



Année: 2016 – 2017



N°1863/17

**THESE**

Présentée en vue de l'obtention du

**DIPLOME D'ETAT DE  
DOCTEUR EN PHARMACIE**

Par

**DOSSO OUSMANE VAZOUMANA**

# **EVALUATION DE LA QUALITE DE L'EAU DE BAIGNADE DE LA CASCADE DE MAN**

*Soutenue publiquement le 25 Septembre 2017*

**COMPOSITION DU JURY :**

<b>Président de jury</b>	<b>: Monsieur KOUADIO KOUAKOU LUC, Professeur Titulaire</b>
<b>Directeur</b>	<b>: Monsieur AMIN N'CHO CHRISTOPHE, Maître de conférences agrégé</b>
<b>Assesseurs</b>	<b>: Madame SANGARE-TIGORI BEATRICE, Maitre de conférences agrégé</b>
	<b>: Madame KOUASSI AGBESSI THERESE, Maitre assistante</b>

**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 INWOLEY Kokou André
Sous-Directeur Chargé de la Recherche	Professeur Ag OGA Agbaya Serge
Secrétaire Principal	Madame NADO-AKPRO Marie Josette
Documentaliste	Monsieur N'GNIMMIEN Koffi Lambert
Intendant	Monsieur GAHE Alphonse
Responsable de la Scolarité	Madame DJEDJE Yolande

## **III. PERSONNEL ENSEIGNANT PERMANENT**

### **1.PROFESSEURS TITULAIRES**

M. ABROGOUA Danho Pascal	Pharmacie Clinique
Mmes AKE Michèle	Chimie Analytique, Bromatologie
ATTOUNGBRE HAUHOUOT M.L.	Biochimie et Biologie Moléculaire
M. DANO Djédjé Sébastien	Toxicologie.
INWOLEY Kokou André	Immunologie
Mme KONE BAMBA Diéneba	Pharmacognosie
M. KOUADIO Kouakou Luc	Hydrologie, Santé Publique
Mme KOUAKOU-SIRANSY Gisèle	Pharmacologie
M. MALAN Kla Anglade	Chimie Ana., contrôle de qualité
MENAN Eby Ignace	Parasitologie - Mycologie

MONNET Dagui	Biochimie et Biologie Moléculaire
Mme SAWADOGO Duni	Hématologie
M. YAVO William	Parasitologie - Mycologie

## 2. MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

M. AHIBOH Hugues	Biochimie et Biologie moléculaire
Mme AKE-EDJEME N'guessan Angèle	Biochimie et Biologie moléculaire
M. AMARI Antoine Serge G.	Législation
AMIN N'Cho Christophe	Chimie analytique
BONY François Nicaise	Chimie Analytique
DALLY Laba Ismael	Pharmacie Galénique
DEMBELE Bamory	Immunologie
DJOHAN Vincent	Parasitologie -Mycologie
GBASSI K. Gildas	Chimie Physique Générale
Mme IRIE-N'GUESSAN Amenan	Pharmacologie
M. KOFFI Angely Armand	Pharmacie Galénique
Mme KOUAKOU-SACKOU Julie	Santé Publique
M. KOUASSI Dinard	Hématologie
LOUKOU Yao Guillaume	Bactériologie-Virologie
OGA Agbaya Stéphane	Santé publique et Economie de la santé
OUASSA Timothée	Bactériologie-Virologie
OUATTARA Mahama	Chimie organique, Chimie thérapeutique
Mmes POLNEAU-VALLEE Sandrine	Mathématiques-Statistiques
SANGARE TIGORI Béatrice	Toxicologie
M. YAPI Ange Désiré	Chimie organique, chimie thérapeutique
ZINZENDORF Nanga Yessé	Bactériologie-Virologie

## 3. MAITRES ASSISTANTS

M. ADJAMBRI Adia Eusebé	Hématologie
ADJOUNGOUA Attoli Léopold	Pharmacognosie
Mmes ABOLI-AFFI Mihessé Roseline	Immunologie
AKA ANY-GRAH Armelle Adjoua S.	Pharmacie Galénique

	ALLA-HOUNSA Annita Emeline	Sante Publique
M	ANGORA Kpongbo Etienne	Parasitologie - Mycologie
Mmes	AYE-YAYO Mireille	Hématologie
	BAMBA-SANGARE Mahawa	Biologie Générale
	BARRO-KIKI Pulchérie	Parasitologie - Mycologie
M.	CABLAN Mian N'Ddey Asher	Bactériologie-Virologie
	CLAON Jean Stéphane	Santé Publique
Mmes	DIAKITE Aïssata	Toxicologie
	FOFIE N'Guessan Bra Yvette	Pharmacognosie
M.	KASSI Kondo Fulgence	Parasitologie-Mycologie
Mme	KONAN-ATTIA Akissi Régine	Santé publique
M.	KONAN Konan Jean Louis	Biochimie et Biologie moléculaire
Mmes	KONATE Abibatou	Parasitologie-Mycologie
	KOUASSI-AGBESSI Thérèse	Bactériologie-Virologie
M.	MANDA Pierre	Toxicologie
	N'GUESSAN Alain	Pharmacie Galénique
Mme	VANGA ABO Henriette	Parasitologie-Mycologie
M.	YAYO Sagou Eric	Biochimie et Biologie moléculaire

#### 4.ASSISTANTS

M.	ADIKO Aimé Cézaire	Immunologie
	AMICHIA Attoumou Magloire	Pharmacologie
Mmes	AKOUBET-OUAYOGODE Aminata	Pharmacognosie
	ALLOUKOU-BOKA Paule-Mireille	Législation
	APETE Sandrine	Bactériologie-Virologie
	BEDIAKON-GOKPEYA Mariette	Santé publique
	BLAO-N'GUESSAN Amoin Rebecca J.	Hématologie
M.	BROU Amani Germain	Chimie Analytique
	BROU N'Guessan Aimé	Pharmacie clinique
	COULIBALY Songuigama	Chimie organique, chimie thérapeutique
M.	DJADJI Ayoman Thierry Lenoir	Pharmacologie
	DJATCHI Richmond Anderson	Bactériologie-Virologie
Mmes	DONOU-N'DRAMAN Aha Emma	Hématologie

	DOTIA Tiepordan Agathe	Bactériologie-Virologie
M.	EFFO Kouakou Etienne	Pharmacologie
Mme	KABLAN-KASSI Hermance	Hématologie
M.	KABRAN Tano Kouadio Mathieu	Immunologie
	KACOU Alain	Chimie organique, chimie thérapeutique
	KAMENAN Boua Alexis Thierry	Pharmacologie
	KOFFI Kouamé	Santé publique
	KONAN Jean Fréjus	Biophysique
Mme	KONE Fatoumata	Biochimie et Biologie moléculaire
M.	KOUAHO Avi Kadio Tanguy	Chimie organique, chimie thérapeutique
	KOUAKOU Sylvain Landry	Pharmacologie
	KOUAME Denis Rodrigue	Immunologie
	KOUAME Jérôme	Santé publique
	KPAIBE Sawa Andre Philippe	Chimie Analytique
Mme	KRIZO Gouhonon Anne-Aymonde	Bactériologie-Virologie
M.	LATHRO Joseph Serge	Bactériologie-Virologie
	MIEZAN Jean Sébastien	Parasitologie-Mycologie
	N'GBE Jean Verdier	Toxicologie
	N'GUESSAN Déto Ursul Jean-Paul	Chimie organique, chimie thérapeutique
Mmes	N'GUESSAN Kakwokpo Clémence	Pharmacie Galénique
	N'GUESSAN-AMONKOU Anne Cynthia	Législation
	ODOH Alida Edwige	Pharmacognosie
	SIBLI-KOFFI Akissi Joëlle	Biochimie et Biologie moléculaire
	SICA-DIAKITE Amelanh	Chimie organique, chimie thérapeutique
	TANOH-BEDIA Valérie	Parasitologie-Mycologie
M.	TRE Eric Serge	Chimie Analytique
Mme	TUO Awa	Pharmacie Galénique
M.	YAPO Assi Vincent De Paul	Biologie Générale
Mme	YAPO-YAO Carine Mireille	Biochimie

## 5.CHARGEES DE RECHERCHE

Mme	ADIKO N'dri Marcelline	Pharmacognosie
	OUATTARA N'gnôh Djénéba	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 COMOIE Léopold	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.	AHOUSSE Daniel Ferdinand	Secourisme
	COULIBALY Gon	Activité sportive
	DEMPAH Anoh Joseph	Zoologie
	GOUEPO Evariste	Techniques officinales
Mme	KEI-BOGUINARD Isabelle	Gestion
MM	KOFFI ALEXIS	Anglais
	KOUA Amian	Hygiène
	KOUASSI Ambroise	Management
	N'GOZAN Marc	Secourisme
	KONAN Kouacou	Diététique
Mme	PAYNE Marie	Santé Publique



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

## **I. BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE**

Professeur	LOUKOU Yao Guillaume	Maître de Conférences Agrégé Chef de département
Professeurs	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-Assistant
	APETE Sandrine	Assistante
	DJATCHI Richmond Anderson	Assistant
	DOTIA Tiepordan Agathe	Assistante
	KRIZO Gouhonon Anne-Aymonde	Assistante
	LATHRO Joseph Serge	Assistant

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

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

## **III. BIOLOGIE GENERALE, HEMATOLOGIE ET IMMUNOLOGIE**

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

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

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

Professeur	MALAN Kla Anglade	Professeur Titulaire
		Chef de Département
Professeurs	AKE Michèle	Professeur Titulaire
	AMIN N'Cho Christophe	Maître de Conférences Agrégé
	BONY Nicaise François	Maître de Conférences Agrégé
	GBASSI Komenan Gildas	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	BROU Amani Germain	Assistant
	KPAIBE Sawa Andre Philippe	Assistant
	TRE Eric Serge	Assistant

#### **V. CHIMIE ORGANIQUE ET CHIMIE THERAPEUTIQUE**

Professeur	OUATTARA Mahama	Maître de Conférences Agrégé
		Chef de Département
Professeur	YAPI Ange Désiré	Maître de Conférences Agrégé
Docteur	COULIBALY Songuigama	Assistant
	KACOU Alain	Assistant
	KOUAHO Avi Kadio Tanguy	Assistant

N'GUESSAN Déto Ursul Jean-Paul Assistant  
SICA-DIAKITE Amelanh Assistante

## **VI. PARASITOLOGIE, MYCOLOGIE, BIOLOGIE ANIMALE ET ZOOLOGIE**

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

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

Professeur	KOFFI Armand A.	Maître de Conférences Agrégé Chef de Département
Professeurs	AMARI Antoine Serge G. DALLY Laba Ismaël	Maître de Conférences Agrégé Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	AKA ANY-GRAH Armelle A.S. N'GUESSAN Alain ALLOUKOU-BOKA P.-Mireille LIA Gnahoré José Arthur NGUESSAN Kakwokpo Clémence N'GUESSAN-AMONKOU A. Cynthia TUO Awa	Maître-Assistant Maître-Assistant Assistante Attaché de recherche Assistante Assistante Assistante

**VIII. PHARMACOGNOSIE, BOTANIQUE, BIOLOGIE VEGETALE,**  
**CRYPTOGAMIE,**

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

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

Professeurs	ABROGOUA Danho Pascal  KOUAKOU SIRANSY N'doua G. IRIE N'GUESSAN Amenan G.	Professeur Titulaire Chef de Département Professeur Titulaire Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	AMICHIA Attoumou M BROU N'Guessan Aimé DJADJI Ayoman Thierry Lenoir EFFO Kouakou Etienne KAMENAN Boua Alexis KOUAKOU Sylvain Landry	Assistant Assistant Assistant Assistant Assistant Assistant

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

Professeur	POLNEAU-VALLEE Sandrine	Maître de Conférences Agrégé Chef de Département
Docteur	KONAN Jean-Fréjus	Assistant

**XI. SANTE PUBLIQUE, HYDROLOGIE ET TOXICOLOGIE**

Professeur	KOUADIO Kouakou Luc	Professeur Titulaire Chef de département
	DANO Djédjé Sébastien	Professeur Titulaire
	OGA Agbaya Stéphane	Maître de Conférences Agrégé
	KOUAKOU-SACKOU J.	Maître de Conférences Agrégé
	SANGARE-TIGORI B.	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	CLAON Jean Stéphane	Maître-Assistant
	MANDA Pierre	Maître-Assistant
	DIAKITE Aissata	Maître-Assistante
	HOUNSA-ALLA Annita Emeline	Maître-Assistante
	KONAN-ATTIA Akissi Régine	Maître-Assistante
	OUATTARA N'gnôh Djénéba	Chargée de Recherche
	BEDIAKON-GOKPEYA Mariette	Assistante
	KOFFI Kouamé	Assistant
	NGBE Jean Verdier	Assistant

# DEDICACES

*Je dédie cette thèse .....*

*A ALLAH EXALTE SOIT-IL !*

*AU NOM D'ALLAH LE TOUT MISERICORDIEUX, LE TRES MISECORDIEUX.*

*LOUANGE A ALLAH LE SEIGNEUR DE L'UNIVERS.*

*LE TOUT MISERICORDIEUX, LE TRES MISERICORDIEUX,*

*MAITRE DU JOUR DE LA RETRIBUTION.*

*C'EST TOI SEUL QUE NOUS ADORONS ET C'EST TOI SEUL QUE NOUS  
IMPLORONS LE SECOURS.*

*GUIDE-NOUS DANS LE DROIT CHEMIN,*

*LE CHEMIN DE CEUX QUE TU AS COMBLES DE FAVEURS ET NON PAS DE  
CEUX QUI ONT ENCOURUS TA COLERE, NI DES EGARES.*

*AU NOM D'ALLAH LE TOUT MISERICORDIEUX, LE TRES MISECORDIEUX.*

*DIS « IL EST ALLAH UNIQUE ».*

*ALLAH, LE SEUL A ETRE IMPLORE POUR CE QUE NOUS DESTRONS.*

*IL N'A JAMAIS ENGENDRE, N'A PAS ETE ENGENDRE NON PLUS.*

*ET NUL N'EST EGAL A LUI.*



*A MON CHER PERE ADAMA DOSSO*

*Que la grâce soit rendue à Dieu de m'avoir donné un père de ton rang, affectueux, généreux, attentionné, toujours soucieux du bien-être de ses enfants. Malgré ton absence par moment du fait de tes activités tu ne manques sans cesse de nous porter ton estime, ta confiance sans faille. Le chemin fut long parsemé par de nombreuses embuches mais nous y sommes arrivés ensemble grâce à tes nombreuses prières et conseils à mon égard. J'ai l'honneur aujourd'hui de te montrer toute ma gratitude et mon énorme respect à ton égard. Merci pour tes nombreux sacrifices tant moraux, financiers, physiques consentis à-moi ton fils. Que le tout puissant te maintienne encore longtemps parmi nous dans la santé, la joie, la cohésion, l'amour.*

