microbiologique	56
II-4- Comparaison des valeurs des paramètres à des normes	60
III- DISCUSSION	63
III-1- Caractérisation de l'eau de baignade Banco	63

# Evaluation de la qualité physicochimique et microbiologique de l'eau de baignade Banco.

III-2- Comparaison aux normes d'eaux de baignade	65
CONCLUSION	68
RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	70
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	73
TABLE DES MATIERES	81
ANNEXES	84

# ABREVIATIONS - ACRONYMES - SIGLES

ACP Analyse en Composantes Principales

ASR Anaérobies Sulfito-Réducteurs

BCYE Buffered Charcoal Yeast Extract

BEA Bile Esculine Azide

°C Degré Celsius

CLHP Chromatographie Liquide à Haute Performance

C T Coliformes Totaux

C Th Coliformes Thermotolérants

DHT Degré Hydrotimétrique Total

E. coli Escherichia coli

EDTA Acide Ethylène Diamine Tétra acétique

E. Faecalis Enterococcus faecalis

GAL \(\beta\)- Galactosidase

GLUC ß- Glucuronidase

GPS Global Positioning System

HAP Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

INHP Institut National d'Hygiène Publique

MACA Maison d'Arrêt et de Correction d'Abidjan

MEAP Méningo-Encéphalite Amibienne Primitive

MSHP Ministère de la Santé et de l'Hygiène publique

OIPR Office Ivoirien des Parcs et Réserves

OMS Organisation Mondiale de la Santé

OS Oxalate de Sodium

P. aeruginosa Pseudomonas aeruginosa

PCB Polychlorobiphenyls

pH Potentiel Hydrogène

PP Permaganate de Potassium

PNUE Programme des Nations Unies pour l'Environnement

SNC Système Nerveux Central

TAC Titre Alcalimétrique Complet

TCBS Thiosulfate Citrate Bille Saccharose

TSN Tryptone Sulfite Néomycine

UCV Unités de Couleur Vraie

UE Union Européenne

UFC Unités Formatrices de Colonies

UNICEF Fonds des Nations Unies pour l'Enfance

UNT Unité Néphélométrique de Turbidité

YGC Yeast Bile Esculine

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Microorganismes rencontrés dans les eaux de baignade (14,28,30) . 10
Tableau II: Microorganismes des eaux de baignade et pathologies associées 11
Tableau III: Normes ivoiriennes en matière de baignades aménagées (Arrêté
N°74/MSHP/INHP; 1993) (8)
Tableau IV: Normes algériennes concernant la qualité des eaux de baignade
(Décret exécutif n° 93-164 du 10 juillet 1993) (58)
Tableau V: Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins
récréatives au Canada (30)24
Tableau VI: Directive 2006/7/CE du parlement européen concernant la gestion de
la qualité des eaux de baignade et abrogeant la directive 76/160/CEE (25) 25
Tableau VII: Directive de l'OMS pour la qualité de l'eau potable (59)
Tableau VIII: Paramètres organoleptiques et physicochimiques de la rivière
Banco
Tableau IX: Paramètres microbiologiques de la rivière Banco
Tableau X: Comparaison des valeurs des paramètres de la rivière Banco aux
normes ivoiriennes60
Tableau XI: Comparaison des valeurs des paramètres de la rivière Banco aux
normes algériennes61
Tableau XII : Comparaison des valeurs paramétriques de la rivière Banco aux
normes canadiennes
Tableau XIII: Comparaison des valeurs paramétriques de la rivière Banco aux
recommandations de l'UE

# LISTE DES FIGURES

Figure 1: Situation géographique de la rivière Banco à Abidjan28
Figure 2: Aperçu du point de prélèvement de la rivière Banco
Figure 3: Evolution de la coloration en fonction du temps51
Figure 4: Evolution de la turbidité en fonction du temps
Figure 5: Graphique de l'ACP des paramètres physicochimiques dans le plan
factoriel F1xF252
Figure 6: Graphique de l'ACP des paramètres physicochimiques focalisée sur la
turbidité53
Figure 7: Evolution des nitrites et des nitrates en fonction du temps54
Figure 8: Evolution des bicarbonates et du TAC en fonction du temps55
Figure 9: Evolution du pH en fonction du temps55
Figure 10: Evolution de l'ammonium en fonction du temps
Figure 11 : Evolution des chlorures en fonction du temps
Figure 12: Graphique de l'ACP des résultats microbiologiques dans le plan
factoriel F1xF258
Figure 13: Graphique de l'ACP des paramètres physicochimiques focalisée sur
E. coli58
Figure 14: Graphique de l'ACP des des paramètres microbiologiques focalisé
sur <i>Escherichia. Coli</i> 59
Figure 15: Graphique de l'ACP des paramètres physicochimiques focalisée sur
E. faecalis59
Figure 16: Graphique de l'ACP des paramètres microbiologiques focalisée sur
E. faecalis60

# **INTRODUCTION**

L'eau, substance naturelle omniprésente dans la nature, est indispensable pour la vie des hommes. Elle est utilisée dans divers domaines tels que l'alimentation, l'agriculture, l'industrie, le commerce et les loisirs dont la baignade.

Les eaux de baignade sont constituées essentiellement par 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 et les mers (1). Les eaux de baignade, bien qu'associées à des moments de détente ou de jeu, présentent des risques physiques à titre de noyades (2–4), de coups de soleil, d'hydrocution et de traumatismes divers, mais aussi des risques sanitaires d'origine chimique ou biologique dus à une mauvaise qualité de l'eau de la baignade ou du milieu environnant (5). Le risque de maladie hydrique liée à la pratique de la baignade demeure (6).

La Côte d'Ivoire regorge d'un plan d'eau aquatique constitué par l'océan atlantique, des fleuves, des lacs et un grand nombre de rivières dont la rivière Banco très fréquentée tant pour les activités de loisirs qu'économiques.

La rivière Banco est située dans le parc national du Banco dans la ville d'Abidjan, Côte-d'Ivoire. Cette rivière est utilisée à des fins de lessive, de baignade, d'agriculture et de cérémonies rituelles. A la périphérie immédiate du parc, des quartiers précaires se sont développés avec un bas niveau d'infrastructures et d'équipements collectifs. On note la présence de la prison civile d'Abidjan, Maison d'Arrêt et de Correction d'Abidjan (MACA), des zones d'activités économiques formelles (Filtisac, Stations d'essence, et Scieries) et informelles (ferrailles, casse automobile, garages, fumoirs de poissons, lavanderie). Tous les déchets générés par ces activités sont susceptibles de polluer cette rivière (7).

Depuis 1993, la Côte-d'Ivoire dispose d'un arrêté fixant les normes d'hygiène dans le cadre du contrôle sanitaire des piscines, des baignades aménagées et bassins de natation ouverts au public (8). Depuis lors, la surveillance sanitaire des eaux de baignade aménagée n'a connu aucun début d'exécution. En 2018, quelques études de caractérisation d'eaux de baignade naturelle marine (9–11) et douce (10–13) en Côte-

d'Ivoire ont été menées. C'est dans ce même contexte de caractérisation des eaux de baignade que cette étude a été réalisée avec pour objectif d'évaluer la qualité de l'eau de baignade « Banco » afin de connaître les risques sanitaires encourus par les populations qui s'y baignent.

Les objectifs spécifiques de cette étude ont été de :

- déterminer la composition physicochimique de l'eau ;
- dénombrer les germes indicateurs de pollution fécale ;
- comparer les résultats à différentes normes d'eaux de baignade.

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

- La première partie consacrée à une étude bibliographique subdivisée en trois chapitres. Le premier comporte les généralités sur les eaux de loisir alors que le deuxième se concentre sur les eaux de baignade. Le troisième chapitre lui se réfère au contrôle qualité des eaux de baignade.
- La seconde partie, l'étude expérimentale comprend trois chapitres dont les matériel et méthodes, les résultats obtenus des échantillons prélevés dans la zone d'étude et enfin leur discussion.

# Première partie : REVUE DE LA LITTERATURE

### I- PRESENTATION DES BAIGNADES

# I-1- Définition

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 (14).

Elles se répartissent en deux sous-groupes :

- les baignades en eau de mer, qui s'agrémentent souvent de plages très fréquentées ; la qualité de l'eau et des plages dépend, en dehors des rejets de polluants et de la fréquentation, des phénomènes de marée dont l'amplitude varie suivant la région littorale et le moment de l'année ;
- les baignades en eau douce, qui présentent une grande variété de sites comme les rivières, les torrents, les retenues naturelles (lacs) ou artificielles (étangs, gravières, barrage-réservoirs) (14).

# **I-2-** Classification

Les sites d'eau où se pratiquent les activités de loisir peuvent être classés en deux catégories : les piscines et les baignades.

## I-2-1- Piscines

Les établissements comportant un ou plusieurs bassins artificiels sont regroupés sous le terme générique de piscine. La qualité de l'eau est assurée par la mise en œuvre en continu de traitements, dont la désinfection (14).

# I-2-2- Baignades

Les sites naturels, regroupés sous le terme générique de baignade, 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 baignade (14).

Il existe trois grands types de régimes juridiques applicables aux baignades (15). On peut ainsi être en présence d'un lieu où :

- la baignade est interdite;
- la baignade est libre, non interdite, mais non aménagée ;
- la baignade est autorisée et aménagée.

Ce dernier cas comprend deux sous-catégories : les baignades aménagées d'accès gratuit, et celles dont l'accès est payant (15).

# I-2-2-1- Baignades interdites

Le principe général sur le domaine public maritime et fluvial est que la baignade est libre, sans restriction dans le temps, sauf si une interdiction s'y oppose pour des motifs de sécurité ou de salubrité publique (15). Une baignade peut être interdite en raison d'un danger objectif (pollution, courant dangereux, proximité de turbines d'un barrage...) par arrêté municipal ou préfectoral. Ce dernier doit être motivé :

- par des problèmes de sécurité propres au site,
- ou par des problèmes sanitaires.

# I-2-2-Baignades libres

Il s'agit de baignades sur tout plan d'eau:

- qui n'ont pas fait l'objet de mesure d'interdiction,
- qui ne sont pas aménagées,
- et qui ne présentent pas de danger particulier (les bords de certaines rivières ou encore un étang au milieu d'un pré).

La pratique de la baignade se fait alors aux risques et périls des utilisateurs (15,16).

# I-2-2-3- Baignades aménagées, autorisées et ouvertes au public

Une baignade aménagée est un site naturel (plan d'eau, rivière, ...) bénéficiant d'un aménagement spécial et réglementairement autorisé. Elle est caractérisée par l'obligation de surveillance et de délimitation d'une zone de bain. Les horaires, périodes et zones de surveillance sont définis par l'arrêté municipal d'ouverture.

D'une manière générale, il est à considérer que tout aménagement spécial (ajout de sable sur les berges, travaux de terrassement destinés à faciliter l'entrée des

baigneurs dans l'eau...) constitue une incitation à la baignade et fait rentrer de facto cette dernière dans la catégorie des baignades aménagées, imposant à la collectivité locale compétente de mettre en œuvre les moyens de surveillance et de sécurité adéquats (15).

Dans le cadre des baignades aménagées, il convient de définir 2 sous-catégories :

# a- Baignades aménagées d'accès gratuit

Elles se caractérisent par l'absence de droit d'entrée en contre partie de la prestation de baignade (17).

# b- Baignades aménagées d'accès payant

Les établissements de baignade d'accès payant sont les établissements d'activités physiques et sportives dans lesquels sont pratiquées des activités aquatiques, de baignade ou de natation ou dans lesquels ces activités font partir de prestations de services offertes en contrepartie du paiement d'un droit d'accès, qu'il soit ou non spécifique (15).

# I-3- Quelques aspects bénéfiques liés à la baignade

# I-3-1- Vertus apaisantes

Le bain de mer est particulièrement préconisé après une séance de sport, alors que tous les muscles sont tendus. L'effet apaisant est le bénéfice le plus immédiat de l'eau de mer ; elle disperse les tensions et apaise le corps (18).

### I-3-2- Effet relaxant

Selon le principe d'Archimède : « tout corps plongé dans un fluide reçoit de la part de celui-ci une poussée verticale, dirigée de bas en haut, égale au poids du volume de fluide déplacé. ». Ainsi une immersion sternale diminue le poids du corps de 80% dans l'eau douce et de 90% dans l'eau de mer. Du coup, la pression sur les articulations diminue, les tendons et les ligaments se décontractent, d'où l'effet relaxant (19).

# I-3-3- Effet diurétique

L'eau exerce une pression qui est proportionnelle à la profondeur et augmente la pression tissulaire. Les vaisseaux sanguins et lymphatiques sont comprimés. Le cœur

fait face à cet afflux de sang veineux en battant plus vite et en augmentant le volume de sang pompé par battement. Le déplacement de sang vers le cœur provoque une réaction du système endocrinien qui déploie ses mécanismes pour évacuer l'excès d'eau. Du coup, le corps accélère la diurèse, stimulant la fonction rénale (19).

#### I-3-4- Effet antalgique

C'est la théorie du portillon de la douleur : la moelle épinière tire les informations sur ce que l'on ressent. Ainsi, la stimulation mécanique qu'offre l'eau, un véritable massage pour le corps, est traitée de manière prioritaire par la moelle épinière, bloquant de ce fait les afflux de la douleur (19).

#### I-3-5- Exfoliant pour la peau

Le sel contenu dans l'eau de mer agit comme un exfoliant naturel sur la peau. Il gomme les cellules mortes et ravive l'épiderme, pour une peau douce et lisse (18,20).

## I-3-6- Balnéothérapie et thalassothérapie

Ces deux techniques sont classées dans la pratique de la médecine douce. La balnéothérapie constitue un traitement préventif ou curatif à base d'eau froide ou chaude. Les professionnels dans ce domaine utilisent de l'eau douce. C'est ce qui différencie la balnéothérapie de la thalassothérapie qui utilise de l'eau de mer (21).

