



Année: 2017 – 2018



N°1973/18

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

Par
KAMARA ADJARA

**CARACTERISATION DES EAUX DE
BAIGNADE DE LA VILLE
D'AGBOVILLE : cas du fleuve de
l'Agnéby et de la rivière de Moutcho**

Soutenue publiquement le 26 Novembre 2018

COMPOSITION DU JURY :

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

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

I. HONORARIAT

Directeurs/Doyens Honoraires :

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

II. ADMINISTRATION

Directeur	Professeur KONE-BAMBA Diénéba
Sous-Directeur Chargé de la Pédagogie	Professeur Ag. IRIE-N'GUESSAN A.G.
Sous-Directeur Chargé de la Recherche	Professeur Ag. DEMBELE Bamory
Secrétaire Principal	Madame NADO-AKPRO Marie Josette
Documentaliste	Monsieur N'GNIMMIEN Koffi Lambert
Intendant	Monsieur GAHE Alphonse
Responsable de la Scolarité	Madame DJEDJE Yolande

III. PERSONNEL ENSEIGNANT PERMANENT

1- PROFESSEURS TITULAIRES

M. ABROGOUA Danho Pascal	Pharmacie Clinique
Mmes AKE Michèle	Chimie Analytique, Bromatologie
ATTOUNGBRE HAUHOUOT M.L.	Biochimie et Biologie Moléculaire
MM. DANO Djédjé Sébastien	Toxicologie
GBASSI K. Gildas	Chimie Physique Générale
INWOLEY Kokou André	Immunologie
Mme KONE BAMBA Diénéba	Pharmacognosie
M. KOUADIO Kouakou Luc	Hydrologie, Santé Publique
Mme KOUAKOU-SIRANSY Gisèle	Pharmacologie

M. MALAN Kla Anglade	Chimie Ana., contrôle de qualité
MENAN Eby Ignace	Parasitologie - Mycologie
MONNET Dagui	Biochimie et Biologie Moléculaire
Mme SAWADOGO Duni	Hématologie
M. YAVO William	Parasitologie - Mycologie

2- MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

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

3- MAITRES-ASSISTANTS

MM. ADJAMBRI Adia Eusebé	Hématologie
ADJOUNGOUA Attoli Léopold	Pharmacognosie

Mmes	ABOLI-AFFI Mihessé Roseline	Immunologie
	AKA ANY-GRAH Armelle Adjoua S.	Pharmacie Galénique
	ALLA-HOUNSA Annita Emeline	Santé Publique
M.	ANGORA Kpongbo Etienne	Parasitologie - Mycologie
Mmes	AYE-YAYO Mireille	Hématologie
	BAMBA-SANGARE Mahawa	Biologie Générale
	BARRO-KIKI Pulchérie	Parasitologie - Mycologie
MM.	CABLAN Mian N'Dedey Asher	Bactériologie-Virologie
	CLAON Jean Stéphane	Santé Publique
Mmes	BLAO-N'GUESSAN Amoin Rebecca J.	Hématologie
	DIAKITE Aïssata	Toxicologie
	DONOU-N'DRAMAN Aha Emma	Hématologie
M.	EFFO Kouakou Etienne	Pharmacologie
Mme	FOFIE N'Guessan Bra Yvette	Pharmacognosie
MM.	KABRAN Tano Kouadio Mathieu	Immunologie
	KASSI Kondo Fulgence	Parasitologie-Mycologie
Mme	KONAN-ATTIA Akissi Régine	Santé publique
M.	KONAN Konan Jean Louis	Biochimie et Biologie moléculaire
Mme	KONATE Abibatou	Parasitologie-Mycologie
M.	KOUAME Denis Rodrigue	Immunologie
Mme	KOUASSI-AGBESSI Thérèse	Bactériologie-Virologie
MM.	KPAIBE Sawa André Philippe	Chimie Analytique
	MANDA Pierre	Toxicologie
	N'GUESSAN Alain	Pharmacie Galénique
Mme	VANGA-BOSSON Henriette	Parasitologie-Mycologie
M.	YAYO Sagou Eric	Biochimie et Biologie moléculaire

4- ASSISTANTS

MM.	ADIKO Aimé Cézaire	Immunologie
-----	--------------------	-------------

	AMICHIA Attoumou Magloire	Pharmacologie
Mmes	AKOUBET-OUAYOGODE Aminata	Pharmacognosie
	ALLOUKOU-BOKA Paule-Mireille	Législation
	TAHOU-APETE Sandrine	Bactériologie-Virologie
	BEDIAKON-GOKPEYA Mariette	Santé publique
MM.	BROU Amani Germain	Chimie Analytique
	BROU N'Guessan Aimé	Pharmacie clinique et thérapeutique
	COULIBALY Songuigama	Chimie organique, chimie thérapeutique
	DJADJI Ayoman Thierry Lenoir	Pharmacologie
	DJATCHI Richmond Anderson	Bactériologie-Virologie
Mmes	DOTIA Tiepordan Agathe	Bactériologie-Virologie
	KABLAN-KASSI Hermance	Hématologie
MM.	KACOU Alain	Chimie organique, chimie thérapeutique
	KAMENAN Boua Alexis Thierry	Pharmacie clinique et thérapeutique
	KOFFI Kouamé	Santé publique
	KONAN Jean Fréjus	Biophysique
Mme	KONE Fatoumata	Biochimie et Biologie moléculaire
MM.	KOUAHO Avi Kadio Tanguy	Chimie organique, chimie thérapeutique
	KOUAKOU Sylvain Landry	Pharmacologie
	KOUAME Jérôme	Santé publique
Mme	KRIZO Gouhonon Anne-Aymonde	Bactériologie-Virologie
MM.	LATHRO Joseph Serge	Bactériologie-Virologie
	MIEZAN Jean Sébastien	Parasitologie-Mycologie
	N'GBE Jean Verdier	Toxicologie
	N'GUESSAN Déto Ursul Jean-Paul	Chimie organique, chimie thérapeutique
Mmes	N'GUESSAN Kakwokpo Clémence	Pharmacie Galénique
	N'GUESSAN-AMONKOU Anne Cynthia	Législation
	ODOH Alida Edwige	Pharmacognosie
	SIBLI-KOFFI Akissi Joëlle	Biochimie et Biologie moléculaire

SICA-DIAKITE Amelanh	Chimie organique, chimie thérapeutique
TANOH-BEDIA Valérie	Parasitologie-Mycologie
M. TRE Eric Serge	Chimie Analytique
Mme KOUASSI-TUO Awa	Pharmacie Galénique
M. YAPO Assi Vincent De Paul	Biologie Générale
Mme YAPO-YAO Carine Mireille	Biochimie

5- CHARGES DE RECHERCHE

Mmes ADIKO N'dri Marcelline	Pharmacognosie
OUATTARA N'gnôh Djénéb	Santé publique

6- ATTACHE DE RECHERCHE

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

7- IN MEMORIUM

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

IV. ENSEIGNANTS VACATAIRES

1- PROFESSEURS

M.	DIAINE Charles	Biophysique
	OYETOLA Samuel	Chimie Minérale

2- MAITRES DE CONFERENCES

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

3- MAITRE-ASSISTANT

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

4- NON UNIVERSITAIRES

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

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

I. BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE

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

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

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

III. BIOLOGIE GENERALE, HEMATOLOGIE ET IMMUNOLOGIE

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

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

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

V. CHIMIE ORGANIQUE ET CHIMIE THERAPEUTIQUE

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

VI. PARASITOLOGIE, MYCOLOGIE, BIOLOGIE ANIMALE ET ZOOLOGIE

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

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

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

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

VIII. PHARMACOGNOSIE, BOTANIQUE, BIOLOGIE VEGETALE, CRYPTOLOGAMIE

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

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

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

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

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

XI. SANTE PUBLIQUE, HYDROLOGIE ET TOXICOLOGIE

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

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

DÉDICACES

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 COMBLE DE FAVEURS ET NON PAS DE CEUX
QUI ONT ENCOUREUS 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 HONORABLE MERE KONATE AFFOUSSATA

Femme au grand cœur, merci de m'avoir donné la vie, merci pour tes conseils, ton amour, ton soutien, tes bénédictions. Tu n'as cessé de croire en moi. Tes prières, ton soutien tant financier que moral, ta patience m'ont permis d'être celle que je suis. Merci maman chérie. Allah exalté soit-il t'accorde une longue vie dans la sante la paix et l'amour de tes enfants et petits-enfants. Je t'aime maman

A MON PERE GAOUSSOU KAMARA

grand homme musulman, Mr Kamara mon père tu as su inculquer à toute la famille les valeurs religieuses islamiques. Homme de paix, je te remercie pour tout ce que tu as fait pour moi.

A MON TENDRE EPOUX MR YASSOGUI KONATE,

Merci mon chéri pour ton soutien tant financier que moral, ta tolérance, ta patience, ta compréhension mais surtout merci pour ton amour. Je t'aime mon chéri.

A MES GRAND PARENTS FEU KONATE YACOUBA ET FEU GRO LOU NAN
MACOURA

***Je vous dédie cette thèse car c'est surtout grâce à tous les
deux que je suis. Merci pour votre bonté, votre
compréhension. Qu'Allah le Tout Miséricordieux vous
accorde son pardon et son paradis. Allah ait pitié de vos
âmes. Amine.***

A MES ENFANTS KONATE ABDOUL AZIZ ET KONATE KHALIL

***Vous m'avez apporté cette joie ; celle d'être maman. Je prie
Allah nuit et jours qu'il guide vos pas et fasse de vous des
musulmans pieux et sincères. Que Dieu vous bénisse.
Maman vous aime.***

A MES SOEURS SIDIBE FATOUMATA, SIDIBE KADIA,

***Merci à vous mes grandes sœurs chéries, vous avez été pour
moi plus que des sœurs. Merci pour votre soutien, votre
présence. Allah saura vous en donner les récompenses.***

A MA COUSINE CHERIE MARIE-NOELLE,

***A toi qui a été plus qu'une amie. Merci d'être présente dans
ma vie.***

A TOI AICHA FANNY,

***Mon amie, ma sœur, ma confidente. Avec toi je connais le
sens de la vraie amitié. Qu'Allah fasse que cette amitié dure
pour l'éternité.***

A MES AMIS DE LA P7E,

Merci à toute la famille P7E. Merci pour ces années passées ensemble, plus particulièrement à Emma Brou, Bony Nelly, Kabran Richmonde, Kedjebo Innocente et Yeboue Davy. Merci.

A LA PHARMACIE MILIE HEVIE, LA PHARMACIE ELIEL ET LA PHARMACIE DES TROIS PONTS

A Dr Aka Kouao, Dr Atsé Rodrigue, Dr Coulibaly-Bakayoko Aminata pharmaciens titulaires des dits pharmacies. Merci à vous chers aînés, merci pour votre confiance pour ma modeste personne. Grâce à vous j'ai pu continuer ma formation universitaire. Merci pour vos conseils, votre encadrement.

A L'INHP ET A TOUT LE PERSONNEL

Nos remerciements plus principalement à Mr Degny Serge, Mr akie Paul, Mr N'Gbakou Alphonse pour le coup de pouce. Merci pour votre disponibilité. Vous avez laissé votre famille les dimanches pour nous aider à la réalisation de ce document. Merci infiniment pour tout. Dieu le tout puissant vous récompense pour tout.

**A NOS MAITRES
ET JUGES**

A NOTRE MAITRE ET PRESIDENT DU JURY

Monsieur le Professeur KOUADIO KOUAKOU LUC

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

CHER MAÎTRE,

NOUS TENONS À VOUS REMERCIER POUR TOUTES CES ANNÉES À LA FACULTÉ DE PHARMACIE À ENSEIGNER PLUSIEURS GÉNÉRATIONS DE PHARMACIENS. GRAND HOMME AUX CRITIQUES ENRICHISSANTES, NOUS SOMMES VRAIMENT RECONNAISSANTS QUE VOUS SOYÉZ LE PRÉSIDENT DE CETTE THÈSE. VOUS ÊTES POUR NOUS UN MENTOR UNE RÉFÉRENCE TANT NATIONAL QU'INTERNATIONAL. MERCI DE TOUJOURS VOULOIR FORMER DES JEUNES PHARMACIENS.

À NOTRE MAÎTRE ET DIRECTEUR DE THÈSE

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 D'ÊTRE NOTRE DIRECTEUR DE THÈSE MALGRÉ TOUTES LES CHARGES QUI VOUS INCOMBENT. MERCI DE NOUS AVOIR FORMÉ TOUT LE LONG DE NOTRE PARCOURS UNIVERSITAIRE À L'UFR DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES D'ABIDJAN. MERCI POUR VOTRE DISPONIBILITÉ, MERCI DE NOUS AVOIR INCULQUÉ VOS VALEURS QUI SONT LA RIGUEUR, L'AMOUR DU TRAVAIL BIEN FAIT. VOUS ÊTES POUR NOUS UN MODÈLE CHER MAÎTRE. PUISSE DIEU LE TOUT PUISSANT VOUS RÉCOMPENSER POUR TOUT CE QUE VOUS AVEZ FAIT POUR NOUS ET CONTINUER À FAIRE POUR NOUS VOS ÉTUDIANTS.

À NOTRE MAÎTRE ET JUGE

Monsieur le professeur BONY FRANÇOIS NICAISE

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

CHER MAÎTRE,

EN ACCEPTANT DE SIÉGER AU SEIN DE CE JURY, VOUS CONFIRMEZ VOTRE CARACTÈRE D'HUMILITÉ, DE DISPONIBILITÉ ET SIMPLICITÉ. NOUS AVONS EU LE PRIVILÈGE DE BÉNÉFICIER DE VOS QUALITÉS D'ENSEIGNANT AU COURS DE NOTRE CURSUS UNIVERSITAIRE.

NOUS VOUS PRIONS DE BIEN VOULOIR ACCEPTER, À TRAVERS CES MOTS L'EXPRESSION DE NOTRE PROFONDE GRATITUDE.

À NOTRE MAÎTRE ET JUGE

Madame le Docteur KOUASSI-AGBESSI THERESE

- Docteur en pharmacie
- Maître-assistante au département de bactériologie virologie, à l'UFR Sciences Pharmaceutiques et Biologiques
- Pharmacien biologiste (CES biochimie clinique, CES hématologie, CES parasitologie-mycologie, CES bactériologie-virologie)
- Titulaire du DEA de biologie humaine tropicale option bactériologie-virologie
- Responsable de l'unité de biologie à l'INHP (Institut national d'hygiène publique)
- 1er prix d'infectiologie en 1992
- Lauréat du concours d'internat (1989-1990)
- Membre de la société savante pharmaceutique de Cote d'Ivoire

CHEZ MAÎTRE,

CHER DOCTEUR, C'EST UN HONNEUR POUR NOUS DE VOUS COMPTER PARMI LE JURY QUI PRÉSIDE CETTE THÈSE. VOUS AVEZ ÉTÉ POUR NOUS UNE ENSEIGNANTE ET MÈRE TOUT LE LONG DE CETTE THÈSE. FEMME EXTRAORDINAIRE NOUS AIMERONS À TRAVERS CES MOTS VOUS MONTRER TOUTE NOTRE GRATITUDE À VOUS ET TOUTE VOTRE ÉQUIPE. MERCI CHER MAÎTRE. DIEU VOUS BÉNISSE.