*AMINE.*

### **A MA CHERE MERE KONE MANSIAMI**

*Les mots sont insuffisants pour traduire fidèlement les sentiments que j'éprouve pour toi. Tu as toujours été attentive à tout ce que je fais, tu m'as écouté et assisté à chaque instant de mon existence. Ton amour pour autrui, ta générosité, ton humilité, ton indulgence, la bonne éducation reçue de toi sont pour moi un modèle et ont fait de toi une véritable mère. Merci pour ton soutien moral, financier, tes encouragements, tes conseils, ta confiance sans faille, tes sacrifices et pour les valeurs que tu m'as transmises. Je ne pourrai jamais assez te remercier.*

*Fier de toi, que ce travail soit l'une de tes nombreuses consécutions en hommage à tous tes sacrifices, la consolation à tes angoisses après tant d'années d'attentes.*

*Enfin ! Le chemin a été long mais voici un petit point d'aboutissement. Tes efforts ont payé et le rêve d'hier est devenu aujourd'hui réalité : être pharmacien. Ce travail t'est dédié avec tout mon amour et je prie que le Dieu tout puissant te garde longtemps auprès de nous.*

*Amine.*

### ***A MES FRERES ET SOEURS***

*Merci de l'appui que vous m'avez apporté tout le long de mon existence*

*Merci d'avoir prié pour moi et d'avoir été si aimable avec moi.*

*Je vous serai gré d'accepter cette thèse comme le témoignage de mon affection.*

*Un remerciement spécial à Docteur Dosso Bintou pharmacienne, mon ainée, Dosso Fatime ingénieur Agronome, ma cadette de me soutenir même dans les moments de doute.*

*Qu'Allah vous en récompense au-delà de vos espérances.*

*Amine.*

### ***A MES TANTES : tantie Kadi, tantie Massandje, tantie fatou, tantie Ami***

*Vous êtes comme des mères pour moi, vous m'avez toujours soutenu et apporté votre soutien à chaque étape de mon cursus. Votre sens de générosité, d'amour, de gaieté ne cesse d'illuminer ma vie. Qu'Allah le très haut vous garde longtemps auprès de nous.*

*Amine.*

### ***A MES COUSINS ET COUSINES***

*Merci de m'avoir soutenu tout le temps. Recevez ce travail comme source de motivation. Un remerciement spécial à mon cousin, que dis-je mon frère Dosso Vazoumana pour son soutien sans faille. Mon compagnon de lutte depuis l'âge de 2ans.*

### ***A TOUTES LES FAMILLES DOSSO, COULIBALY, KONATE, KONE ET ALLIES***

*Merci pour tout votre soutien. J'ai toujours été accueilli avec joie et gaieté chaque fois que nous nous réunissons. Je suis reconnaissant à Dieu pour votre soutien et amour. Puisse Dieu vous donner santé, bonheur et longévité.*

*Amine.*

### ***A MES AMIS DE LA P7E***

*Merci à la promotion des pharmaciens 7 étoiles pour tous ces beaux moments passés sur la faculté. C'est maintenant que la famille aura son vrai sens.*

*Un remerciement spécial à MOHAMED, AHIZI, BASILE, MOREL ET FRANCISK, pour moi vous n'êtes plus des amis mais des frères. En dehors de ce diplôme vous êtes pour moi le plus beau cadeau que j'ai reçu sur cette faculté. Merci pour ces bons moments passés ensemble.*

*Que Dieu vous bénisse mes frères.*

***A MON CHER PARRAIN ET IMAM DOCTEUR DEGBEGNON I.***

*Tu as guidé mes premiers pas vers la faculté de pharmacie. Je me rappelle quand j'ai été orienté en pharmacie et que je voulais changer pour la médecine, c'est bien toi qui m'a convaincu d'y rester. C'est encore toi qui m'as convaincu en deuxième année de rester quand tout semblait confus pour moi. Merci pour tes conseils avisés tant sur le plan religieux qu'académique. Qu'Allah t'en récompense énormément.*

*Amine.*

***A MA CHERIE KONATE GNELI MINATA***

*Merci pour ton soutien et ton amour. Tu n'as cessé de croire en moi-même quand j'avais des doutes tu m'as toujours encouragé et soutenu.*

*Je te suis reconnaissant pour ton amour et tes conseils.*

*Puisse Dieu nous donner longue vie pour profiter pleinement de notre amour. Je t'aime énormément.*

### **A MES AMIS DE L'ADEPHARM, FESPAO**

*Merci pour tous ces moments de joies, de gaieté, d'expériences, d'épreuves partagés ensemble. Ces périodes passées en votre compagnie m'ont été d'un apport incommensurable à mon avancée dans le domaine pharmaceutique et de la vie associative. Je me suis formé, j'ai mis en pratique et transmis ce qui m'a été enseigné. Puisse Dieu pérenniser et bénir l'ADEPHARM et la FESPAO.*

*Amine.*

### **A MES FRERES ET SOEURS DE L'AEMP**

*Merci pour la convivialité, le soutien, la fraternité et l'amour que vous m'avez apporté depuis mes premiers pas sur la faculté de pharmacie. Vous n'avez sans cesse ménagé d'efforts pour nous appuyer tant sur le plan académique, que sur le plan religieux. Qu'Allah le très haut renforce notre fraternité et nous maintienne toujours sur le droit chemin.*

*Amine.*

## **AUX AMIS DE LA JEUNE CHAMBRE INTERNATIONALE**

*Distingués sénateurs, chers présidents, chers amis membres, et membres potentiels, je voudrais vous remercier pour la qualité de la formation et des honneurs dont j'ai bénéficié depuis mon adhésion en 2014. Depuis lors, je ne fais qu'apprécier ce si beau voyage entamé ensemble tout en espérant qu'il dure aussi longtemps que possible. Mention spéciale à mon président Koffi Ouphouet Séraphin pour tous ses conseils avisés qui m'aident à me construire ma carrière Jeune Chambre.*

*Be Jaycee, Be Better.*

## **A MES FILLEULS JEMIMA, JORIS, BALAKISSA, HAMZA, OUATTARA, KOROTOUM, MOUCHIA**

*Merci pour le respect que vous m'accordez pour chacun des moments que nous partageons ensemble. Je n'aurais jamais imaginé rencontrer des personnes qui m'estiment, me font confiance, m'admirent, m'aiment à ce point en venant sur cette faculté. Veuillez recevoir ici mon entière gratitude et reconnaissance. Puisse Dieu vous bénir pour que vous puissiez terminer en bonne santé et de la plus belle des manières vos cursus sur la faculté.*

*Amine*

***AUX PERSONNELS DU SERVICE DU LABORATOIRE DES EAUX ET ALIMENTS  
DE L'INHP***

*Merci pour votre collaboration surtout pour vos conseils et votre disponibilité tout au long de ce travail.*

*Vous avez été pour moi un guide, un encadreur et ce travail est le fruit de votre engagement.*

*Je vous suis reconnaissant pour tout.*

*Puisse Dieu vous bénir*

***A LA PHARMACIE KAHIRA***

- *Docteur KEITA TRAORE DJENEBA, pharmacien titulaire de la pharmacie KAHIRA, merci docteur pour la confiance placée en ma personne.*

*Vous êtes pour moi, une mère, une maîtresse et un modèle.*

*Je remercie Allah de vous avoir mis sur mon chemin.*

*Puisse Allah vous donner la santé et longue vie.*

- *Aux personnels de la pharmacie*

*Merci pour vos prières. Dieu veille sur vous et vous bénis.*



**A NOS MAITRES  
ET JUGES**

## A NOTRE MAÎTRE ET PRESIDENT DE JURY

**Monsieur le Professeur KOUADIO KOUAKOU LUC**

- Professeur Titulaire d'Hydrologie et de Santé Publique à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques ;
- Chef du laboratoire d'hygiène de l'Institut National d'Hygiène Publique ;
- Responsable du Diplôme d'Etude Universitaire d'Homéopathie à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques ;
- Responsable du DESS d'Hygiène alimentaire à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques
- Responsable du Master Professionnel de Santé Publique à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques

*Cher Maître,*

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

*C'est un honneur pour nous de vous avoir dans notre jury.*

*Que Dieu vous bénisse !*

## A NOTRE MAÎTRE ET DIRECTEUR DE THESE

### Monsieur le Professeur AMIN N'CHO CHRISTOPHE

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

*Cher Maître,*

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

*Puisse ce travail vous rendre hommage.*

## A NOTRE MAÎTRE ET JUGE

**Madame le professeur SANGARE-TIGORI BEATRICE**

- Maître de Conférences Agrégé en Toxicologie (UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de l'Université Félix Houphouët-Boigny)
- Docteur en pharmacie
- Titulaire d'un Doctorat (PhD) en Toxicologie
- Experte en Toxicologie et Produits Pharmaceutiques près les Tribunaux de Côte d'Ivoire
- Pharmacien analyste au Laboratoire National de Santé Publique (LNSP)
- Titulaire du Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) de Valorisation de la Pharmacopée Africaine (UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de l'Université Félix Houphouët-Boigny)
- Titulaire du DESS de Toxicologie (UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de l'Université Félix Houphouët-Boigny)
- Membre de la Société Savante Pharmaceutique de Côte d'Ivoire (SOPHACI).
- Membre de la Société Ivoirienne de Toxicologie (SITOX)
- 1er Prix de Communication Orale au IVe Congrès International de Toxicologie de Rabat (2012).

*Cher Maître,*

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

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

## A NOTRE MAÎTRE ET JUGE

**Madame le Docteur KOUASSI-AGBESSI THERESE**

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

*Chez maître,*

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

## SOMMAIRE

ABREVIATION – ACRONYME-SIGLE .....	XXXI
LISTE DES TABLEAUX .....	XXXII
LISTE DES FIGURES .....	XXXIII
INTRODUCTION .....	1
Partie I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
I. RESSOURCES EN EAU.....	5
II. EAUX DE LOISIRS.....	9
III. CONTROLE QUALITE DES EAUX DE Baignade.....	21
Partie II : ETUDE EXPERIMENTALE .....	25
I. MATERIEL ET METHODES.....	26
II. RESULTATS.....	52
III.DISCUSSIONS.....	63
CONCLUSION .....	65
RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES .....	67
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	70
TABLE DES MATIERES.....	78
ANNEXES .....	80

## ABREVIATION – ACRONYME-SIGLE

---

AFNOR Agence Française de Normalisation

ASR	Anaérobies Sulfite-Réducteurs
BEA	Bile Esculine Azide
°C	Degré Celsius
°F	Degré Français
CT	Coliformes Totaux
CTh	Coliformes Thermotolérants
DHT	Degré Hydrotimétrique Total
EDTA	Acide Ethylène Diamine Tétra acétique
GAL	β- Galactosidase
GPS	Global Position System# Système de Positionnement Global
GLUC	β- Glucuronidase
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
CLHP	Chromatographie Liquide à Haute Performance
INHP	Institut National d'Hygiène Publique
LD	Limite de Détection
LQ	Limite de Quantification
ND	Non Détecté
MES	Matières En Suspension
MO	Matières Organiques
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PCB	Polychlorobiphenyls
PED	Pays En Développement
pH	Potentiel Hydrogène
SIDA	Syndrome d'Immunodéficience Acquise
TAC	Titre Alcalimétrique Complet
TSN	Tryptone Sulfite Néomycine
UCV	Unités de Couleur Vraie
UFC	Unités Formatrices de Colonies
UNICEF	Fonds des Nations Unies pour l'Enfance
UNT	Unité Néphélométrique de Turbidité
UV	Ultra-Violet

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau I: Microorganismes et mode de contamination[29,30] .....	16
Tableau II: Microorganismes et pathologies associées [29,30] .....	17
Tableau III: Recommandations concernant les eaux de baignade [45].....	23
Tableau IV: Normes françaises de qualité relatives aux eaux de baignade (extrait de l'annexe 1 du décret n° 81-324 du 7 avril 1981 modifié par le décret n° 91-980 du 20 septembre 1991 [1] .....	24
Tableau V: Paramètres organoleptiques de la cascade de Man. ....	53
Tableau VI: Paramètres physico-chimique de la cascade de Man de décembre 2015 .....	54
Tableau VII: Paramètres physico-chimique de la cascade de Man de Juin 2016 .....	55
Tableau VIII: Paramètres physico-chimique de la cascade de Man de décembre 2016 .....	56
Tableau IX: Paramètres physico-chimique de la cascade de Man de juin 2017 .....	57
Tableau X: Paramètres microbiologiques de l'eau de la cascade de Man. ....	60
Tableau XI: Valeurs des métaux lourds analysés de la cascade de Man. ....	60
Tableau XII: Teneurs des HAP recherchés.....	61



## LISTE DES FIGURES

---

Figure 1: Cycle de l'eau .....	6
Figure 2: Cartographie de la région Tonkpi .....	26
Figure 3: Chromatographe liquide haute performance (CLHP) .....	27
Figure 4: Un spectromètre ICP-AES .....	27
Figure 5: Dénombrement des bactéries type Clostridium.....	50
Figure 6: Aperçu de la cascade de Man.....	52
Figure 7: Evolution de la turbidité et de la coloration en fonction du temps .....	53
Figure 8: Evolution de la conductivité et de la dureté en fonction du temps .....	58
Figure 9: Evolution des nitrite, fer, aluminium et fluorure en fonction du temps .....	59
Figure 10: Evolution des phosphates en fonction du temps .....	59
Figure 11: Chromatogramme des HAP recherchés .....	62
Figure 12: Chromatogramme des pesticides recherchés.....	62

# **INTRODUCTION**

L'hydrosphère est le fondement de la vie et des équilibres écologiques. Elle constitue les zones du globe terrestre occupées par l'eau sous ses trois formes (solide, liquide ou gaz) [1]. L'eau constitue dès lors la principale composante de la planète avec 13,6 milliards de km<sup>3</sup> [2]. Elle est d'une importance biologique et économique capitale. L'eau est à la fois un aliment, éventuellement un médicament, une matière première industrielle, énergétique, agricole, et également un moyen de transport. Ses usages sont donc multiples. Sur le plan sanitaire, ils sont dominés surtout par la fourniture collective ou individuelle d'eau potable utilisable à des fins alimentaires, domestiques et d'hygiène. L'eau est en outre utilisée dans l'agriculture, l'aquaculture, l'industrie, l'artisanat, les loisirs aquatiques dont la baignade [1]. Cette dernière provient essentiellement des 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 et les lacs [3]. Elles ont une qualité plus ou moins régulière selon les rejets qui s'y déversent ou encore selon le ruissellement des pluies. Les plus importantes sources potentielles de pollution sont celles liées aux activités socio-économiques notamment l'agriculture, l'industrie, la pêche artisanale et le tourisme [4–6]. Ces sources de pollution sont surtout liées à l'utilisation intensive des pesticides et des engrais, à la mauvaise gestion des décharges d'ordures, des rejets des eaux usées non traitées des industries, des hôpitaux, des ménages et à une augmentation rapide de la population [7,8].

La maîtrise de la qualité de ces eaux est un aspect fondamental du développement humain. Les eaux de surface du monde ont fait l'objet de plusieurs études quantitatives et qualitatives [3,9,10]. En Côte d'Ivoire, les travaux réalisés sur le bassin versant de N'zi [11], le lac de Yamoussoukro [12] et la lagune Ebrié [13] ont rapporté que ces eaux sont polluées. Cette pollution est causée par l'intensification des activités agricoles, industrielles et domestiques [14–16]. Ces eaux deviennent alors impropres à la consommation et même inutilisables pour d'autres usages [17–19].