#### II- POLLUTION DES EAUX DE BAIGNADE

## II-1- Risques liés à la fréquentation des eaux de baignade

La baignade peut présenter des risques pour la santé liés notamment à la qualité bactériologique de l'eau. Le principal risque est le risque infectieux, lié à la présence de germes pouvant être à l'origine de différentes pathologies (gastroentérite, leptospirose, dermatites) (22).

## II-2- Origines des contaminations

La contamination des eaux de surface est fréquente, que ça soit par les eaux usées urbaines, par des sources ponctuelles de pollution (fosses «septiques») ou par les excréments d'animaux domestiques ou sauvages (23,24). Ces sources sont associées à

une augmentation de fréquence de maladies entériques, de maladies respiratoires ou d'affections cutanées, comme l'ont montré plusieurs études épidémiologiques (1).

#### II-3- Nature des contaminants

Les contaminants sont principalement de natures biologiques et chimiques (les pesticides, les HAP...).

## II-3-1- Nature biologique

#### II-3-1-1- Indicateurs biologiques :

Les indicateurs biologiques sont les paramètres les plus importants à considérer pour les eaux à usage domestique (25). Ils correspondent à des germes pathogènes qui proviennent du rejet des eaux usées domestiques ou industrielles directement dans les cours d'eau et/ou de lessivages des sols. La transmission des microorganismes peut se faire par ingestion d'eau contaminée ou par contact direct avec la peau et les muqueuses (26). Pour de nombreux parasites, l'homme n'est qu'un hôte dans leur cycle vital. La contamination des eaux de surface est fréquente. 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.

## II-3-1-2- Types de germes :

#### a- Bactéries

Les bactéries les plus souvent rencontrées sont *E. coli*, les entérocoques, les staphylocoques, les streptocoques, les salmonelles et les légionnelles. Elles sont responsables de diverses pathologies.

#### b- Virus

Les virus les plus rencontrés dans les eaux de baignade sont essentiellement les rotavirus, les entérovirus dont l'origine est diverse (*tableau II*). Ils proviennent

essentiellement des baigneurs mais également des eaux souterraines servant à alimenter les eaux de surface (entérovirus, rotavirus...) (27)

#### c- 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).

## d- Champignons

Les champignons responsables de pathologies liées aux eaux de baignade sont surtout dominés par les dermatophytes responsables de mycoses, d'herpès circiné et d'eczéma (29). En outre on retrouve également des levures responsables de candidoses et des moisissures qui entraînent des infections des orteils.

Tableau I: Microorganismes rencontrés dans les eaux de baignade (14,28,30)

	Micro-organismes	Origine	Lieux contaminés
	Dermatophytes	Peau (squames)	Eaux, Sols
Champignons	Levures	Peau, muqueuses	
	Moisissures		
Bactéries	Staphylocoques	Peau, lésions cutanées	Eaux (film
			superficiel)
	Streptocoques	Muqueuses	Goulottes
			bord du bassin
	P. aeruginosa	Hydrotelluriques,	Eaux, sols
		Muqueuses	
	E. coli	Intestin	Eaux
	E. faecalis	Intestin	Eaux
	Salmonelles	Peau, Région péri-anale	Eaux
	Légionnelles	Eaux, sols	Eaux, sols
Virus	Rotavirus, entérovirus	Intestin	Eaux
	Naegleria fowleri	Eaux, sols	Eaux
Protozoaires	cryptosporidies	Intestin	
	Giardia lamblia		

Tableau II: Microorganismes des eaux de baignade et pathologies associées

Microorganismes		Pathologies				
		Cutanées	O.R.L.	Digestives	Diverses	
	Dermatophytes	Mycoses Herpes circiné				
Champignons	Levures	Eczéma Candidose (ongles et plis)				
	Moisissures	Infections des orteils	Infections du conduit auditif externe			
	Staphylocoques	Furoncle, impétigo			conjonctivite	
	Streptocoques	Impétigo	Rhinite, angine, otite			
	P. aeruginosa	Dermite	Otite			
Bactéries	E. coli E. faecalis			Gastroentérite Gastroentérite		
	Salmonelles Légionnelles			Diarrhée	Affection respiratoire	
Virus	Rotavirus, entérovirus			Diarrhée		
Protozoaires	Naegleria fowleri cryptosporidies Giardia lamblia			Diarrhée	MEAP*	

<sup>\* :</sup> MEAP : Méningo-Encéphalite Amibienne Primitive

## II-3-2- Nature 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 XIXème siècle a eu pour conséquence, le rejet dans les eaux, des quantités de sels de plus en plus importantes (31).

## II-3-2-1- Pollution par les hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des corps combustibles et brûlent en donnant du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) 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). Sur plus d'une centaine de HAP qui ont été découverts dans la nature, seulement 16 ont été sélectionné comme polluants prioritaires (33–35). A noter que les hydrocarbures à 3 noyaux sont la cause essentielle de l'impact éco-toxicologique des pollutions pétrolières sur les écosystèmes aquatiques (36).

## II-3-2-2- 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 (37).

Pour l'homme, la présence de pesticides dans le milieu aquatique peut entrainer un risque de toxicité aiguë suite à l'ingestion de grandes quantités des résidus de pesticides et d'une toxicité chronique dans le cas de faibles concentrations. Cette toxicité se traduit par des manifestations endocriniennes (stérilité), des effets cancérigènes (38), neurologiques (lésions du SNC, risque de suicide (39)) et sur la reproduction.

## II-3-2-3- 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 (40).

#### a- 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 (40) Les effets toxiques de méthyl-mercure 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. 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 (41). 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.

#### b- 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 sulfate et de plomb basique (41).

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 (42).

#### c- 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 (40). D'après l'OMS, la valeur guide de l'arsenic dans l'eau de boisson est de l'ordre de 0,01 mg/l (43).

#### d- Cadmium

Avec le zinc, la toxicité du Cadmium est accrue mais avec les cyanures et le plomb, il a un pouvoir synergique (44).

La présence du cadmium dans le milieu aquatique a un impact sur les 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 (45).

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 (46).

#### e- Chrome

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 (47).

## III- CONTROLE QUALITE DES EAUX DE BAIGNADE

#### III-1- Contrôles microbiologiques

#### III-1-1- Virus

La détection et le dénombrement des virus sont réalisés par culture de cellules humaines ou animales. La culture cellulaire est une technique qui permet de ne détecter que les particules virales infectieuses. La culture cellulaire est une méthode sensible, spécifique et quantitative. Elle est à l'heure actuelle la méthode de référence de détection des virus dans l'eau, les aliments et l'environnement car c'est la seule méthode qui permet d'affirmer le caractère infectieux des particules virales (48).

## III-1-2- Cryptosporidies et champignons

Les méthodes d'analyses utilisées pour l'identification et le dénombrement des cryptosporidies sont l'immunofluorescence directe (oocystes) et la polymérase Chain réaction PCR (génome) (29). Les méthodes d'identification et de dénombrement des champignons peuvent être également réalisées par une méthode spectrale (spectrophotométrie Infrarouge) et par l'utilisation de milieux de culture artificiels (Sabouraud-Chloramphénicol, dermatophytes...) (29).

#### III-1-3- Les coliformes

Ils existent 3 méthodes pour la recherche des coliformes (48).

- -les méthodes classiques ;
- -les méthodes enzymatiques ;
- -les méthodes moléculaires.

#### a- Méthodes classiques

**♣** Techniques de fermentation à tubes multiples

La méthode consiste à inoculer une série de tubes avec des dilutions décimales appropriées de l'échantillon d'eau. La production de gaz, la formation d'acide ou la croissance abondante dans les tubes après 48 heures d'incubation constitue une réaction positive présomptive. Tous les tubes avec une réaction positive présomptive sont ensuite soumis à un test de confirmation. La formation de gaz dans un bouillon

de bile de lactose vert brillant dans les 48 h à 35 °C constitue un test de confirmation positif. Les résultats de la technique MTF sont exprimés en termes du nombre le plus probable (NPP) de micro-organismes présents. Cette technique offre une approche semi-quantitative de dénombrement des coliformes (48).

## **♣** Technique de filtre à membrane

Cette méthode consiste à filtrer un échantillon d'eau sur un filtre stérile, dont les pores mesurent 0,45 micromètre (µm) de diamètre, retenant des bactéries. Incuber ce filtre sur un milieu sélectif et énumérer des colonies typiques (48).

### b- <u>Méthodes enzymatiques</u>

L'ajout de substrats fluorogènes et chromogènes aux milieux de culture (agar et milieux liquides) pour détecter l'activité enzymatique des coliformes totaux et *E. coli* ont augmenté la sensibilité et la rapidité de la classique méthode d'estimation de la contamination microbienne (48).

#### c- Méthodes moléculaires

Des méthodes moléculaires ont été développées pour augmenter la rapidité de l'analyse. Ils sont capables d'atteindre un haut degré de sensibilité et de spécificité sans la nécessité d'une culture et d'une étape de confirmation. En conséquence, certaines de ces méthodes permettent la détection de cultures spécifiques de bactéries cultivables ou non cultivables en quelques heures, au lieu des jours requis avec les méthodes traditionnelles (48).

## III-1-4- Germes indicateurs de pollution fécale

Il est difficile de baser la surveillance de la qualité de l'eau sur la détection des germes pathogènes pour de multiples raisons :

- la très grande diversité des micro-organismes pathogènes qui peuvent être présents dans l'eau (virus, bactéries, protozoaires,...) (49),
- la faible abondance de chaque espèce de pathogène (nécessité de concentrer de grands volumes d'eau pour les détecter),

- et enfin, l'absence de méthodes standardisées et rapides pour la détection de tous ces micro-organismes pathogènes.

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

Six (06) critères sont requis pour qu'une espèce bactérienne soit dite indicatrice de pollution fécale à savoir :

- appartenir à la flore intestinale des personnes en bonne santé ;
- avoir pour seul habitat le milieu intestinal;
- être absente chez les autres espèces animales mais présente chez l'homme ;
- être plus abondante que les pathogènes ;
- être facile à détecter et à dénombrer :
- être plus résistante dans le milieu extérieur que les pathogènes.

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

- les coliformes ;
- les entérocoques ;
- les clostridies ;
- les Pseudomonas.

## III-2- Contrôles physicochimiques

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

## III-2-1- pH

Le pH des systèmes aqueux mesure l'équilibre acido-basique atteint par différents composés en solution. Il représente la concentration en ions H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> (hydronium) selon

cette formule :  $pH = -\log H_3O^+$ . L'échelle du pH varie entre 0 et 14. Un pH inférieur à 7 est dit acide et basique lorsqu'il est supérieur à 7.

<u>Principe</u>: il s'agit de la mesure électrométrique du pH, à l'aide d'un pH-mètre. Cette mesure est basée sur la différence de potentiels existante entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel – chlorure de potassium saturé), laquelle différence de potentiels est liée à la présence d'ions hydrogènes [H<sup>+</sup>] dans le milieu (50).

#### III-2-2- Turbidité

La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau ; c'est l'inverse de la limpidité.

<u>Principe</u>: La détermination de la turbidité se fait par la méthode de la néphélométrie. Elle consiste à mesurer la lumière diffusée formant un angle de 90° avec la lumière incidente (23).

#### III-2-3- Dureté

La dureté totale ou degré hydrotimétrique total ou titre hydrotimétrique (TH) est essentiellement due aux ions calcium (Ca<sup>2+</sup>) et magnésium (Mg<sup>2+</sup>) dont les concentrations lui sont proportionnelles : 1°F équivaut à 4 mg/l de calcium et 2,4 mg/l de magnésium mais correspond aussi à une solution contenant 10mg/l de CaCO<sub>3</sub>.

<u>Principe</u>: Le dosage s'effectue par titrage. Il utilise la réaction de complexation entre les ions Mg<sup>2+</sup> et Ca<sup>2+</sup> et l'ion Ethylène Diamine TétraAcétate (EDTA). Le titrage est réalisé dans un tampon ammoniacal. L'équivalence est repérée par le virage d'un indicateur coloré : le Noir Eriochrome T (NET) qui vire du rose au bleu.

#### III-2-4- Alcalinité

L'alcalinité de l'eau se définit comme étant sa capacité à neutraliser un acide. L'alcalinité de l'eau naturelle est liée principalement aux carbonates, aux bicarbonates et aux hydroxydes. Les borates, les silicates, les phosphates et certaines formes de matière organique contribuent légèrement à son alcalinité. <u>Principe</u>: La détermination du TAC est basée sur la neutralisation de l'eau par l'acide chlorhydrique (HCl) ou l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en présence d'un indicateur coloré qui est l'hélianthine (51).

#### III-2-5- Matières azotées

Les matières azotées sont des substances issues des transformations de l'azote au cours de son cycle, par l'intermédiaire avec différents milieux aquatiques, terrestres et aériens. Ce sont l'ammonium (NH<sub>4</sub>), les nitrites (NO-2) et les nitrates (NO-3), les deux derniers étant issus de l'oxydation du premier.

#### III-2-5-1- Ammonium

<u>Principe</u>: 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 bleue d'indophénol susceptible de dosage colorimétrique.

#### III-2-5-2- Nitrites

<u>Principe</u>: La diazotation de la sulfanilamide en milieu acide et sa copulation avec la N-1 Naphtyléthylènediamine donnent un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage colorimétrique.

#### III-2-5-3- Nitrates

<u>Principe</u>: Les nitrites obtenus par réduction des nitrates sont déterminés par colorimétrie après diazotation avec la sulfanilamide en milieu acide et copulation avec la N-1 Naphtyléthylènediamine pour donner un complexe coloré pourpre.

#### III-2-6- Conductivité

La conductivité électrique mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, dans la mesure où la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement ; elle s'exprime en µs/cm, correspondant à 1 mg de sels dissous par litre d'eau (52). Ce passage du courant électrique s'effectue par la migration des ions dans un champ électrique produit par un courant alternatif. Un courant alternatif est utilisé pour atténuer la perturbation causée par la polarisation des électrodes résultant du passage d'un courant électrique. Les

électrolytes peuvent être considérés comme des conducteurs métalliques et ils obéissent à la loi d'Ohm. En appliquant une force électromotrice constante entre les électrodes, la variation de l'intensité de courant est inversement proportionnelle à la résistance de la solution (53).