SOMMAIRE

DÉDICACES.....	XV
SOMMAIRE	XXV
ABRÉVIATIONS – ACRONYMES-SIGLES	XXVII
LISTE DES TABLEAUX	XXIX
LISTE DES FIGURES	XXX
INTRODUCTION.....	1
Première partie : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
I- Généralité sur l'eau.....	5
I-1- Cycle de l'eau.....	5
I-2- Les différentes sources d'approvisionnement en eau.....	5
I-3- Les usages de l'eau.....	7
II- Les baignades.....	9
II-1- Définition	9
II-2- Les risques sanitaires	10
III- Contrôle qualité des eaux de baignade.....	18
III-1- Contrôle microbiologique.....	18
III-2- Contrôle physico-chimique.....	24
Deuxième partie : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE	30
I- MATERIEL ET METHODES.....	31
I-1- Type et cadre de l'étude	31
I-2- Matériel	31
I-3- Méthodes	33
II- RESULTATS.....	54
II-1- Géolocalisation des zones de baignade.....	54
II-2- Analyse des paramètres organoleptiques et physico-chimiques.....	55
II-3- Analyse des paramètres microbiologique	61
II-4- Recherche de métaux lourds	63

II-5- Recherche des HAP	64
II-6- Analyse des pesticides	65
III- DISCUSSION.....	68
III-1- Paramètres microbiologiques.....	68
III-2- Paramètres physicochimiques classiques des eaux de baignade	69
III-3- Pesticides, HAP et métaux lourds.....	70
CONCLUSION	71
RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	73
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	76
TABLE DES MATIERES	80

ABRÉVIATIONS – ACRONYMES-SIGLES

ASR	Anaérobies Sulfito-Réducteurs
BCYE	Buffered Charcoal Yeast Extract
BEA	Bile Esculine Azide
PHMB	Polyhexaméthylène biguanide
CT	Coliformes Totaux
CTh	Coliformes Thermotolérants
DHT	Degré Hydrotimétrique Total
EDTA	Acide Ethylène Diamine Tétra acétique
GAL	β - Galactosidase
GPS	Global Position System
GLUC	β - Glucuronidase
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
CLHP	Chromatographie Liquide à Haute Performance
INHP	Institut National d'Hygiène Publique
LD	Limite de Détection
MES	Matières En Suspension
LQ	Limite de Quantification
ND	Non Détecté
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PCB	Polychlorobiphenyls

PED	Pays En Développement
pH	Potentiel Hydrogène
TAC	Titre Alcalimétrique Complet
TCBS	Thiosulfate Citrate Bile Saccharose
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
YGC	Yeast Bile Esculine

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Caractéristiques des eaux de surface.....	7
Tableau II : Microorganismes rencontrés dans l'eau de baignade	12
Tableau III : Microorganismes et pathologies associées.....	13
Tableau IV : Recommandations concernant les eaux de baignade	23
Tableau V : Normes françaises de qualité relative aux eaux de baignade	27
Tableau VI: Normes de qualité de base pour les eaux de surface ordinaires (AR du 4/11/1987).....	28
Tableau VII : Paramètres organoleptiques du fleuve de l'Agneby.....	56
Tableau VIII : Paramètres organoleptiques de la rivière de Moutcho	57
Tableau IX : Valeurs pour comparaison de deux moyennes par le Test t Student.....	60
Tableau X : Valeurs pour comparaison de deux moyennes par le test de Mann Whitney.....	61
Tableau XI : Paramètres microbiologiques du fleuve de l'Agneby.....	61
Tableau XII : Paramètres microbiologiques de la rivière de Moutcho	62
Tableau XIII : Comparaison des valeurs paramétriques microbiologiques des eaux aux normes algériennes.....	62
Tableau XIV : Comparaison des valeurs paramétriques microbiologiques des eaux aux normes européennes et l'OMS	63
Tableau XV : Comparaison des valeurs paramétriques microbiologiques des eaux aux normes américaines et canadiennes	63
Tableau XVI : Valeurs des métaux lourds analysés des eaux de baignade de la rivière de Moutcho et du fleuve de l'Agneby	64
Tableau XVII : Valeurs des HAP de la rivière de Moutcho et du fleuve de l'Agneby	64
Tableau XVIII : Valeurs paramétriques des pesticides des eaux	66

LISTE DES FIGURES

Figure 1- Cycle de l'eau.....	5
Figure 2- Situation géographique de la ville d'Agboville	31
Figure 3- Aperçu du fleuve de l'Agneby	54
Figure 4- Aperçu de la rivière de Moutcho	55
Figure 5- Evolution de la turbidité de la rivière et du fleuve	58
Figure 6: Evolution de la couleur de la rivière et du fleuve	58
Figure 7: Evolution du TAC et du DHT de la rivière et du fleuve.....	59
Figure 8: Chromatogramme des HAP de la rivière	65
Figure 9: Chromatogramme des HAP du fleuve	65
Figure 10: Chromatogramme des pesticides de la rivière	67
Figure 11: Chromatogramme des pesticides du fleuve	67

INTRODUCTION

L'eau est un liquide inodore, insipide et incolore [1] essentiel à la vie. Elle est utilisée dans divers domaines à savoir l'agriculture, l'aquaculture, l'industrie, l'artisanat, les loisirs aquatiques dont la baignade [2].

Les eaux de baignade proviennent 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]. Bien qu'associée à des moments de détente ou de jeu, la baignade présente des risques physiques à titre de noyades [4], de coups de soleil, d'hydrocution et de traumatismes divers, mais aussi des risques chimiques ou biologiques dus à une mauvaise qualité de l'eau de la baignade ou du milieu environnant[5]. Le risque de maladie hydrique liée à la pratique de la baignade demeure [6].

En Côte d'Ivoire, cinq (5) régions dont la région de l'Agneby ayant pour chef-lieu la ville d'Agboville ont été identifiées comme des zones à haut risque de maladies d'origine hydrique [7].

La ville d'Agboville est située à 79 km de la ville d'Abidjan (capitale économique de la Côte d'Ivoire). Elle est desservie par le fleuve de l'Agneby et la rivière Moutcho. Ces cours d'eau regorgent de nombreux sites de baignades. . Cependant, peu d'études ont porté sur la qualité des eaux de baignades dans le pays. Les plus récentes ont concerné l'eau de baignade de la cascade de Man de qualité satisfaisante [8] et l'eau de mer de la commune de Port Bouët de qualité non satisfaisante [9].

À l'égard de certains pays comme le Canada, les États Unies, les pays de l'Union européenne et du Maghreb [10,11], la Côte d'Ivoire ne dispose pas encore de réglementation en matière d'eau de baignade. Dans le but de collecter des données pouvant servir de base à une éventuelle réglementation, notre étude a eu pour objectif de caractériser les principales eaux de baignades de la ville d'Agboville en vue de

connaître les risques encourus par les populations qui s'y baignent.

Les objectifs spécifiques de cette étude sont donc de :

- Faire des prélèvements des échantillons sur les sites définis.
- Situer géographiquement les zones de baignades de la localité d'Agboville
- Evaluer les paramètres microbiologiques des zones de baignade
- Déterminer les paramètres physicochimiques de l'eau
- rechercher les contaminants chimiques (pesticides, les métaux lourds et les hydrocarbures aromatiques polycycliques).

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.
 - Enfin la conclusion suivie des recommandations

Première partie : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I- Généralité sur l'eau

I-1- Cycle de l'eau

L'eau est la seule molécule à être présente sous trois états sur la terre : solide, liquide et gazeux [12]. L'eau peut changer d'état sans intervention humaine.

Ces changements d'états dépendent essentiellement de la température et de la pression mais aussi des composés chimiques présents dans l'atmosphère, donc de la pollution atmosphérique. Le cycle de l'eau (Figure 1) décompose le phénomène complexe de ces transformations successives de l'eau en différents états [13]. Les trois phases principales du cycle peuvent être résumées ainsi : évaporation, condensation, précipitation, écoulements souterrains et de surface.

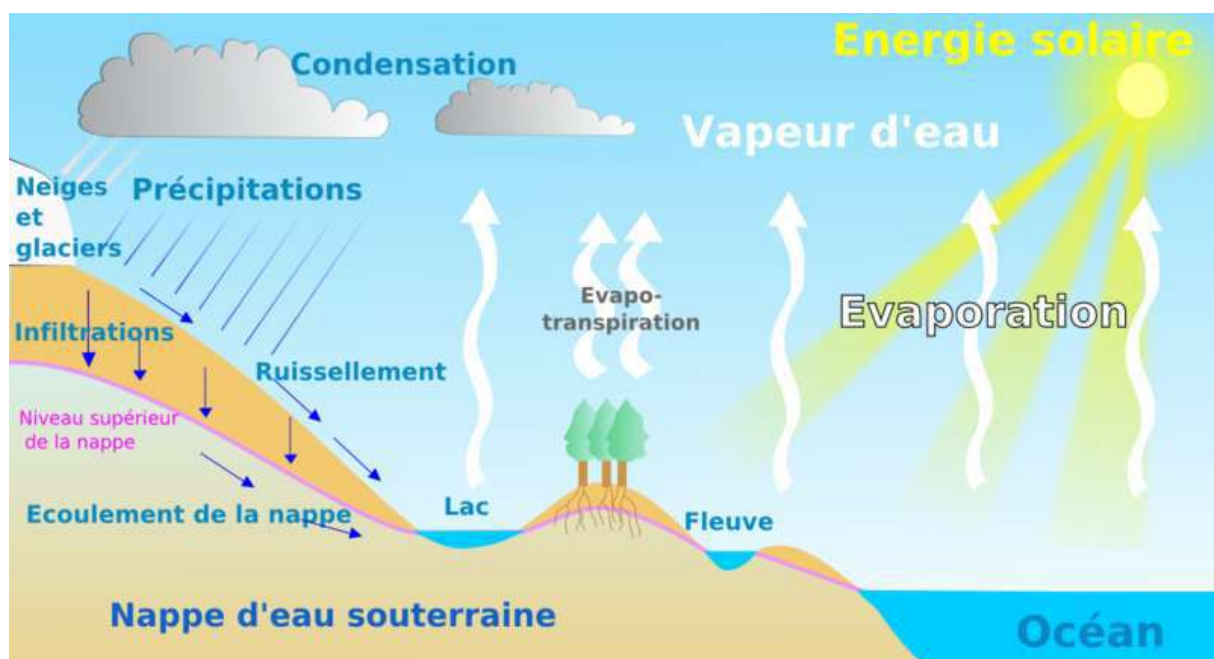


Figure 1- Cycle de l'eau

I-2- Les différentes sources d'approvisionnement en eau

I-2-1- Eaux souterraines

Quand la pluie tombe sur le sol, une partie coule le long de la surface de la terre vers des ruisseaux, rivières ou des lacs et peut hydrater le sol. Une partie de cette eau est utilisée par la végétation, une autre partie s'évapore et retourne à

l'atmosphère. Une partie de l'eau s'infiltré aussi dans le sol, traverse la zone non saturée et atteint la nappe phréatique.

Les eaux souterraines ont toujours été une source importante d'approvisionnement en eau potable pour les populations [14].

I-2-2- Eaux de surface

Les eaux de surface ont pour origine soit les eaux souterraines (par une résurgence, source), soit les eaux de ruissellements [15]. Ces eaux se regroupent en cours d'eau et lacs et sont caractérisées par une surface libre, surface de contact entre l'eau et l'atmosphère, toujours en mouvement, avec une vitesse variable.

I-2-3- Caractéristiques des eaux de surfaces et souterraines

Les caractéristiques des eaux de surfaces sont présentées dans le tableau I

Tableau I : Caractéristiques des eaux de surface et souterraines [16]

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable (saisons)	Plutôt constante
Turbidité / MES vraies ou colloïdales	Variable (parfois élevée / crues, rejets de carrières, fortes pluies)	Faible ou nulle sauf en pays karstique et en pays crayeux
Couleur	Dépend essentiellement de MES, des acides humiques, tannins, etc. et des algues	Dépend des acides humiques ou des précipitations Fe – Mn
Goûts et odeurs	Fréquents	Rares sauf H ₂ S
Minéralisation globale / Salinité	Variable (précipitations rejets, nature des terrains traversés, etc.)	Généralement plus élevée que celle mesurée dans les eaux de surface sur le même territoire
Fe et Mn divalent dissous	Normalement absents sauf dystrophisation des eaux profondes	Présents
CO ₂ agressif	Généralement absent	Présent souvent en quantité
O ₂ dissous	Variable (proche de la saturation dans les eaux propres / absent dans les eaux polluées)	Absent
H ₂ S	Absent	Présent
NH ₄	Seulement dans les eaux polluées	Présence souvent sans rapport avec une pollution bactérienne
Nitrates	Variable (normalement absent, parfois en quantité dans les zones d'excédent azoté)	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur normalement modérée	Teneur élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Surtout présents dans les eaux des régions industrialisés	Absents sauf suite d'une pollution accidentelle
Solvants chlorés	Normalement absents	Présents en cas de pollution de la nappe
Éléments vivants	Virus, bactéries, algues, protistes, etc. / Présence d'organismes pathogènes toujours possible	bactéries sulfato-réductrices et ferrobactéries surtout
Eutrophie	Possible, davantage si les eaux sont chaudes	Jamais

I-3- Les usages de l'eau

I-3-1- L'eau de consommation domestique

L'eau se retrouve dans toutes les activités qui rythment notre quotidien toilette, lavages divers, évacuation des déchets [17]. La consommation domestique d'eau représente aujourd'hui 10 % de la consommation d'eau mondiale, avec de fortes variations selon le niveau et le mode de vie des pays [18].

I-3-2- L'eau et l'économie

La présence d'une ressource en eau abondante et de bonne qualité est souvent un facteur d'implantation d'industries près des cours d'eau.

La consommation industrielle d'eau représente environ 20 % de la consommation [19]. Elle varie selon les pays et les secteurs d'activité

L'agriculture est l'activité humaine la plus consommatrice d'eau : elle représente en moyenne 70 % de la consommation mondiale [20]. Elle varie selon les pays, les climats, les types de cultures, les techniques d'irrigation, etc.

L'aquaculture, c'est-à-dire l'élevage d'espèces aquatiques, végétales ou animales, se développe pour répondre aux besoins alimentaires [21].

L'énergie hydraulique désigne l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : chute, cours d'eau, courant marin, marée, vagues [22].

Les transports fluviaux et maritimes représentent aujourd'hui les modes de transport de personnes et de marchandises les plus économiques et ils émettent peu de gaz à effet de serre.

I-3-3- L'eau et les loisirs

En plus de la navigation de plaisance, ou le tourisme fluvial, les sports nautiques et aquatiques, La pêche de loisirs en eau douce, la baignade est une activité récréative qui peut se faire soit dans les eaux naturelles soit dans les piscines

I-3-3-1- Les piscines

La piscine est un bassin artificiel, étanche, rempli d'eau et dont les dimensions permettent à un être humain de s'y plonger au moins partiellement. Une piscine se différencie d'une cuve ou d'une baignade par ses équipements de filtration (pompe, filtre....)

Pour que l'eau de votre piscine soit équilibrée et de qualité, elle doit être correctement traitée

Le chlore est très utilisé [23], mais les personnes sensibles préféreront le brome ou le PHMB.

Selon l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), les travaux d'expertise ont permis d'identifier les principaux dangers chimiques et microbiologiques présents dans l'eau, l'air et les surfaces des piscines réglementées et des bains à remous [24].