La contamination des eaux de surface utilisées comme baignade est fréquente. Ces contaminations proviennent des eaux usées urbaines, des sources ponctuelles de pollution (fosses « septiques ») ou des excréments d'animaux domestiques ou sauvages. La mauvaise qualité est associée à une augmentation de fréquence des maladies entériques (salmonelloses), des maladies respiratoires (légionelloses) ou des affections cutanées (prurit) [20,21].

La cascade Ypou du mont Tonkoui appelée couramment cascade de Man, joyau naturel et attractif des touristes et de nombreux ivoiriens, est un lieu fréquenté tant pour sa beauté que pour son eau pour la baignade. Il est dès lors important de connaître les caractéristiques de cette eau pour apprécier le risque sanitaire encouru par la population concernée par la baignade. C'est dans ce contexte que cette étude a eu pour objectif général d'évaluer la qualité de l'eau de baignade de la cascade de Man.

Les objectifs spécifiques étaient de :

- Situer géographiquement la cascade de Man
- Déterminer la composition physico-chimique de l'eau de la cascade de Man,
- Dénombrer les germes indicateurs de pollution fécale,
- Rechercher les pesticides, les métaux lourds et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

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

- La première partie consacrée à des généralités sur les eaux de surface et les eaux de loisirs.
- La seconde partie, l'étude expérimentale comprendra :
  - le matériel et les méthodes
  - les résultats et la discussion.

# **Partie I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

## **I. RESSOURCES EN EAU**

### **I.1. Cycle de l'eau**

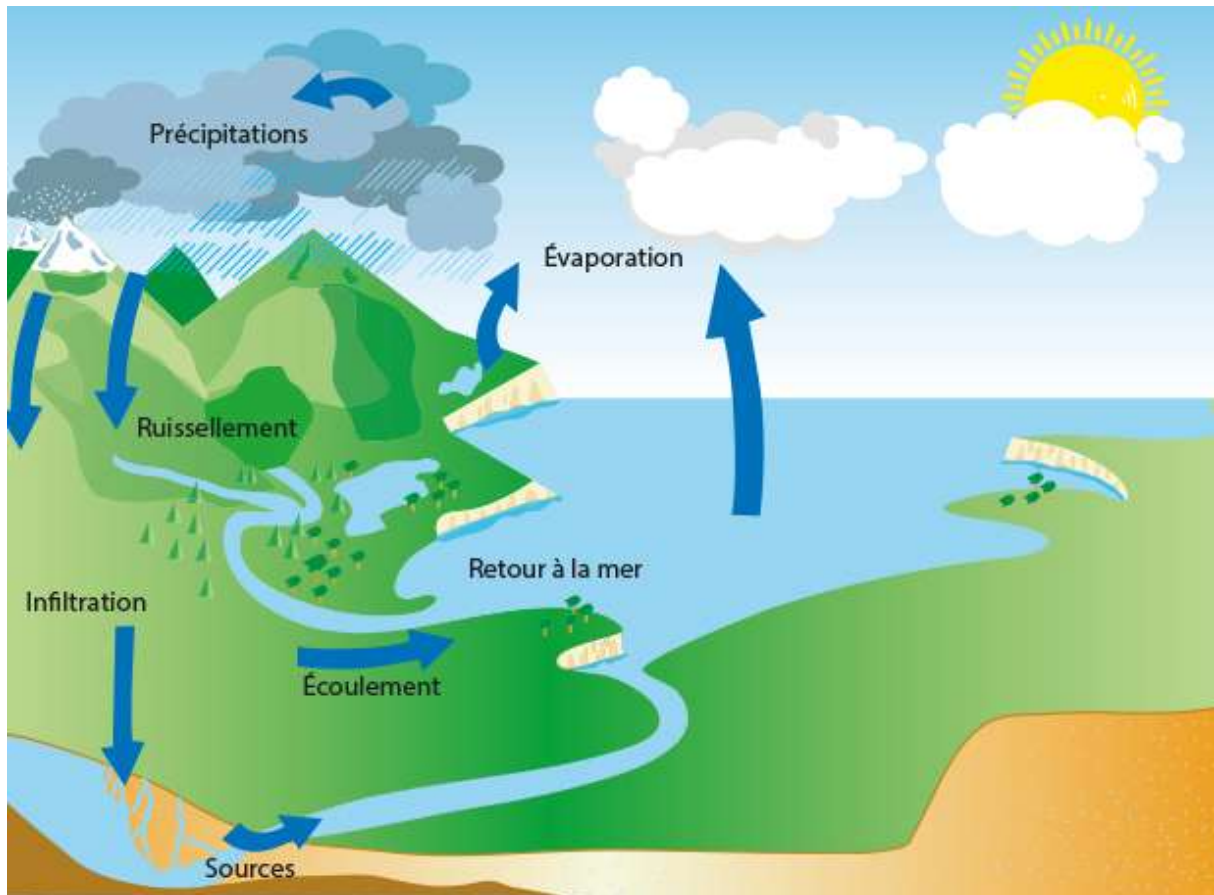
La masse d'eau totale de l'hydrosphère n'évolue pas au cours des années, elle reste toujours constante : l'eau s'évapore, forme la vapeur d'eau qui, en se transformant en pluie, va alimenter les mers, les cours d'eau et les nappes souterraines.

L'eau change d'état au cours de son cycle, passant de l'état gazeux à l'état liquide ou à l'état solide.

Dans l'atmosphère, l'eau est surtout présente à l'état de vapeur. Puis sous l'effet du refroidissement, l'eau passe de l'état de vapeur à l'état liquide. Cette eau liquide est concentrée dans les nuages puis dans les précipitations.

Une fois que l'eau a atteint le sol, son cycle va se dérouler essentiellement sous forme liquide. Une partie de cette eau est en mouvement, tandis que l'autre est stockée dans les nappes souterraines. Une partie de l'eau en mouvement est utilisée par les plantes, le reste est drainé vers les rivières ou dans les nappes. Les racines des plantes vont capter l'eau, qui s'évaporerait ensuite par le système de transpiration des feuilles. En outre, les océans évaporent une partie de leur eau sous l'effet du soleil.

Le moteur de ce cycle est le soleil, ou plus exactement l'énergie solaire qu'il dégage. En effet, c'est cette dernière qui entraîne les changements d'état de l'eau : la formation et la fonte des glaces, ou encore l'évaporation de l'eau dans l'atmosphère [22,23].



**Figure 1: Cycle de l'eau**

Source: [22,23]

## **I.2 Les différentes sources d'approvisionnement en eau**

### **I.2.1 Eaux de pluie**

Les eaux de pluie sont collectées à partir des toitures des maisons dans des récipients ou des impluviums. Ces eaux présentent à l'origine sur le plan chimique, une carence en certains éléments indispensables à la santé comme le sodium, magnésium, manganèse, fer, iode tandis qu'elles sont pures sur le plan microbiologique [24].

### **I.2.2 Eaux souterraines**

Les eaux souterraines ont toujours été une source importante d'approvisionnement en eau potable pour les populations [25].

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

protection, la technique de puisage sont autant de facteurs pouvant contaminer ces eaux.

En outre, elles peuvent être chargées en certains éléments minéraux ; on aura alors les eaux saumâtres riches en chlorure de sodium (NaCl), les eaux dures riches en calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ), les eaux ferrugineuses riches en fer ( $\text{Fe}^{++}$ ) [24].

### **I.2.3 Eaux de surface**

#### **I.2.3.1 Origine**

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

#### **I.2.3.2 Caractéristiques des eaux de surface**

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. Par échange à la surface eau-atmosphère, ces eaux se chargent en gaz dissous ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ).

Il faut noter :

- la présence quasi générale de gaz dissous, en particulier le dioxygène ( $\text{O}_2$ ),
- la présence de matières organiques d'origine naturelle. Ces dernières proviennent de la décomposition des organismes végétaux et animaux



vivant à la surface du bassin versant ou dans la rivière et qui se décomposent après leur mort,

- une concentration importante en matières en suspension, tout au moins pour les eaux courantes. Ces matières en suspension sont très diverses, allant des particules colloïdales aux éléments constitutifs entraînés par les rivières en cas d'augmentation du débit. Dans le cas des eaux de barrages, le temps de séjour provoque une décantation naturelle des éléments les plus grossiers : La turbidité résiduelle est alors colloïdale ;
- la présence de plancton : les eaux de surface sont le siège d'un développement important de phytoplancton (algues...) et de zooplancton. Dans certaines conditions, une vie aquatique intense (de végétaux saprophytes, de poissons) peut se développer ;
- les variations journalières ou saisonnières: elles sont constituées de variations climatiques et de variations de végétation (chute des feuilles). Elles peuvent être aléatoires (pluies soudaines, orages, pollutions accidentelles). Dans les retenues d'eau de surface, la qualité de l'eau varie de la surface de l'eau jusqu'au fond de la retenue ( $O_2$ , Fe, Mn Oxydabilité, plancton). Le profil de chacun de ces paramètres varie lui-même en fonction des périodes de l'année ;
- la pollution organique conduisant souvent à l'eutrophisation des eaux [24].

En Côte d'Ivoire, de nombreuses études sur la qualité de ces eaux de surface ont montré une pollution de ces eaux du fait des activités humaines (agriculture, industries...) [11–13].

### **I.2.3.3 Composition**

Les eaux de surface présentent une température et une turbidité variables. Une couleur variable également liée aux matières en suspension sauf dans les eaux douces et acides. On note également une absence en fer et en manganèse à l'état

dissous sauf en profondeur en cas d'eutrophisation. Le sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ) est généralement absent. Les ammoniums sont présents dans les eaux très polluées tandis que les nitrates sont peu abondants. La teneur en silice est en général modérée dans les eaux de surface. Les micropolluants organiques et minéraux sont présents dans les eaux de surface des pays développés mais susceptibles de disparaître rapidement de ces eaux après élimination de la source de pollution. Elles contiennent également des éléments vivants (bactéries, virus, parasites). Les solvants chlorés sont rarement présents. La minéralisation globale est variable en fonction des terrains traversés [24].

#### **I.2.3.4 Potabilités des eaux de surface**

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

- urbaine : eaux usées provenant des latrines et des fosses septiques
- industrielle : polluants et micro polluants organiques (hydrocarbures, solvants, produits de synthèse, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniacale, produits toxiques)
- agricole : engrais et produits pesticides entraînés par les eaux de pluies et de ruissellement et également des rejets organiques dus à la présence d'élevages importants [24].

## **II. EAUX DE LOISIRS**

### **II. 1. Définition**

Les eaux de loisirs sont des eaux utilisées à des fins récréatives notamment pour des activités sportives et ludiques. C'est en ce sens que la baignade est beaucoup répandue. Au-delà de sa fonction récréative, elle joue un rôle social important. L'eau est aussi le terrain de véritables activités sportives permettant le

développement et l'équilibre physique des pratiquants. Au premier rang de ces sports figure la natation [1].

## II.2. Classification

Les sites où se pratiquent les activités de loisirs peuvent être classés en deux catégories, les piscines et les baignades.

Les établissements comportant un ou plusieurs bassins artificiels sont regroupés sous le terme générique de **piscines**. La qualité de l'eau est assurée par la mise en œuvre en continu d'un certain nombre de traitements, dont la désinfection.

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

- Les baignades en eau de mer, qui s'agrémentent souvent de plages très fréquentées ; la qualité de l'eau et des plages dépend, en dehors des rejets de polluants et de la fréquentation, des phénomènes de marée dont l'amplitude varie suivant la région littorale et le moment de l'année ;
- Les baignades en eau douce, qui présentent une grande variété de sites comme les rivières, les torrents, les retenues naturelles (lacs) ou artificielles (étangs, gravières, barrages-réservoirs) [1].

## II.3 Les piscines

### II.3.1 Définition

Les piscines sont des établissements généralement couverts, comportant un ou plusieurs bassins permettant le bain, la natation ou des activités apparentées dans une eau désinfectée à une température de l'ordre de 28 °C, et des installations

collectives annexes (vestiaires, sanitaires, plages). En termes de conception, de fonctionnement et de surveillance/contrôle, ces établissements réglementés sont assez bien maîtrisés aux plans technique et sanitaire. La qualité de l'eau est essentielle y compris les sols, les bassins et l'air environnant. Les piscines se caractérisent par des circuits à respecter. Les circuits des baigneurs et non baigneurs sont bien distincts. Ces circuits comportent des pédiluves désinfectants disposées à l'entrée des bassins, des sanitaires, des vestiaires, des douches.

Indépendamment de l'entretien des sols, des plages et annexes et des parois des bassins, du maintien de la qualité de l'air de l'établissement (compromis à trouver entre renouvellement d'air et économie d'énergie) et de la qualité de l'eau des pédiluves, le traitement de l'eau recyclée et son renouvellement partiel constituent des processus essentiels [1].

### **II.3.2 Traitement des piscines**

Le traitement de l'eau recyclée comporte des étapes successives de préfiltration et de désinfection. La première, rigoureusement indispensable, est ou non associée à une floculation (sulfate d'alumine) selon la nature du support utilisé (sable, diatomite). C'est une opération qui facilite la dépollution de l'eau et la filtration. La préfiltration est indispensable à la sécurité sanitaire, car elle améliore la limpidité de l'eau et la désinfection ultérieure, tout en limitant l'utilisation de désinfectant et la formation de sous- produits de désinfection. La désinfection recourt à divers procédés agréés par l'autorité sanitaire. Le désinfectant le plus utilisé est le chlore sous diverses formes (chlore gazeux, eau de Javel surtout, hypochlorite de calcium, chloro-cyanurates). On utilise moins souvent le brome (brome liquide, bromo-cyanurates), l'ozone (dénué d'effet rémanent, donc associé à une désinfection d'appoint) et des désinfectants rémanents telles des guanidines (Baquacil). Le procédé cuivre-argent a été aussi préconisé, mais

avec un moindre succès. Ces désinfectants doivent être utilisés dans des conditions bien précises, notamment de concentration et de pH. Le chlore présente bien des avantages techniques et économiques, mais a l'inconvénient de produire, surtout si le traitement est mal géré, des sous-produits minéraux (chloramines) et organiques (haloformes) peu ou pas désinfectants, volatils et irritants, qui affectent la qualité de l'air de la piscine et le confort des usagers. Enfin, le renouvellement partiel de l'eau se fait au jour le jour par un volume d'eau indexé au nombre d'usagers du bassin (30 L/baigneur/ jour, en France); une vidange totale de l'eau du bassin, avec nettoyage complet, doit intervenir au moins deux fois par an [1].

### **II.3.3 Risques sanitaires**

Si l'utilisation de l'eau à des fins récréatives est source de bienfaits et si la pratique de sports aquatiques tels que la natation est à juste titre encouragée chez les enfants, notamment dans le cadre scolaire, ces activités présentent cependant des risques divers, liés ou non à la qualité de l'eau. L'enjeu est de maîtriser ces risques pour qu'au fur et à mesure que se développent des activités aquatiques, le rapport bénéfice-risque soit élevé [1].