<u>Principe</u>: 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.

#### III-2-7- Couleur

La coloration de l'eau est due à l'absorption de certaines longueurs d'onde de la lumière normale par des substances colorées (couleur "vraie") ou à la dispersion de la lumière par des particules en suspension; le résultat de ces deux phénomènes est une couleur "apparente" (54). La couleur de l'eau est influencée par les substances qui y sont dissoutes ou en suspension. Le carbonate de calcium des régions à sol calcaire donne à l'eau une couleur verdâtre, tandis que l'hydroxyde ferrique lui donne une couleur rouge. Une concentration élevée de cyanobactéries peut donner à l'eau une teinte verdâtre foncée, tandis que certaines algues donnent à l'eau une couleur rouge (55).

Il existe essentiellement deux méthodes pour mesurer l'intensité de la coloration de l'eau : la comparaison visuelle avec des étalons et la mesure de l'absorbance. Dans la méthode de comparaison visuelle, la couleur de l'eau filtrée est comparée à une série d'étalon de platine-cobalt de couleur connue et exprimée en « Unité de Couleur Vraie ». La mesure de l'absorbance quant à elle se fait à l'aide d'un spectrophotomètre (54).

#### III-2-8- Pesticides et HAP

Les pesticides et HAP sont analysés par la chromatographie liquide qui est une technique séparative d'analyse basée sur la distribution de substances contenues dans un échantillon (soluté) entre deux phases : une phase stationnaire fixe solide ou liquide et une phase mobile \text{\text{\$\text{\$\text{\$q\$}}}} nobile \text{\$\text{\$\text{\$\text{\$\text{\$\text{\$q\$}}}}} in the content of the content

#### III-2-9- Métaux lourds

L'analyse des métaux lourds fait intervenir les méthodes spectroscopiques. Elles mettent en jeu l'interaction des radiations électromagnétiques avec la matière se traduisant par absorption ou émission de photons. Les métaux peuvent être analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique ou par spectrophotométrie d'émission atomique (57).

#### III-3- Réglementations des eaux de baignade

Les réglementations des eaux de baignade ont pour objectif premier la protection de la santé et de la sécurité publiques. Ces normes examinent les paramètres qui peuvent compromettre la salubrité de ces eaux sur le plan de la santé humaine. Son objectif est de guider les décisions des autorités responsables de la gestion des eaux de baignade. Les normes sont établies en fonction des réalités de chaque pays à partir de directives d'organisations.

Cinq réglementations sont présentées dans les tableaux III, IV, V, VI, VII.

## **III-3-1- Normes ivoiriennes**

Tableau III: Normes ivoiriennes en matière de baignades aménagées (Arrêté  $N^{\circ}74/MSHP/INHP; 1993)$  (8)

PARAMETRES	RECOMMANDATIONS		
Couleur	Pas de changement anormal		
pH	6 à 9		
Transparence au repos 1 mètre			
Odeur	Absence d'odeur spécifique de phénols		
Huiles minérales	Ne doivent engendrer ni d'odeur, ni film visible à la surface de l'eau		
Coliformes totaux / 100 mL	10 000		
Coliformes fécaux / 100 mL	2 000		
Salmonelles / L	0		
Staphylocoques / L	0		
Shigelles / L	0		
Entérovirus / 10 L	0		
-	N'est pas irritante pour les yeux, la peau et les muqueuses		
-	Ne comporte pas de mousse persistante		
•	Ne contient pas de substance dont la qualité serait susceptible de nuire à la santé des baigneurs		

## III-3-2- Normes algériennes

Tableau IV: Normes algériennes concernant la qualité des eaux de baignade (Décret exécutif  $n^{\circ}$  93-164 du 10 juillet 1993) (58)

PARAMETRES	RECOMMANDATIONS		
PHYSICOCIMIQUES			
Coloration mg/l	Pas de changement anormal de la couleur		
рН	6 à 8		
	VG* VL**		
Transparence au repos (m)	2 1		
Phénols (indice phénol) mg/l	C6H5O4 > 0,005 0,05 et aucune odeur spécifique		
Huiles minérales	Pas de film visible à la surface de l'eau et absence d'odeur		
Substances tensioactives réagissant au bleu de méthylène mg/l	> 0,3 Pas de mousse persistante		
Oxygène dissous % saturation en oxygène	80 à 120		
Résidus goudronneux et matières flottantes (bois, plastique, bouteille et toute autre matière débris ou éclats	Absence		
Autres substances	Ne doit pas contenir de substances susceptibles de nuire à la santé des baigneurs		
	MICROBIOLOGIQUES		
	VG* VL**		
Coliformes totaux / 100 Ml	500 10 000		
Coliformes fécaux / 100 Ml	100 2 000		
Streptocoques / 100 mL	100		
Salmonelles / L	0		
Vibrion cholérique / 450 mL	0		
Entérovirus PFU*** / 10 L	<b>10 L</b> 0		

VG\* : Valeurs Guides VL\*\* : Valeurs Limites

PFU\*\*\*: Unités Formant Plage

## **III-3-3- Normes canadiennes**

Tableau V: Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada (30)

Paramètres	Recommandations		
Escherichia coli -Moyenne géométrique (d'au moins 5 échantillons) -Concentration maximale dans un seul échantillon	- ≤ 200 /100 mL - ≤ 400 /100 mL		
Entérocoques -Moyenne géométrique (d'au moins 5 échantillons) -Concentration maximale dans un seul échantillon	$- \le 35 / 100 \text{ mL}$ $- \le 70 / 100 \text{ mL}$		
-Cyanobactéries -Cyanotoxines (nombre total de microcystines)	- ≤ 100 000 cellules/mL - ≤ 20 μg/L		
pH	5,0 à 9,0		
Turbidité (UNT)	50		
Limpidité (m)	1,2		
Température	Ne doit pas entraîner une hausse ou une baisse sensible de la température corporelle des baigneurs		
Couleur	Ne doit pas être intense au point de réduire la visibilité dans les eaux de baignade		
Huiles et graisses	Ne doivent former de film visible ou de reflet, ne doivent colorer la surface ou faire dégager une odeur		
Déchets	Exemptes de débris flottants et de matières en suspension qui forment des dépôts indésirables		

## III-3-4- Directives de l'Union Européenne

Tableau VI: Directive 2006/7/CE du parlement européen concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade et abrogeant la directive 76/160/CEE (25)

	A	В	C	D	Е
	Paramètres	Excellente qualité	Bonne qualité	Qualité suffisante	Méthodes de référence pour l'analyse
1	Entérocoques intestinaux (UFC/100 ml)	200 (*)	400 (*)	330 (**)	ISO 7899-1 ou ISO 7899-2
2	Escherichia coli (UFC/100 ml)	500 (*)	1 000 (*)	900 (**)	ISO 9308-3 ou ISO 9308-1

<sup>(\*)</sup> Évaluation au 95e percentile.

<sup>(\*\*)</sup> Évaluation au 90e percentile.

## III-3-5- Directives de l'OMS (eau potable)

Tableau VII: Directive de l'OMS pour la qualité de l'eau potable (59)

Paramètres	Unités	valeurs indicatives
Turbidité	UNT	5
Couleur	UCV	15
рН	-	6,5 à 8,5
Oxygène dissous	% saturation	<75
Dureté	mg/l	500
NH4+	mg/l	0,5
Chlorures	mg/l	250
Sulfates	mg/l	400
Cadmium total	mg/l	0,005
Chrome total	mg/l	0,05
Fer	mg/	0,3
Zinc	mg/l	5
Cuivre total	mg/l	1
Nickel total	mg/l	0,05
Arsenic	mg/l	0,05
Cyanure totaux	mg/l	0,1
Fluorures	mg/l	1,5
Aluminium	mg/l	0,2
Ammonium	mg/l	1,5
Nitrites	mg/l	0,1
Nitrates	mg/l	10

# Deuxième partie : ETUDE EXPERIMENTALE

#### I- MATERIEL ET METHODES

## I-1- Type et cadre de l'étude

Il s'agit d'une étude analytique réalisée sur la rivière Banco située dans le parc national du Banco (figure 1) dans la ville d'Abidjan, capitale économique de la Côte-d'Ivoire.

La rivière Banco est longue de 9 km et prend sa source dans la partie septentrionale du parc national du Banco qui reçoit 20 000 visiteurs par an. Elle traverse le parc pour se déverser dans la lagune Ebrié par la baie du Banco. Son bassin versant a une superficie de 56 km² (60). Cette rivière reçoit divers rejets des communes de Yopougon et d'Abobo situées respectivement à l'Ouest et au Nord du parc : eaux usées domestiques, eaux de ruissellement.

Les analyses ont été réalisées à l'Institut National d'Hygiène Publique (INHP) de Treichy

ille, Abidjan

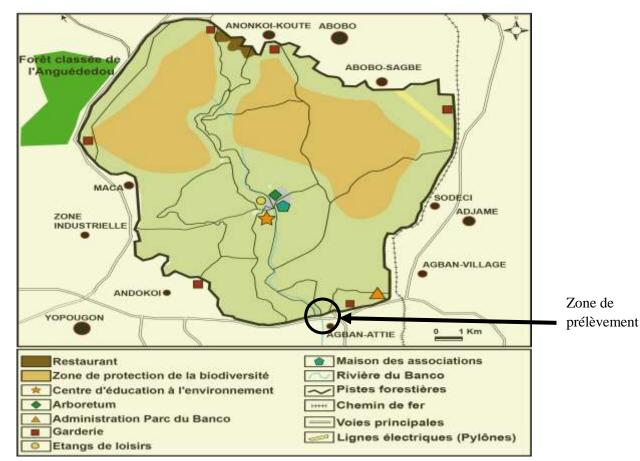


Figure 1: Situation géographique de la rivière Banco à Abidjan

**Source :** Carte d'aménagement du parc national du Banco éditée par l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR, 2004).

#### I-2- Matériel

#### I-2-1- Appareillage

L'appareillage était constitué :

- d'un pH-mètre à sonde (HACH HQ 11d-France);
- d'un turbidimètre (TURB 430 IR-France);
- d'un conductimètre à sonde (HACH HQ 14 d-France);
- d'un bain marie (MEMMERT-France);
- d'un photomètre (HANNA-Belgique);
- d'une rampe de filtration (SARTORIUS Goethingen- Germany) ;
- d'incubateurs de terrain (LABNET) ;
- de stérilisateurs UV;
- d'autoclaves de paillasse (P SELECTA) ;
- d'un GPS (GARMIN-Etats-Unis);
- d'appareil photo numérique (SAMSUNG-Corée du Sud).

#### I-2-2- Réactifs

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

#### I-2-2-1- Réactifs de chimie

Les réactifs de chimie utilisés étaient de marque PALINTEST® (Grande Bretagne). Ils étaient constitués de pastilles :

- DPD1 et DPD3 pour le dosage du chlore libre et du chlore total,
- Nitratest, poudre Nitratest et pastille Nitricol pour le dosage des nitrates,
- Nitricol pour le dosage des nitrites,
- Ammonia N°1 et Ammonia N°2 pour le dosage de l'ammonium,
- Iron HR pour le dosage du fer,
- Aluminium N° 1 et Aluminium N° 2 pour le dosage de l'aluminium,
- Manganèse N°1 et N°2 pour le dosage du manganèse,
- Hardicol N°1 et N°2 pour le dosage de la dureté totale,

- Fluorure N°1 et N°2 pour le dosage des fluorures,
- Alkaphot pour le dosage de l'alcalinité,
- Acidifying CD et la pastille Chloridol pour le dosage des chlorures,
- SulphateTurb pour le dosage des sulfates,
- Potassium K pour le dosage du potassium,
- Phosphate HR et Phosphate SR pour le dosage des phosphates,
- Calcicol N°1 et Calcicol N°2 pour le dosage du calcium,
- Magnecol pour le dosage du magnésium.

Les réactifs pour le pH étaient les étalons pH 4, pH 7 et pH 9. L'acide sulfurique (d=1,84), l'oxalate de sodium (OS) et le permanganate de potassium (PP) ont été utilisés pour le dosage de la matière organique selon la méthode AFNOR.

## I-2-2- Réactifs de microbiologie

Les réactifs de microbiologie étaient constitués des milieux de culture Rapid'E coli 2 Agar, BEA (Bile-Esculine-Azilide), EPT (eau peptonée tamponnée), Pseudosel, EPA (eau peptonée alcaline), YGC (yeast glucose chloramphénicol), TSN (Tryptone Sulfite Néomycine), BCYE (Buffered Charcoal Yest Extract), TCBS (Thiosulfate Citrate Bile Saccharose), gélose SS (Salmonelle-Shigelle), gélose Hektoen, Chapmann-Mannanité, plasma de lapin, Baird Parker, bouillon Rappaport.

#### I-3- Méthodes

## I-3-1- Campagne de prélèvement

Une campagne de prélèvement mensuelle a été effectuée de décembre 2017 à novembre 2018. Les points de prélèvement ont été géolocalisés.

## I-3-1-1- Géolocalisation du point de prélèvement par un GPS

<u>Principe du GPS</u>: le GPS, Global Positioning 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 (61).

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 et la latitude pour un repérage en Degré.

## I-3-1-2- Méthodes de prélèvement, transport et conservation des échantillons

## a- Échantillonnage

L'échantillonnage s'est fait mensuellement au cours de douze campagnes bien distinctes : de décembre 2017 à novembre 2018. Les échantillons, prélevés le même jour par campagne étaient constitués :

- d'un échantillon de 1000 ml pour les analyses physicochimiques sur l'eau brute ;
- d'un échantillon de 1000ml pour la recherche des Vibrions ;
- de trois échantillons de 500 ml pour les autres analyses microbiologiques sur l'eau brute.