Les dangers chimiques identifiés proviennent essentiellement de substances formées par réaction des produits de désinfection (chlore principalement) avec les matières organiques apportées par les baigneurs [25,26]

I-3-3-2- Les baignades naturelles

Elles regroupent les eaux de mer et les eaux douces.

II- Les baignades

II-1- Définition

On appelle eaux de baignades, des eaux ou parties de celle-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 respectent les normes européennes soit n'est pas interdite et habituellement pratiquée par un nombre important de baigneurs [3].

Elle peut être pratiquée en tant que telle ou de manière associée à d'autres activités (randonnée, navigation de plaisance, canoë, pêche, kayak, aviron, etc.)

Il existe diverses catégories de baignades aménagées ou non : les littorales (eau de mer) ou intérieures (eau douce, rivière, lac, étang).

II-2- Les risques sanitaires

II-2-1- Risques liés à la fréquentation des baignades

La baignade peut présenter des risques pour la santé liés notamment à la qualité bactériologique de l'eau. Le principal risque est le risque infectieux, lié à la présence de germes pouvant être à l'origine de différentes pathologies (gastro-entérite, leptospirose, dermatites) [3].

II-2-2- Origine des contaminations

La contamination des eaux de surface est fréquente, que ce soit par les eaux usées urbaines, par des sources ponctuelles de pollution (fosses «septiques») ou par les excréments d'animaux domestiques ou sauvages [27,28]. Ces sources sont associées à une augmentation de la fréquence des maladies entériques, des maladies respiratoires ou des affections cutanées, comme l'ont montré plusieurs études épidémiologiques [29].

II-2-3- Nature des contaminants

Les contaminants sont de divers ordres. Ils sont principalement de nature biologique et chimique (les pesticides, les HAP...) [30].

II-2-3-1- Nature biologique

II-2-3-1-1- Les indicateurs biologiques

Les indicateurs biologiques sont les paramètres les plus importants à considérer pour les eaux à usage domestique [31]. 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.

La transmission des microorganismes peut se faire par ingestion d'eau contaminée ou par contact direct avec la peau et les muqueuses [15]. Pour de nombreux parasites, l'homme n'est qu'un hôte dans leur cycle vital. La contamination des eaux de surface est fréquente.

La survie de la plupart des microorganismes pathogènes dans l'eau est fonction de la température. Les bactéries pathogènes et les virus survivent mal lorsque les températures sont élevées [33], 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-2-3-1-2- 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.

- 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 [34]. 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.

- 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 [35].

- 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 [36]. En outre on retrouve également des levures responsables de candidoses et des moisissures qui entraînent des infections des orteils.

Tableau II : Microorganismes rencontrés dans l'eau de baignade [35,36]

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

Tableau III : Microorganismes et pathologies associées [35,36]

Microorganismes		Pathologies			
		Cutanées	O.R.L.	Digestives	Diverses
Champignons	Dermatophytes	Mycoses			
		Herpes circiné			
		Eczéma			
	Levures	Candidose (ongles et plis)			
	Moisissures (peu pathogènes)	Infections orteils	des Infections du conduit auditif externe		
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-2-3-2- Nature chimique

La pollution chimique est engendrée par des rejets de produits chimiques à la fois d'origine industrielle et domestique tels que les micropolluants chimiques organiques représentés essentiellement par les hydrocarbures, les organochlorés (les pesticides et les détergents), et inorganiques tels que les métaux lourds [37]. L'industrialisation au XIX^{ème} siècle a eu pour conséquence, le rejet dans les eaux, des quantités de sels de plus en plus importantes.

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

Les hydrocarbures sont des corps combustibles qui brûlent en donnant du gaz carbonique (CO₂) et de la vapeur d'eau et sont les plus abondants dans les produits pétroliers où ils représentent 60 à 97% [38]. Leurs molécules comportent uniquement des atomes de carbone et d'hydrogène. Plus d'une centaine d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ont été découverts dans la nature, seulement 16 ont été sélectionnés comme polluants prioritaires. A noter que les HAP à 3 noyaux sont la cause essentielle de l'impact écotoxicologique des pollutions pétrolières sur les écosystèmes aquatiques [39].

II-2-3-2-2- Pollution par les pesticides

Les pesticides sont des substances chimiques utilisées aussi bien en agriculture qu'en industrie pour la lutte contre les ravageurs des récoltes 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-2-3-2-3- Pollution par les métaux lourds

Les oligo-éléments sont toujours présents dans l'eau à une quantité très faible. Leur présence est indispensable au développement des êtres vivants, leur absence entraîne des carences. A plus forte concentration, ils deviennent toxiques [40]. Ces éléments sont soumis à des normes en eau potable, en rejets industriels, pour les boues d'épuration valorisables en agriculture.

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. 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, la débilité, la paralysie puis la mort [41].

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, une stomatite, des diarrhées, une anémie, des lésions hépatiques et rénales, une ulcération intestinale avec hémorragie, une fatigue générale, une perte de poids et pâleur. Pour les organismes aquatiques, les effets toxiques peuvent apparaître à des concentrations de 0,03 à 0,1 µg/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 [42].

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[43].

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. 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.

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.

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.

Le chrome

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

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

III- Contrôle qualité des eaux de baignade

III-1- Contrôle microbiologique

III-1-1- Les méthodes de recherches des germes

III-1-1-1- Les coliformes

Ils existent 3 méthodes pour la recherche des coliformes [44]:

-les méthodes classiques

-les méthodes enzymatiques

-les méthodes moléculaires

III-1-1-1-1- Les méthodes classiques

➤ Technique de fermentation à tubes multiples

La technique d'énumération des coliformes par des moyens de la fermentation à tubes multiples (MTF) a été utilisée plus de 80 ans comme méthode de surveillance de la qualité de l'eau. La méthode consiste à inoculer une série de tubes avec des dilutions décimales appropriées de l'échantillon d'eau. La production de gaz, la formation d'acide ou la croissance abondante dans les tubes après 48 heures d'incubation constitue une réaction présomptive positive. Tous les tubes avec une réaction présomptive positive sont ensuite soumis à un test de confirmation. La formation de gaz dans un bouillon de bile de lactose vert brillant dans les 48 h à 35 degré Celsius constitue un test de confirmation positif. Les résultats de la technique MTF sont exprimés en termes du nombre le plus probable (NPP) de micro-organismes présents. Ce nombre est une estimation statistique du nombre moyen de coliformes dans l'échantillon. En conséquence, cette technique offre une approche semi-quantitative de dénombrement des coliformes [44].

➤ Technique de filtre à membrane

Cette méthode consiste à filtrer un échantillon d'eau sur un filtre stérile avec une taille de pores de 0,45 millimètre qui retient des bactéries. Incuber ce filtre sur un milieu sélectif et énumérer des colonies typiques [44].

III-1-1-1-2- Les méthodes enzymatiques

L'ajout de substrats fluorogènes et chromogènes aux milieux de culture (agar et milieux liquides) pour détecter l'activité enzymatique des coliformes totaux et *Escherichia coli* ont augmenté la sensibilité et la rapidité de la classique méthode d'estimation de la contamination microbienne [44].

III-1-1-1-3- Les méthodes moléculaires

Des méthodes moléculaires ont été développées pour augmenter la rapidité de l'analyse. Ils sont capables d'atteindre un haut degré de sensibilité et de spécificité sans la nécessité d'une culture et d'une étape de confirmation. En conséquence, certaines de ces méthodes permettent la détection de cultures spécifiques de bactéries cultivables ou non cultivables en quelques heures, au lieu des jours requis avec les méthodes traditionnelles [44].

III-1-1-2- Les virus

La détection et le dénombrement des virus sont réalisés par culture de cellules humaines ou animales. La culture cellulaire est une technique qui permet de ne détecter que les particules virales infectieuses. 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 [44].

III-1-1-3- Les cryptosporidies et champignons

Les méthodes d'analyses utilisées pour l'identification et le dénombrement des cryptosporidies sont l'immunofluorescence directe (oocystes) et la polymérase Chain réaction PCR (génomique) [45]. Les méthodes d'identification et de dénombrement des champignons peuvent être également réalisées par une méthode spectrale (spectrophotométrie Infrarouge) et par l'utilisation de milieux de culture artificiels (Sabouraud-Chloramphénicol, dermatophytes...) [46].

III-1-2- Les germes recherchés pour le contrôle de la qualité de l'eau

Les analyses microbiologiques de l'eau n'ont pas pour but de recenser toutes les espèces microbiologiques présentes dans le milieu, mais uniquement celles qui sont soit susceptibles d'être pathogènes ; soit celles qui les accompagnent et qui par leur présence indiquent une contamination fécale. Ce qui est beaucoup plus pratiqué car plus facile [47].

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

- la très grande diversité des micro-organismes pathogènes qui peuvent être présents dans l'eau (virus, bactéries, protozoaires,...) [48];
- la faible abondance de chaque espèce de pathogène (nécessité de concentrer de grands volumes d'eau pour les détecter)
- et enfin, l'absence de méthodes standardisées et rapides pour la détection de tous ces micro-organismes pathogènes.

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

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

- Appartenir à la flore intestinale des personnes en bonne santé
- Avoir pour seul habitat le milieu intestinal
- Être absente chez les autres espèces animales et présentes chez l'homme
- Être plus abondantes que les pathogènes,
- Être facile à détecter et à dénombrer
- Être plus résistante dans le milieu extérieur que les pathogènes

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

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

III-1-2-1- Les Coliformes totaux (CT)

Le groupe des CT est défini comme l'ensemble des bactéries aérobies et anaérobies facultatives Gram-, non sporulantes, en forme de bâtonnet, qui sont capables de se multiplier en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface ayant des propriétés équivalentes et de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 48 heures à 35-37°C. La pertinence de ce groupe comme indicateur est aujourd'hui fortement contestée du fait que toutes les espèces incluses dans les CT ne sont pas spécifiques de la flore intestinale des animaux à sang chaud. En effet, certaines espèces sont d'origine tellurique ou

aquatique et sont capables de se développer dans l'environnement aquatique [49]. Il s'agit des *Citrobacter*, des *Enterobacter* et des *Klebsiella*.

III-1-2-2- Les Coliformes thermotolérants (CTT)

Les Coliformes thermotolérants constituent un sous-groupe des CT capables de se développer à 44 °C. Les **CTT** sont considérés comme plus appropriés que les CT comme indicateurs de contamination fécale. Ce groupe est majoritairement constitué des *Escherichia coli* [49].

III-1-2-3- Les entérocoques

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

Croissance à des températures variant de 10 à 45°C, résistance à 60°C pendant 30 minutes, croissance en présence d'une concentration de 6,5 % de chlorure de sodium et à un pH de 9, et aptitude à réduire le bleu de méthylène à 0,1%.

Principe: il s'agit de l'hydrolyse de l'esculine en esculetine par les entérocoques présents dans la gélose. L'esculetine forme alors un complexe noir en présence des ions ferriques apportés par le citrate de fer.

III-1-2-4- Les clostridies sulfito-réductrices (SRC)

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

désinfectée peut être un signe de défaut dans le traitement ou la pollution fécale ancienne.

Principe. Il s'agit d'une réaction de réduction du sulfite de sodium, sulfure d'hydrogène (H₂S) avec production de sulfure de fer qui se manifeste par l'apparition d'un halo noir autour des colonies.

Les bactéries ASR ou les Clostridium sulfito-réducteurs sont des micro-organismes capables de sporuler. Ces spores résistent à un chauffage de 15 minutes à (75±5) °C. Elles sont capables de se développer à 37±1°C en 44±4heures en anaérobiose sur un milieu gélosé contenant des sels de fer.

Dans certains pays développés, des recommandations concernant la qualité des eaux de baignade ont été établies. Elles sont consignées dans le Tableau IV [23].

Tableau IV : Recommandations concernant les eaux de baignade [50]

Pays ou organisation	Indicateur des eaux douces	Paramètres et recommandation
US EPA	<i>E. coli</i>	Moyenne géométrique de la concentration : 126/100 ml Concentration maximale dans un seul échantillon : 235/100 ml
OMS	Entérocoques intestinaux	95e centile/100 ml : A : ≤40 B : 41-200 C : 201-500 D: > 500
Union européenne	Entérocoques intestinaux	95e centile/100 ml : Excellente : 200/100 ml Bonne : 400/100 ml 90e centile/100 ml : Acceptable : 330/100 ml
	<i>Escherichia coli</i>	95e centile/100 ml Excellente : 500/100 ml Bonne : 1 000/100 ml 90e centile/100 ml : Acceptable : 900/100 ml

III-2- Contrôle physico-chimique

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

III-2-1- Électrochimie pour le pH

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

L'échelle du pH varie entre 0 et 14. Un pH inférieur à 6,5 est dit acide et basique lorsqu'il est supérieur à 8,5 [51].

Le principe de la mesure électrométrique du pH à l'aide d'un pH-mètre est basé sur la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel – chlorure de potassium saturé) laquelle différence de potentielle est liée à la présence d'ions hydrogènes $[\text{H}^+]$ dans le milieu [52].

III-2-2- Détermination de la Turbidité

La détermination de la turbidité se fait par la méthode néphélométrie. Elle consiste à mesurer la lumière diffusée formant un angle de 90° avec la lumière incidente [53]

III-2-3- La conductivité

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

les électrodes, la variation de l'intensité de courant est inversement proportionnelle à la résistance de la solution [54].

III-2-4- La colorimétrie

Les analyses wagtech sont basées sur la mesure de l'intensité des couleurs absorbées par un échantillon auquel des réactifs ont été ajoutés par rapport à un échantillon non traité (blanc) par un photomètre wagtech. Dans un colorimètre, un faisceau de lumière blanche passe à travers un filtre optique qui ne transmet qu'une certaine bande de longueur d'onde lumineuse au photodétecteur, au niveau duquel elle est alors mesurée. La différence entre la quantité de lumière colorée transmise par un échantillon incolore (le "blanc") et la quantité de lumière colorée transmise par un échantillon coloré correspond à l'analyse de la quantité de lumière colorée absorbée par l'échantillon. Les photomètres wagtech calculent les résultats du test avant de les afficher directement en milligrammes par litre (mg/l) du facteur de test, en comparant la quantité de lumière absorbée aux données d'étalonnage programmées dans l'instrument [55].

III-2-5- Méthodes chromatographiques

La Chromatographie liquide est une technique séparative d'analyse basée sur la distribution de substances contenues dans un échantillon (soluté) entre deux phases : une phase stationnaire fixe solide ou liquide et une phase mobile ϕ m liquide (fluide). Les pesticides, les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont déterminés par méthodes [56].

III-2-6- Méthodes spectrométriques

Ils mettent en jeu l'interaction des radiations électromagnétiques avec la matière se traduisant par absorption ou émission de photons. Les métaux peuvent être analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique ou par spectrophotométrie d'émission atomique [57].

Les valeurs limites des paramètres physico chimiques extraites de l'annexe 1 du décret n° 81-324 du 7 avril 1981 et modifiées par le décret n° 91-980 du 20 septembre 1991 sont consignées dans les Tableaux V et VI [65].