Maîtriser ces risques, c'est de les analyser pour mettre en place des mesures de prévention adaptées, à l'intérieur d'un processus dynamique d'évaluation et de gestion.

Trois catégories de dangers de divers ordres et d'importance inégale, sont décelées :

- ✓ dangers physiques : ils sont relatifs à des accidents et traumatismes divers (chutes, accidents de plongée, noyade). Des accidents mortels récents, en France, ont mis en cause les grilles du dispositif d'aspiration de l'eau recyclée en fond de bassin.

- ✓ dangers chimiques : ils sont souvent relatés à propos des désinfectants et sous- produits dont les chloramines (trichloramine volatile) et les bromamines ou haloformes volatils (chloroforme, bromoforme). Ces sous-produits, passant en phase atmosphérique et témoins d'une gestion imparfaite des bassins, produisent des odeurs et des irritations oculaires, respiratoires et cutanéomuqueuses que ressentent les usagers et les professionnels des piscines.
- ✓ dangers biologiques : ils sont sans doute ceux auxquels les hygiénistes prêtent le plus d'attention, bien qu'il soit, en général, relativement bénin. Il s'agit, avant tout, d'affections cutanées transmises plus par contact avec le sol ou certaines surfaces contaminées qu'avec l'eau. Ce sont d'abord des mycoses à dermatophytes (pied d'athlète) avec épaissement de la couche cornée, des fissurations et atteintes de l'ongle, affectant plutôt l'adulte, ou des candidoses. La croissance des fungi est favorisée par l'ambiance chaude et humide (plages et sols des vestiaires). Les verrues plantaires ou palmaires sont également fréquentes et touchent plutôt les enfants; causées par des papillomavirus très contagieux, elles sont transmises par les sols ou par contact interhumain et favorisées par le ramollissement de la peau et un assèchement insuffisant [1].

## **II.4 Les Baignades**

### **II.4.1 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 [26].

### **II.4.2 Risques liés à la fréquentation des baignades**

Le risque est avant tout microbiologique, mais les dangers associés à la baignade ne sont pas seulement liés à la qualité de l'eau. Ce sont entre autres les traumatismes, les accidents etc... [27].

### **II.4.3 Origine des contaminations**

Les contaminants des eaux de baignade proviennent de plusieurs sources de pollution. Ce sont entre autres, la pollution atmosphérique, les conditions environnantes (plantations, animaux sauvages...), les contaminants apportés par les baigneurs (cheveux, peaux, sécrétions...) et également les contaminants apportés par les non baigneurs (chaussures...).

### **II.4.4. Nature des contaminants**

Les contaminants sont de divers ordres. Ils sont principalement de nature biologique et chimique (les pesticides, les HAP...) [27].

#### **II.4.4.1 Nature biologique**

##### **II.4.4.1.1 Généralités**

Les indicateurs biologiques sont les paramètres les plus importants à considérer pour les eaux à usage domestique. Ils correspondent à des germes pathogènes qui proviennent du rejet des eaux usées domestiques ou industrielles directement dans les cours d'eau et/ou des lessivages des sols [28].

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

des maladies entériques, des maladies respiratoires ou des affections cutanées, comme l'ont montré plusieurs études épidémiologiques [18, 19].

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.4.4.1.2 Les différents types de germes

- Les bactéries

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

- Les virus

Les virus les plus rencontrés dans les eaux de baignade sont essentiellement les papillomavirus, les entérovirus dont l'origine est diverse (tableau I). Ils proviennent essentiellement des baigneurs mais également des eaux souterraines servant à alimenter les eaux de surface. En effet, la présence des virus (entérovirus, rotavirus...) dans les eaux souterraines est fréquente, et leur survie peut être très longue dans ce milieu où la prédation microbienne est faible [25].

- Les parasites

Les parasites les plus recherchés au niveau des eaux de baignade sont essentiellement les amibes (*Naegleria fowleri*), les cryptosporidies et *Giardia*



*lamblia* responsables respectivement de méningo-encéphalites, de cryptosporidiose et de giardiase [29] (tableau II).

- Les champignons

Les champignons responsables de pathologies liés aux eaux de baignade sont surtout dominés par les dermatophytes responsables de mycoses, d'herpès circiné et d'eczéma. En outre on retrouve également des levures responsables de candidoses et des moisissures qui entraînent des infections des orteils [30] (tableau I et II)

**Tableau I: Microorganismes rencontrés dans l'eau de baignade [29,30]**

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

Tableau II: Microorganismes et pathologies associées [29,30]

		Partie II : Microorganismes		Partie III : Pathologies	
		Cutanées	O.R.L.	Digestives	Diverses
Champignons	Dermatophytes	Mycoses Herpes circiné Eczéma			
	Levures	Candidose (ongles et plis)			
	Moisissures (peu pathogènes)	Infections des orteils	Infections du conduit externe	du auditif	
Bactéries	Staphylocoques	Furoncle, impétigo			conjonctivite
	Streptocoques	Impétigo	Rhinite pharyngite, angine, otite		
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Dermite	Otite		
	Salmonelles			diarrhée	
	Légionnelles				Affection respiratoire
Virus	Papillomavirus entérovirus			diarrhée	
Protozoaires	Amibes cryptosporidies <i>Giardia lamblia</i>			diarrhée	

#### **II.4.4.2 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 et les détergents), et inorganiques tels que les métaux lourds. L'industrialisation au XIX<sup>ème</sup> siècle a eu pour conséquence, le rejet dans les eaux, des quantités de sels de plus en plus importantes [31].

##### **II.4.4.2.1 Pollution par les hydrocarbures**

Les hydrocarbures sont des corps combustibles qui 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 [10]. Plus d'une centaine de HAP ont été découverts dans la nature, seulement 16 ont été sélectionné comme polluants prioritaires [32]. A noter que les hydrocarbures à 3 noyaux sont la cause essentielle de l'impact écotoxicologique des pollutions pétrolières sur les écosystèmes aquatiques [33].

##### **II.4.4.2.2 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 et certaines maladies de l'homme et du bétail.

Pour l'homme, la présence de pesticides dans le milieu aquatique peut entraîner un risque de toxicité aiguë 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 hépatiques, des manifestations endocriniennes (stérilité), une embryotoxicité, et des effets cancérigènes. Il existe également des toxicités écologiques (animaux, plantes...).

#### II.4.4.2.3 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 [34].

##### Le mercure

Le mercure, métal liquide à température ambiante, présente un risque majeur pour l'écosystème marin et pour le consommateur humain; il est utilisé dans des activités très variées: industrie papetière, industrie pharmaceutique, industrie chimique, agriculture [34]. Les effets toxiques de méthylmercure se manifestent par des lésions du système nerveux central, spécialement les centres sensoriels de la vision, de l'audition et de la coordination. Une exposition plus longue entraîne une ataxie (incoordination motrice) et des perturbations de la vision, débilité, paralysie puis mort [35]. 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 [36]. Pour les organismes aquatiques, les effets toxiques peuvent apparaître à des concentrations de 0,03 à 0,1µg/l d'eau avec inhibition de la fécondité et de la ponte.

##### Le plomb

La pollution par le plomb a plusieurs origines: les industries (fonderies de la métallurgie, les câbles, bâtiments... etc.), les incinérations d'ordures et les peintures réalisées avec des composés de sulfates et de plomb basique [36]. 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 [37].

#### L'arsenic

A l'état naturel, les émissions volcaniques entretiennent 90 % des rejets d'arsenic. Il se trouve également dans presque tous les sulfures métalliques naturels. Les émissions, dues à l'activité humaine, proviennent du brûlage de charbon et du fioul qui rejettent une quantité non négligeable dans l'environnement. C'est un poison à effet cumulatif; il peut engendrer plusieurs maladies cutanées (cancer de la peau), neurologiques (douleurs névrites), anémie, gangrènes, ictères et cancers hépatiques [34]. D'après l'OMS, la dose admissible des produits arsenicaux dans l'eau de boisson est de l'ordre de 0,05 mg/l.

#### Le cadmium

Avec le zinc, la toxicité du Cadmium est accrue mais avec les cyanures et le plomb, il a un pouvoir synergique [38].

La présence du cadmium dans le milieu aquatique a un impact sur ses organismes, mais sa toxicité diffère selon l'espèce et la concentration. En effet, en présence des concentrations élevées estimées à l'ordre de 3,3-25 mg/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 [39].

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 [40].

#### Le chrome

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

Le chrome se présente sous deux formes: trivalente ( $\text{Cr}^{3+}$ ) indispensable à la vie humaine car il intervient dans l'utilisation de l'énergie des graisses et des sucres ; et hexavalente ( $\text{Cr}^{6+}$ ) 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  $\text{Cr}^{3+}$  et  $\text{Cr}^{6+}$  doivent être examinées séparément vu que l'un d'eux est nocif [41].

### III- CONTROLE QUALITE DES EAUX DE BAIGNADE

#### III.1 Contrôle biologique

En pratique, le contrôle de la qualité biologique des eaux douces de baignade repose sur l'évaluation des niveaux de concentration de bactéries indicatrices de risque fécal (coliformes thermotolérants, *E. coli*, entérocoques), de pathogènes fécaux (*Salmonella*) ou non (Staphylocoques) et, éventuellement,

d'entérovirus dont la détection requiert des techniques beaucoup plus difficiles et onéreuses que les indicateurs bactériens [1].

### **III.1.1 Les bactéries**

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

### **III.1.2 Les virus**

La détection et le dénombrement des virus est réalisée par culture de cellules humaines ou animales. La culture cellulaire est une technique qui permet de ne détecter que les particules virales infectieuses. L'infectiosité virale peut être décrite comme la capacité des virus à entrer dans des cellules hôtes et à utiliser la machinerie cellulaire pour produire de nouvelles particules virales infectieuses ou virions [42]. 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 [43].

### **III.1.3 Les cryptosporidies et champignons**

Les méthodes d'analyse utilisées pour l'identification et le dénombrement des cryptosporidies sont l'immunofluorescence directe (oocystes) et la PCR (génomique) [44].

Les méthodes d'identification et de dénombrement des champignons sont réalisées par une méthode spectrale (spectrophotométrie Infrarouge) et l'utilisation de milieux de culture artificiels (Sabouraud-Chloramphénicol, dermatophytes...) après concentration [30].

Au Canada des recommandations concernant la qualité des eaux de baignade ont été établies. Elles sont consignées dans le tableau III [45].

**Tableau III: Recommandations concernant les eaux de baignade [45]**

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

### III.2 Contrôle physico-chimique

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

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

En outre, les pesticides, les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont déterminés par méthodes chromatographiques. Ce sont la chromatographie en phase gazeuse et la chromatographie liquide de haute performance qui sont les plus utilisées pour les analyses [46].



Quant aux métaux lourds, ils sont analysés par méthodes spectrométriques. Ils peuvent être analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique ou par spectrophotométrie d'émission atomique. [26]

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

Physico-chimie	Valeur guide (G*)	Valeur impérative (I*)
Ph	-	6-9
Coloration	-	Pas de changement anormal de la couleur
Huiles minérales (mg/L)	$\leq 0,3$	Pas de film visible à la surface de l'eau et absence d'odeur
Substances tensio-actives réagissant au bleu de méthylène mg/L (Lauryl-sulfate)	0,3	Pas de mousse persistante
Phénols (indices phénols) C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH (mg/L)	-	Aucune odeur spécifique
Transparence (m)	2	1
Oxygène dissous (% de saturation O <sub>2</sub> )	80-120	-
Résidus goudronneux et matières flottantes telles que bois, plastique, bouteilles, récipients en verre, en plastique, en caoutchouc et en toute autre matière. Débris ou éclats	Absence	-

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

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

## **Partie II : ETUDE EXPERIMENTALE**

## I-MATERIEL ET METHODES

### I.1 Type et cadre de l'étude

Ce travail est une étude analytique réalisée dans l'ouest de la Côte d'Ivoire dans la région du Tonkpi (Figure 2) sur l'eau de la cascade Ypou du mont Tonkoui dans la ville de Man. Les analyses ont été réalisées d'une part pour les paramètres physico-chimiques classiques et microbiologique à l'antenne de l'Institut National Hygiène Publique(INHP) de Man et d'autre part pour les métaux lourds, les HAP et les pesticides au Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole (LANADA) à Abidjan.



**Figure 2: Cartographie de la région Tonkpi**

### I.2 Matériel

#### I.2.1 Appareillage

L'appareillage est constitué de:

- pH-mètre à sonde (HACH HQ 11d-France),
- Turbidimètre (TURB 430 IR-France),
- Conductimètre à sonde (HACH HQ 14 d-France),
- Bain marie (MEMMERT-France),

- Photomètre (HANNA-Belgique),
- Rampe de filtration (SARTORIUS Goettingen- Germany),
- Incubateurs de terrain (LABNET),
- Stérilisateurs UV,
- Autoclaves de paille (P SELECTA),
- GPS (GARMIN-Etats-unis),
- Un chromatographe liquide [SHIMADZU]
- Spectrophotomètre ICP-OES (Perkin Elmer)
- Appareil photo numérique (SONY-Japon).



**Figure 3: Chromatographe liquide haute performance (CLHP)**



**Figure 4: Un spectromètre ICP-AES**

### **I.2.2 Réactifs**

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

#### **Réactifs de chimie:**

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

- DPD1 et DPD3 pour le dosage du chlore libre et du chlore total,
- pastilles Nitratest, poudre Nitratest et pastille Nitricol pour le dosage des nitrates et de nitrites,
- pastilles Ammonia N°1 et Ammonia N°2 pour le dosage de l'ammonium,
- pastille Iron HR pour le dosage du fer,
- pastilles Aluminium N° 1 et Aluminium N° 2 pour le dosage de l'aluminium,
- pastilles de Manganèse N°1 et N°2 pour le dosage du manganèse,
- pastilles Hardicol N°1 et N°2 pour le dosage de la dureté totale,
- pastilles Fluorure N°1 et N°2 pour le dosage des fluorures,
- pastille Alkaphot pour le dosage de l'alcalinité,
- pastille Acidifying CD et la pastille Chloridol pour le dosage des chlorures,
- pastille SulphateTurb pour le dosage des sulfates,
- pastille Potassium K pour le dosage du potassium,
- pastilles phosphate HR et Phosphate SR pour le dosage des phosphates,
- pastilles Calcicol N°1 et Calcicol N°2 pour le dosage du calcium,
- pastille Magnecol pour le dosage du magnésium.

#### **Réactifs de microbiologie:**

Les réactifs de microbiologie sont constitués des Milieux de culture Rapid'E coli 2 Agar (Bio Rad France), BEA (Bio Rad France), gélose TSN (Bio Rad France).

## **I.3 Méthodes**

### **I.3.1 Géolocalisation de la cascade: repérages par GPS**

#### **I.3.1.1 Principe de fonctionnement du GPS**

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

#### **I.3.1.2 Mode opératoire du GPS**

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

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

#### **I.3.2.1 Echantillonnage**

L'échantillonnage s'est fait au cours de quatre campagnes bien distinctes : décembre 2015, juin 2016, décembre 2016 et juin 2017. Le nombre d'échantillons par campagne était constitué de:

- un (1) échantillon de 1000 mL pour les analyses physicochimiques sur l'eau brute,
- un (1) échantillon de 500 mL pour les analyses microbiologiques sur l'eau brute ;

- deux (2) échantillons de 1000mL chacun pour les analyses des métaux lourds, des pesticides et des hydrocarbures aromatiques polyinsaturés(HAP).