#### b- Suivi des échantillons

Les prélèvements ont été réalisés selon les recommandations de l'OMS/PNUE (62). Les échantillons d'eau étaient rangés dans une glacière en vue de les emmener au laboratoire tout en respectant la chaine de froid assurée par des accumulateurs de glace. Les échantillons prélevés étaient transportés à l'abri de la lumière à une température allant de 4°C à 8°C. Les échantillons prélevés pour la recherche de Vibrio avaient été mis dans une glacière sans accumulateurs de glace. Ils ont été acheminés au laboratoire le plus rapidement possible c'est-à-dire dans les 4 heures qui suivaient le prélèvement pour les différentes analyses. Avant la détermination des paramètres physicochimiques classiques, les échantillons étaient disposés sur la paillasse le temps que leur température revienne à la température ambiante.

#### I-3-2- Analyses des échantillons

#### I-3-2-1- Analyses organoleptiques et physicochimiques

#### a- Analyses 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 étaient la couleur et la turbidité.

- Mesure de la couleur :
  - La détermination de la couleur repose sur le principe de comparateur de couleur. Elle est mesurée par comparaison visuelle avec une série de solutions standards.
- Détermination de la turbidité : La détermination de la turbidité s'est fait par la méthode néphélométrique.

#### Technique:

- 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 (UNT) affichée sur l'écran de l'appareil.

#### b- Analyses physicochimiques

#### • Mesure du pH

## **4** 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.

#### • Détermination de la conductivité

## Mode Opératoire

- 1-Rincer la cellule à l'eau distillée ou dé ionisée. Egoutter. 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.

$$Cd_{20^{\circ}C} = 0.95 \times Cd_{lue (\hat{a} \ 25^{\circ}C)}$$

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

#### • Mesure de la température

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

## • Dosage de l'Ammonium (NH4<sup>+</sup>)

## **4** 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 de la couleur;
- 4- Sélectionner Phot 62 pour mesurer l'ammonium en milligramme par litre d'eau (mg/L NH<sub>4</sub><sup>+</sup>);
- 5- Lecture du résultat à 640 nm.
- 6- Le résultat s'affiche en mg/L NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

## • Dosage des Nitrites (NO<sub>2</sub>)

## **4** 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<sub>2</sub>-);
- 5- Lire le résultat à la longueur d'onde de 520 nm.

## • Dosage des Nitrates (NO<sub>3</sub>)

- 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 1 min;

- 3 Attendre 1 min puis remuer le tube 3 ou 4 fois pour permettre la floculation. Attendre encore 2 min 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 min 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.

#### • Dosage des Chlorures (Cl<sup>-</sup>) et du Sodium (Na<sup>+</sup>)

## **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 Cl<sup>-</sup>)
- 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])

## • Dosage du Fer (Fe)

- 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).

#### • Dosage du Manganèse (Mn)

## **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 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).

## • Dosage des Fluorures (F<sup>-</sup>)

- 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.

## • Dosage de l'Aluminium (Al)

Le dosage de l'Aluminium sest'effectué par méthode colorimétrique.

- 1- Prélever 10 ml de l'échantillon dans un tube ;
- 2- Ajouter une pastille « Aluminium  $N^{\circ}1$  », écraser et remuer pour dissoudre ;
- 3- Ajouter une pastille « Aluminium N°2 », écraser et remuer doucement ;
- 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.
- Dosage des minéraux (Calcium, Potassium, Magnésium, des Sulfates, des Phosphates, silice, silicate, soufre, 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 min pour le développement de la couleur et la dissipation de la turbidité.
- 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- Attendre 5 minutes puis mélanger encore pour assurer l'homogénéité.
- 4- Sélectionner Phot 32.
- 5- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L SO<sub>4</sub>.

## **♣** 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<sub>4</sub>.

## **♣** Procédure de dosage des silices, 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<sub>2</sub>.

## **♣** Procédure de dosage du zinc

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 ml de l'échantillon.
- 2- Ajouter une pastille zinc
- 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 Zn.
- Détermination du Titre Alcalimétrique Complet (TAC) et bicarbonates

## **4** 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 CaCO<sub>3</sub>.
- Détermination du Degré Hydrotimétrique Total (DHT)

## **4** 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<sub>3</sub>.

#### Remarque:

- 0<DHT<10°F : eau très douce

- 10°F<DHT<20°F : eau douce

- 20°F<DHT<30°F : eau moyennement dure

-  $30^{\circ}F < DHT < 40^{\circ}F$  : eau dure

- DHT>40°F : eau très dure

#### • Détermination de la matière organique

- 1-Transférer 25 ml de l'échantillon dans un tube à essai et y ajouter 5 ml d'AS2, mélanger en agitant doucement.
- 2-Placer le tube à essai dans un bain d'eau bouillante pendant 10 min
- 3-Ajouter 5 ml de la solution PP1 et démarrer le chronométrage
- 4-Apres 10 min, ajouter 5 ml de la solution OS1, et attendre que la solution se décolore.
- 5-Titre pendant que la solution est encore chaude, avec PP1 jusqu'à une coloration rose pâle persistante pendant 30s. Noter le volume V1 de PP1 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 25ml d'eau distillée. Noter le volume V0 de PP1 consommé.
- 7-Conserver la solution (de l'essai à blanc) titrée pour l'étalonnage de la solution de PP1 décrit comme suit

8-Ajouter 5 ml de la solution OS1 a la solution titrée conservée (7). Réchauffer si nécessaire, a environ 80 degre Celsius et titrer avec le PP1 jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pâle persistant pendant 30s. Noter le volume v2 de PP1 consommé.

## I-3-2-2- Analyses microbiologiques

## a- Description de la méthode par la membrane filtrante

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 vide.

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

#### • Procédure de la membrane filtrante

#### **Activités préopératoires :**

- 1. 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 ;
- 2. Étiqueter les milieux de culture en fonction du numéro des échantillons ;
- 3. Sécher les milieux de cultures pour ramener leur température à 37°C;
- 4. 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 100 ml 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 ;
- 5- Ôter l'entonnoir cylindrique pour retirer la membrane du poste de filtration avec une paire de pinces stérilisée à nouveau puis porter la membrane sur un milieu correspondant pour la recherche d'une bactérie donnée;
- 6- Incuber les milieux ainsi cultivés aux températures correspondantes pendant 18 heures à 24 heures ;
- 7- À la fin du temps d'incubation, procéder à la lecture du milieu pour dénombrement les bactéries ;

8- Si nécessaire, confirmer les résultats de la culture par des tests de confirmation.

#### L'analyse microbiologique a porté sur :

- la recherche et le dénombrement des coliformes totaux, des coliformes thermotolérants et des streptocoques fécaux ;
- des germes anaérobies sulfito réducteurs (ASR), des vibrios, des salmonelles/shigelles, des staphylocoques, des *Pseudomonas*, des legionelles, des levures et moisissures.

## b- Dénombrement des coliformes totaux et thermo-tolérants

## **Mode opératoire**

- 1. Filtration 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 Rapid'E coli 2 ;
- 2. Incubation durant 24 à 48 heures à une température de 37°C;
- 3. Dénombrement des colonies : colonies bleues pour les coliformes totaux et violettes pour les coliformes thermo-tolérants (*E. coli*)

## c- Dénombrement des streptocoques fécaux

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

- Filtrer sur une membrane une prise d'essai (100 mL) de l'échantillon d'eau soigneusement homogénéisée à analyser. La membrane est ensuite placée à la surface de la gélose BEA
- 2. Incuber durant 24 heures à une température de 37°C
- 3. Dénombrer les colonies entourées d'un halo noir

# d- <u>Recherche des spores de microorganismes anaérobies</u> sulfito réducteurs par filtrations sur membrane

# **Mode opératoire**

- 1. Sélectionner les spores bactériennes dans l'échantillon par un chauffage au bainmarie à 75±5°C pendant 15 min, pour que les cellules végétatives soient détruites.
- 2. Filtration de 100 ml d'échantillon à travers une membrane filtrante stérile de pores 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).
  - L'anaérobiose est créée par une seconde couche de ce milieu sur la membrane.
- 4. Incubation des boîtes à 37±1°C pendant 44±4 heures.

Dénombrement des spores de micro-organismes ASR : durant l'incubation, il y a réduction du sulfite de sodium, sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) et donc production de sulfure de fer se manifestant par un halo noir autour des colonies. Seul ce type de colonie est compté.

#### e- Dénombrement des vibrio

# **Mode opératoire**

- 1. Filtration de 1000 ml d'échantillon à travers une membrane filtrante stérile dont les pores présentent une dimension de 0,45 μm.
- 2. Placer les membranes enroulées dans de l'eau peptonée alcaline
- 3. Incuber pendant 16 h à 37°C
- 4. les vibrio se situent en surface (surnageant, film blanchâtre à la surface)
- 5. Ensemencement sur milieu TCBS
- 6. Les colonies plates, lisses et de couleur jaune ou verte sont dénombrées.

#### f- Dénombrement des salmonelles

# **Mode opératoire**

1. Filtrer 250 ml d'eau

- 2. Faire le pré-enrichissement en eau peptonée tamponnée à 37 °C pendant 18 à 24h
- 3. Mettre 0,1 ml de subculture à l'aide d'une pipette stérile dans du bouillon de Rappaport de Vassiliadis contenu dans chaque tube à vis stérile,
- 4. Incuber à l'étuve à 42°C pendant un temps de 18 à 24 heures.
- 5. Ensemencer sur géloses SS et Hektoen par technique de stries d'épuisement à partir du bouillon d'enrichissement
- 6. Incubation à l'étuve 37°C pendant 18 à 24 heures
- 7. Après 24 heures, les colonies isolées sur les géloses présentant les caractéristiques macroscopiques des salmonelles (colonies incolores à centre noir sur SS et colonies verdâtre ou bleuâtres à centre noir sur Hektoen)
- 8. Portoir réduit de le Minor est utilisé pour l'identification biochimique

## g- Dénombrement des Pseudomonas

# **Mode opératoire**

- 1 Filtrer 100 ml d'eau
- 2 Placer les membranes dans le milieu pseudosel ou cetrimide
- Après 18 à 24 heures dénombrer les colonies suspectes bleu vert

### h- Dénombrement des levures et moisissures

# 4 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
- 4 Grosses colonies blanchâtres muqueuses : levures

Grosses colonies duveteuses: moisissures

i- 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 Lire les colonies noires entourées d'un halo translucide et d'un halo transparent
- 5 Coloration de gram (Cocci gram positif en amas ou en diplocoques)
- 6 Ensemencements des milieux Chapman mannitée, du bouillon cœur cervelle la gélose à ADN et la gélose ordinaire
- 7 Les staphylocoques sont mannitol positif, staphylocoagulase libre, DNA, catalase et thermonucléase positive.

## j- Dénombrement des légionnelles

# **Mode opératoire**

- 1 Traiter l'eau pour la débarrasser des bactéries interférentes
- 2 Filtrer 100 ml de l'échantillon
- Placer le filtre sur deux milieux (milieux BCYE avec L-cystéine et sans cystéine)
- Dénombrer les colonies blanchâtres qui pousseraient sur le milieu BCYE avec L-cystéine.

# I-3-3- Analyse statistique

Les résultats des analyses physicochimiques et microbiologiques ont été rassemblés en une matrice à l'aide du logiciel Excel 2013 à partir duquel les valeurs minimales et maximales, les moyennes, les écartypes, les 90<sup>e</sup> et 95<sup>e</sup> centiles et les moyennes géométriques ont été déterminés. Ces valeurs déterminées ont servi à la comparaison avec les normes d'eaux de baignade.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été appliquée aux résultats d'analyse à l'aide du logiciel R pour apprécier les corrélations entre les différents paramètres. Les graphiques des ACP sont présentés en deux (02) modèles : l'un présentant un plan factoriel de pourcentages des variances qui a permis de détecter les corrélations des paramètres entre eux s'ils sont proches l'un de l'autre et proches du cercle. L'autre focalisé sur un paramètre présentant un seuil de significativité par un cercle rouge autour du paramètre a permis de détecter les corrélations entre le paramètre et les autres. Les paramètres corrélés sont représentés par des points verts et ceux qui ne le sont pas par des points jaunes. Les paramètres les plus significativement corrélés sont dans le cercle rouge.

### **II- RESULTATS**

Les résultats de la présente étude sont présentés en quatre volets :

- la réalisation de la campagne de prélèvement ;
- l'analyse des paramètres organoleptiques et physico-chimiques ;
- l'analyse des paramètres bactériologiques ;
- la comparaison aux normes.

# II-1- Campagnes de prélèvement de la rivière Banco

Douze campagnes de prélèvement ont été effectuées. Les échantillons d'eau ont été prélevés à un même point d'eau du Banco (figure 2) selon les coordonnées géographiques suivantes :

- une longitude de : 05°21'697''
- et une latitude de : 004°21'532''



Zone du point de prélèvement

Figure 2: Aparçu du point de prélèvement de la rivière Lanco (Source : BROU 2018)

## II-2- Analyse des paramètres organoleptiques et physicochimiques

Les résultats des paramètres organoleptiques et physico-chimiques analysés sont consignés dans le *tableau VIII*.