Tableau V : Normes françaises de qualité relative aux eaux de baignade

Physico-chimie	Valeur guide (G*)	Valeur impérative (I*)
pH	-	6-9
Coloration	-	Pas de changement anormal de la couleur
Huiles minérales (mg/L)	-	Pas de film visible à la surface de l'eau et absence d'odeur
Substances tensio-actives réagissant au bleu de méthylène mg/L (lauryl-sulfate)	-	Pas de mousse persistante
Phénols (indices phénols) C ₆ H ₅ OH (mg/L)	-	Aucune odeur spécifique
Transparence (m)	2	1
Oxygène dissous (% de saturation 02)	80-120	-
Résidus goudronneux et matières flottantes telles que bois, plastique, bouteilles, récipients en verre, en plastique, en caoutchouc et en toute autre matière. Débris ou éclats	Absence	-

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

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

Tableau VI: Normes de qualité de base pour les eaux de surface ordinaires (AR du 4/11/1987)

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

Les paramètres sont physiques, chimiques et microbiologiques, et plus concrètement, ils peuvent évaluer :

- le risque microbien (évalué via les coliformes fécaux, éventuellement thermorésistants)
- la présence de substances toxiques ou indésirables (plomb, mercure, cadmium... pesticides, organochlorés) (non obligatoire en France)
- perturbateurs endocriniens, résidus de crème solaire... (non obligatoire en France)
- radioactivité de l'eau (non obligatoire en France)

Deuxième partie : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

I- MATERIEL ET METHODES

I-1- Type et cadre de l'étude

Il s'agit d'une étude analytique réalisée dans le sud de la Côte d'Ivoire dans la ville d'AGBOVILLE, chef-lieu de la région Agnéby-Tiassa en COTE- D'IVOIRE. Les analyses ont été réalisées d'une part pour les paramètres physico-chimiques classiques et microbiologiques à l'Institut National Hygiène Publique (INHP) d'Abidjan Treichville et d'autre part pour les métaux lourds, les HAP et les pesticides au Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole (LANADA) à Abidjan.

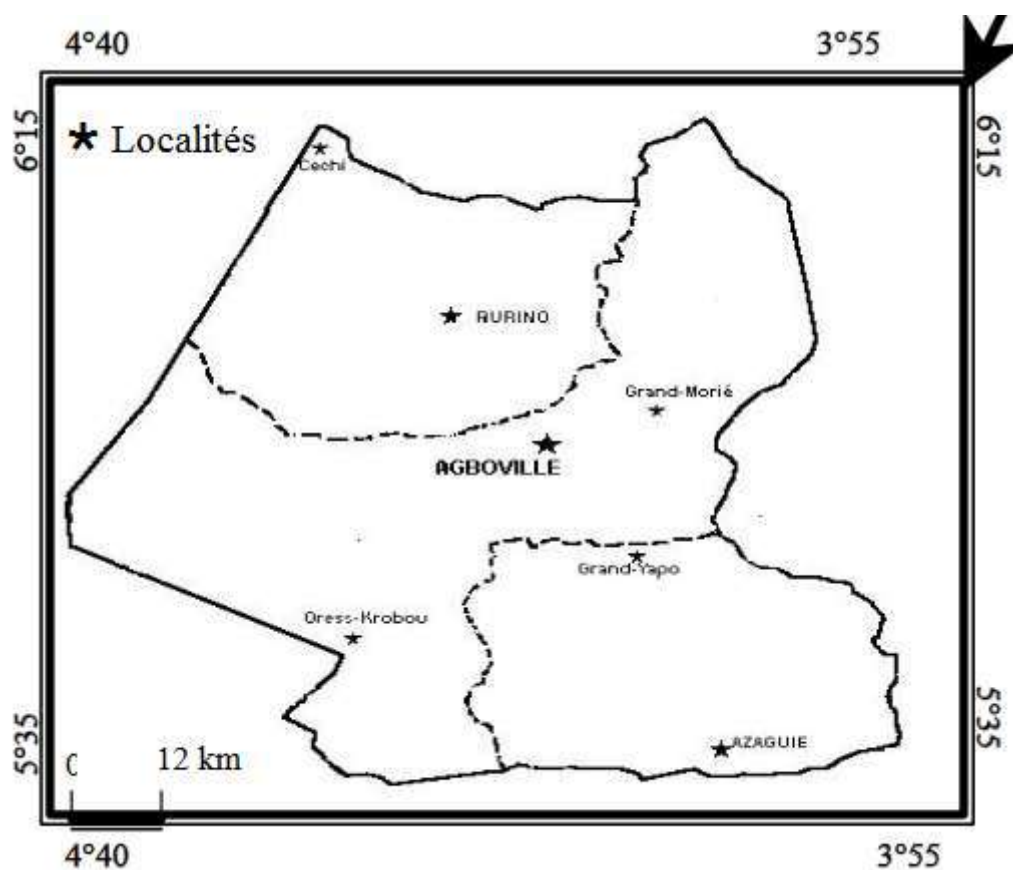


Figure 2- Situation géographique de la ville d'Agboville

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 Goethingen- Germany),
- Incubateurs de terrain (LABNET),
- Stérilisateurs UV,
- Autoclaves de paillasse (P SELECTA),
- GPS (GARMIN-Etats-unis),
- Un chromatographe liquide [SHIMADZU]
- Spectrophotomètre ICP-OES (Perkin Elmer)
- Appareil photo numérique (SONY-Japon)
- De consommables et la verrerie

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 :

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

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

Les réactifs pour le pH sont les étalons pH 4, pH 7 et pH 9.

L'acide sulfurique (d=1,84), l'oxalate de sodium et le permanganate de potassium pour le dosage de la matière organique selon la méthode AFNOR,

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), EPT (eau peptonee tamponnee), Pseudosel, YGC (yeast glucose chloramphenicol), Milieu CHAPMAN , gelose birdpaker, bouillon cœur cervelle, , gélose a l'ADN plasma de lapin, gelose SS, gelose Hektoen, TCBS, eau peptonee alcaline, bouillon rappaport

I-3- Méthodes

I-3-1- Géolocalisation de la rivière de Moutcho et du fleuve de l'Agneby: 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 [58].

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- Critères de choix des sites de prélèvement

La ville d'Agboville est une ville touristique qui regorge de plusieurs sites pour la baignade.

Deux cours d'eau ont été visités :

- La rivière de Moutcho se trouve dans le village de Moutcho à 5 km du centre-ville. Les habitants de ce village s'adonnent à plusieurs activités dans cette eau à savoir la baignade, la lessive, la toilette etc
- Le fleuve de l'Agneby. Le site choisi est proche du forage où la population s'y rend massivement pour plusieurs activités notamment la pêche, la baignade, les toilettes. De plus le quartier "Artisanal" de est à proximité.

I-3-2-2- Echantillonnage

L'échantillonnage s'est fait au cours de cinq campagnes bien distinctes : décembre 2017, janvier 2018, février 2018, mars 2018 et avril 2018. Le nombre d'échantillons par campagne était constitué de:

- un (1) échantillon de 1000 ml pour les analyses physicochimiques sur l'eau brute
- un échantillon de 1000ml pour la recherche des vibrions
- un (1) échantillon de 500 ml pour les autres analyses microbiologiques sur l'eau brute ;

- un échantillon de 1000 ml chacun pour les analyses des métaux lourds, des pesticides et des hydrocarbures aromatiques polyinsaturés(HAP) uniquement le mois de décembre.

I-3-2-3- Le suivi des échantillons

Les prélèvements ont été réalisés selon les recommandations de l'OMS/PNUE[59]. Les échantillons d'eau étaient rangés dans une glacière en vue de les emmener au laboratoire tout en respectant la chaîne de froid assurée par des accumulateurs de glace. Les échantillons prélevés étaient transportés à l'abri de la lumière à une température allant de 4°C à 8°C. Les échantillons prélevés pour la recherche de vibrio avaient été mis dans une glacière sans accumulateur de glace. Ils ont été acheminés au laboratoire le plus rapidement possible c'est-à-dire dans les 4 heures qui suivaient le prélèvement pour les différentes analyses.

Avant la détermination des paramètres physicochimiques classiques, les échantillons 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 dans notre étude sont la couleur et la turbidité.

➤ 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.

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.

➤ **Détermination de la Turbidité**

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

✓ **Principe**

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

✓ **Technique**

1. Rincer le flacon avec environ 10 ml de l'échantillon d'eau, boucher le flacon avec le capuchon à vis et retourner le flacon plusieurs fois. Verser l'échantillon utilisé et répéter la procédure de rinçage deux ou trois fois.
2. Remplir le flacon rincé avec l'échantillon jusqu'au repère indiqué sur le flacon. Boucher le flacon avec le bouchon à vis fourni.
3. Essuyer le flacon avec un chiffon doux ou pelucheux fourni. Vérifier que l'extérieur du flacon est sec, propre et dépourvu de tâches.
4. Appliquer une fine couche d'huile de silicone (fournie) sur le flacon de d'échantillon. Essuyer avec un chiffon doux pour obtenir une répartition homogène sur toute la surface du flacon.
5. Placer le flacon dans la cuve échantillon et aligner le repère du flacon sur le repère de mesureur.
6. Pousser sur le flacon jusqu'à ce qu'il soit bien placé.
7. Obstruer le flacon avec le capuchon pare-lumière.
8. Allumer le mesureur en appuyant sur ON/OFF et attendre quelques secondes pour lire la valeur affichée sur l'écran de l'appareil (valeur en UNT)

I-3-3-1-2- Analyse physico-chimique

➤ Mesure du pH

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

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

✓ Principe

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

✓ Mode Opératoire

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

2- Allumer le pH-mètre.

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

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

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

➤ Détermination de la conductivité

✓ Principe

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

✓ **Mode Opérateur**

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

Afin d'éviter une dilution ou une contamination, rincer la cellule avec la solution de mesure.

2- Appuyer sur ON pour allumer l'appareil.

3- Etalonner l'appareil.

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

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

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

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

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

➤ **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).

➤ **Dosage de l'Ammonium (NH₄⁺)**

✓ **Principe**

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

✓ **Mode Opératoire**

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

➤ **Dosage des Nitrites (NO_2^-)**

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

✓ **Mode Opératoire**

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

➤ **Dosage des Nitrates (NO_3^-)**

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

✓ **Mode Opératoire**

- 1- Prélever 20 ml d'échantillon dans le tube Nitratest;

- 2- Ajouter une cuillère de poudre Nitratest et une pastille Nitratest, ne pas écraser la pastille. Fermer le tube avec le capuchon et agiter pendant une minute;
- 3- Attendre une autre minute puis remuer le tube trois ou quatre fois pour permettre la floculation. Attendre encore deux minutes ou jusqu'à l'obtention d'une solution claire;
- 4- Enlever le capuchon et nettoyer le haut du tube avec un papier propre. Transférer le contenu de cette solution claire dans une éprouvette ronde, jusqu'au trait 10 ml;
- 5- Ajouter une pastille Nitricol, écraser et remuer pour dissoudre;
- 6- Attendre 10 minutes jusqu'au développement complet de la couleur;
- 7- Sélectionner la longue d'onde 570 nm du photomètre;
- 8- Lire le résultat qui s'affiche en milligramme de nitrates par litre d'eau (mg/L NO_3^-).

➤ **Dosage des Chlorures (Cl^-) et du Sodium (Na^+)**

✓ **Mode Opératoire**

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

➤ **Dosage du Fer (Fe)**

✓ **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).

➤ **Dosage du Manganèse (Mn)**

✓ **Mode Opératoire**

- 1- Dans un tube, introduire 10 ml d'eau à analyser.
- 2- Ajouter une pastille de manganèse N°1, écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Ajouter une pastille de manganèse N°2, écraser et remuer pour dissoudre.
- 4- Fermer le tube et attendre 20 minutes pour 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).

➤ **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).

➤ **Dosage de l'Aluminium (Al)**

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

**➤ Dosage des minéraux (Calcium, Potassium, Magnésium,
des Sulfates, des Phosphates, silice, silicate, soufre, zinc)**

✓ Procédure de dosage du calcium

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

✓ Procédure de dosage du potassium

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

✓ Procédure de dosage du magnésium

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 ml de l'échantillon.
- 2- Ajouter une pastille « Magnecol », écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Attendre 5 minutes pour permettre à la couleur de se développer et à la turbidité de se dissiper.
- 4- Sélectionner Phot 21.

5- Lire le résultat s'affiche en mg/L Mg.

✓ Procédure de dosage des sulfates et du soufre

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

✓ Procédure de dosage des phosphates

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

✓ Procédure de dosage des silices, silicates

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 ml de l'échantillon
- 2- Ajouter une pastille « Silica PR », écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Ajouter une pastille « Silica N1 », écraser et remuer pour dissoudre.
- 4- Ajouter une pastille « Silica N2 », écraser et remuer pour dissoudre.
- 5- Attendre 5 minutes pour permettre le développement complet de la couleur.
- 6- Sélectionner Phot 56.
- 7- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L SiO_2 .

✓ Procédure de dosage du zinc

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 ml de l'échantillon.
- 2- Ajouter une pastille zinc
- 3- Ajouter une pastille « Dechlor », écraser et remuer pour dissoudre.
- 4- Attendre 5 minutes pour permettre le développement complet de la couleur.

5- Sélectionner Phot 35.

6- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L SO_4^{2-} .

➤ **Détermination du Titre Alcalimétrique Complet (TAC)
et bicarbonates**

✓ **Mode Opératoire**

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

2- Ajouter une pastille « Alkaphot », écraser et remuer pour dissoudre totalement la pastille.

3- Attendre une minute et mélanger encore.

4- Sélectionner Phot 2.

5- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L CaCO_3 .

➤ **Détermination du Degré Hydrotimétrique Total (DHT)**

✓ **Principe**

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

✓ **Mode Opératoire**

1- Filtrer l'échantillon pour obtenir une solution claire.

2- Remplir le tube jusqu'à 10 ml de l'échantillon.

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

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

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

6- Sélectionner Phot 15.

7- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L CaCO_3 .

Remarque:

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

➤ **Détermination de la matière organique**

✓ **Mode Opératoire**

1-Transférer 25 ml de l'échantillon dans un tube à essai et y ajouter 5 ml d'AS2, mélangé en agitant doucement.

2-Placer le tube à essai dans un bain d'eau bouillante pendant 10 min

3-Ajouter 5 ml de la solution PP1 et démarrer le chronométrage

4-Apres 10 min, ajouter 5 ml de la solution OS1, et attendre que la solution se décolore.

5-Titre pendant que la solution est encore chaude, avec PP1 jusqu'à une coloration rose pâle persistante pendant 30s. Noter le volume V1 de PP1 consommé

6-Effectuer parallèlement à la détermination, un essai à blanc en utilisant le même mode opératoire, mais en remplaçant la prise d'essai par 25ml d'eau distillée. Noter le volume V0 de PP1 consommé.

7-Conserver la solution (de l'essai à blanc) titrée pour l'étalonnage de la solution de PP1 décrit comme suit

8-Ajouter 5 ml de la solution OS1 a la solution titrée conservée a l'étape 7. Réchauffer si nécessaire a environ 80 degré Celsius et titrer avec le PP1 jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pâle persistant pendant 30s. Noter le volume V2 de PP1 consommé.

I-3-3-2- 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 en mode gradient : Eau (pompe B) –Acétonitrile (pompe A)

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	

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 première 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

$$C_{Ech} = \frac{S_{Ech} \times C_{Std} \times V_f}{S_{Std} \times V_{Ech}}$$

C_{Ech} : Concentration de l'Echantillon ($\mu\text{g/mL}$)
 S_{Ech} : Surface du pic de l'échantillon
 S_{Std} : Surface du pic du standard
 C_{Std} : Concentration du standard ($\mu\text{g/mL}$)
 V_f : Volume final (mL)
 V_{Ech} : Masse de l'échantillon (mL).