➤ **Critères d'inclusion**

L'échantillonnage était constitué de tous les échantillons provenant de cette cascade.

➤ **Critères de non inclusion**

Les critères de non inclusion considérés dans cette étude sont constitués par tout point d'eau situé en dehors de la cascade.

**I.3.2.2 Prélèvement, Transport et Conservation des échantillons**

Les prélèvements ont été réalisés selon les recommandations de l'OMS/PNUE [47]. Les échantillons d'eau sont rangés dans une glacière en vue de les amener au laboratoire tout en respectant la chaîne de froid assurée par des accumulateurs de glace.

Les échantillons prélevés sont transportés à l'abri de la lumière à une température allant de 4°C à 8°C [48].

Les échantillons sont acheminés au laboratoire le plus rapidement possible c'est-à-dire dans les 4 heures qui suivent le prélèvement pour les différentes analyses.

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

### **I.3.3 Analyses des échantillons**

#### **I.3.3.1 Analyses organoleptiques et physicochimiques**

##### **I.3.3.1.1 Analyse des paramètres organoleptiques**

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

###### **I.3.3.1.1.1 Mesure de la Couleur**

La couleur de l'eau est liée à la présence de substances organiques, de métaux comme le fer, le manganèse ou de rejets industriels [49].

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

###### **I.3.3.1.1.2 Détermination de la Turbidité**

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

###### **✓ Principe**

C'est une méthode néphélométrique qui consiste à mesurer la lumière diffusée formant un angle de 90° avec la lumière incidente [48].

###### **✓ Technique**

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



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

### **I.3.3.1.2 Analyse physico-chimique**

#### **I.3.3.1.2.1 Mesure du pH**

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

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

#### **✓ Principe**

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

#### **✓ Mode Opératoire**

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

- 2- Allumer le pH-mètre.
- 3- Etalonner le pH-mètre avec une solution d'étalonnage de pH= 4 et pH=7
- 4- Plonger l'électrode dans l'échantillon. La membrane de verre doit être totalement immergée. Agiter légèrement l'électrode pour homogénéiser le milieu.
- 5- Attendre que la mesure se stabilise et procéder à la lecture directement sur l'affichage digital de l'appareil

#### **I.3.3.1.2 .2 Détermination de la conductivité**

##### **✓ Principe**

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

##### **✓ Mode Opératoire**

- 1- Rincer la cellule à l'eau distillée ou déionisée. 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 [51].

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

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

#### **I.3.3.1.2 .3 Mesure de la température**

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

#### **I.3.3.1.2 .4 Dosage de l'Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)**

##### **✓ Principe**

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

##### **✓ Mode Opératoire**

- 1- Remplir un tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon;
- 2- Ajouter une pastille « Ammonia N°1 » et une pastille « Ammonia N°2 », écraser et remuer pour dissoudre;
- 3- Attendre 10 minutes pour permettre le développement complet de la couleur;
- 4- Sélectionner Phot 62 pour mesurer l'ammonium en milligramme par litre d'eau (mg/L NH<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>.

#### **I.3.3.1.2 .5 Dosage des Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)**

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

### ✓ Principe

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

### ✓ Mode Opératoire

- 1- Remplir un tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon à analyser ;
- 2- Ajouter une pastille « Nitricol », écraser et remuer pour dissoudre ;
- 3- Attendre 10 minutes pour permettre le développement de la couleur ;
- 4- Sélectionner Phot 64 pour mesurer les nitrites en milligramme par litre d'eau ( $\text{mg/L NO}_2^-$ ) ;
- 5- Lire le résultat à la longueur d'onde de 520 nm.

#### I.3.3.1.2 .6 Dosage des Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

Le dosage des nitrates s'effectue par variation de la méthode à la sulfanilamide.

### ✓ Principe

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

### ✓ Mode Opératoire

- 1- Prélever 20 mL d'échantillon dans le tube Nitratest;
- 2- Ajouter une cuillère de poudre Nitratest et une pastille Nitratest, ne pas écraser la pastille. Fermer le tube avec le capuchon et agiter pendant une minute;
- 3- Attendre une autre minute puis remuer le tube trois ou quatre fois pour permettre la floculation. Attendre encore deux minutes ou jusqu'à l'obtention d'une solution claire;

- 4- Enlever le capuchon et nettoyer le haut du tube avec un papier propre. Transférer le contenu de cette solution claire dans une éprouvette ronde, jusqu'au trait 10 mL;
- 5- Ajouter une pastille Nitricol, écraser et remuer pour dissoudre;
- 6- Attendre 10 minutes jusqu'au développement complet de la couleur;
- 7- Sélectionner la longue d'onde 570 nm du photomètre;
- 8- Lire le résultat qui s'affiche en milligramme de nitrates par litre d'eau ( $\text{mg/L NO}_3^-$ ).

#### **I.3.3.1.2 .7 Dosage des Chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) et du Sodium ( $\text{Na}^+$ )**

##### **✓ Principe**

Les chlorures d'un volume connu d'eau sont précipités par le nitrate d'argent ( $\text{AgNO}_3^-$ ) en présence d'acide nitrique. La différence d'absorption permet le dosage.

##### **✓ Mode Opératoire**

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

#### **I.3.3.1.2 .8 Dosage du Fer (Fe)**

##### **✓ Principe**

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

##### **✓ Mode Opératoire**

- 1- Remplir le tube de 10 mL de l'échantillon à analyser.
- 2- Ajouter une pastille « Iron HR », écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Attendre une minute pour permettre le développement de la couleur.
- 4- Sélectionner Phot 19.
- 5- Lire le résultat à la longueur d'onde de 520 nm.
- 6- Le résultat s'affiche en milligramme de fer par litre d'eau (mg/L Fe).

#### **I.3.3.1.2 .9 Dosage du Manganèse (Mn)**

##### **✓ Principe**

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

##### **✓ Mode Opératoire**

- 1- Dans un tube, introduire 10 mL d'eau à analyser.
- 2- Ajouter une pastille de manganèse N°1, écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Ajouter une pastille de manganèse N°2, écraser et remuer pour dissoudre.
- 4- Fermer le tube et attendre 20 minutes pour permettre le développement de la couleur.
- 5- Sélectionner Phot 20.
- 6- Lire le résultat par rapport à une longueur d'onde de 640 nm.
- 7- Le résultat s'affiche en milligramme de manganèse par litre d'eau (mg/L Mn).

#### **I.3.3.1.2 .10 Dosage des Fluorures ( $F^-$ )**

Le dosage des fluorures s'effectue de la façon suivante:

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon.
- 2- Ajouter une pastille « Fluorure N°1 », écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Ajouter une pastille « Fluorure N°2 », écraser et remuer pour dissoudre.
- 4- Attendre 5 minutes pour permettre le développement complet de la couleur.
- 5- Sélectionner Phot 14.
- 6- Lire le résultat qui s'affiche en milligramme de fluorure par litre d'eau (mg/L F).

#### **I.3.3.1.2 .11 Dosage de l'Aluminium (Al)**

Le dosage de l'Aluminium s'effectue par méthode colorimétrique.

##### **✓ Principe**

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

##### **✓ Mode Opératoire**

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

- 7- Le résultat s'affiche en milligramme d'Aluminium par litre d'eau (mg/L Al.)

#### **I.3.3.1.2 .12 Dosage des minéraux (Calcium, Potassium, Magnésium), des Sulfates et des Phosphates.**

##### **✓ Procédure de dosage du calcium**

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

##### **✓ Procédure de dosage du potassium**

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon.
- 2- Ajouter une pastille « Potassium », écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Sélectionner Phot 30.
- 4- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L K.

##### **✓ Procédure de dosage du magnésium**

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

##### **✓ Procédure de dosage des sulfates**

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon.
- 2- Ajouter une pastille « Sulphate Tub », écraser et remuer pour dissoudre.



- 3- Une solution nuageuse indique la présence de sulfate.
- 4- Attendre 5 minutes puis mélanger encore pour assurer l'homogénéité.
- 5- Sélectionner Phot 32.
- 6- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L  $\text{SO}_4^-$ .

**✓ Procédure de dosage des phosphates**

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon
- 2- Ajouter une pastille « Phosphate SR », écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Ajouter une pastille « Phosphate HR », écraser et remuer pour dissoudre.
- 4- Attendre 10 minutes pour permettre le développement complet de la couleur.
- 5- Sélectionner Phot 29.
- 6- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L  $\text{PO}_4^-$ .

**I.3.3.1.2 .13 Détermination du Titre Alcalimétrique Complet (TAC)**

**✓ Principe**

Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la teneur de l'eau en alcalins libres, carbonates et bicarbonates. La détermination du TAC est basée sur la neutralisation de l'eau par l'acide chlorhydrique (HCl) ou l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) en présence d'un indicateur coloré (l'hélianthine) [51].

**✓ 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  $\text{CaCO}_3$ .

### **I.3.3.1.2 .14 Détermination du Degré Hydrotimétrique Total (DHT)**

#### **✓ Principe**

La dureté totale ou degré hydrotimétrique total ou titre hydrotimétrique (TH) est essentiellement due aux ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) dont les concentrations lui sont proportionnelles : 1°F équivaut à 4 mg/l de calcium et 2,4 mg/l de magnésium mais correspond aussi à une solution contenant 10mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . Le DHT est mesuré par complexation du calcium et du magnésium avec le sel disodique de l'EDTA en présence d'un indicateur coloré.

#### **✓ Mode Opératoire**

- 1- Filtrer l'échantillon pour obtenir une solution claire.
- 2- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon.
- 3- Ajouter une pastille « Hardicol N°1 », écraser et remuer pour dissoudre.
- 4- Ajouter une pastille « Hardicol N°2 », écraser et remuer pour dissoudre.
- 5- Attendre 5 minutes pour permettre le développement de la couleur.
- 6- Sélectionner Phot 15.
- 7- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L  $\text{CaCO}_3$ .

#### **Remarque:**

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

### **I.3.3.2 Analyse des pesticides**

Les pesticides ont été analysés par chromatographie liquide de haute performance en utilisant comme phase mobile un mélange eau-acétonitrile en

mode gradient. Les pesticides ont été analysés au cours des deux dernières campagnes. Cette technique a fait un balayage des métaux lourds.

✓ Protocole opératoire

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

✓ Conditions analytiques

Débit de la phase mobile : 0,5 mL/min

Durée de l'analyse : 56 mn

Détection : 205 nm

Température du four : 40°C

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

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

✓ Liste des pesticides recherchés

- ✚ Désisopropylatrazine
- ✚ Metamitron
- ✚ Désethylatrazine
- ✚ Fénuuron
- ✚ Crimidine
- ✚ Aldicarbe
- ✚ Métoxuron
- ✚ Monuron
- ✚ Cyanazine
- ✚ Méthabenzthiazuron
- ✚ Chlortoluron
- ✚ Monolinuron
- ✚ Métazaclor
- ✚ Chlorpropham
- ✚ Parathion-méthyl
- ✚ Chlorfenvinphos
- ✚ Vinclozolin
- ✚ Parathion-éthyl

### **I.3.3.3 Analyse des HAP**

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

✓ Mode opératoire

- 1- Prélever 250 mL de l'échantillon
- 2- Activer la colonne C18 avec successivement 10 mL de méthanol et 10 mL d'eau distillée
- 3- Faire passer les 250 mL de l'échantillon sur la colonne C18

- 4- Assécher la colonne pendant 30 minutes
- 5- Décrocher les HAP avec 5 mL de méthanol
- 6- Récupérer dans un Vial pour l'injection au HPLC.

✓ Conditions analytiques

Phase mobile : Acetonitrile - Eau, v/v  
Débit : 0,5 mL/min  
Température du four : 40°C  
Détection : 280 nm  
Durée de l'analyse : 10 mn

✓ Expressions des résultats

#### **Formule de calcul**

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

*C<sub>Ech</sub> : Concentration de l'Echantillon (µg/mL)*

*S<sub>Ech</sub> : Surface du pic de l'échantillon*

*S<sub>Std</sub> : Surface du pic du standard*

*C<sub>Std</sub> : Concentration du standard (µg/mL)*

*V<sub>f</sub> : Volume final (mL)*

*V.Ech : Masse de l'échantillon (mL).*

#### **I.3.3.4 Analyse des métaux lourds**

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

✓ Principe

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

L'analyse par ICP-AES mesure les radiations émises par les atomes excités ou ionisés. Le rayonnement émis est spécifique d'un élément donné et son intensité est proportionnelle à sa concentration. Pour être excité, l'échantillon est nébulisé sous argon puis injecté dans une torche plasma où l'application d'un champ issu d'un générateur radio fréquence permet la création un plasma. Les températures atteintes par le plasma sont de l'ordre de 5000 à 10000 °K [52].

#### ✓ Conditions d'analyse

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

#### **I.3.3.5 Analyse microbiologique**

La contamination microbiologique est de loin le risque associé à l'eau de boisson le plus grave pour la santé publique, ce qui en fait la priorité lors de l'analyse de la qualité de l'eau. Les agents pathogènes dans l'eau (bactéries, virus, protozoaires et champignons) peuvent entraîner un grand nombre de problèmes de santé [53].

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

- La technique horizontale;
- La méthode du Nombre le Plus Probable (NPP) de MAC GRADY;
- La méthode de la membrane filtrante (technique de référence mondiale) [47].

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

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

✓ **L'appareil de filtration [54]**

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

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

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

✓ **Principe**

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

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

✓ **Procédure de la membrane filtrante**

○ **Activités préopératoire:**

- Stériliser l'unité de filtration (le poste de filtration et l'entonnoir cylindrique) de préférence par flambage soit à l'alcool ou à l'aide d'un camping gaz ;

- Etiqueter les milieux de culture en fonction du numéro des échantillons ;
- Sécher les milieux de cultures pour ramener leur température à 37°C ;
- Allumer le feu du bec Bunsen favorisant un environnement stérile ;

○ **Filtration :**

- 1- Ouvrir les robinets des postes de filtration (seuls les robinets des postes de filtration à utiliser sont ouverts) ;
- 2- Porter la membrane sur le poste de filtration et placer l'entonnoir cylindrique ;
- 3- Prélever 100mL de l'échantillon d'eau à analyser et transvaser dans l'entonnoir ;
- 4- Ouvrir le robinet servant à faire le vide pour permettre la filtration ;
- 5- Oter l'entonnoir cylindrique pour retirer la membrane du poste de filtration avec une paire de pinces stérilisée à nouveau puis porter la membrane sur 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- A 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, thermotolérants et streptocoques fécaux ;
- La recherche et le dénombrement des germes anaérobies sulfite réducteurs (ASR).