Tableau VIII: Paramètres organoleptiques et physicochimiques de la rivière Banco

Paramètres physico-	Mini-	Maxi-	Moy-	Ecar-	Normes OMS
chimiques	mum	mum	enne	type	(eau potable)
Turbidité (UNT)	59,6	185,0	105,2	38,7	5
Couleur (UCV)	35	590	261,6	239,1	15
Conductivité (µS.cm <sup>-1</sup> )	37,7	72,4	48,2	10,5	-
Température (°C)	25,6	28,6	26,8	0,9	-
pH	5,70	10,14	7,5	1,6	6,5 - 8,5
Nitrates (mg/L)	1,7	4,5	3	0,8	50
Nitrites (mg/L)	0,07	0,86	0,23	0,21	0,1
Ammonium (mg/L)	0,03	26,20	2,42	7,48	1,5
Chlorure (mg/L)	2,9	34,0	10,4	8,5	250
DHT (mg/L)	45	210	95	60	500
TAC (mg/L)	65	235	137	50	-
Fer total (mg/L)	1,15	3,80	1,9	0,8	0,3
Manganèse (mg/L)	0,001	0,140	0,030	0,037	0,1
Aluminium (mg/L)	0,015	0,460	0,222	0,149	0,2
Fluorure (mg/L)	0,01	3,20	0,27	0,92	1,5
Zinc (mg/L)	0,10	0,81	0,34	0,22	5
Sulfate (mg/L)	18	50	28	10	400
Sodium (mg/L)	1,9	22,0	6,9	5,4	200
Potassium (mg/L)	0	4,5	2,6	1	-
Phosphore (mg/L)	0,7	31,8	13,8	9,8	-
Magnésium (mg/L)	1	1000	109	280	-
Soufre	5	17	9	3	-
Calcium (mg/L)	0	105	27	33	-
Bicarbonates	40	140	81	29	-
Matières organiques (mg/L)	1,04	5,90	3,57	1,74	-
Silice (mg/L)	7,5	36,0	15,2	7,9	-
Phosphates (µg/L)	2,8	96,4	41,9	29,7	-

## II-2-1- Analyse les paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques concernés sont la turbidité et la couleur (tableau VIII). Ces paramètres mesurés sont considérablement élevés au regard des directives OMS de l'eau potable. La couleur est beaucoup plus perceptible à partir de juin 2018.

On remarque une évolution sans grande variation de la couleur dans un intervalle de temps puis une élévation rapide de son intensité à partir de mai 2018 (*figure 3*).

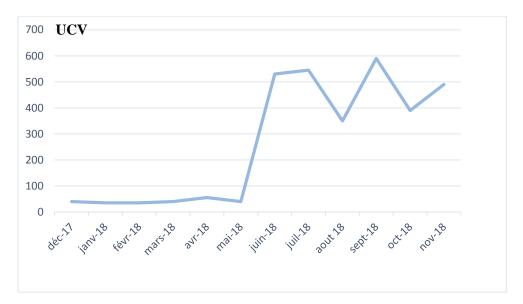


Figure 3: Evolution de la coloration en fonction du temps

La turbidité de la rivière Banco présente trois pics sur les trois mois que sont février, mai et juillet 2018 (*figure4*).

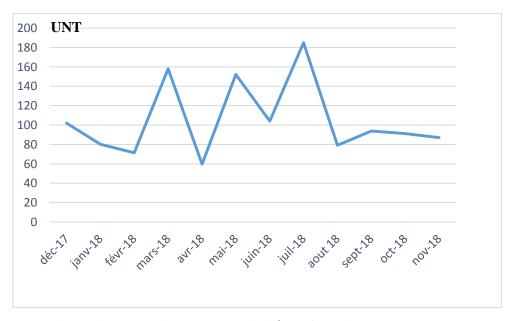


Figure 4: Evolution de la turbidité en fonction du temps

## II-2-2- Analyse des paramètres physicochimiques

## II-2-2-1- Paramètres physicochimiques

Quelques paramètres (*tableau VIII*) ont d'emblée fait l'objet d'une comparaison avec les directives OMS de l'eau potable.

Le pH est élevé en janvier, avril et mai mais reste bas en août. La concentration en chlorure reste très basse durant toute la campagne tandis que celle du fer reste élevée sur la même période. Quant à l'ammonium, il est normal sauf dans le mois de juillet où il présente une valeur très élevée.

Sur le graphique de la *figure 5*, les paramètres physicochimiques turbidité, ammonium, couleur, phosphore, fer, nitrites et nitrates, sont proches du cercle. Ils sont essentiellement expliqués par les composantes principales des axes F1 pour la turbidité, le fer, le phosphore, le fer et l'ammonium et l'axe F2 pour la couleur, les nitrites et les nitrates. Des paramètres proches l'un de l'autre sont corrélés entre eux. Il s'agit des nitrites et des nitrates d'une part et des fer, phosphore et turbidité d'autre part.

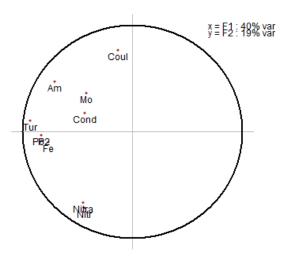


Figure 5: Graphique de l'ACP des paramètres physicochimiques dans le plan factoriel F1xF2

Le graphique à la *figure* 6 met en exergue la corrélation qui existe entre la turbidité de l'eau et les autres paramètres en l'occurrence le fer, l'ammonium, la conductivité, le phosphore, les matières organiques, les nitrites, les nitrates et la

couleur. Cependant seules les corrélations entre la turbidité et le fer, le phosphore et relativement la conductivité sont significatives.

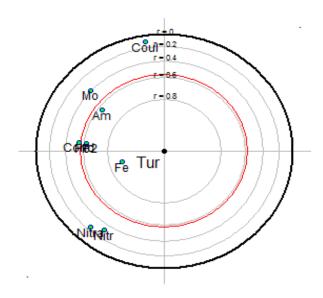


Figure 6: Graphique de l'ACP des paramètres physicochimiques focalisée sur la turbidité

## II-2-2-2- Evolution des paramètres au cours de la période

Pour la même échelle les nitrites restent constants de janvier à novembre 2018. Quant aux nitrates, de grandes variations sont observées exceptée une constance relative d'avril à septembre 2018 (figure 7).

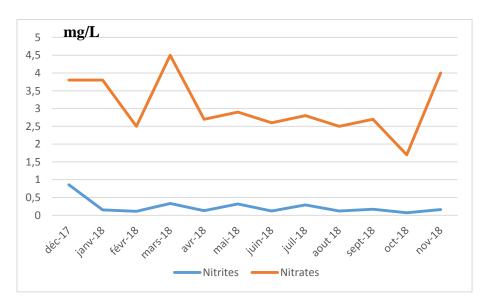


Figure 7: Evolution des nitrites et des nitrates en fonction du temps

Le TAC et les bicarbonates évoluent dans le même sens sur toute la période avec le pic le plus élevé en mai 2018 (figure 8).

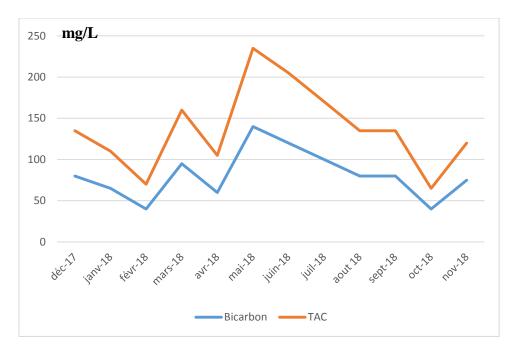


Figure 8: Evolution des bicarbonates et du TAC en fonction du temps

Le pH est basique (supérieur à 7) de décembre 2017 à mai 2018 puis reste acide (inférieur à 7) de juin à novembre 2018 (figure 9).

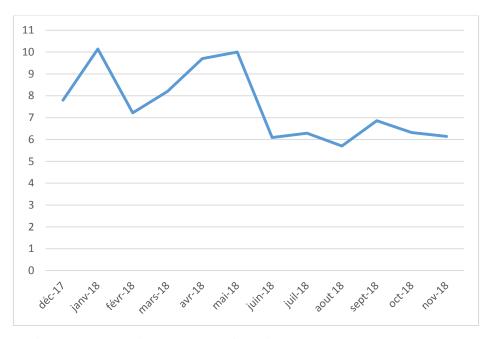


Figure 9: Evolution du pH en fonction du temps

On remarque un pic isolé de la concentration de l'ammonium en juin 2018 (figure 10).

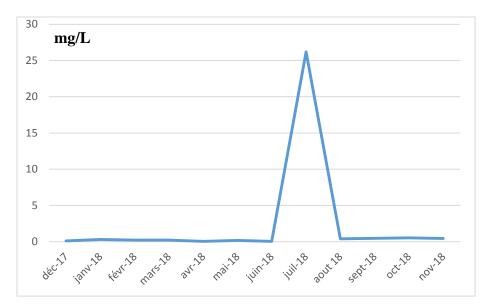


Figure 10: Evolution de l'ammonium en fonction du temps

Les chlorures présentent deux pics, en juillet puis octobre 2018 (figure 11).

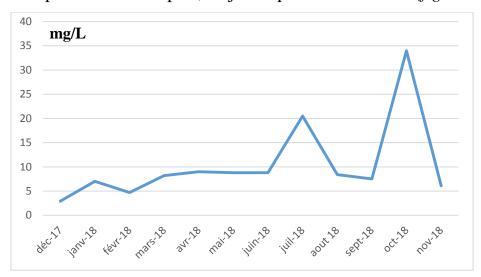


Figure 11: Evolution des chlorures en fonction du temps

# II-3- Analyse microbiologique

# II-3-1- Paramètres microbiologiques

Les résultats de l'analyse microbiologique sont consignés dans le *tableau IX*. Trois groupes de germes ont été identifiés. Le premier groupe est représenté par les coliformes totaux, les coliformes thermotolérants, *E. faecalis*, *E. coli* et les germes ASR qui sont retrouvés dans tous les prélèvements. Les valeurs les plus élevées des

coliformes totaux, des coliformes thermotolérants et *E. coli* sont observées en février et juillet 2018. Celles de *E. faecalis* sont observées en mai et septembre 2018. Le second groupe est représenté par *P. aeruginosa*, les levures et les moisissures qui sont inconstamment retrouvés. Le troisième groupe est constitué par *Staphylococcus aureus*, vibrio, salmonelles et légionnelles qui n'ont pas été retrouvés dans les échantillons.

Tableau IX: Paramètres microbiologiques de la rivière Banco

	colifor- mes totaux	colifor- mes thermot olérants	E. coli	E. faeca- lis	Staphy- lococ- cus aureus	ASR	P. aerugi -nosa	Vibrio	Salmo -nelles	levu- res	moisis- sures	légio- nnelle
Déc17	8200	8200	6100	8500	0	7	36	0	0	29	8	0
Jan18	9800	9800	9800	1000	0	9	0	0	0	2300	100	0
Fév18	15300	15300	11300	5100	0	6	0	0	0	0	0	0
Mar18	7700	7700	7300	5000	0	6	0	0	0	0	0	0
Avr18	38	38	32	4000	0	6	14	0	0	5	8	0
Mai18	7800	7800	7800	30000	0	5	1800	0	0	0	0	0
Jui18	1000	1000	900	2700	0	7	0	0	0	0	0	0
Juil18	12100	12100	12100	15000	0	6	0	0	0	0	0	0
Aoû18	3100	3100	1700	3200	0	1	200	0	0	0	0	0
Sep18	5500	5500	4400	30400	0	17	0	0	0	0	6	0
Oct18	3200	3200	1700	5800	0	16	0	0	0	0	10	0
Nov18	1000	1000	800	900	0	10	0	0	0	0	0	0
Moy	6229	6229	5328	9300	0	8	171	0	0	195	11	0
CENT. 95			11660	30180								
CENT.90			11150	28500								
Moy géom.			2679	5338								

#### II-3-2- Etude des corrélations

Sur le graphique de la *figure 12* les paramètres microbiologiques, *E. coli*, coliformes totaux, coliformes thermotolérants, levures et moisissures, sont proches du cercle et donc sont essentiellement expliqués par les composantes principales des axes F1 et F2. Certains paramètres sont proches l'un de l'autre donc sont corrélés

linéairement entre eux. Il s'agit des coliformes totaux et thermotolérants, levures et moisissures et enfin *E. coli* et les coliformes.

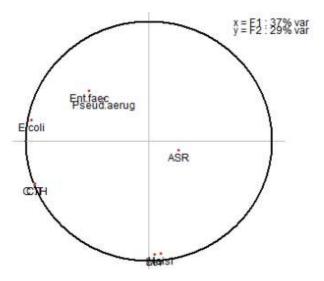


Figure 12: Graphique de l'ACP des résultats microbiologiques dans le plan factoriel F1xF2

Sur la *figure 13*, contrairement au pH, aux matières organiques, aux chlorures et la couleur, la présence d'*E. coli* est corrélée à l'ammonium, au phosphore, aux nitrites et aux nitrates. Cependant aucune des corrélations n'est significative.

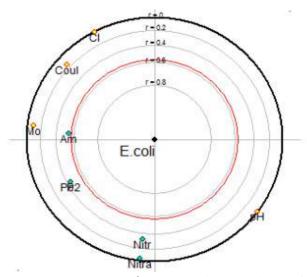


Figure 13: Graphique de l'ACP des paramètres physicochimiques focalisée sur E. coli

Sur la *figure 14* les coliformes totaux et fécaux, *P. aeruginosa* et *E. faecalis* sont corrélés à la présence d'*E. coli* alors que les levures, les moisissures et les germes ASR ne le sont pas. La corrélation qui existe entre les coliformes totaux, les coliformes thermotolérants et *E. coli* est significative.



Figure 14: Graphique de l'ACP des paramètres microbiologiques focalisée sur E. Coli

Sur la *figure 15* les matières organiques et les nitrates ne sont pas corrélés à la présence d'*E. faecalis*. La turbidité, le phosphore, le pH, l'ammonium, les nitrites, la couleur et les chlorures sont quant à eux corrélés à la présence d'*E. faecalis* mais aucune des corrélations n'est significative.

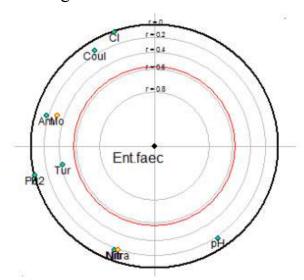


Figure 15: Graphique de l'ACP des paramètres physicochimiques focalisée sur E. faecalis

Sur le graphique de la *figure 16*, *P. aeruginosa* est significativement corrélé à la présence d'*E. faecalis* alors que les coliformes totaux, les coliformes fécaux, *E. coli* et les germes ASR ne sont pas significativement corrélés. Quant aux levures et moisissures, elles ne sont pas corrélées à la présence d'*E. faecalis*.