I-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.

✓ 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

I-3-3-5-1- Description de la méthode par la membrane filtrante

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

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

✓ Procédure de la membrane filtrante

○ Activités préopératoires :

- Stériliser l'unité de filtration (le poste de filtration et l'entonnoir cylindrique) de préférence par flambage soit à l'alcool ou à l'aide d'un camping gaz ;
- Étiqueter 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 100 ml de l'échantillon d'eau à analyser et transvaser dans l'entonnoir ;
- 4- Ouvrir le robinet servant à faire le vide pour permettre la filtration ;
- 5- Ôter l'entonnoir cylindrique pour retirer la membrane du poste de filtration avec une paire de pinces stérilisée à nouveau puis porter la membrane sur un milieu correspondant pour la recherche d'une bactérie donnée ;
- 6- Incuber les milieux ainsi cultivés aux températures correspondantes pendant 18 heures à 24 heures ;
- 7- À la fin du temps d'incubation, procéder à la lecture du milieu pour dénombrement les bactéries ;
- 8- Si nécessaire, confirmer les résultats de la culture par des tests de confirmation.

L'analyse microbiologique a porté sur :

- La recherche et le dénombrement des coliformes totaux, thermotolérants et streptocoques fécaux ;

La recherche et le dénombrement des germes anaérobies sulfite réducteurs (ASR)

I-3-3-5-2- Les coliformes totaux et thermo tolérants

Mode opératoire

- 1 Filtration sur une membrane une prise d'essai (100mL) de l'échantillon d'eau soigneusement homogénéisée à analyser. La membrane est ensuite placée à la surface de la gélose Rapid'*E coli* 2 ;
- 2 Incubation durant 24 à 48 heures à une température de 37°C ;
- 3 Dénombrement des colonies :

Bleues : (*E. coli*)

Violettes : coliformes thermotolérants et totaux

I-3-3-5-3- Dénombrement des streptocoques fécaux

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

Mode opératoire

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

I-3-3-5-4- Recherche des spores de micro- organismes anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) par filtration sur membrane

Mode opératoire

- 1 Sélectionner 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 à travers une membrane filtrante stérile de pores de $0,45\text{ }\mu\text{m}$ 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).
L'anaérobiose est créée par une seconde couche de ce milieu sur la membrane.
- 4 Incubation des boîtes à $37\pm 1^{\circ}\text{C}$ pendant 44 ± 4 heures.

Dénombrement des spores de micro-organismes ASR

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

I-3-3-5-5- Dénombrement des vibrions

Mode opératoire

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

I-3-3-5-6- Dénombrement des salmonelles

Mode opératoire

- 1 Filtrer 250 ml d'eau brute
- 2 Faire le pré-enrichissement dans 100 ml eau peptonée tamponnée à 37 °C pendant 18 à 24 heures
- 3 Mettre 0,1 ml de subculture à l'aide d'une pipette stérile dans du bouillon de Rappaport de Vassiliadis contenu dans chaque tube à vis stérile,
- 4 Incuber à l'étuve à 37°C pendant un temps de 18 à 24 heures.
- 5 Ensemencer sur géloses SS et Hektoen par technique de stries ou d'épuisement à partir du bouillon d'enrichissement
- 6 Incubation à l'étuve 37°C pendant 18 à 24 heures

7 Après 24 heures, les colonies isolées sur les géloses présentant les caractéristiques macroscopiques des salmonelles (colonies incolores à centre noir sur SS et colonies verdâtre ou bleuâtres à centre noir sur Hektoen)

Portoir réduit de le Minor est utilisé pour l'identification biochimique

I-3-3-5-7- Dénombrement des pseudomonas

Mode opératoire

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

I-3-3-5-8- Dénombrement des levures et moisissures

Mode opératoire

- 1 Filtrer 100 ml d'eau
- 2 Placer les membranes sur le milieu YGC
- 3 après 24 à 48 heures dénombrer les colonies
- 4 Grosses colonies blanchâtres muqueuses : levures
Grosses colonies duveteuses : moisissures

I-3-3-5-9- Dénombrement des staphylocoques

Mode opératoire

- 1 Filtrer 100 ml d'eau
- 2 Placer les membranes sur le milieu Baird Parker
- 3 Incuber 24 à 48 heures à 37°C
- 4 lecture des colonies noires entourées d'un halo translucide et d'un halo transparent
- 5 Coloration de Gram (Cocci Gram positif en amas ou en diplocoques)
- 6 Ensemencement des milieux : Chapman mannitée, bouillon cœur cervelle, gélose à ADN et la gelose ordinaire (Cinq colonies suspectes). Apres on les mets dans le plsma de lapin.

7 Les staphylocoques sont mannitol positif, staphylocoagulase libre, DNase, catalase et thermonuclease positive.

I-3-3-5-10- Dénombrement des légionnelles

Mode opératoire

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

I-3-4- L'analyse statistique

L'analyse statistique regroupe l'analyse descriptive permettant de présenter les données observées sous forme de tableau ou de graphique facilitant ainsi la lecture et la compréhension et l'analyse inductive. Les logiciels utilisés pour le traitement de nos données étaient Excel, analysis toolPak. La comparaison des moyennes s'est faite par le Test t Student et de Mann Whitney.

II- RESULTATS

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

- Réalisation du positionnement de la rivière de Moutcho et du fleuve d'Agboville 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 des zones de baignade

Les coordonnées géographiques du fleuve ont donné une longitude de $004^{\circ}12''944'$ et une latitude de $005^{\circ}56''380'$ (Figure 3).



Figure 3- Aperçu du fleuve de l'Agneby

Les

coordonnées GPS de la rivière de Moutcho ont donné une longitude de 005°57''610' et une latitude de 004°11''610'.



Figure 4- Aperçu de la rivière de Moutcho

II-2- Analyse des paramètres organoleptiques et physico-chimiques

II-2-1- Le fleuve de l'Agnéby

Les différents paramètres ont varié au cours du temps. Le pH a été proche de la neutralité mais durant la sécheresse au mois de mars, il est passé acide. La conductivité était comprise entre 207 et 294 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Certains paramètres tels que la conductivité, le TAC, les chlorures, le sodium, le magnésium, le calcium, les bicarbonates ont atteint leur pic au mois de mars (Tableau VII).

Tableau VII : Paramètres organoleptiques et physicochimiques du fleuve de l'Agnéby

Paramètres physico-chimiques	Déc-17	Jan-18	Fév-18	Mars-18	Avr-18	Moyenne	Normes
Couleur (UCV)	110	20	25	30	155	68	≤ 15
Turbidité (UNT)	13,8	8,28	17,2	14,1	7,18	12,11	50
Conductivité (µs/cm)	241	207,8	226	294	249	243,56	
Ph	7,62	7,34	7,13	6,37	7,32	7,16	6-9
Température (°C)	28	30,8	23,1	30	24,7	27,32	
Fer total (mg/L)	0,5	0,4	0,7	0,7	1,15	0,69	0,3
TAC (mg/L)	80	65	90	190	140	113	
DHT (mg/L)	80	55	75	20	70	60	
Chlorure (mg/L)	15	15	9,3	18	13	14,06	250
Aluminium (mg/L)	0,11	0,16	0,1	0,06	0,08	0,102	0,2
Fluorures (mg/L)	0,48	0,02	0,26	0,05	0,18	0,198	1,5
Nitrites (mg/L)	0,1	0,12	0,06	0,03	0,06	0,074	0,1
Nitrate (mg/L)	0,6	0,86	2,7	0,68	1,76	1,32	50
Ammonium (mg/L)	0,27	0,22	0,18	0,01	0,01	0,138	2
Manganèse (mg/L)	0,028	0,062	0,002	0,026	0,003	0,0242	0,1
Matières organiques (mg/L)	1	0,72	3,2	11,44	19,09	7,09	
Sodium (mg/L)	2,5	9,5	6	11,5	8	7,5	
Magnésium (mg/L)	50	42	50	75	55	54,4	
Calcium (mg/L)	16	14	14	20	14	15,6	
Sulfates (mg/L)	3	6	10	8	9	7,2	150
Potassium (mg/L)	5,2	5	3,9	5,6	6	5,14	
Phosphates (mg/L)	10	306	22,8	14,7	20,5	74,8	
Bicarbonates (mg/L)	50	40	55	115	85	69	
Soufre (mg/L)	1	. 2	3	3	3	2,4	
Phosphore (mg/L)	3	101	7,5	4,9	6,8	24,64	1
Zinc (mg/L)	0,01	0,01	0,12	0,23	0	0,074	5
Silicates (mg/L)	14	7,5	69	3,5	12,5	21,3	
Silice (mg/L)	6,5	3,5	32,5	7,5	6	11,2	

II-2-2- La rivière de Moutcho

Le pH est compris entre 5,98- 7,69. La conductivité est faible. Elle a varié de 82 à 176 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les paramètres tels que la conductivité, le TAC, les chlorures ont atteint leur pic au mois de février (Tableau VIII)

Tableau VIII : Paramètres organoleptiques et physicochimiques de la rivière de Moutcho

Paramètres physico-chimiques	Déc-17	Jan-18r	Fév-18	Mars-18	Avr-18	Moyenne
Couleur (UCV)	35	45	35	65	105	57
Turbidité (UNT)	43,9	46,7	34	49,9	25,1	39,92
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	112,6	82,5	175,5	99,4	139,7	121,94
pH	7,69	7	7	5,98	6,69	6,872
Température ($^{\circ}\text{C}$)	27,2	28,7	34	31,3	26,6	29,56
Fer total (mg/L)	1,3	1,85	1,15	2,07	0,9	1,454
TAC (mg/L)	75	70	180	130	125	116
DHT (mg/L)	45	55	45	50	30	45
Chlorure (mg/L)	3,2	4,7	15	5,8	6,8	7,1
Aluminium (mg/L)	0,11	0,17	0,1	0,25	0,08	0,142
Fluorures (mg/L)	0,01	0,01	0	0,15	0,01	0,036
Nitrites (mg/L)	0,06	0,02	0,11	0,14	0,08	0,082
Nitrate (mg/L)	1,9	0,48	1,72	1,1	0,7	1,18
Ammonium (mg/L)	0,27	0,13	0,22	0,01	0,01	0,128
Manganèse (mg/L)	0,001	0,006	0,003	0,004	0,003	0,0034
Matières organiques (mg/L)	4	0,87	7,6	19,79	11,09	8,67
Sodium (mg/L)	2,1	3,1	10	3,8	4,4	4,68
Magnésium (mg/L)	22	18	23	23	17	20,6
Calcium (mg/L)	2	6	4	2	4	3,6
Sulfates (mg/L)	15	17	17	21	14	16,8
Potassium (mg/L)	3,1	3,1	4,4	5,1	3,5	3,84
Phosphates (mg/L)	6	241	39,2	45,5	29	72,14
Bicarbonates (mg/L)	45	45	105	80	75	70
Soufre (mg/L)	5	6	6	7	5	5,8
Phosphore (mg/L)	2	79,5	12,9	15	9,6	23,8
Zinc (mg/L)	0,15	0,01	0,26	0,29	0,01	0,144
Silicates (mg/L)	23	16,5	89,5	11,5	13,5	30,8
Silice (mg/L)	11	8	42	24	6,5	18,3

II-2-3- Evolution globale des paramètres en fonction de la période

La turbidité de la rivière était supérieure à celle du fleuve. La turbidité a atteint son pic au mois de mars pour la rivière et au mois de février pour le fleuve (Figure 5). La couleur de ces deux eaux a atteint son pic maximum au mois d'avril (Figure 6).

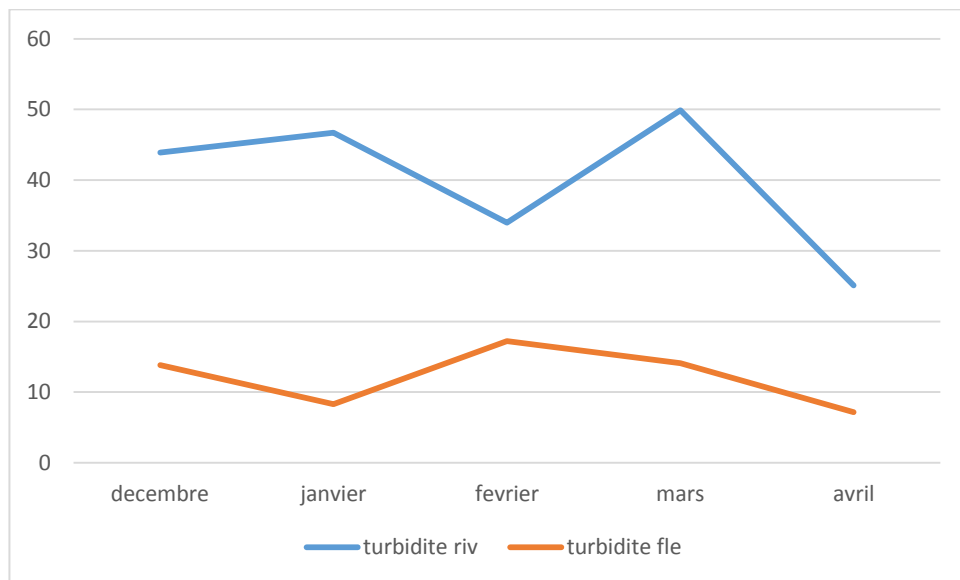


Figure 5- Evolution de la turbidité de la rivière et du fleuve

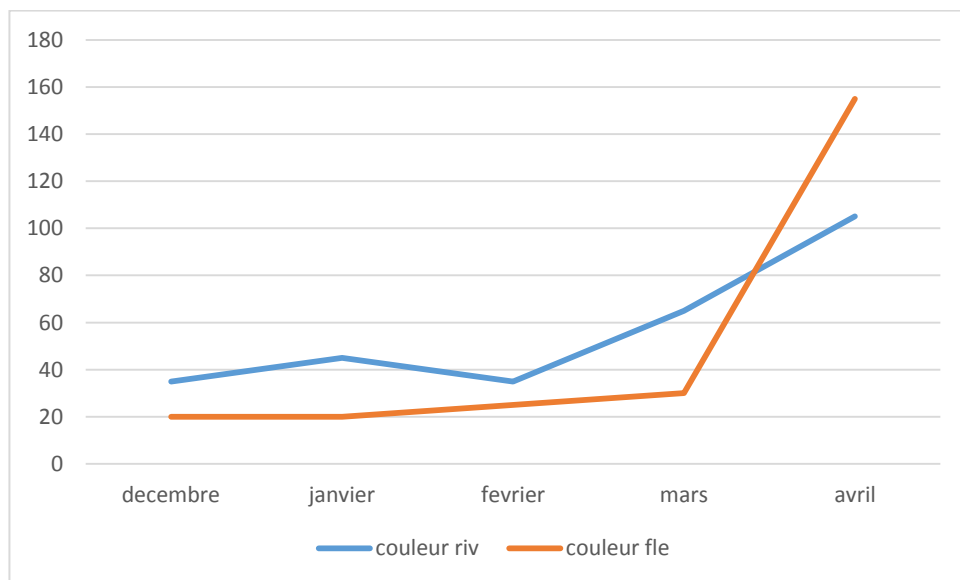


Figure 6: Evolution de la couleur de la rivière et du fleuve

Les TAC de ces deux cours d'eau ont varié dans le même sens durant les cinq mois de prélèvement. Une légère diminution de ce paramètre de décembre à janvier suivie d'une augmentation a été notée. Quant aux DHT du fleuve et de la rivière, ils ont présenté une évolution opposée (Figure 7).