✓ **Les coliformes totaux et thermotolérants**

• **Principe**

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

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

• **Mode opératoire**

- Filtrer sur une membrane une prise d'essai (100mL) de l'échantillon d'eau soigneusement homogénéisée à analyser. La membrane est ensuite placée à la surface de la gélose Rapid'E coli 2 ;
- Incuber durant 18 à 24 heures à une température de 37°C ;
- Dénombrer les colonies :
  - Bleues : coliformes totaux
  - Violettes : coliformes thermotolérants (*E. coli*)

✓ **Dénombrement des streptocoques fécaux**

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

• **Principe**

- L'Azide de sodium provoque l'inhibition des bactéries contaminantes à Gram négatif
- Les sels biliaires empêchent la croissance des bactéries Gram positif

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

- **Mode opératoire**

- Filtrer sur une membrane une prise d'essai (100mL) de l'échantillon d'eau soigneusement homogénéisée à analyser. La membrane est ensuite placée à la surface de la gélose BEA
- Incuber durant 24 heures à une température de 37°C
- Dénombrer les colonies entourées d'un halo noir
- ✓ **Recherche des spores de micro- organismes anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) par filtration sur membrane**

- Principe

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

- Mode opératoire

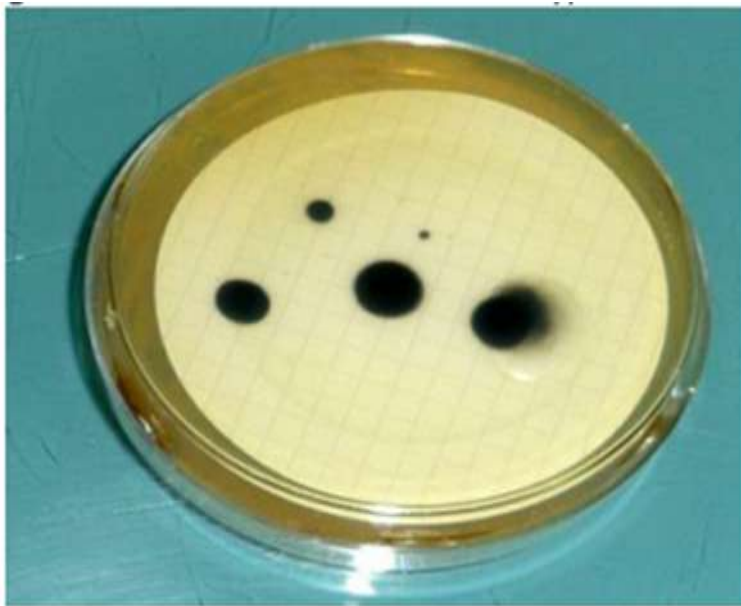
- 1- On sélectionne les spores bactériennes dans l'échantillon par un chauffage au bain-marie à  $75\pm 5^\circ\text{C}$  pendant 15 minutes, pour que les cellules végétatives soient détruites.
- 2- Filtration de 100 mL d'échantillon au travers d'une membrane filtrante stérile dont les pores présentent une dimension de  $0,45\ \mu\text{m}$  pour que les spores de bactéries soient retenues à l'intérieur de la membrane filtrante.
- 3- Dépôt de la membrane à l'envers sur un milieu de culture spécialement sélectif (gélose Tryptone Sulfite Néomycine: milieu TSN).

4- L'anaérobiose est créée par une seconde couche de ce milieu sur la membrane.

Incubation des boîtes à  $37\pm 1^{\circ}\text{C}$  pendant  $44\pm 4$  heures [55].

○ Dénombrement des spores de micro-organismes  
ASR

Durant l'incubation, il y a réduction du sulfite de sodium, sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{S}$ ) et donc production de sulfure de fer se manifestant par un halo noir autour des colonies. Seul ce type de colonie est compté (figure 5) [55].



**Figure 5: Dénombrement des bactéries du genre *Clostridium***

**source : [55]**

➤ **Avantages et limites de la méthode par filtration sur membrane**

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

## II-RESULTATS

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

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

### II.1 Géolocalisation de la cascade

Les coordonnées géographiques de la cascade ont donné une longitude de  $05^{\circ}56,601'$  et une latitude de  $004^{\circ}17,382'$ .



**Figure 6: Aperçu de la cascade de Man**

GPS : Longitude  $05^{\circ}56,601'$  ; Latitude :  $004^{\circ}17,382'$

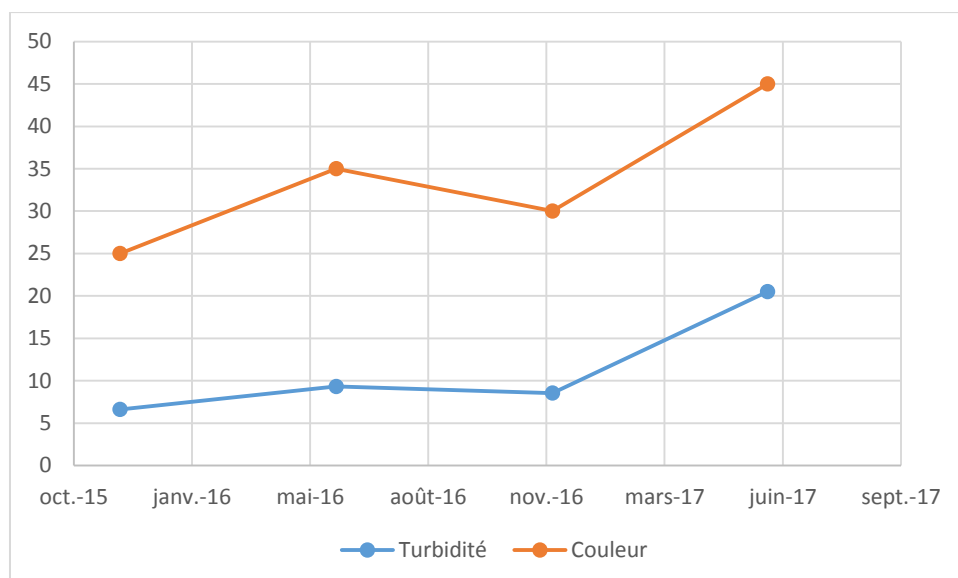
## II.2 Analyse des paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques analysés ici ont été la turbidité et la couleur (tableau V). Ces paramètres mesurés étaient de valeurs élevées. Les résultats se regroupent dans le tableau V. La turbidité et la couleur sont beaucoup plus élevées en période de pluie.

**Tableau V: Paramètres organoleptiques de la cascade de Man.**

Source d'eau	Cascade de Man			
Date de prélèvement	14/12/2015	22/06/2016	21/12/2016	20/06/2017
Heure de prélèvement	8H45	9H10	9H30	9H35
Heure d'analyse	12H50	13H15	14H50	14H50
Couleur(en UCV)	25	35	30	45
Turbidité(en UNT)	6,61	9,31	8,54	20,5

On remarque une évolution avec le temps et dans le même sens pour la turbidité et la couleur avec un maximum en juin 2017 (figure 8).



**Figure 7: Evolution de la turbidité et de la coloration en fonction du temps**

## II.3 Analyse physico-chimique

### II.3.1 Paramètres physico-chimiques

Les résultats des paramètres physico-chimiques classiques analysés sont consignés dans les tableaux VI à IX.

Seul le fer présente des taux supérieurs aux valeurs normales dans les mois de juin 2016 et juin 2017 avec le taux le plus élevé en juin 2016.

**Tableau VI: Paramètres physico-chimique de la cascade de Man de décembre 2015**

Paramètres physico-chimiques	Valeurs mesurées	Valeurs normales
Conductivité ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	28,2	
Température ( $^{\circ}\text{C}$ )	28,4	
pH	8,09	6,00-9,00
Nitrates (mg/L)	2,2	
Nitrites (mg/L)	0	0,1
Ammonium (mg/L)	0,01	
Chlorure (mg/L)	1,1	250
DHT ( $^{\circ}\text{F}$ )	10	
TAC (mg/L)	20	
Fer (mg/L)	0,2	0,3
Manganèse (mg/L)	0,001	0,1
Aluminium (mg/L)	0,04	0,2
Fluorure (mg/L)	0,07	1,5
Zinc (mg/L)	0,01	5
Sulfate (mg/L)	3	
Sodium (mg/L)	0,9	200
Potassium (mg/L)	1,5	
Phosphore (mg/L)	9,1	
Magnésium (mg/L)	9	
Calcium (mg/L)	6	
Silice (mg/L)	23,5	
Phosphates	50	-

Tableau VII: Paramètres physico-chimique de la cascade de Man de Juin 2016

Paramètres physico-chimiques	Valeurs mesurées	Valeurs normales
Conductivité ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	66,4	
Température ( $^{\circ}\text{C}$ )	26,7	
pH	7,2	6,00-9,00
Nitrates (mg/L)	4	
Nitrites (mg/L)	0,01	0,1
Ammonium (mg/L)	0,01	
Chlorure (mg/L)	0,5	250
DHT ( $^{\circ}\text{F}$ )	15	
TAC (mg/L)	20	
Fer (mg/L)	1,35	0,3
Manganèse (mg/L)	0,001	0,1
Aluminium (mg/L)	0,06	0,2
Fluorure (mg/L)	0,32	1,5
Zinc (mg/L)	0,01	5
Sulfate (mg/L)	0	
Sodium (mg/L)	1,2	200
Potassium (mg/L)	1,7	
Phosphore (mg/L)	3,7	
Magnésium (mg/L)	5	
Calcium (mg/L)	10	
Silice (mg/L)	50	
Phosphates	120	-



**Tableau VIII: Paramètres physico-chimique de la cascade de Man de décembre 2016**

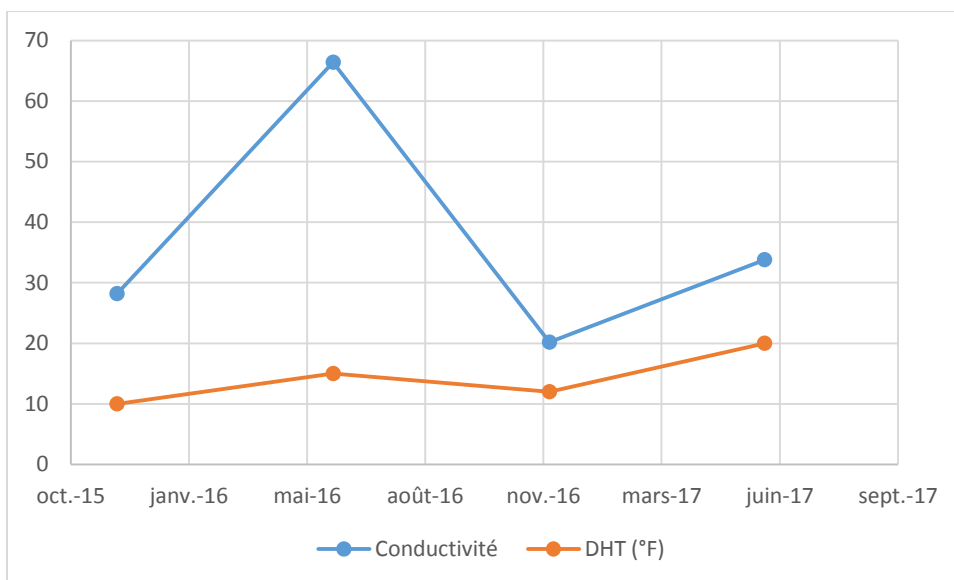
Paramètres physico-chimiques	Valeurs mesurées	Valeurs normales
Conductivité ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	20,18	
Température ( $^{\circ}\text{C}$ )	30,3	
pH	7,3	6,00-9,00
Nitrates (mg/L)	2,7	
Nitrites (mg/L)	0,01	0,1
Ammonium (mg/L)	0,01	
Chlorure (mg/L)	0,8	250
DHT ( $^{\circ}\text{F}$ )	12	
TAC (mg/L)	5	
Fer (mg/L)	0,22	0,3
Manganèse (mg/L)	0,001	0,1
Aluminium (mg/L)	0,01	0,2
Fluorure (mg/L)	0,05	1,5
Zinc (mg/L)	0,01	5
Sulfate (mg/L)	3	
Sodium (mg/L)	1,3	200
Potassium (mg/L)	1,4	
Phosphore (mg/L)	4,8	
Magnésium (mg/L)	6	
Calcium (mg/L)	12	
Silice (mg/L)	0,3	
Phosphates	70	-

**Tableau IX: Paramètres physico-chimique de la cascade de Man de juin 2017**

Paramètres physico-chimiques	Valeurs mesurées	Valeurs normales
Conductivité ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	33,8	
Température ( $^{\circ}\text{C}$ )	23,8	
pH	8,2	6,00-9,00
Nitrates (mg/L)	1,62	
Nitrites (mg/L)	0,06	0,1
Ammonium (mg/L)	0,01	
Chlorure (mg/L)	1,8	250
DHT ( $^{\circ}\text{F}$ )	20	
TAC (mg/L)	65	
Fer (mg/L)	0,5	0,3
Manganèse (mg/L)	0,001	0,1
Aluminium (mg/L)	0,13	0,2
Fluorure (mg/L)	0,37	1,5
Zinc (mg/L)	0,02	5
Sulfate (mg/L)	11	
Sodium (mg/L)	1,2	200
Potassium (mg/L)	2,4	
Phosphore (mg/L)	59,6	
Magnésium (mg/L)	10	
Calcium (mg/L)	2	
Silice (mg/L)	11,5	
Phosphates (mg/L)	180,8	-

### II.3.2 Évolution des paramètres en fonction de la période

Le pH de l'eau de la cascade a varié de 7,2 à 8,2. La dureté de cette eau était comprise entre 10 et 20 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  avec des valeurs plus élevées en juin 2016 et juin 2017. Il en a été de même pour la conductivité (figure 9), le fer (figure 10), les phosphates (figure 11) l'aluminium, les fluorures, le potassium (figure 10). Quant aux ammoniums, au manganèse et au zinc valeurs étaient pratiquement à des taux identiques au cours de ces quatre campagnes effectuées (tableau VI à IX).