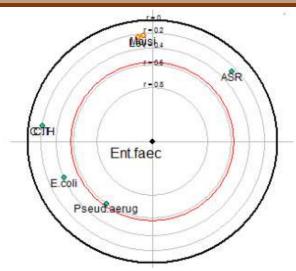


Figure 16: Graphique de l'ACP des paramètres microbiologiques focalisée sur E. faecalis

## II-4- Comparaison des valeurs des paramètres à des normes.

Les valeurs paramétriques physicochimiques et microbiologiques de la rivière Banco ont été comparées aux normes ivoiriennes (tableau X), algériennes (tableau XI), canadiennes (tableau XII), et Union Européenne (tableau XIII).

Tableau X: Comparaison des valeurs des paramètres de la rivière Banco aux normes ivoiriennes

Paramètres		Rivière Banco		Normes ivoiriennes
	Minimum	Maximum	% de NC *	
pН	5,70	10,14	33	6 à 9
C T / 100mL	38	15 300	17	10 000
C Th / 100mL	38	15 300	75	2 000
Salmonelles / L	0	0	0	0
Staphylococcus aureus / L	0	0	0	0
% échantillon NC			83	

<sup>%</sup> de NC \* : Pourcentage de non-conformité par rapport aux normes

Les échantillons d'eau de la rivière Banco sont 83 % non conformes au regard des normes ivoiriennes (*tableau X*).

Tableau XI: Comparaison des valeurs des paramètres de la rivière Banco aux normes algériennes.

Paramètres		Rivière Ba	anco	Normes algériennes
	Mini- mum	Maxi- mum	% de NC *	Valeurs limites
pH	5,70	10,14	42	6 à 8
C T / 100 mL	38	15 300	17	10 000
C Th / 100 mL	38	15 300	75	2 000
Salmonelles / L	0	0	0	0
E. faecalis / 100 mL	900	30 400	100	100
Vibrion cholérique / 450 ml	0	0	0	0
% d'échantillon NC			100	

<sup>%</sup> de NC \* : Pourcentage de non-conformité par rapport aux normes

Les échantillons d'eau de la rivière Banco sont 100 % non conformes au regard des normes algériennes (*tableau XI*).

Tableau XII : Comparaison des valeurs paramétriques de la rivière Banco aux normes canadiennes.

Paramètres	Rivière Banco	Normes canadiennes
рН	Minimum: 5,70	
	Maximum: 10,14	5 à 9
	% de NC*: 25	
Turbidité (UNT)	Minimum: 59,6	
	Maximum: 185,0	50
	% de NC: 100	
E. coli moyenne géométrique (d'au moins 5 échantillons) / 100ml	2679	≤ 200
E. faecalis moyenne géométrique (d'au moins 5 échantillons) / 100 ml	5338	≤ 35

<sup>%</sup> de NC\* : pourcentage de non-conformité par rapport à la norme

Les échantillons d'eau de la rivière Banco sont 100 % non conformes au regard des recommandations canadiennes (*tableau XII*).

Tableau XIII: Comparaison des valeurs paramétriques de la rivière Banco aux recommandations de l'UE.

Paramètres	Rivière Banco	Recommandations
		de l'UE

	95 <sup>e</sup> centile/100ml	90 <sup>e</sup> centile/100ml	95 <sup>e</sup> centile/100ml	90 <sup>e</sup> centile/100ml
E. coli	11 660	11 150	≤ 1 000	≤ 900
E. faecalis	30 180	28 500	≤ 400	≤ 330

Les 95<sup>e</sup> et 90<sup>e</sup> de *E. coli* et *E. faecalis* des échantillons de la rivière Banco sont largement supérieurs aux valeurs de références des recommandations de l'UE (*tableau XIII*).

#### **III- DISCUSSION**

## III-1- Caractérisation de l'eau de baignade Banco

L'eau de baignade Banco est une eau douce caractérisée par une faible conductivité allant de 37,7 à 72,4 µS.cm<sup>-1</sup> sur la période de décembre 2017 à novembre 2018. Comparativement aux directives d'eau potable de l'OMS (59), la pollution de cette eau a porté sur certains paramètres physicochimiques et microbiologiques. La couleur de la rivière Banco variait de 35 UCV à 55 UCV de décembre 2017 à mai 2018 puis s'élève de juin 2018 à décembre 2018 dans l'intervalle de 350 à 590UCV. Cette élévation significative de la coloration de l'eau de juin à novembre 2018 atteignant un maximum de 590 UCV en septembre 2018 par rapport à la période de décembre 2017 à mai 2018 serait due à la saison pluvieuse. Cette variation saisonnière a été rapporté par **Blé** (11) sur le lac de Jacqueville. La turbidité était relativement élevée sur toute la période de l'étude. Elle a présenté trois pics en mars, mai et juillet 2018 avec la valeur la plus élevée de 185 UNT observée en juillet 2018. La rivière Banco a été plus turbide que la rivière Lobo, une eau de surface, source d'approvisionnement en eau potable de la ville de Daloa en Côte-d'Ivoire (63). Une hausse des matières en suspension justifierait ce caractère trouble de l'eau de la rivière Banco.

La rivière Banco a également présenté des valeurs variables de pH avec une moyenne de 7,54; des pH alcalins (7,22-10,14) pendant la saison sèche (décembre 2017 à mai 2018) et des pH acides (5,70-6,86) pendant les saisons de pluie et de crue (juin à novembre 2018). Ce caractère basique dans l'ensemble se justifierait par les activités de lessives réalisées dans cette eau. Les opérateurs économiques (la casse et les stations d'essence) installés aux alentours du parc utilisent des produits acides dans leurs activités quotidiennes. Tous ces produits acides déversés dans la nature avec les eaux de ruissellement se retrouvent dans la rivière et contribuent à faire baisser le pH.

Les valeurs de la conductivité de la rivière variaient de 37,7 à 72,4 µS/cm avec une moyenne de 48,25 µS/cm. Celles-ci indiquent que l'eau de la rivière est faiblement minéralisée. Des études dans la zone périurbaine de la ville de Man, à l'ouest de la Côte-

d'Ivoire, notamment dans le village de Kpangouin ont également mis en évidence une faible minéralisation avec une moyenne de 62,56 µS/cm (64)

Le DHT a une moyenne de 95 mg/L incluse dans la fourchette des eaux moyennement dures de l'OMS (60 à 120 mg/L) (59).

Les teneurs en ammonium relativement faibles par rapport aux directives OMS (1,5 mg/L) ont pour médiane 0,26 mg/L. Un pic de 26,2 mg/L a été mesuré en juillet 2018. L'ammonium dans l'eau traduit un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Il s'oxyde en nitrites pour ensuite s'oxyder en nitrates. C'est un excellent indicateur de pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industrielle. Une teneur élevée en ammonium est le signe d'une pollution récente.

Les teneurs en nitrites avec une moyenne de 0,23 mg/L sont supérieures aux normes OMS, ce qui n'est pas le cas pour les nitrates. Ces différentes teneurs des matières azotées suscitées (teneurs élevées en NH<sub>4</sub> et en NO<sub>3</sub> et basses en NO<sub>2</sub>) évoqueraient une pollution d'une durée moyenne (pollution récente à ancienne) (65). Les teneurs en nitrites étaient supérieures à celles de la rivière Lobo au centre-ouest de la Côte-d'Ivoire (63) Les faibles teneurs en nitrates retrouvées dans les eaux de la rivière Banco sont similaires à celles de **Traoré** sur la lagune d'Aghien (66).

Les valeurs moyennes en phosphore et en phosphates respectivement 13,83mg/L et 41,99 µg/L ont été notées dans la rivière. Elles sont encore plus basses en saison sèche (décembre 2017 à avril 2018). Cette disponibilité du phosphore et des phosphates pourrait se justifier par les rejets urbains des agglomérations avoisinantes et le relargage du phosphore piégé en grande quantité dans les sédiments. Ces deux derniers paramètres chimiques sont moins élevés que ceux de la rivière de Moutcho à Agboville (12). Ces valeurs, plus basses en saison sèche étaient largement supérieures à celles retrouvées dans les eaux de la lagune de Porto-Novo au Sud du Bénin (67).

L'analyse bactériologique a mis en évidence la présence de germes indicateurs de pollution fécale notamment les C T, C Th, *E. coli* et *E. faecalis*. Les *E. coli* atteignaient une moyenne de 5 328 UFC/100mL avec un maximum de 12 100 UFC/100mL en juillet 2018 sur la période de décembre 2017 à novembre 2018. Les *E. faecalis* ont quant à eux

atteint une moyenne de 9 300 UFC/100mL avec un maximum de 30 400 UFC/100mL en septembre 2018. La présence des coliformes fécaux confirme l'influence des activités anthropiques sur la qualité de l'eau de la rivière Banco. Cette pollution serait due à certains comportements tels que la défécation à l'air libre (68) par les baigneurs. La présence élevée d'*E. coli* et d'*E. faecalis* augmenterait le risque sanitaire de la baignade du Banco à titre de gastroentérite (30). Aussi l'origine fécale de la pollution des ressources en eau de la Côte-d'Ivoire a-t-elle été mise en évidence dans des eaux de surface dans la région d'Abidjan (69) par **Ahoussi et al**.

Comparativement à l'étude de **Kamara** portant sur l'eau de baignade de la rivière de Moutcho à Agboville, Côte-d'Ivoire (12), la moyenne des *E. coli* est supérieure à la nôtre alors que celle des *E. faecalis* en est inférieure. Ces résultats sont largement supérieurs à ceux de **Dosso** sur la cascade de Man, Côte-d'Ivoire (13). Les différences observées sur la baignade de la cascade de Man d'une part et sur les rivières de Moutcho et Banco d'autres parts s'expliqueraient par le fait que la baignade de la cascade de Man soit aménagée alors que les deux autres sont des baignades libres. Ce phénomène de pollution, notamment la pollution fécale des eaux de surface a été rapporté dans plusieurs pays africains notamment au Burkina Faso, au Bénin, au Maroc et en Algérie (70–73). Cette pollution serait liée à la présence des populations vivant à l'intérieur du parc, des visiteurs du parc national du Banco (20 000 visiteurs/an), des lavandiers et aussi les animaux qui peuplent le parc.

L'absence de microbes pathogènes dans tous les échantillons de l'étude comme les salmonelles, vibrio et staphylocoques responsables de maladies diarrhéiques et de dermatoses est remarquable.

## III-2- Comparaison aux normes d'eaux de baignade

Les réglementations de la qualité des eaux douces de baignade des pays ou organisations qui en disposent s'accentuent sur les paramètres microbiologiques particulièrement *E. coli* et *E. faecalis* (30); *E. coli* étant le meilleur indicateur de contamination fécale des eaux douces utilisées à des fins récréatives, et les entérocoques, meilleurs indicateurs de contamination fécale des eaux de mer (30,74).

Les normes ivoiriennes en matière de qualité d'eau de baignade (8) limitent le pH dans la fourchette de 6 à 9. Sur la période d'étude (décembre 2017 à novembre 2018), ceux de la baignade de la rivière Banco sortent de cette fourchette en janvier 2018 (10,14), avril 2018 (9,7), mai 2018 (10) et aout 2018 (5,7). Pour les paramètres microbiologiques, la moyenne des C T (6 229 UFC/100mL) est inférieure à 10 000 UFC/100mL en référence aux normes ivoiriennes, ce qui n'est pas le cas pour les C Th (6 229 UFC/100mL) dont la moyenne est supérieure aux exigences locales (2 000 UFC/100mL). Les autres germes recherchés (salmonelles et *Staphylococcus aureus*) n'ont pas été retrouvés dans 1 L d'échantillon d'eau de la baignade du Banco. Ces résultats classent l'eau de baignade de la rivière Banco, selon les normes ivoiriennes, de qualité insuffisante pour la baignade avec pour risque principal une contamination par les coliformes fécaux.

L'intervalle du pH des normes algériennes (58) est plus étroite (6 à 8) par rapport aux normes ivoiriennes. Celles-ci excluent le prélèvement du mois de mars 2018 (8,2) en plus des quatre autres prélèvements exclus dans les normes ivoiriennes. Ces normes fixent les valeurs limites pour les C T à 10 000 UFC/100mL d'eau et les C Th à 2 000 UFC/100mL; les *E. faecalis* ne doivent pas excéder 100 UFC/100mL; les salmonelles et *Vibrion cholérique* doivent être absents. Les C T et C Th de la rivière Banco présentent deux valeurs au-delà des valeurs limites des normes algériennes en février 2018 (15 300 UFC/100mL), et juillet 2018 (12 100 UFC/100mL). Les *E. faecalis* étaient supérieurs sur toute la période d'étude tandis que les salmonelles et *Vibrion cholérique* n'ont pas été retrouvés. L'eau de baignade de la rivière Banco est donc qualifiée d'insuffisante pour la baignade au regard des normes algériennes.

Les recommandations canadiennes (30) fixent entre autres des limites pour le pH (5 à 9), la turbidité de l'eau utilisée à des fins récréatives à 50 UNT et les moyennes géométriques pour chacun des deux germes : *E. coli* et *E. faecalis* sont respectivement 200 et 35 (*tableau V*). La turbidité de la rivière Banco varie de 59,6 à 185,0 UNT. Le pH en janvier (10,14) est le seul exclu. Les moyennes géométriques de la rivière Banco sont

2679 pour *E. coli* et 5338 pour *E. faecalis*. Ce qui justifie que la rivière Banco est de mauvaise qualité pour la baignade.

Les directives de l'UE (25) se basent sur les 90<sup>e</sup> et 95<sup>e</sup> centiles par 100mL d'*E. coli* (900 et 1000) et *E. faecalis* (330 et 400) ; ceux de la rivière Banco sont respectivement (11150 et 11660) pour *E. coli* et (28500 et 30180) pour *E. faecalis*. Ce qui qualifie la rivière Banco de mauvaise qualité pour la baignade selon les directives de l'UE.

# **CONCLUSION**

Au terme de cette étude dont l'objectif visé était d'évaluer la qualité de l'eau de la rivière Banco, la stratégie adoptée était de :

- réaliser l'analyse des paramètres organoleptiques et chimiques ;
- dénombrer les germes de contamination fécale ;
- comparer les résultats à différentes normes d'eaux de baignade.