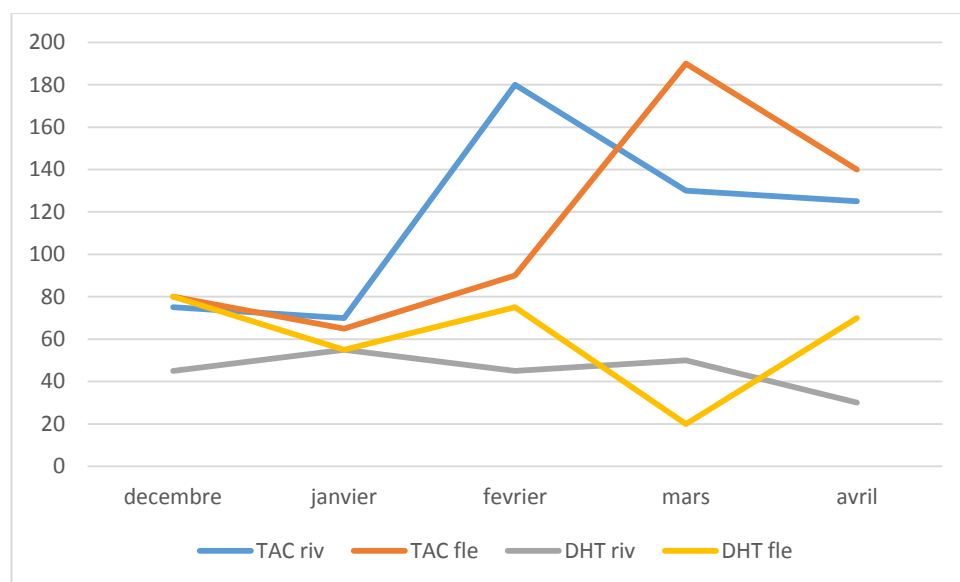


Figure 7: Evolution du TAC et du DHT de la rivière et du fleuve

II-2-4- Comparaison des valeurs paramétriques physicochimiques des deux eaux

Le Test t-Student a été utilisé pour la comparaison de la plupart des moyennes (Tableau III). Les autres paramètres à savoir Les fluorures et le magnésium ne répondent pas aux conditions d'application du test t-Student d'où l'application du test non paramétrique de Mann Whitney (Tableau IX). Les paramètres distinctifs des deux eaux ont porté sur l'élévation significative des valeurs paramétriques de la turbidité, du fer, des sulfates, du soufre au niveau de la rivière et de la conductivité, des chlorures, du magnésium, du calcium et du potassium au niveau du fleuve.

Tableau IX : Valeurs pour comparaison de deux moyennes par le Test t Student

Variables	F-observée	F-théorique	t calculé	t lue dans la table	Comparaison
Turbidité	5,803	6,388	5,631	2,306	S
Couleur	3,980	6,388	0,238	2,306	NS
Conductivité	1,280	6,388	-5,580	2,306	S
pH	1,766	6,388	-0,751	2,306	NS
Température	1,047	6,388	1,123	2,306	NS
Fer	2,816	6,388	3,020	2,306	S
TAC	1,295	6,388	0,098	2,306	NS
DHT	6,714	6,388	-1,291	2,306	NS
Chlorures	2,073	6,388	-2,770	2,306	S
Aluminium	3,359	6,388	1,137	2,306	NS
Nitrites	1,656	6,388	0,307	2,306	NS
Nitrates	2,107	6,388	-0,287	2,306	NS
Ammonium	1,039	6,388	-0,132	2,306	NS
Manganèse	3,368	6,388	-1,189	2,306	NS
Matières Organiques	1,199	6,388	0,326	2,306	NS
Sodium	1,240	6,388	-1,361	2,306	NS
Calcium	2,429	6,388	-8,660	2,306	S
Sulfates	1,069	6,388	5,561	2,306	S
Potassium	1,239	6,388	-2,452	2,306	S
Phosphates	1,831	6,388	-0,037	2,306	NS
Bicarbonate	1,450	6,388	0,056	2,306	NS
Soufre	1,143	6,388	6,208	2,306	S
Phosphores	1,836	6,388	-0,035	2,306	NS
Zinc	1,763	6,388	0,940	2,306	NS
Silicates	1,504	6,388	0,497	2,306	NS
Silice	1,551	6,388	0,829	2,306	NS

S : différence significative

NS : différence non significative

Tableau X : Valeurs pour comparaison de deux moyennes par le test de Mann Whitney

	RA	RB	MA	MB	Valeur critique	DECISION
Fluorure	17,5	37,5	22,5	2,5	2	NS
Magnésium	15	40	25	0	2	S

$MA = nA * nB + nA (nA + 1) / 2 - RA$

$MB = nA * nB + nB (nB + 1) / 2 - RB$

RA= somme des rangs occupés par les valeurs dans la rivière de Moutcho

RB= somme des rangs occupés par les valeurs dans le fleuve

S : différence significative

NS : différence non significative

II-3- Analyse des paramètres microbiologique

II-3-1- Le fleuve de l'Agnéby

Les coliformes totaux et les coliformes thermorésistants sont en quantité élevée dans le fleuve surtout les mois de janvier et février. A partir du mois de février la quantité diminue jusqu' au mois d'avril. *E. coli* et *Enterococcus faecalis* sont aussi présents. Les autres germes sont quasi absents (tableau XI).

Tableau XI : Paramètres microbiologiques du fleuve de l'Agnéby

Paramètres biologiques	Déc-17	Jan-18	Fév-18	Mars-18	Avr-18	Moyenne
Coliformes Totaux	1200	1100	100	2	200	520,4
Coliformes thermotolérants	1200	1100	100	0	200	520
<i>E. coli</i>	40	40	100	0	200	76
<i>Enterococcus faecalis</i>	680	500	1300	8	5400	1577,6
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0	0	0	0	0
ASR	0	0	0	3	1	0,8
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0	0	3	0	0,6
<i>Vibrio</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Salmonella</i>	0	0	0	0	0	0
Levures	0	0	0	0	0	0
Moisissures	120	0	0	0	0	24
<i>Legionella</i>	0	0	0	0	0	0

II-3-2- La rivière de Moutcho

Les coliformes totaux sont en quantité très élevées dans la rivière de Moutcho. Les coliformes TH, *E. coli*, *Enterococcus faecalis* sont présents en grande quantité (Tableau XII).

Tableau XII : Paramètres microbiologiques de la rivière de Moutcho

Paramètres biologiques	Déc-17	Jan-18	Fév-18	Mars-18	Avr-18	Moyenne
Coliformes Totaux UFC	1600	18500	4200	7	27300	12501,75
Coliformes Thermotolérants UFC	1600	18500	4200	4	27300	12501
<i>E. coli</i> (100/EC)	790	4700	4000	4	27300	9001
<i>Enterococcus faecalis</i>	1210	7600	7100	2	18600	8325,5
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0	0	0	0	0
ASR	0	0	5	8	4	4,25
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0	0	7	0	1,75
<i>Vibrio</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Salmonella</i>	0	0	0	0	0	0
Levures	220	0	0	0	0	0
Moisissures	200	0	0	0	0	0
<i>Legionella</i>	0	0	0	0	0	0

II-3-3- Comparaison des valeurs des paramètres microbiologiques des eaux aux normes

Les valeurs paramétriques microbiologiques de ces deux points d'eau sont comparées aux normes algériennes (Tableau XIII), européennes, de l'OMS (Tableau XIV), canadiennes et américaines (Tableau XV).

Tableau XIII : Comparaison des valeurs paramétriques microbiologiques des eaux aux normes algériennes

	Déc.-17	Jan-18	Fév-18	Mars-18	Avr-18	Moy	VG Algérie	VI Algérie
Fleuve								
<i>E. coli</i>	40	40	100	0	200	76	100	2000
<i>Enterococcus faecalis</i>	680	500	1300	8	5400	1577,6	100	2000
Rivière								
<i>E. coli</i>	790	4700	4000	4	27300	7358,8	100	2000
<i>Enterococcus faecalis</i>	1210	7600	7100	27	18600	6907,4	100	2000

VG : valeur guide

VI : valeur impérative

L'eau du fleuve est de qualité satisfaisante pour la baignade tandis que l'eau de la rivière est de mauvaise qualité.

Tableau XIV : Comparaison des valeurs paramétriques microbiologiques des eaux aux normes européennes et de l'OMS

	Déc-17	Jan-18	Fév-18	Mars-18	Avr-18	Normes européennes et l'OMS			
Fleuve									
						90 centile	95 centile	90 centile	95 centile
<i>E coli</i>	40	40	100	0	200	160	180	500	500
<i>E. faecalis</i>	680	500	1300	8	5400	3760	4580	185	200
Rivière									
<i>E coli</i>	790	4700	4000	4	27300	18260	22780	500	500
<i>Enterococcus faecalis</i>	1210	7600	7100	27	18600	14200	16400	185	200

L'eau du fleuve est de qualité insuffisante pour la baignade et celle de la rivière de mauvaise qualité.

Tableau XV : Comparaison des valeurs paramétriques microbiologiques des eaux aux normes américaines et canadiennes

	Déc-17	Jan-18	Fév-18	Mars-18	Avr-18	Moyenne géométrique	Normes
Rivière							
<i>E coli</i>	790	4700	4000	4	27300	1101,5	< 35
Fleuve							
<i>E. coli</i>	40	40	100	1	200	31,7	< 35

L'eau du fleuve et de la rivière sont de qualité insuffisante.

II-4- Recherche de métaux lourds

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

Les teneurs en Zn, Pb, Cd, Mo, le Mn, Co, Se, Sb, sont inférieures à la limite de détection. Le Fe et l'As sont en quantité très importante dans ces deux cours d'eau.

Tableau XVI : Valeurs des métaux lourds analysés des eaux de baignade de la rivière de Moutcho et du fleuve de l'Agnéby

Métaux	Rivière	Fleuve	LQ	Normes
Al (µg/l)	< LQ	< LQ	10	
As (µg/l)	3564	3834	5	50
Cd (µg/l)	< LQ	< LQ	0,5	5
Co (µg/l)	< LQ	< LQ	50	
Cr (µg/l)	12,98	15,6	5	50
Cu (µg/l)	7,2	7,65	0,003	50
Fe (µg/l)	4592,7	5394,6	50	
Hg (µg/l)	0,07	0,02		1
Mn (µg/l)	< LQ	< LQ	50	
Mo (µg/l)	< LQ	< LQ	50	
Ni (µg/l)	4,96	4,01	1,1	50
Pb (µg/l)	< LQ	< LQ	5	50
Sb (µg/l)	< LQ	< LQ	10	
Se (µg/l)	< LQ	< LQ	10	
Sr (µg/l)	< LQ	< LQ	50	
Zn (µg/l)	< LQ	< LQ	50	300

II-5- Recherche des HAP

Les analyses des HAP dans ces deux eaux ont montré la présence de HAP (Tableau XVII, Figures 8 et 9).

Tableau XVII : Valeurs des HAP de la rivière de Moutcho et du fleuve de l'Agnéby

HAP recherchés	Fleuve	Rivière
Fluoranthène	0,15	0,06
Pyrène	1,4	0,8
Benzo(k)fluoranthène	0,15	0,26
Benzo(a)pyrène	0,2	0,07
Indéno(1,2,3-cd)pyrilène	0,19	1,18
Indéno(1,2,3-cd)pyrilène	0,55	0,25
Benzo(a)anthracène	0,13	0,25
Benzo(b)fluoranthène	0,09	0,06
Σ HAPs	2,86	2,92

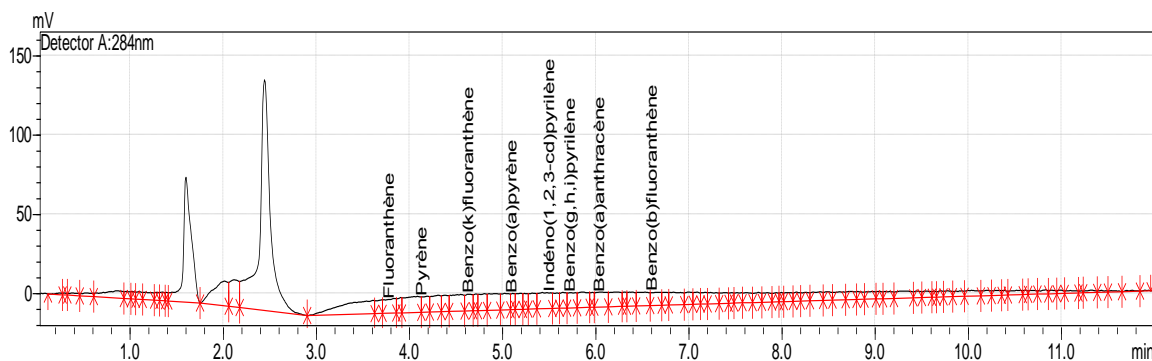


Figure 8: Chromatogramme des HAP de la rivière

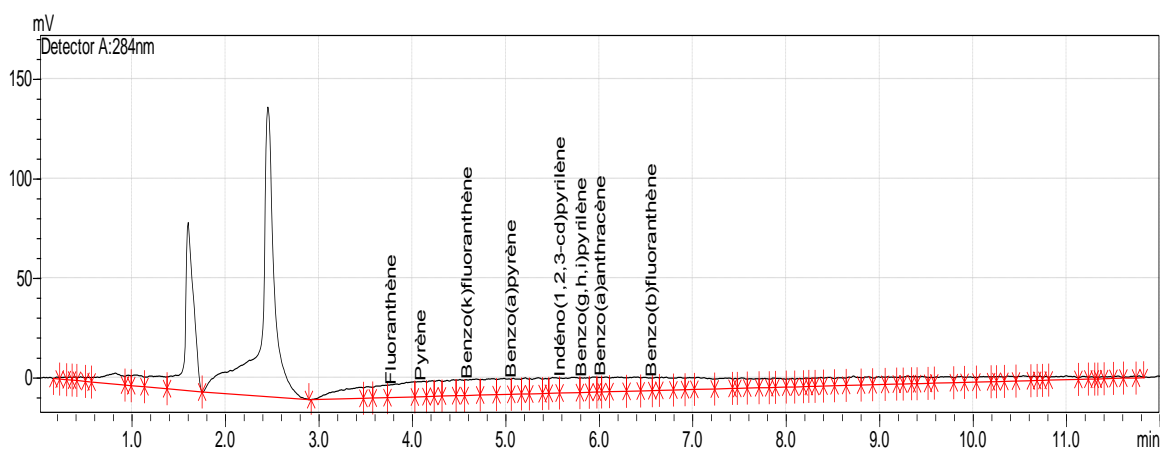


Figure 9: Chromatogramme des HAP du fleuve

II-6- Analyse des pesticides

Cette analyse a montré que ces deux cours d'eau ne contiennent pratiquement pas de pesticide (Tableau XVIII, Figures 10 et 11).