**Figure 8: Evolution de la conductivité et de la dureté en fonction du temps**

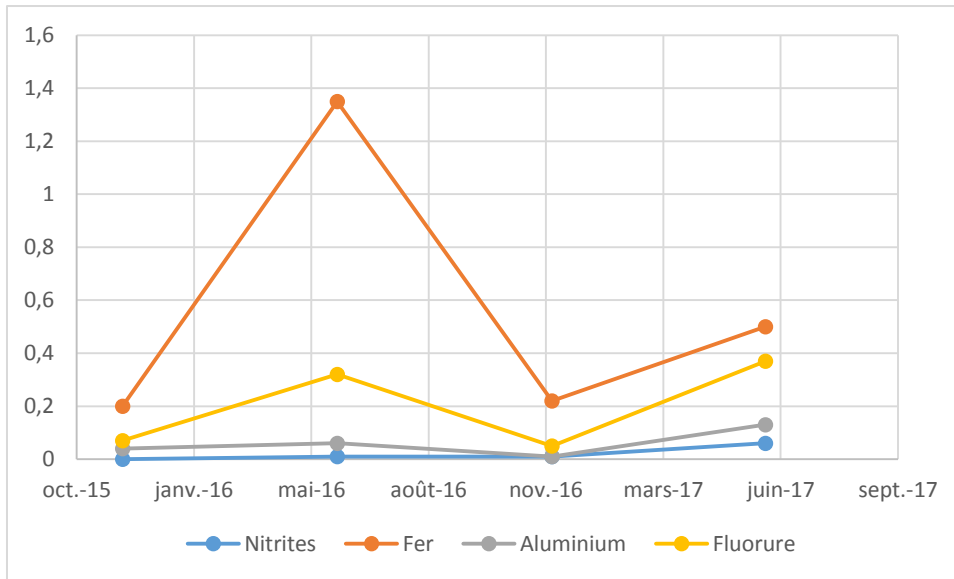


Figure 9: Evolution des nitrites, fer, aluminium et fluorure en fonction du temps

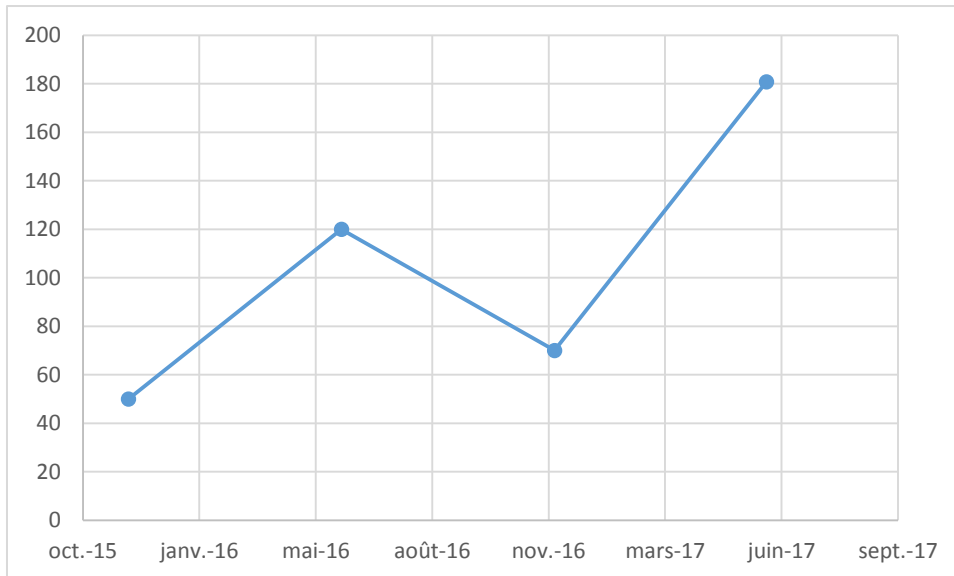


Figure 10: Evolution des phosphates en fonction du temps

## II. 4 Analyse microbiologique

Les résultats de l'analyse microbiologique sont consignés dans le tableau X. Tous les indicateurs étudiés étaient conformes aux normes microbiologiques canadiennes concernant les eaux de loisirs à savoir un taux de *E.coli* inférieur à 400/100mL.

Tableau X: Paramètres microbiologiques de l'eau de la cascade de Man.

Localité	Man			
Source d'eau	Cascade de Man			
Période de prélèvement	déc-15	juin-16	déc-16	juin-17
Heure de prélèvement	9H10	9h35	9H25	9H30
Heure d'analyse	13H15	14h50	14H05	14H20
CT	93	140	80	130
C.Th	130	170	120	190
<i>E. coli</i>	80	100	90	120
<i>Enterococcus faecalis</i>	120	150	130	160
ASR	8	0	5	2

## II.5 Recherche de métaux lourds

Les métaux lourds analysés donnent des valeurs en dessous des normes concernant les eaux de baignade (Tableau XI).

Tableau XI: Valeurs des métaux lourds analysés de la cascade de Man.

Eléments	Limite de quantification	Valeur mesurée	Normes européennes
<b>Zn (µg/l)</b>	50	< LQ.	5000
<b>Pb (µg/l)</b>	5	< LQ.	100
<b>Cr( µg/l)</b>	5	< LQ.	-
<b>Ni (µg/l)</b>	1,1	<b>2,9328</b>	-
<b>Cd (µg/l)</b>	0,5	< LQ.	3
<b>Mo (µg/l)</b>	50	< LQ.	-
<b>Cu (µg/l)</b>	0,003	13,806	2000
<b>Mn (µg/l)</b>	50	< LQ.	100
<b>Co (µg/l)</b>	50	< LQ	-
<b>Se (µg/l)</b>	10	23,946	-
<b>Sb (µg/l)</b>	10	< LQ	-
<b>Hg (µg/l)</b>	-	0,312	6
<b>Sr (µg/l)</b>	50	1369,68	-
<b>As (µg/l)</b>	5	< LQ	10

## II.6 Recherche des HAP

Les HAP trouvés ont une concentration inférieure à la limite de quantification. (tableau XII). Le chromatogramme obtenu est présenté à la figure 12.

Tableau XII: Teneurs des HAP recherchés

HAP RECHERCHES	Surface des pics standards	Surface des Echantillons	Concentration Ech. (µg/mL)	LD (µg/mL)	LQ (µg/mL)
Fluoranthène	<b>581236</b>	<b>0</b>	<b>ND</b>		
Pyrène	<b>30826</b>	<b>0</b>	<b>ND</b>		
Benzo(k)	<b>374507</b>	<b>29214</b>	<b>0,058</b>		
Fluoranthène					
Benzo(a)pyrène	<b>212495</b>	<b>0</b>	<b>ND</b>		
Indéno (1, 2,3-cd)	<b>102856</b>	<b>0</b>	<b>ND</b>	<b>0,017</b>	<b>0,060</b>
pyrilène					
Benzo(g,h,i)pyrilène	<b>137236</b>	<b>0</b>	<b>ND</b>		
Benzo(a)anthracène	<b>282965</b>	<b>8005</b>	<b>0,026</b>		
Benzo(b)	<b>297072</b>	<b>4992</b>	<b>0,0000612</b>		
Fluoranthène					

ND : Non Détecté

LQ : Limite de Quantification

LD : Limite de Détection

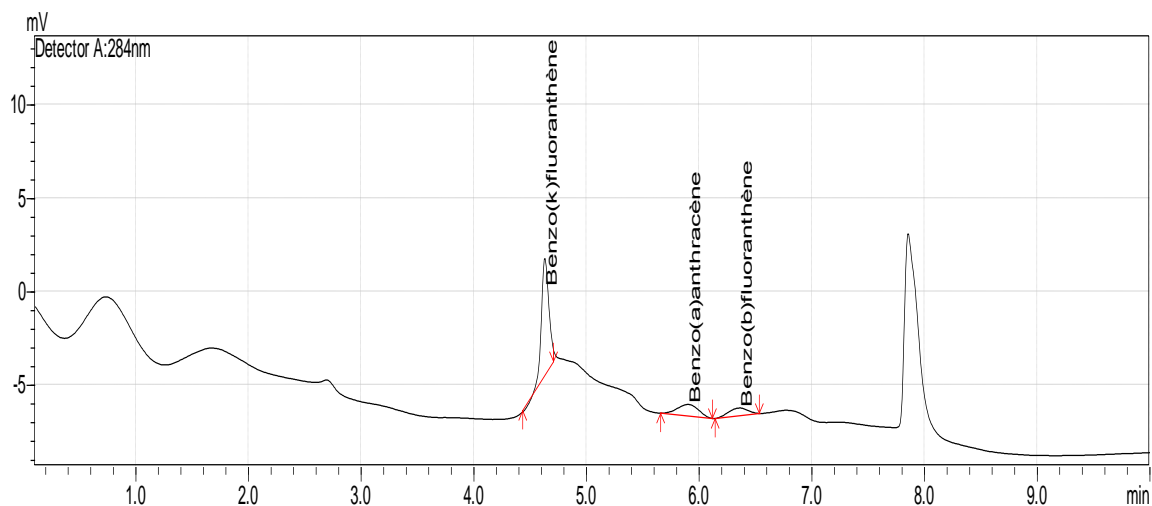


Figure 11: Chromatogramme des HAP recherchés

## II.6 Recherche des pesticides

Aucun pesticide n'a été détecté dans l'eau de la cascade de Man. Le chromatogramme obtenu est représenté dans la figure 13.

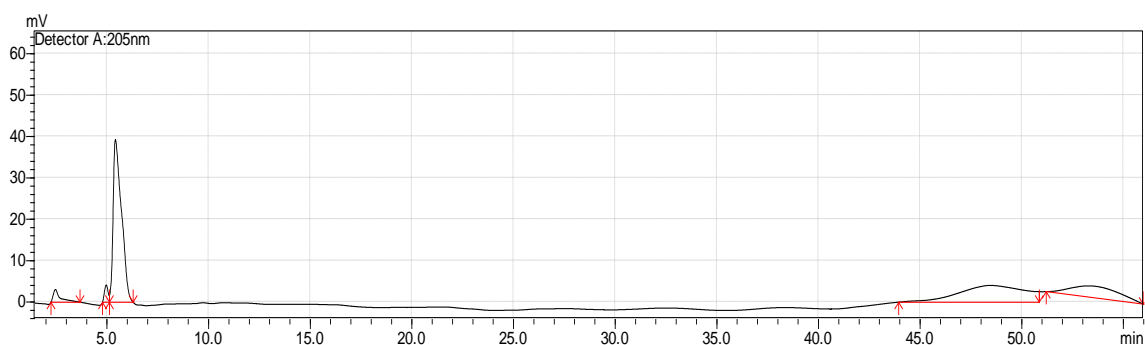


Figure 12: Chromatogramme des pesticides recherchés

### III- DISCUSSIONS

#### III.1 Contrôle qualité

La réglementation des eaux douces de baignade des pays qui en possèdent (Canada, Etats-Unis d'Amérique, Union Européenne) se focalise plus sur les paramètres microbiologiques particulièrement *E.coli* [45,56,57]. Au regard de ces normes, la qualité de l'eau de baignade de Man a été satisfaisante. En dehors de *E.coli*, les autres germes indicateurs de pollution fécale retrouvés étaient *Enterococcus faecalis* et des clostridiiums. Leur présence pourrait indiquer un défaut d'assainissement du milieu lié au péril fécal. A cela, s'ajoutent les déjections de nombreux animaux qui peuplent la forêt de la cascade. En absence d'éducation sanitaire, la présence de ces germes indicateurs de pollution fécale dans l'eau de baignade pourrait conduire à des maladies d'origine hydrique.

Sur le plan physico-chimique, les valeurs des paramètres organoleptiques analysés (couleur, turbidité) sont élevées par rapport aux eaux potables. Cette élévation pourrait se justifier par les teneurs élevées en phosphates (risque d'eutrophisation) [58] et en fer. La présence du Fer s'expliquerait en outre, par un lessivage important des sols ferrallitiques de la région des montagnes surtout en saison pluvieuse [60]. Ces perturbations peuvent également être à l'origine de développement de micro-organismes [59].

Le pH a varié de 7,2 à 8,2. Le caractère basique de cette eau située à l'ouest de la Côte d'Ivoire est similaire au pH de l'eau du fleuve Bandama situé au centre de la Côte d'Ivoire [61]. Ce pH diffère de ceux des eaux de surface à caractère acide des régions d'Adiaké et d'Abidjan (lac Aghien) situées au sud du pays [62,63].

Les faibles valeurs de la conductivité indiquent que ces eaux sont très faiblement minéralisées. Les teneurs obtenues sont comparables à celles trouvées au centre et au sud du pays [63]. De telles teneurs sont observées en Afrique centrale à



Yaoundé (Cameroun) [64]. Par contre, elles sont inférieures à celles rencontrées dans les pays du Nord notamment à Valencia (Espagne) [65].

Les faibles teneurs en nitrites et en nitrates retrouvées dans l'eau de la cascade de Man sont similaires à celles de Traoré en 2012 sur le lac d'Aghien. Par contre les teneurs en ammonium étaient différentes [62].

### **III.2 Evolution des temporelle des paramètres**

L'eau de la cascade présente une variabilité de certains paramètres. L'évolution des valeurs des paramètres physico-chimiques notamment la conductivité, le fer, les nitrites, l'aluminium, les fluorures et les phosphates, était identique avec des valeurs plus élevées en juin 2016 et en juin 2017. Il en est de même pour les paramètres organoleptiques (turbidité, coloration). Tous les paramètres ont présenté un pic plus élevé en juin 2016 à l'exception des phosphates et des paramètres organoleptiques qui ont eu leur pic le plus élevé en juin 2017. Ces teneurs élevées sont constatées en période de grande saison des pluies allant de mai à juin. Les sols de Man étant d'érodabilité moyenne, le risque de lessivage est important. Ceci pourrait justifier cette élévation au cours de cette période [66].

### **III.3 Pesticides et HAP**

Aucun pesticide n'a été détecté dans l'eau de la cascade de Man. Ces résultats diffèrent de ceux de Amin et al. en 2017 qui a retrouvé des pesticides en quantité importante dans le fleuve Sassandra [67]. Contrairement au fleuve Sassandra qui est un réceptacle des déchets humains et industriels, l'eau de la cascade de Man semble être protégée de ces pollutions.

Les faibles taux de HAP et métaux lourds détectés dans l'eau de la cascade de Man montrent son caractère naturel avec absence de pollutions importantes.

## CONCLUSION

Au terme de cette étude dont le but visé était d'évaluer la qualité de l'eau de la cascade de Man, la stratégie adoptée était de :

- localiser le site par repérage GPS ;
- réaliser l'analyse des paramètres physico-chimiques classiques et microbiologiques ;
- rechercher les HAP, les métaux lourds et les pesticides.

La cascade de Man est localisée selon la longitude 05°56,601' et la latitude 004°17,382'. L'eau de la cascade de Man est de qualité microbiologique satisfaisante par la présence *de E.coli* à des taux normaux (inférieur à 400 UFC/100 mL). Sur le plan physico-chimique, l'eau est caractérisée par un pH alcalin variant de 7,2 à 8,2, une faible minéralisation (20 à 66,4  $\mu\text{Scm}^{-1}$  < 100  $\mu\text{Scm}^{-1}$ ), une teneur élevée en fer en saison pluvieuse (0,5 et 1,35 mg/L), des traces de HAP et de métaux lourds et une absence de pesticides.

L'eau de la cascade de Man est globalement de qualité satisfaisante. Pour préserver la qualité de l'eau de la cascade de Man, il est impératif pour l'état de veiller à une gestion rationnelle de ce joyau naturel tout en associant les communautés territoriales et coutumières

## **RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES**

## RECOMMANDATIONS

### ❖ Aux autorités administratives et opérateurs économiques

- Réaliser des contrôles réguliers de l'eau en vue de détecter toute éventuelle contamination.
- Réaliser des programmes d'éducation sanitaire pour montrer les risques liés au péril fécal.
- Contrôler les cultures réalisées aux alentours de la cascade en veillant à l'utilisation rationnelle d'engrais chimiques.
- Mise en place de systèmes d'entretien de la cascade périodique.

### ❖ Aux populations

- Respecter les instructions fournies par les autorités administratives concernant l'utilisation de la baignade à certaines périodes de l'année.