La rivière Banco est localisée au sud de la Côte-d'Ivoire dans la ville d'Abidjan. Le point de prélèvement est situé selon la longitude 05°21,697' et la latitude 004°21,532'.

Au plan physico-chimique, l'eau est caractérisée par :

- un pH alcalin variant de 7,22 à 10,14, sur la période de décembre 2017 à mai 2018 puis par un pH acide de juin 2018 à novembre 2018 variant de 5,70 à 6,86 ;
- une faible minéralisation (37,7 à 72,4 <100  $\mu$ Scm<sup>-1</sup>).

Au plan microbiologique, l'eau de la rivière Banco a fait l'objet d'une forte contamination fécale par la présence *de E. coli* à des taux allant jusqu'à 12100 UFC/100 mL avec une moyenne 5328 UFC/100 mL de décembre 2017 à novembre 2018. Cette forte contamination expose les populations à une épidémie de diarrhées et d'infections urinaires.

Au regard des normes ivoiriennes d'eaux de baignade, l'eau de la rivière Banco est donc de qualité non satisfaisante. Par conséquent elle ne devrait pas être utilisée pour la baignade.

Pour préserver la qualité de l'eau de la rivière Banco, il est impératif pour le District d'Abidjan et l'Etat de veiller à une gestion rationnelle du parc constitué autour de cette rivière (parc national du Banco) tout en associant le ministère du tourisme, l'OIPR, les communautés villageoises et les quartiers autours du parc.

ECOMM	[ANDATIO]	NS ET PEI	RSPECTIVE	ES

#### RECOMMANDATIONS

#### ❖ Aux autorités administratives :

- Renforcer la mission de l'OIPR;
- Mettre en place une veille sanitaire à l'endroit des usagers et riverains de la rivière Banco ;
- Réaliser des campagnes de sensibilisation sur la préservation de la propreté de la rivière et du parc national du Banco;
- S'assurer du traitement des rejets industriels avant le déversement dans la nature.

## ❖ Aux populations :

- Eviter la défécation à l'air libre ;
- Eviter d'évacuer les eaux usées dans les eaux de ruissellement.

#### ❖ Dans les centres de santé :

- Réaliser des programmes d'éducation sanitaire pour montrer les risques liés au péril fécal ;
- Être le relais entre les autorités administratives et les populations pour une meilleure prévention de maladies hydriques.

# **PERSPECTIVES**

- Etendre les études à toutes les eaux de surface utilisées comme eaux de baignade en Côte-d'Ivoire ;
- Analyser tous les paramètres énoncés dans l'arrêté N°74/MSHP/INHP; 1993 régissant les baignades en Côte-d'Ivoire.

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1. Adjagodo A, Agassounon M, Kelome N, Lawani R. Flux des polluants liés aux activités anthropiques, risques sur les ressources en eau de surface et la chaine trophique à travers le monde : synthèse bibliographique. Int J Biol Chem Sci. 6 déc 2016;10(3):1459.
- 2. Beeck E; Branche M; Szpilman D; Modell H; Bierens M. A new definition of drowing: towards documentation and prevention of a global public health problem. Bulletin of the World Health Organization. 2005;853-6.
- 3. Galland C, Tallec A, ORS Pays de la Loire. Baignade et santé. In : La santé observée dans les Pays de la Loire. ORS Pays de la Loire ; 2015. p. 7.
- 4. La Société canadienne de la Croix-Rouge. Les noyades et autres traumatismes liés à l'eau au Canada 10 ans de recherche. 2006. (La glace et l'eau froide). Report No. : module 2.
- 5. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail. Qualité microbiologique des eaux de baignade : valeurs seuils (échantillon unique) pour les eaux de baignade : étude de faisabilité méthodologique : septembre 2007. Maisons-Alfort : AFSSET ; 2008.
- 6. Chippaux J-P, Houssier S, Gross P, Bouvier C, Brissaud F. Étude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger. Bull Soc Pathol Exot. 2002 ;119-23.
- 7. Adingra A, Sako A, Kouassi A. Qualité bactériologique des eaux de surface de la rivière Banco, Abidjan, Côte-d'Ivoire. F Tech & Doc Vulg. 2010 ; 37-42.
- 8. Côte-d'Ivoire. Ministre de la santé et de la protection sociale. Arrêté N°74 / MSPS / INHP : Normes d'hygiène dans le cadre du contrôle sanitaire des piscines, des baignades aménagées et bassins de natation ouverts au public. 1993.
- 9. Meless F. 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] : Université Félix Houphouet Boigny de Cocody, Abidjan ; 2018. 131 p.
- 10. Kanga J. Caractérisation chimique et microbiologique des eaux de baignade de la ville de Grand-Bassam en Côte-d'Ivoire. [Thèse de pharmacie 1980/18] : Université Félix Houphouet Boigny de Cocody, Abidjan ; 2018. 115 p.

- 11. Blé J. Evaluation de la qualité des eaux de baignade de Jacqueville en Côte-d'Ivoire. [Thèse de pharmacie 1971/18] : Université Félix Houphouet Boigny de Cocody, Abidjan ; 2018. 146 p.
- 12. Kamara A. Caractérisation des eaux de baignade de la ville d'Agboville : cas du fleuve de l'Agnéby et de la rivière de Moutcho. [Thèse de pharmacie 1973/18] : Université Félix Houphouet Boigny de Cocody, Abidjan ; 2018. 104 p.
- 13. Dosso O. Evaluation de la qualité de la baignade de la cascade de Man. [Thèse de pharmacie 1863/17] : Université Félix Houphouet Boigny de Cocody, Abidjan ; 2017. 143 p.
- 14. Festy B, Hartemann P, Ledrans M, Levallois P, Payement P, Tricard D. Qualité de l'eau. In : Environnement et santé publique Fondements et pratiques. Paris : Edisem; 2003. p. 333-68.
- 15. Masseron P. Piscines et baignades : la règlementation dans le Haut-RHIN. Préfecture du Haut-Rhin. 2002 ; 71.
- 16. Delsol B. Guide des baignades aménagées. Direction Départementale de la Cohésion Sociale et de la Protection des Populations. 2015.
- 17. Prefet du BAS-Rhin. Guide juridique des piscines et des baignades. Direction Départementale de la Cohésion Sociale du Bas-Rhin. 2013.
- 18. Salon des Thermalies 2018. L'eau pour retrouver son capital santé. 2018 ; Disponible sur : www.thermalies.com
- 19. Association des Médecins du canton de Genève. Profitez des bienfaits de la baignade! Trib Genève. 2010.
- 20. Denise E. 5 bienfaits de l'eau de mer sur la santé. Weekendesk. 2016;
- 21. Petiot I. Les 8 bienfaits sante d'un bain de mer. BIO INFO. 2016;
- 22. El Attiffi, El Ouadrassi A. La qualité microbiologique des eaux de baignade. [Rabat, Maroc] : Université Mohammed V; 2011.
- 23. Fondation nationale de la santé. Manuel pratique d'analyse de l'eau 4ème édition. FUNASA; 2013.

- 24. Koffi R, Assi J, Assemand F, Wognin S, Koussemon M. Origine des témoins de contamination fécale de l'eau d'arrosage de la laitue (lactuca sativa) cultivée dans la zone périurbaine d'Abidjan. Journal of Applied Biosciences 52 : 3669–3675. 2012 ;
- 25. 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. Journal officiel de l'Union européenne. 2006 ;
- 26. Jaglin S. L'eau potable dans les villes en développement : les modèles marchands face à la pauvreté. tiers-monde. 2001 ; 42(166) : 275- 303.
- 27. Schwartzbrod L. Virus humains et santé publique : conséquences de l'utilisation des eaux usées et des boues en agriculture et conchyliculture. Centre Collaborateur OMS pour les Microorganismes dans les Eaux Usées. Université de Nancy (France) 2000 ;
- 28. Mehda S. Evaluation du risque de la contamination physico-chimique et biologique des eaux souterraines par les polluants d'origine agricole dans la région d'El Oued. Université Kasdi Merbah Ouargla faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Département des Sciences Biologiques ; 2014.
- 29. Lecellier A. Caractérisation et identification des champignons filamenteux par spectroscopie vibrationnelle. Université de Reims Champagne-Ardenne ; 2013.
- 30. (Canada) G de travail fédéral-provincial-territorial sur la qualité des eaux à usage récréatif, Canada. Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada [Internet]. Ottawa (Ontario) : Santé Canada ; 2012 [cité 29 mai 2019]. Disponible sur : http://publications.gc.ca/collections/collection\_2012/sc-hc/H129-15-2012-fra.pdf
- 31. Dufour P, Kouassi M, Lanuss A. Les pollutions. In : Environnement et ressources aquatiques de Côte-d'Ivoire. p. 209- 33.
- 32. Albakjaji M. La pollution de la mer Méditerranée par les hydrocarbures liée au trafic maritime. Université Paris-Est ; 2011.
- 33. Barichello M, Bohrer D, Viana C, Carvalho L, Nascimento P. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in commercial parenteral formulations and medications using high-performance liquid chromatography with diode array detection. J AOAC Int [Internet]. 2017 [cité 26 mai 2019] ; Disponible sur : http://www.ingentaconnect.com/content/10.5740/jaoacinct.16-0342

- 34. Lerda D. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Factsheet-4th Edition. European Union. 2011;27.
- 35. Baran S, Oleszczuk P. Chromatographic determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in sewage sludge, soil, and sewage sludge-amended soils. polish Journal of environmental studies Vol 11. 2002;609-15.
- 36. Michel P. Impact des hydrocarbures sur la flore et la faune marines. Nantes (France) : Institut Scientifique Et Technique des Pêches Maritimes ; 1983 p. 212.
- 37. Giroux I. Contamination de l'eau souterraine par les pesticides et les nitrates dans les régions en culture de pommes de terre, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, 2003 ;
- 38. Weltgesundheitsorganisation, éditeur. L'utilisation des pesticides en agriculture et ses conséquences pour la santé publique. Genève ; 1991. 145 p.
- 39. Passos S. Exposition humaine aux pesticides : un facteur de risque pour le suicide au Brésil VertigO [Internet]. 7 avril 2006 [cité 14 juin 2019] ;(Volume 7 Numéro 1). Disponible sur : http://journals.openedition.org/vertigo/2098
- 40. Gaujous D. La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. 2. éd., rev. et augm. Paris : Tec & Doc Lavoisier ; 1995. 220 p.
- 41. Lauwerys R, Haufroid V. Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles. Paris : Elsevier Masson ; 2007.
- 42. Taleb M, Boutiba Z. La moule *Mytilus galloprovincialis*: bioindicatrice de pollution marine cas du port d'Oran. Sciences & Technologie C N°25. juin 2007;59- 64.
- 43. Organisation Mondiale de la, Santé. Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4<sup>e</sup> éd. intégrant le premier additif. 2017 ; 539.
- 44. Benadda H. Evaluation de la pollution marine par trois métaux lourds (Cadmium, Plomb, Zinc) sur un Poisson pélagique : la saurel *Trachurus trachurus* (Linné, 1758) pêchée dans la baie d'Oran. [Oran, Algerie] : Université d'Oran Es-Sénia; 2009.

- 45. World Health Organization, International Program on Chemical Safety, éditeurs. Guidelines for poison control. Geneva: World Health Organization; 1997. 112 p.
- 46. Rousselet M, Baehr A. Etude sanitaire des zones de production conchylicole n°34.03 et 34.04 zone d'étude « Ile du Brescou et Bande littorale du Cap d'Agde ». Département Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes [Internet]. 2015 ; Disponible sur : http://www.ifremer.fr
- 47. Canada, Environment Canada, Canada, Health Canada. Le chrome et ses composés. Ottawa : Environnement Canada ; 1994.
- 48. Tissier A. Evaluation de l'état de viabilité et 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. Université de Lorraine ; 2012.
- 49. Puupponen R, Nohynek L, Meier C, KaÈhkoÈnen M, Heinonen M, Hopia A et al. Antimicrobial properties of phenolic compounds from berries. Journal of applied microbiology. 2001;494-507.
- 50. Organisation Internationale de la Vigne et du Vin. Recueil des méthodes internationales des boissons spiritueuses d'origine vitivinicole. 2014.
- 51. Détermination de l'alcalinité dans les effluents ; Méthode titrimétrique automatisée. In: Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec. Québec : Ministère de l'environnement du Québec ; 2004. p. 12.
- 52. Tfeil H, Mahfoudh M, Mhamed B, Aliyen A, Yarba L, Hmeyada V. Caractérisation physico-chimique des eaux de surface et étude de la diversité ichtyologique de quelques zones humides continentales en Mauritanie. Eur Sci J ESJ. 28 févr. 2018;14(6):83.
- 53. Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec. Détermination de la conductivité : méthode électrométrique. Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques ; 2015.
- 54. Weltgesundheitsorganisation, éditeur. Directives de qualité de l'eau de boisson. 2 : Critères d'hygiène et documentation à l'appui. 2. éd. Genève ; 2000. 237- 240 p.