Tableau XVIII : Valeurs paramétriques des pesticides des eaux

		Echantillons		
		Rivière	Fleuve	Normes
		10/12/2017	10/12/2017	
*Pesticides recherchés				
Organophosphorés (O.P.)	Chlorpropham	N.D.	N.D.	
	Parathion-méthyl	N.D.	N.D.	
	Chlorfenvinphos	N.D.	N.D.	
	Vinclozolin	N.D.	N.D.	
	Parathion-éthyl	N.D.	N.D.	
	PROFENOFOS	N.D.	N.D.	
	CHLORPYRIFOS ETHYL	N.D.	N.D.	
	PARAQUART	N.D.	N.D.	
Organochlorés	METOLACHLORE	N.D.	N.D.	
	ENDOSULFAN	N.D.	N.D.	
Herbicides dérivés de l'urée et Hétérocycles azotés + Carbamates + Triazines	2,4 D	N.D.	N.D.	
	Glyphosate	N.D.	N.D.	
	Fénuron	N.D.	N.D.	
	Aldicarb	0,011	0,002	
	Métoxuron	N.D.	0,009	
	Monuron	0,004	N.D.	
	Méthabenzthiazuron	0,009	N.D.	
	Chlortoluron	0,009	N.D.	
	Monolinuron	0,009	N.D.	
	Isoproturon	0,001	0,009	
	Diuron	0,001	0,009	
	Métobromuron	N.D.	0,001	
	Métazachlor	N.D.	N.D.	
	Buturon	N.D.	N.D.	
	Linuron	N.D.	N.D.	
	Simazine	0,006	N.D.	
	Cyanazine	N.D.	N.D.	
	Atrazine	N.D.	N.D.	
	Propazine	N.D.	N.D.	
	Terbuthylazine	N.D.	N.D.	
	Prometryn	N.D.	N.D.	
	Terbutryn	N.D.	N.D.	
Pyréthrénoïdes	Cyperméthrine	N.D.	N.D.	
	Lambda Cyhalothrine	N.D.	N.D.	
Σ Pesticides		0,04	0,03	<0,5

ND : non détecté

La quantité de pesticide détectée est inférieure à la norme. Donc ces deux eaux ne contiennent pas une quantité suffisante de pesticide pouvant porter atteinte à la santé de la population.

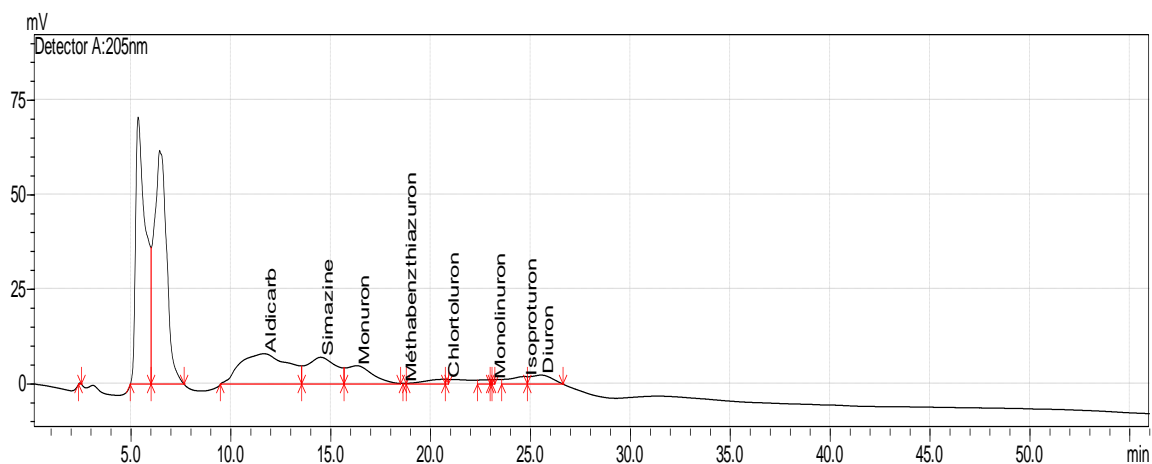


Figure 10: Chromatogramme des pesticides de la rivière

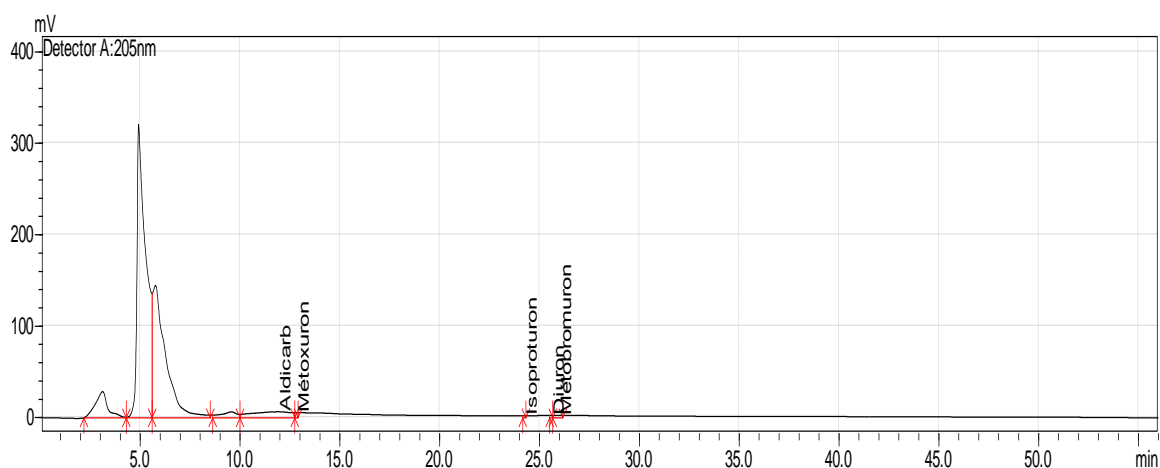


Figure 11: Chromatogramme des pesticides du fleuve

III- DISCUSSION

III-1- Paramètres microbiologiques

La réglementation des eaux douces de baignade des pays ou organisations qui en possèdent (Canada, Etats-Unis d'Amérique, Union Européenne, OMS) se focalise plus sur les paramètres microbiologiques particulièrement *E. coli* et *Enterococcus faecalis*[50]. *E. coli* est le meilleur indicateur de contamination fécale des eaux douces utilisées à des fins récréatives, et les entérocoques le meilleur indicateur des eaux de mer [60].

La présente étude a porté sur les eaux douces de baignade de la ville d'Agboville : le fleuve de l'Agnéby et la rivière de Moutcho. Cette étude a montré la présence de nombreux germes notamment *E. coli*.

Comparé aux normes algériennes, le nombre de coliformes totaux et d'*E. coli* dans le fleuve était conforme car inférieure aux valeurs limites qui sont respectivement de 10 000 CF/ 100 mL et 2 000 EC/ 100 mL. La concentration d'*E. coli* variait de 1 EC/ 100 mL (en mars) à 200 EC/ 100 mL (en avril) dans les eaux de baignade du fleuve. Le fleuve pourrait donc être classé de qualité satisfaisante en comparaison à la norme algérienne. Ces résultats sont similaires à ceux de Dosso [8] sur l'eau de baignade de la cascade de Man.

Quant à la rivière de Moutcho, le nombre d'*E. coli* variait de 4 EC/100 mL (en mars) à 27 300 EC/ 100 mL (en avril). A part le mois de mars où la valeur est inférieure à la valeur guide, les autres mois (décembre, janvier, février et avril) le nombre d'*E. coli* est supérieure à la valeur guide. Le nombre d'*E. coli* de la rivière n'était pas conforme aux normes algériennes car supérieures aux valeurs limites. Cette rivière pourrait être qualifiée de qualité insuffisante pour la baignade. Ces résultats sont semblables à ceux de Hounsou et *al.* qui ont mené une étude sur l'eau du bassin d'Oueme au Benin[61]. La détection de ces bactéries signale la contamination

d'origine fécale de l'eau et de ce fait, la présence possible de bactéries, virus ou protozoaires fécaux pathogènes [62].

La Concentration en entérocoques dans les deux zones était également non conforme aux normes européennes et à celles de l'OMS car les 90^e et 95^e centiles étaient supérieurs aux valeurs de la classe D. Les deux eaux sont donc de qualité insuffisante.

Comparée aux normes canadiennes, l'eau du fleuve ne contient pas une quantité suffisante d'*E. coli* susceptible d'entraîner un risque microbiologique. Par contre la rivière de Moutcho est beaucoup chargée d'*E. coli*.

En somme, la présence significative des germes indicateurs de pollution fécale tels que les coliformes totaux, les entérocoques prouvent que les eaux du fleuve et de la rivière sont polluées. Cette pollution peut être due à certaines activités telles la défécation à l'air libre et le rejet des déchets domestiques dans les eaux.

III-2- Paramètres physicochimiques classiques des eaux de baignade

Sur le plan physico-chimique, les valeurs des paramètres organoleptiques analysés (couleur, turbidité) sont élevées par rapport aux normes de l'eau potable. La couleur de l'eau pourrait provenir de substances minérales comme le fer ou le manganèse et/ou de substances organiques [60]. Les substances organiques comprennent généralement des algues, des protozoaires et des produits naturels provenant de la décomposition de la végétation (substances humiques, tanins, lignine). Le lessivage des sols peut aussi amener des acides organiques moins courants.

La conductivité des deux eaux, 121,94 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la rivière et 243,56 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le fleuve, sont faibles. Les eaux sont faiblement minéralisées. Les teneurs obtenues sont comparables à celles des eaux douces de surface de la Côte d'Ivoire [63]. Cependant, l'eau de la rivière s'est distinguée de l'eau du fleuve par l'élévation significative des valeurs paramétriques de la turbidité, du fer, des sulfates, du soufre et la baisse

significative de la conductivité, des chlorures, du magnésium, du calcium et du potassium.

III-3- Pesticides, HAP et métaux lourds

Les concentrations en métaux lourds étaient inférieures pour la plupart à la limite de quantification et à la norme de qualité de base pour les eaux de surface ordinaires sauf ceux de l'arsenic et du fer qui étaient très supérieurs. La présence d'arsenic dans ces eaux ne signe pas automatiquement un risque sanitaire élevé pour les populations qui s'y baignent car l'absorption de l'arsenic par la peau est minimale de sorte que se baigner, avec de l'eau contenant de l'arsenic ne comporte pas de risque pour la santé [64]. Ces résultats concordent avec ceux de Meless [9].

De très faibles quantités de pesticides ont été détectées dans le fleuve et la rivière. Ces eaux doivent être mises sous surveillance du fait de la présence de champs agricoles notamment de cacaoyer aux abords de la rivière. L'usage des pesticides en Côte d'Ivoire qui un pays dont l'économie repose sur l'agriculture est en plein essor. Les résultats des pesticides sont similaires à ceux de Dosso et Meless [8,9]. Ils sont différents de ceux d'Amin et *al.* en 2017 qui ont retrouvé des pesticides en quantité importante dans le fleuve Sassandra.

On note également la présence de HAP dont les taux sont largement supérieurs aux taux retrouvés dans l'eau de la Neuville en Hez une commune française où la teneur de chaque HAP est inférieure à 1 ng/L.

CONCLUSION

Notre étude avait pour objectif de caractériser les eaux de baignade de la commune d'Agboville au moyen des paramètres microbiologiques et physico-chimiques.

La stratégie adoptée était de :

- localiser les sites de prélèvement par repérage GPS ;
- réaliser l'analyse des paramètres chimiques ;
- dénombrer les germes de contamination fécale.

Deux cours d'eau, le fleuve de l'Agnéby et la rivière de Moutcho, ont été sélectionnés. Les points de prélèvement du fleuve de l'Agnéby sont localisés selon la longitude de 004°12'944'' et la latitude de 005°56'380'' et ceux de la rivière de Moutcho selon la longitude de 005°57''610' et la latitude de 004°11''610'.

Au plan chimique, ces deux eaux sont faiblement minéralisées. L'eau de la rivière s'est distinguée de l'eau du fleuve par l'élévation significative des valeurs paramétriques de la turbidité, du fer, des sulfates, du soufre et la baisse significative de la conductivité, des chlorures, du magnésium, du calcium et du potassium.

Au plan microbiologique, l'eau du fleuve a présenté une qualité microbiologique satisfaisante par la présence *de E. coli* à des taux normaux (inférieur à 400 UFC/100 mL). Celle de la rivière de Moutcho serait inadéquate à la baignade car présentant une qualité microbiologique insuffisante.

Une surveillance sanitaire de ces eaux s'impose pour garantir la santé de la population qui s'adonne à cette activité.

RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

RECOMMANDATIONS

❖ Aux autorités administratives et opérateurs économiques

- Réaliser des contrôles réguliers de l'eau de baignade 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 rivière de Moutcho et du fleuve en veillant à l'utilisation rationnelle d'engrais chimiques.
- Sensibiliser la population à éviter le rejet des déchets domestique dans les eaux de baignade
- Eduquer la population quant aux risques liés à la pratique e la baignade pendant la sécheresse dans la rivière de Moutcho

❖ Aux populations

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

❖ Dans les centres de santé

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

PERSPECTIVES

- Réaliser une surveillance sanitaire des eaux de baignade d'Agboville.
- Etendre 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.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Duclaux J. La constitution de l'eau. Journal de Chimie Physique 1912;10:73–109. doi:10.1051/jcp/1912100073.
- [2] Université du Québec. Revue des sciences de l'eau 1983;2:124–47.
- [3] Francis R et Carine M. European journal of water quality: organe de l'Association scientifique européenne pour l'eau et la santé 2009:Vol. 37, n° 2 (2006).
- [4] E.F. van BeeckI,1; C.M. BrancheII; D. SzpilmanIII; J.H. ModellIV; J.J.L.M. BierensV. Nouvelle définition de la noyade pour mieux documenter et prévenir un problème mondial de santé publique.
- [5] Analyse statistique des niveaux de risque et des seuils de qualité microbiologique des eaux de baignade proposés par le projet de révision de la directive 76/160/CEE 2009.
- [6] J.-P. Chippaux (1, 2, 7), S. Houssier (3, 4), P. Gross (2), C. Bouvier (5) & F. Brissaud. Étude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger 2002.
- [7] Dosso V. Evaluation de la qualité de la baignade de la cascade de Man. 2016, thèse numéro 1863/17.
- [8] Meless D. Caractérisation des eaux de baignade de l'océan atlantique : cas de la plage de Vridi et Port- bouët centre (Abidjan-Côte d'Ivoire). Université Felix Houphouët Boigny Abidjan Cocody, 2018.
- [9] Groupe de travail fédéral-provincial-territorial sur la qualité des eaux à usage récréatif (Canada), Canada, Santé Canada, Canada, Bureau de l'eau de l'air et des changements climatiques. Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada.(internet). otawa, santé Canada 2012 .
- [10] Qualité requise des eaux de baignade (extrait de l'annexe du décret exécutif n°93-164 du 10 juillet 1993 - Recherche Google. Availablefrom:<https://www.google.com/search?Q=Qualit%C3%A9+requis>. n.d.
- [11] Elouard P. Le cycle de l'eau. Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon 1992;61:267–71.
- [12] toony. cycle de l'eau. 2015.
- [13]: Jean Margat UNESCO et BRGM. Exploitations et utilisation des eaux souterraines dans le monde 2008: p52.
- [14] Bouaicha R, Benabdelfadel A. Variabilité et gestion des eaux de surface au Maroc. Sécheresse 2010;325–326. doi:10.1684/sec.2010.0272.
- [15] Sylvie Jaglin. Les nouvelles politiques de l'eau: Enjeux urbains, ruraux, régionaux. Les Revues Du Tiers Monde 2001;Vol. 42, No. 166:275–303.
- [16] Nauges C, Arnaud Reynaud. Estimation de la demande domestique d'eau potable en France. Revue économique 2001;52:167. doi:10.3917/reco.521.0167.
- [17] ↑ Water withdrawal by sector, around 2010. , Prélèvements d'eau par secteur, vers 2010, Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture .
- [18] Arnaud Mokrani. l'eau et les activités agricoles, planet vie 2009.