### ❖ Dans les centres de santé

- Réaliser des campagnes de sensibilisation sur la préservation de la propreté de la cascade de Man.
- Être le relais entre les autorités administratives et les populations pour une meilleure prévention de maladies hydriques.

## PERSPECTIVES

- Réaliser une surveillance sanitaire de la cascade et étendre les études à toutes les eaux de surface utilisées comme eau de baignade en Côte d'Ivoire.
- Etablir des normes nationales en matière d'eaux de baignade et de piscine.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] Festy B, Hartemann P, Ledrans M, Levallois P, Payment P, Tricard D. Qualité de l'eau. Environnement et santé publique - Fondements et pratiques, Paris: Edisem; 2003, p. 333–8.
- [2] Moudallal S. Les ressources hydrauliques au Liban 1997:62.
- [3] Rassou KK. Etudes des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface dans le bassin cotier d'Oualidia. Université Cadi Ayyad, 2009.
- [4] Zerrouqi Z, Sbaa M, Chafi A, Aqil H. Contribution à l'étude de la qualité des eaux de la lagune de Nador: Impact de l'anthropisation. Bull l'Inst Scienti 2013:51–9.
- [5] Plus M, Jeunesse I, Bouraoui F, Zaldívar J M, Chapelle A, Lazure P. Modelling water discharges and nitrogen inputs into a Mediterranean lagoon. Ecological Modelling 2006;193:69–89. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.07.037.
- [6] Munabi C, Kansiime F, Amel A. Variation of water quality in Kakira catchment area, Jinja – Uganda. Phys Chem Ear 2009:761–6.
- [7] Mc Kinney M. Urbanization, biodiversity and conservation. Biosci 2002:883–9.
- [8] Diallo L, Kenfach, Millogo R D. Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un cours d'eau temporaire du Burkina Faso – Le cas de Massili dans le Kadiogo. Sud Sc Tehnol 2008:23–8.
- [9] Saab H, Nadine N, Antione G, Rosette D, Samir M, Naim O. Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (rivière Nahr Ibrahim, Liban). Revue Des Sciences de L'eau 2007:341–52.
- [10] Gerard M F. Pollution des mers par le pétrole 1977.



- [11] Ahoussi K E, Kouassi A M, Biemi J, Soro G, Soro N. Étude des caractéristiques chimiques et microbiologiques des ressources en eau du bassin versant du N'zi : cas de la commune de N'zianouan (Sud de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 2012;6:1854–73.
- [12] Aw S, N'goran E, Siaka S, Parinet B. Intérêt de l'analyse multidimensionnelle pour l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un système lacustre tropical B cas des lacs de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* 2011:2573–85.
- [13] Coulibaly A, Mondé S, Wognin V, Aka K. State of anthropic pollution in the estuary of Ebrié lagoon (Côte d'Ivoire) by analysis of the metal elements traces. *European Journal of Scientific Research* 2008;19:372–90.
- [14] Abdelbaki C, Boukli H. Étude du phénomène de dégradation des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen. *Revue Des Énergies Renouvelables* 2007;10:257–63.
- [15] Bricha S, Ounine K, Oulkheir S, N EL Haloui N, Attarassi B. Étude de la qualité physicochimique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc). *Afrique SCIENCE* 2007;3:391–404.
- [16] Koné M, Bonou L, Bouvet Y, Joly P, Kouliadiaty J. Étude de la pollution des eaux par les intrants agricoles : cas de cinq zones d'agriculture intensive du Burkina Faso. *Sud Sciences et Technologies* 2009:5–15.
- [17] Bendra B, Fetouani S, Sbaâ M, Gharibi E, Halouani H, Gharibi E, et al. Étude de l'impact de la pollution agricole diffuse sur la qualité de l'eau et du sol au niveau de la plaine de Triffa. 3ème Journées Internationales des Géosciences de l'Environnement. El Jadida les 8, 9 et 10 juin 2005 2005.

- [18] Keddal H, N'dri Y. Impacts de l'intensification agricole sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. HTE 2008:13–29.
- [19] Shahbazi A, Esmaili-Sari A. Groundwater Quality Assessment in North of Iran: A Case Study of the Mazandaran Province. World Applied Sciences Journal 5 (Special Issue for Environment) n.d.
- [20] Gallaher M, Hendon J L, Nims L J, Sterling CR, Grabowski D J, Hull. H F. Cryptosporidiosis and surface water. Am J Public Health 1989:39–42.
- [21] Lemmow J M, Mac Anulty J M, Bawden- Smith J. An outbreak of cryptosporidiosis linked to an indoor swimming pool. Med J Australia 1996:613–6.
- [22] Bobbie K, Rebecca S. The water cycle. New York: Bobbie Kalman; 2006.
- [23] Kira F. Earth's water cycle. New York: Tara funk; 2008.
- [24] Coulibaly K. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako. Thèse de doctorat en pharmacie. de Bamako, 2005.
- [25] Conseil des académies canadiennes, Comité d'experts sur les eaux souterraines. La gestion durable des eaux souterraines au Canada. Ottawa: Conseil des académies canadiennes; 2009.
- [26] Hebbar C. Surveillance de la qualité bactériologique des eaux de baignade - Cas des plages d'Aïn-Franin et de Kristel. Université d'Oran / Es-Senia, 2005.
- [27] Leclerc H, Festy B, Lazar P. Connaissances actuelles sur la pathologie hydrique. Rev Epidemiol Santé Publ 1982;30:363–85.
- [28] Wheal C. Freshwater pollution 1991.

- [29] Hartemann P. Contamination des eaux en milieu professionnel. Toxicologie-Pathologie 2004;1:63–78.
- [30] Lecellier A. Caractérisation et identification des champignons filamenteux par spectroscopie vibrationnelle. Université REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE, 2013.
- [31] Angelier E. Ecologie des eaux courante 2001.
- [32] Wise S A, Sander L C, May W E. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons by liquid chromatography 1993.
- [33] Marchand M. Comportement des hydrocarbures déversés en milieu marin 1999.
- [34] Gaujous D. La pollution des milieux aquatiques: aide-mémoire 1995.
- [35] Rao D S, Saxena A B. Aquatic toxicity of Mercury Lead, cadmium, manganese chironomus sp. 1981.
- [36] Lauwreys R. Toxicologie industrielle et Intoxication professionnelle 1990.
- [37] Rodier J. L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer 1984.
- [38] Touarsi N, Tegbou G R. Indice de contamination métallique de la moule (*Mytillus galloprovincialis*) du port d'Oran 2000.
- [39] Haddou A. Impact de la pollution marine par trois métaux lourds (cadmium, plomb et zinc) sur un mollusque: la sèche *Sepia officinalis* (L .1758) pêchée dans la baie d'Oran 2003.
- [40] Dreisbach R H. Handbook of pois onings: Prevention, Diagnostic and Treatment 1983.
- [41] Bouchriti N. Surveillance des zones de production conchylicole 2003.

- [42] Black J G. Microbiology: principles and applications. Prentice Hall. 1996.
- [43] Hamza I A, L J, Wilhelm M, Überla K. Detection and quantification of human bocavirus in river water. J Gen Virol 2009;90:2634–7.
- [44] Tissier A. Evaluation de l'état de viabilité et d'infectiosité de trois microorganismes pathogènes pour l'Homme (bactérie: Campylobacter, virus: Adenovirus et parasite: Cryptosporidium) détectés dans des échantillons d'eaux destinées à des fins alimentaires. Lorraine, 2012.
- [45] (Canada) G de travail fédéral-provincial-territorial sur la qualité des eaux à usage récréatif, Canada. Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada. Place of publication not identified: Santé Canada; 2012.
- [46] Wayland J. Pesticides studied in man 1982.
- [47] OMS/PNUE. Recommandations pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchyliques. Recommandations générales. 1995.
- [48] AFNOR. Analyse microbiologique : Contrôle de qualité des produits alimentaires. Méthodes Horizontales 1976:1193.
- [49] OMS. Directives de qualité pour l'eau de boisson 1994.
- [50] Rodier J. L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer 1978.
- [51] AFNOR. Jus de fruits et de légumes : Spécifications et méthodes d'analyses 1996.
- [52] Dean JR. Practical inductively coupled plasma spectroscopy. Hoboken, NJ: Wiley; 2005.

- [53] UNICEF. Manuel de qualité de l'eau de l'UNICEF 2008.
- [54] Rodier J. Analyse de l'eau 1996.
- [55] Méligne M. Analyse microbiologique de l'eau 2010.
- [56] USPA. Implementation guidance for ambient water quality criteria for bacteria (ébauche mai 2002). Washington DC: 2002.
- [57] Union Européenne. Directive 2006/7/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 février 2006 concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade et abrogeant la directive 76/160/CEE. 2006.
- [58] Séraphin KK, Aké K M, Antoinette AA, Dongui B K, Dago G. Variations saisonnières des paramètres abiotiques des eaux d'une lagune tropicale: la lagune de Grand-Lahou, Côte d'Ivoire. European Journal of Scientific Research 2008;21:376–93.
- [59] Justin E. La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires 2006.
- [60] Kouadio B.H, Kouamé K.F, Saley M.B., Biémi J, Traoré I. Insécurité climatique et géorisques en Côte d'Ivoire e étude du risque d'érosion hydrique des sols dans la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). Sécheresse 2007;18:29–37.
- [61] Iltis A, Lévêque C. Caractéristiques physico-chimiques des rivières de Côte d'Ivoire. Rev Hydrobiol Trop 1982;15:115–30.
- [62] Traoré A, al. Evaluation des paramètres physiques, chimiques et bactériologiques des eaux d'une lagune tropicale en période d'étiage T la lagune Aghien (Côte d'Ivoire. Int J Biol Chem Sci n.d.;6:2012.

- [63] Eblin S, Sombo A, Soro G, Aka N, Kambire O, Soro N. Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké (sud-est côtier de la Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* 2014;75:6259. Doi:10.4314/jab.v75i1.10.
- [64] Endamana D, Kengne M, Gockowski J, Nya J, Wandji D, Nyemeck J, et al. Wastewater reuse for urban and periurban agriculture in Yaounde (Cameroon) : opportunities and constraints 2003.
- [65] Bes-Pia A, Mendiza-Roca J, Alciana-Miranda A, Iborra- Clar A, Iborra-Clar M. Reuse of wastewater of the textile industry after its treatment with a combination of physico-chemical treatment and membrane technologies 2002.
- [66] Aké G E, Kouadio B.H, Adja M G, Ettien J B, Effebe K R, Biémi J. Cartographie de la vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique des sols de la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Physio-Géo* 2012;6.
- [67] Amin N C, Ablé N, Dibi K S, Degny S G, Malan K A, Kouadio L. Multiresidues pesticides search and determination in Sassandra River. 2017.

## TABLE DES MATIERES

ABREVIATION – ACRONYME-SIGLE .....	XXXI
LISTE DES TABLEAUX .....	XXXII
LISTE DES FIGURES .....	XXXIII
INTRODUCTION .....	1
Partie I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE .....	4
I. RESSOURCES EN EAU .....	5
<b>I.1. Cycle de l'eau</b> .....	5
<b>I.2. Les différentes sources d'approvisionnement en eau</b> .....	5
II. EAUX DE LOISIRS .....	9
<b>II.1. Définition</b> .....	9
<b>II.2. Classification</b> .....	10
<b>II.3. Les piscines</b> .....	10
<b>II.4. Les Baignades</b> .....	13
III. CONTROLE QUALITE DES EAUX DE BAIGNADE .....	21
<b>III.1. Contrôle biologique</b> .....	21
<b>III.2. Contrôle physico-chimique</b> .....	23
Partie II : ETUDE EXPERIMENTALE .....	25
I. MATERIEL ET METHODES .....	26
<b>I.1. Matériels</b> .....	26
<b>I.2. Méthodes</b> .....	29
II. RESULTATS .....	52
<b>II.1. Géolocalisation de la cascade</b> .....	52
<b>II.2. Analyse des paramètres organoleptiques</b> .....	53
<b>II.3. Analyse physico-chimique</b> .....	54
<b>II.4. Analyse microbiologique</b> .....	59
<b>II.5. Recherche de métaux lourds</b> .....	60
<b>II.6. Recherche des HAP</b> .....	61

<b>II.7. Recherche des pesticides</b> .....	62
<b>III. DISCUSSIONS</b> .....	63
<b>III.1. Contrôle qualité</b> .....	63
<b>III.2. Evolution temporelle des paramètres</b> .....	63
<b>III.3. Pesticides et HAP</b> .....	63
<b>CONCLUSION</b> .....	65
<b>RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES</b> .....	67
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	70
<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	78
<b>ANNEXES</b> .....	80



## **ANNEXES**

**ANNEXE 1 :** Valeurs directives de quelques paramètres proposés par les directives de l'OMS

Paramètres	Valeur	Unité
<i>Paramètres microbiologiques</i>		
<i>E.coli</i>	0/100mL	UFC/100mL
Entérocoques	0/100mL	UFC/100mL
<i>Paramètres physico-chimiques</i>		
pH	6,5-8,5	-
Couleur	15	UCV
Goût et odeur	-	Critère sans désagrément pour la majorité des usagers
Turbidité	5	UNT
Température	-	Valeur non fixée
Chlorures	250	mg/L
Manganèse	0,1	mg/L
Sodium	200	mg/L
Sulfates	250	mg/L
Aluminium	0,2	mg/L
Cyanure	0,05	mg/L
Fluorures	1,5	mg/L
Nitrates	50	mg/L
Nitrites	0,1	mg/L
Plomb	0,01	mg/L
Sélénium	0,01	mg/L
Fer	0,30	mg/L

## **RESUME**

La cascade de Man, joyau naturel abritant une baignade, représente une attraction touristique en Côte d'Ivoire. En amont de cette cascade, le paysage se compose de champs de café et selon la période de maïs et de manioc. Sachant que le développement de l'utilisation des engrais et des pesticides pour les cultures a entraîné la contamination de différentes eaux de surface, l'objectif de cette étude a été d'évaluer la qualité de l'eau de la cascade de Man.

La méthodologie a consisté à réaliser quatre campagnes de prélèvement d'échantillons d'eau de la cascade au cours de trois années consécutifs (2015, 2016 et 2017). Sur ces échantillons, les paramètres physico-chimiques classiques ont été déterminés par méthodes électrochimiques et spectrophotométriques, les métaux lourds par spectrométrie atomique, les pesticides et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) par chromatographie liquide. L'analyse microbiologique a été réalisée par la technique de filtration sur membrane.

Les résultats ont montré que l'eau de la cascade est caractérisée par un pH à caractère basique compris entre 7,2 et 8,2, avec une faible minéralisation (conductivité  $<100 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ). Les teneurs des paramètres physico-chimiques et microbiologiques sont conformes aux normes européennes et américaines relatifs aux eaux de baignades excepté le Fer. Les HAP et les métaux lourds ont été retrouvés à des taux faibles. Aucun pesticide n'a été détecté.

En conclusion, l'eau de la cascade de Man est de qualité satisfaisante sur les plans microbiologique et chimique. Il convient aux autorités de prendre des mesures pour assurer la protection et l'amélioration continue de la qualité de cette eau afin de préserver la santé de la population riveraine et touristique.

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