- 55. World Health Organization, éditeur. Guidelines for safe recreational water environments. Geneva: World Health Organization; 2003. 253 p.
- 56. Hayes J. Pesticides studied in man. Baltimore: Williams & Wilkins; 1982. 672 p.
- 57. Lamathe J. A selective method of elution for the extraction of heavy metals from sea waters on a chelating resin. In: Analytica chimica Acta. 1979. p. 307-17.
- 58. Décret exécutif n° 93-164 du 10 juillet 1993 qualité requise des eaux de baignade. juil 10, 1993.
- 59. OMS. Directive de qualité pour l'eau potable. 1986.
- 60. Mangoua L, Coulibaly L, Manizan P, Gourene G. Influence de la colonne d'eau surnageante sur l'efficacité épuratoire d'un filtre à sable immergé pour le traitement d'eau de surface polluée par des rejets domestiques (Rivière Banco, C.I.). European Journal of Scientific Research. 2009 ; 6- 19.
- 61. Freycon V, Fauvet N. Les GPS: De l'acquisition des relevés à leur intégration dans un système d'information géographique. France: campus de Baillarguet; 1998. 53 p.
- 62. Remili S, Kerfouf A. Évaluation de la qualité physico-chimique et du niveau de contamination métallique (Cd, Pb, Zn) des rejets d'eaux usées d'Oran et de Mostaganem (littoral Ouest algérien). Physio-Géo. 25 jan 2013; (Volume 7) : 165-82.
- 63. Groga N, Akedrin T, Komoe K, Thiegba K, Akaffou D, Ouattara A. Distribution spatiosaisonnière des cyanobactéries le long du cours d'eau, la Lobo Haut-Sassandra (Daloa, Côte-d'Ivoire). Tropicultura. 35<sup>e</sup> éd. 2017; 288-99.
- 64. Ahoussi K, Keumean K, Kouassi A, Koffi Y. Etude des caractéristiques hydrogéochimiques et microbiologiques des eaux de consommation de la zone périurbaine de la ville de Man : cas du village de Kpangouin (Côte d'Ivoire). Int J Biol Chem Sci. 13 avr 2018 ; 11(6) : 3018.
- 65. Djermakoye H. Les eaux résiduaires des tanneries et des teintureries : caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines : Université de Bamako, Mali. 2005.

- 66. Traore A, Soro G, Kouadio E, Bamba B, Oga M, Soro N, 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 [Internet]. 8 mai 2013 [cité 21 mai 2019];6(6). Disponible sur : http://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/88482
- 67. Mama D, Chouti W, Alassane A, Changotade O, Alapini F, Boukari M. Etude dynamique des apports en éléments majeurs et nutritifs des eaux de la lagune de Porto-Novo (Sud Bénin). Int J Biol Chem Sci. 2011; 1278-93.
- 68. Salam A, Tooli A, Cissé R, Vidal L. L'assainissement et l'hygiène en Afrique de l'Ouest et du Centre. 2017 ; 87-98.
- 69. Ahoussi K, Oga Y, Koffi Y, Kouassi A, Soro N, Biemi J. Caractérisation hydrogéochimique et microbiologique des ressources en eau du site d'un Centre d'Enfouissement Technique (CET) de Côte d'Ivoire : Cas du CET de Kossihouen dans le District d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Int J Biol Chem Sci. 31 mai 2012 ; 5(5) : 2114.
- 70. Dianou D, Savadogo B, Zongo D, Zougouri T, Poda J, Bado H, et al. Qualité des eaux de surface dans la vallée du Sourou : cas des rivières Mouhoun, Sourou, Debe et Gana au Burkina Faso. Int J Biol Chem Sci [Internet]. 4 mai 2012 [cité 20 mai 2019] ; 5(4). Disponible sur : http://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/75916
- 71. Djad M. Qualité bactériologique des eaux littorales et méthodes d'analyses : cas du littoral Ouest Algérien. Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes ; 2015.
- 72. Dovonou F, Aina M, Boukari M, Alassane A. Pollution physico-chimique et bactériologique d'un écosystème aquatique et ses risques écotoxicologiques: Cas du lac Nokoue au Sud Benin. Int J Biol Chem Sci [Internet]. 4 mai 2012 [cité 20 mai 2019] ; 5(4). Disponible sur : http://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/75935
- 73. Doubi M, Dermaj A., Ait B, Chebabe D, Erramli H, Hajjaji N et al. Contribution à l'etude physico-chimique de l'Oued moulouya et un affluent au niveau de la région d'Outat el Haj. Larhyss Journal. 2013 ; 91- 104.
- 74. Pourcher A, Solecki O, Jarde E, Jeanneau L, Jadas-Hécart A, Caprais M et al. Des microorganismes et des composés chimiques pour identifier les sources de contamination fécale : étude de leur persistance en microcosmes et de leur présence dans les eaux à l'échelle d'un bassin versant. Sciences Eaux and Territoires : la Revue du IRSTEA, IRSTEA [Internet]. 2012 ; Disponible sur : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00776423

# **TABLE DES MATIERES**

DEDICACES	Erreur! Signet non défini.
A NOS MAITRES ET JUGES	Erreur! Signet non défini.
SOMMAIRE	XXIII
ABREVIATIONS – ACRONYMES – SIGLES	XXV
LISTE DES TABLEAUX	XXVII
LISTE DES FIGURES	XXVIII
INTRODUCTION	1
Première partie : REVUE DE LA LITTERATURE	4
I- PRESENTATION DES BAIGNADES	5
I-1- Définition	5
I-2- Classification	5
I-2-1- Piscines	5
I-2-2- Baignades	5
I-3- Quelques aspects bénéfiques liés à la baignade	7
I-3-1- Vertus apaisantes	7
I-3-2- Effet relaxant	7
I-3-3- Effet diurétique	7
I-3-4- Effet antalgique	8
I-3-5- Exfoliant pour la peau	8
I-3-6- Balnéothérapie et thalassothérapie	8
II- POLLUTION DES EAUX DE BAIGNADE	8
II-1- Risques liés à la fréquentation des eaux de baig	nade8
II-2- Origines des contaminations	8
II-3- Nature des contaminants	9
II-3-1- Nature biologique	9
II-3-2- Nature chimique	11
III- CONTROLE QUALITE DES EAUX DE BAIGNA	ADE 15
III-1- Contrôles microbiologiques	
III-1-1- Virus	
III-1-2- Cryptosporidies et champignons	

III-1-3- Les coliformes	15
III-1-4- Germes indicateurs de pollution fécale	16
III-2- Contrôles physicochimiques	17
III-2-1- pH	17
III-2-2- Turbidité	18
III-2-3- Dureté	18
III-2-4- Alcalinité	18
III-2-5- Matières azotées	19
III-2-6- Conductivité	19
III-2-7- Couleur	20
III-2-8- Pesticides et HAP	20
III-2-9- Métaux lourds	21
III-3- Réglementations des eaux de baignade	21
III-3-1- Normes ivoiriennes	22
III-3-2- Normes algériennes	23
III-3-3- Normes canadiennes	24
III-3-4- Directives de l'Union Européenne	25
III-3-5- Directives de l'OMS (eau potable)	26
. Deuxième partie : ETUDE EXPERIMENTALE	27
I- MATERIEL ET METHODES	28
I-1- Type et cadre de l'étude	28
I-2- Matériel	29
I-2-1- Appareillage	29
I-2-2- Réactifs	29
I-3- Méthodes	30
I-3-1- Campagne de prélèvement	30
I-3-2- Analyses des échantillons	32
I-3-3- Analyse statistique	47
II- RESULTATS	48
II-1- Campagnes de prélèvement de la rivière Banco	48
II-2- Analyse des paramètres organoleptiques et physicochimiques	50
II-2-1- Analyse les paramètres organoleptiques	50

# Evaluation de la qualité physicochimique et microbiologique de l'eau de baignade Banco.

II-2-2- Analyse des paramètres physicochimiques	52
II-3- Analyse microbiologique	56
II-3-1- Paramètres microbiologiques	56
II-3-2- Etude des corrélations	57
II-4- Comparaison des valeurs des paramètres à des normes.	60
III- DISCUSSION	63
III-1- Caractérisation de l'eau de baignade Banco	63
III-2- Comparaison aux normes d'eaux de baignade	65
CONCLUSION	68
RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	70
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	73
TABLE DES MATIERES	81
ANNEXES	84

# **ANNEXES**

Annexe 1

Tableau : Paramètres organoleptiques et physicochimiques de la rivière Banco de décembre 2017 à mai 2108

Paramètres physico-						
chimiques	Déc 17	<b>Jan 18</b>	Fév 18	<b>Mar 18</b>	<b>Avr 18</b>	Mai 18
Turbidité (UNT)	102	80,1	71,4	158	59,6	152
Couleur (UCV)	40	35	35	40	55	40
Conductivité (µS.cm <sup>-1</sup> )	42,1	58,2	40,0	42,1	45,3	72,4
Température (°C)	27,3	27,0	26,9	26,8	26,3	26,4
pН	7,8	10,14	7,22	8,2	9,7	10,0
Nitrates (mg/L)	3,8	3,8	2,5	4,5	2,7	2,9
Nitrites (mg/L)	0,86	0,15	0,11	0,33	0,13	0,32
Ammonium (mg/L)	0,11	0,29	0,22	0,22	0,03	0,17
Chlorure (mg/L)	2,9	7,0	4,7	8,2	9,0	8,8
DHT (°F)	105	60	50	210	55	205
TAC (mg/L)	135	110	70	160	105	235
Fer total (mg/L)	1,95	1,30	1,15	3,00	1,40	3,80
Manganèse (mg/L)	0,030	0,035	0,035	0,010	0,027	0,006
Aluminium (mg/L)	0,44	0,17	0,11	0,29	0,08	0,27
Fluorure (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	3,20	0,01
Zinc (mg/L)	0,39	0,33	0,11	0,68	0,10	0,81
Sulfate (mg/L)	31	25	18	40	22	50
Sodium (mg/L)	1,9	4,6	4,2	5,3	5,9	5,7
Potassium (mg/L)	2,8	2,7	3,2	3,2	0	4,5
Phosphore (mg/L)	19,5	13,0	8,5	30,5	0,9	0,7
Magnésium (mg/L)	29	1000	1	39	48	43
Soufre	10	9	6	13	7	17
Calcium (mg/L)	16	0	105	40	8	18
Bicarbonates	80	65	40	95	60	140
Matières organiques	1,04	4,00	1,85	5,56	2,08	4,01
Silice (mg/L)	14,5	9,5	13,5	22,5	7,5	36,0
Phosphates (µg/L)	59,0	39,3	25,8	92,4	2,8	3,0

Annexe 2

Tableau : Paramètres organoleptiques et physicochimiques de la rivière Banco de juin 2018 à novembre 2018

Paramètres physico-	Jui 18	Juil 18	Aou 18	Sep 18	Oct 18	Nov 18
chimiques						
Turbidité (UNT)	104	185	79,2	93,8	91,1	87
Couleur (UCV)	530	545	350	590	390	490
Conductivité (µS.cm <sup>-1</sup> )	44,1	62,8	47,4	45,4	41,5	37,7
Température (°C)	27,5	25,6	25,7	26,1	28,5	28,6
pH	6,08	6,29	5,70	6,86	6,32	6,14
Nitrates (mg/L)	2,6	2,8	2,5	2,7	1,7	4,0
Nitrites (mg/L)	0,12	0,29	0,12	0,17	0,07	0,16
Ammonium (mg/L)	0,04	26,20	0,39	0,46	0,53	0,43
Chlorure (mg/L)	8,8	20,5	8,4	7,5	34,0	6,1
DHT (°F)	70	150	50	75	45	65
TAC (mg/L)	205	170	135	135	65	120
Fer total (mg/L)	1,55	3,00	1,70	1,60	1,15	1,45
Manganèse (mg/L)	0,001	0,038	0,036	0,007	0,006	0,140
Aluminium (mg/L)	0,100	0,460	0,015	0,180	0,150	0,410
Fluorure (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Zinc (mg/L)	0,2	0,52	0,18	0,2	0,28	0,33
Sulfate (mg/L)	19	41	22	29	16	24
Sodium (mg/L)	6,7	13,0	5,5	4,9	22,0	4,0
Potassium (mg/L)	2,5	3,1	2,4	2,6	2,4	2,8
Phosphore (mg/L)	12,3	31,8	10,1	18,2	8,1	12,4
Magnésium (mg/L)	25	41	16	22	26	20
Soufre	6	14	7	10	5	8
Calcium (mg/L)	2	40	2	10	6	80
Bicarbonates	120	100	80	80	40	75
Matières organiques	5,12	4,76	5,90	1,04	2,78	4,73
Silice (mg/L)	10,5	20,5	12,0	13,0	8,0	15,5
Phosphates (µg/L)	37,4	96,4	30,5	55,0	24,6	37,7

# **RESUME**

#### Introduction

Abidjan est une ville offrant des sites de baignade en eau de mer comme en eau douce. Ces baignades sont prisées par les populations tant pour les activités de loisirs qu'économiques. La rivière Banco située dans ladite ville fait partir de ces baignades très fréquentées. L'étude réalisée sur cette eau de baignade avait pour objectif d'évaluer la qualité physicochimique et microbiologique pour apprécier le risque sanitaire encouru par les populations qui s'y baignent.

#### Méthodes

La méthodologie a consisté à réaliser douze campagnes à raison d'une campagne mensuelle de prélèvements d'échantillons de cette eau en un point géolocalisé de décembre 2017 à novembre 2018. Les paramètres physicochimiques ont été déterminés par des méthodes électrochimiques, colorimétriques et spectrophotométriques. L'analyse microbiologique a été réalisée par la technique de filtration sur membrane.

#### Résultats

Le point de prélèvement des échantillons d'eau de la rivière Banco est localisé selon une longitude de 05°21'697" et une latitude de 004°21'532". Cette eau douce est caractérisée par un pH variant de 5,70 à 10,14 et une faible conductivité allant de 37,7 à 72,4 μS.cm<sup>-1</sup> (<100 μS.cm<sup>-1</sup>). Au plan microbiologique, la rivière a montré une présence élevée de germes indicateurs de pollution fécale notamment en *E. coli* et *E. faecalis*. Les teneurs de certains paramètres physicochimiques comme le pH, la turbidité, la couleur et microbiologiques comme les coliformes thermotolérants, *E. coli* et *E. faecalis* ne sont pas conformes aux normes des eaux de baignade aménagées ivoiriennes, algériennes, canadiennes, OMS et de l'Union Européenne.

#### Conclusion

L'eau de baignade de la rivière Banco est une eau douce de faible conductivité et de qualité non satisfaisante pour la baignade notamment sur le plan microbiologique. Il convient aux autorités de prendre des mesures pour assurer la surveillance, la protection et l'amélioration continue de la qualité de cette eau afin de préserver la santé des baigneurs.

Mots clés : Eaux de baignade, Physicochimie, Microbiologie, Rivière Banco