- [19] Durand JR, editor. Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. Paris: Editions de l'ORSTOM; 1993.
- [20] Ginocchio R, Viollet P-L. L'énergie hydraulique. Paris: Éd. Tec & doc; 2012.
- [21] Festy B, Harteman et Al. Qualité de l'eau. Environnement et santé publique, fondements et pratiques, 2003, p. 333–68.
- [22] Barbee SJ, Thackara JW, Rinehart WE. Acute Inhalation Toxicology of Nitrogen Trichloride. American Industrial Hygiene Association Journal 1983;44:145–6. doi:10.1080/15298668391404536.
- [23] Chambon P, Taveau M, Morin M, Chambon R, Vial J. Survey of trihalomethane levels in Rhône-Alps water supplies. Estimates on the formation of chloroform in wastewater treatment plants and swimming pools. Water Research 1983;17:65–9. doi:10.1016/0043-1354(83)90286-5.
- [24] Rose Koffi-N, 1, Assi-C Brice J, 1,2, Emma F. Assemand, 3, et al. Koffi-Nevry et al. J. Appl. Biosci. 2012 Origine de contamination ion fécale de l'eau d'arrosage de la laitue cultivée dans d'Abidjan 3669 Origine des témoins de contamination fécale de l'eau d'arrosage de la laitue (lactuca sativa) cultivée dans la zone péri urbaine d'Abidjan 2012:3669–3675.
- [25] Isabelle Giroux. Contamination de l'eau souterraine par les pesticides et les nitrates dans les régions en culture de pomme de terre 1999.
- [26] Adjagodo A, Agassounon Djikpo Tchibozo M, Kelome NC, Lawani R. Flux des polluants liés aux activités anthropiques, risques sur les ressources en eau de surface et la chaîne trophique à travers le monde : synthèse bibliographique. International Journal of Biological and Chemical Sciences 2016;10:1459.
- [27] Wheal C. Freshwater pollution 1991.
- [28] Parlement européen. Directive 2006/7 du parlement européen et du conseil du 15 février 2006 concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade.
- [29] Shahbazi A, Esmaeili-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)
- [30] 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.
- [31] Hartemann P. Contamination des eaux en milieu professionnel. Toxicologie-Pathologie 2004:63–78.
- [32] Lecellier A. Caractérisation et identification des champignons filamenteux par spectroscopie vibrationnelle. Université Reims Champagne-Ardenne, 2013.
- [33] Angelier E. Ecologie des eaux courantes 2001.
- [34] Wise S A, Sander L C, May W E. . Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons by liquid chromatography 1993.
- [35] Marchand M. . Comportement des hydrocarbures déversés en milieu marin 1999.
- [36] Gaujous D. La pollution des milieux aquatiques: aide-mémoire 1995.
- [37] Rao D S, Saxena A B. Aquatic toxicity of Mercury Lead, cadmium, manganese chironomus sp 1981.

- [38] Lauwreys R. toxicologie indu 1990.
- [39] Rodier J. L'analyse de l'eau; eaux naturelles, eaux résiduelles et eau de mer 1984.
- [40] Rompré A, Servais P, Baudart J, de-Roubin M-R, Laurent P. Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches. *Journal of Microbiological Methods* 2002;49:31–54.
- [41] Adeline T. 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. 'Université de LORRAINE; 2012.
- [42] Lecellier A. Détection, caractérisation et identification des moisissures par spectroscopie vibrationnelle infrarouge et Raman. Reims; 2013.
- [43] Abdelmalek, B, engherbia, , Fella, Hamaidi, Rabia, et al. Impact des rejets des eaux usées sur la qualité physicochimique et bactériologique de l'Oued Beni Aza (Blida, Algerie) 2014;15.
- [44] Ait Chaban O, Ait Saada D, Mohamed Al A, Selselet-A G, Boudroua K, Eddine Kat D, et al. In vitro Study of the Antimicrobial Effects of Phenolic Extract of the *Salvadora persica* (Miswak) on the Growth of Certain Microorganisms Responsible for Oral Infections. *Research Journal of Microbiology* 2016;12:58–73. doi:10.3923/jm.2017.58.73.
- [45] Servais, Pierre, Billen. la contamination microbienne dans le bassin de Seine 2009.
- [46] Villaroel J. Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio. 1988. n.d.
- [47] Vin O international de la vigne et du. Recueil des méthodes internationales d'analyse des boissons spiritueuses, des alcools et de la fraction aromatique des boissons. Office international de la vigne et du vin; 1994.
- [48] Manuel pratique d'analyse de l'eau. Natl Health Found. 2013;150.
- [49] Détermination de la conductivité : méthode électrométrique, MA. 115 – Cond. 1.1, rév. 1, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2015, 9 p.
- [50] Photomètre Pooltest 3 Compact | Palintest. [visité le 17/06/18]. Available from: <https://www.palintest.com/fr/produits/poolteest-3-photom%C3%A8tre>. n.d.
- [51] Hayes WJ. Pesticides Studied in Man [Internet]. Williams & Wilkins; 1982. Available from: <https://books.google.ci/books?Id=mwdl9vckbdyc>.
- [52] Lamathe J. Methode d'elution selective pour extraction des metaux lourds de l'eau de mer sur resine chelatante: A selective method of elution for the extraction of heavy metals from sea waters on a chelating resin. *Anal Chim Acta*. 1979;104(2):307–17. n.d.
- [53] V., Freycon, N., Fauvet. Les GPS De l'acquisition des relevés à leur intégration dans un SIG 1998:6.

- [54]OMS/PNUE. Recommandations générales. 1995; Recommandations pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles.
- [55]Groupe de travail fédéral-provincial-territorial sur la qualité des eaux à usage récréatif (Canada), Canada, Santé Canada, Canada, Bureau de l'eau de l'air et des changements climatiques. Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada. Ottawa: Santé Canada; 2012.
- [56]AM Pourcher, O solcki,Ejrde. Des micro-organismes et des composés chimiques pour identifier les sources de contamination fécale : étude de leur persistance en microcosmes et de leur présence dans les eaux à l'échelle d'un bassin versant:92–7.
- [57]Hounsou M, Agbossou E, Ahamide B, Akponikpe I. Qualité bactériologique de l'eau du bassin de l'Ouémé: cas des coliformes totaux et fécaux dans les retenues d'eau de l'Okpara, de Djougou et de Savalou au Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences 2010;4. doi:10.4314/ijbcs.v4i2.58128.
- [58]Gideon AJEAGAH1*, Jean Fils BIKITBE1,2 et Frida LONGO2. Qualité bioécologique d'un milieu lacustre hyper-eutrophisé en zone équatoriale (Afrique Centrale): peuplement de protozoaires ciliés et macro invertébrés benthos-aquatiques. Afrique SCIENCE 2013;09:50–6.
- [59]canada. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Document technique – La couleur 1995.
- [60]R.N; McNeely, V.P. Neimanis & L. Dwyer. Water Quality Sourcebook; a Guide to Water Quality Parameters, Environment Canada, Ottawa 1979.
- [61]Robin M, Hauhouot C. Les risques naturels côtiers en Côte d'Ivoire 1999.

TABLE DES MATIERES

DÉDICACES.....	XV
SOMMAIRE	XXV
ABRÉVIATIONS – ACRONYMES-SIGLES	XXVII
LISTE DES TABLEAUX.....	XXIX
LISTE DES FIGURES	XXX
INTRODUCTION.....	1
Première partie : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
I- Généralité sur l'eau.....	5
I-1- Cycle de l'eau.....	5
I-2- Les différentes sources d'approvisionnement en eau.....	5
I-2-1- Eaux souterraines.....	5
I-2-2- Eaux de surface.....	6
I-2-3- Caractéristiques des eaux de surfaces et souterraines.....	6
I-3- Les usages de l'eau.....	7
I-3-1- L'eau de consommation domestique.....	7
I-3-2- L'eau et l'économie.....	7
I-3-3- L'eau et les loisirs.....	8
I-3-3-1- Les piscines.....	8
I-3-3-2- Les baignades naturelles.....	9
II- Les baignades.....	9
II-1- Définition	9
II-2- Les risques sanitaires	10
II-2-1- Risques liés à la fréquentation des baignades.....	10
II-2-2- Origine des contaminations.....	10

II-2-3- Nature des contaminants	10
II-2-3-1- Nature biologique	10
II-2-3-1-1- Les indicateurs biologiques.....	10
II-2-3-1-2- Les différents types de germes	11
II-2-3-2- Nature chimique.....	14
II-2-3-2-1- Pollution par les hydrocarbures	14
II-2-3-2-2- Pollution par les pesticides	14
II-2-3-2-3- Pollution par les métaux lourds.....	15
III- Contrôle qualité des eaux de baignade.....	18
III-1- Contrôle microbiologique.....	18
III-1-1- Les méthodes de recherches des germes	18
III-1-1-1- Les coliformes	18
III-1-1-1-1- Les méthodes classiques	18
III-1-1-1-2- Les méthodes enzymatiques	19
III-1-1-1-3- Les méthodes moléculaires	19
III-1-1-2- Les virus	19
III-1-1-3- Les cryptosporidies et champignons	20
III-1-2- Les germes recherchés pour le contrôle de la qualité de l'eau	20
III-1-2-1- Les Coliformes totaux (CT)	21
III-1-2-2- Les Coliformes thermotolérants (CTT).....	22
III-1-2-3- Les entérocoques	22
III-1-2-4- Les clostridies sulfito-réductrices (SRC)	22
III-2- Contrôle physico-chimique.....	24
III-2-1- Électrochimie pour le pH.....	24

III-2-2- Détermination de la Turbidité.....	24
III-2-3- La conductivité.....	24
III-2-4- La colorimétrie.....	25
III-2-5- Méthodes chromatographiques	25
III-2-6- Méthodes spectrométriques	25
Deuxième partie : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE.....	30
I- MATERIEL ET METHODES	31
I-1- Type et cadre de l'étude.....	31
I-2- Matériel.....	31
I-2-1- Appareillage.....	31
I-2-2- Réactifs	32
I-3- Méthodes.....	33
I-3-1- Géolocalisation de la rivière de Moutcho et du fleuve de l'Agneby: repérages par GPS.....	33
I-3-1-1- Principe de fonctionnement du GPS	33
I-3-1-2- Mode opératoire du GPS.....	33
I-3-2- Méthodes de prélèvement, Transport et Conservation des échantillons	34
I-3-2-1- Critères de choix des sites de prélèvement	34
I-3-2-2- Echantillonnage.....	34
I-3-2-3- Le suivi des échantillons	35
I-3-3- Analyses des échantillons.....	35
I-3-3-1- Analyses organoleptiques et physicochimiques	35
I-3-3-1-1- Analyse des paramètres organoleptiques	35
□ Mesure de la Couleur	35

□ Détermination de la Turbidité	36
I-3-3-1-2- Analyse physico-chimique	37
□ Mesure du pH	37
□ Mesure de la température	38
□ Dosage de l'Ammonium (NH_4^+)	38
□ Dosage des Nitrites (NO_2^-).....	39
□ Dosage des Nitrates (NO_3^-)	39
□ Dosage des Chlorures (Cl^-) et du Sodium (Na^+)	40
□ Dosage du Fer (Fe).....	40
□ Dosage du Manganèse (Mn)	41
□ Dosage des Fluorures (F^-)	41
□ Dosage de l'Aluminium (Al)	41
□ Dosage des minéraux (Calcium, Potassium, Magnésium, des Sulfates, des Phosphates, silice, silicate, soufre, zinc).....	42
□ Détermination du Degré Hydrotimétrique Total (DHT).....	44
□ Détermination de la matière organique.....	45
I-3-3-2- Analyse des pesticides	46
I-3-3-3- Analyse des HAP.....	47
I-3-3-4- Analyse des métaux lourds	48
I-3-3-5- Analyse microbiologique	48
I-3-3-5-1- Description de la méthode par la membrane filtrante	48
I-3-3-5-2- Les coliformes totaux et thermo tolérants	49
I-3-3-5-3- Dénombrement des streptocoques fécaux	50

I-3-3-5-4- Recherche des spores de micro- organismes anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) par filtration sur membrane	50
I-3-3-5-5- Dénombrement des vibrions.....	51
I-3-3-5-6- Dénombrement des salmonelles	51
I-3-3-5-7- Dénombrement des pseudomonas	52
I-3-3-5-8- Dénombrement des levures et moisissures.....	52
I-3-3-5-9- Dénombrement des staphylocoques	52
I-3-3-5-10- Dénombrement des légionnelles.....	53
I-3-4- L'analyse statistique	53
II- RESULTATS	54
II-1- Géolocalisation des zones de baignade.....	54
II-2- Analyse des paramètres organoleptiques et physico-chimiques.....	55
II-2-1- Le fleuve de l'Agnéby.....	55
II-2-2- La rivière de Moutcho	57
II-2-3- Evolution globale des paramètres en fonction de la période	58
II-2-4- Comparaison des valeurs paramétriques physicochimiques des deux eaux	59
II-3- Analyse des paramètres microbiologique.....	61
II-3-1- Le fleuve de l'Agnéby.....	61
II-3-2- La rivière de Moutcho	61
II-3-3- Comparaison des valeurs des paramètres microbiologiques des eaux aux normes.....	62
II-4- Recherche de métaux lourds.....	63
II-5- Recherche des HAP.....	64
II-6- Analyse des pesticides.....	65

III- DISCUSSION.....	68
III-1- Paramètres microbiologiques.....	68
III-2- Paramètres physicochimiques classiques des eaux de baignade	69
III-3- Pesticides, HAP et métaux lourds.....	70
CONCLUSION	71
RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	73
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	76
TABLE DES MATIERES.....	80

RESUME

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

La méthodologie a consisté à réaliser cinq campagnes de prélèvement d'échantillons d'eau de deux cours d'eau, le fleuve de l'Agnéby et la rivière de Moutcho, au cours de cinq mois consécutifs (décembre 2017, janvier 2018, février 2018, mars 2018 et avril 2018). 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 les points de prélèvement du fleuve de l'Agnéby sont localisés selon la longitude de 004°12'944'' et la latitude de 005°56'380'' et ceux de la rivière de Moutcho selon la longitude de 005°57''610' et la latitude de 004°11''610'. Au plan chimique, ces deux eaux sont faiblement minéralisées. L'eau de la rivière s'est distinguée de l'eau du fleuve par des teneurs plus élevées de la turbidité, du fer, des sulfates, du soufre et des teneurs faibles de la conductivité, des chlorures, du magnésium, du calcium et du potassium. Quelques métaux lourds, des HAP et des traces de pesticides ont été identifiés. Au plan microbiologique, l'eau du fleuve a présenté une qualité microbiologique satisfaisante par la présence *de E. coli* à des taux inférieurs à 400 UFC/100 mL. Celle de la rivière de Moutcho serait inadéquate à la baignade.

Une surveillance sanitaire de ces eaux s'impose pour garantir la santé de la population qui s'adonne à cette activité.

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