



Année: 2016 – 2017

N°1838/17

**THESE**

Présentée en vue de l'obtention du

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

Par

**N GUETTA AHOUA JEAN-PAUL**

**EVALUATION DE L'EFFICACITE DE DEUX  
TECHNIQUES DE « TRAITEMENT DE L'EAU A  
DOMICILE » DES EAUX DE CONSOMMATION  
ISSUES DE PUIITS ET DE FORAGES DES REGIONS  
DE NAWA ET DE SAN PEDRO**

*Soutenu publiquement le 29Mai 2017*

**COMPOSITION DU JURY :**

**Président de jury** : Monsieur **KOUADIO LUC**, Professeur titulaire  
**Directeur** : Monsieur **AMIN N'CHO CHRISTOPHE**, Maître de conférence agrégé  
**Asseseurs** : Monsieur **OUASSA TIMOTHEE**, Maître de conférence agrégé  
: Monsieur **GBASSI K. GILDAS**, Maître de conférence agrégé

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

## **I. HONORARIAT**

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

## **II. ADMINISTRATION**

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

## **III. PERSONNEL ENSEIGNANT PERMANENT**

### **III.1. PROFESSEURS TITULAIRES**

Mme	AKE Michèle	Chimie Analytique, Bromatologie
M	ATINDEHOU Eugène	Chimie Analytique, Bromatologie
Mme	ATTOUNGBRE HAUHOUOT M.L.	Biochimie et Biologie Moléculaire
M	DANO Djédjé Sébastien	Toxicologie
Mme	KONE BAMBA Diéneba	Pharmacognosie
M	KOUADIO Kouakou Luc	Hydrologie, Santé Publique
	MALAN Kla Anglade	Chimie Analytique., contrôle de qualité
	MENAN Eby Ignace	Parasitologie - Mycologie
	MONNET Dagui	Biochimie et Biologie Moléculaire

Mme SAWADOGO Duni Hématologie

M YOLOU Séri Fernand Chimie Générale

### III.2. MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

MM ABROGOUA Danho Pascal Pharmacie Clinique

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

DEMBELE Bamory Immunologie

GBASSI K. Gildas Chimie, Physique Générale

INWOLEY Kokou André Immunologie

KOFFI Angely Armand Pharmacie Galénique

Mme KOUAKOU-SIRANSY Gisèle Pharmacologie

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

YAPI Ange Désiré Chimie Organique, Chimie Thérapeutique

YAVO William Parasitologie - Mycologie

ZINZENDORF Nanga Yessé Bactériologie-Virologie

DALLY Laba Pharmacie Galénique

DJOHAN Vincent Parasitologie -Mycologie

Mmes IRIE N'GUESSAN Amenan Pharmacologie

POLNEAU VALLEE Sandrine Mathématiques-Statistiques

SACKOU KOUAKOU Julie Santé Publique

SANGARE TIGORI Béatrice Toxicologie

### III.3. MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES

M DIAFOUKA François Biochimie et Biologie de la Reproduction

### III.4. MAITRES ASSISTANTS

MADJAMBRI Adia Eusebé	Hématologie
Mme AFFI-ABOLI Mihessé Roseline	Immunologie
M ANGORA Kpongbo Etienne	Parasitologie – Mycologie
Mme AKA-ANY-GRA Armelle Adjoua S.	Pharmacie Galénique
BARRO KIKI Pulchérie	Parasitologie - Mycologie
MM CLAON Jean Stéphane	Santé Publique
Mme DIAKITE Aïssata	Toxicologie
Mme FOFIE N'Guessan Bra Yvette	Pharmacognosie
M KASSI Kondo Fulgence	Parasitologie-Mycologie
Mmes KONATE Abibatou	Parasitologie-Mycologie
KOUASSI AGBESSI Thérèse	Bactériologie-Virologie
M MANDA Pierre	Toxicologie
SANGARE Mahawa	Biologie Générale
VANGA ABO Henriette	Parasitologie-Mycologie
M YAYO Sagou Eric	Biochimie et Biologie Moléculaire

### III.5. ASSISTANTS

MM ADJOUNGOUA Attoli Léopold	Pharmacognosie
M AMICHIA Attoumou Magloire	Pharmacologie
Mmes ALLOUKOU-BOKA Paule-Mireille	Législation
APETE Sandrine	Bactériologie-Virologie
AYE YAYO Mireille	Hématologie
MM BROU Amani Germain	Chimie Analytique
BROU N'Guessan Aimé	Pharmacie Clinique

Evaluation de l'efficacité de deux techniques de « traitement de l'eau à domicile » des eaux de consommation issues de puits et de forages des régions de Nawa et de San Pedro

---

	CABLAN Mian N'Ddey Asher	Bactériologie-Virologie
	COULIBALY Songuigama	Chimie Thérapeutique
M	DJADJI Ayoman Thierry Lenoir	Pharmacologie
Mme	DOTIA Tiepordan Agathe	Bactériologie-Virologie
M	EFFO Kouakou Etienne	Pharmacologie
Mme	HOUNSA Annita Emeline Epse Alla	Sante Publique
MM	KABRAN Tano Kouadio Mathieu	Immunologie
	KACOU Alain	Chimie Thérapeutique
	KAMENAN Boua Alexis Thierry	Pharmacologie
	KOFFI Kouamé	Santé publique
	KONAN Konan Jean Louis	Biochimie et Biologie Moléculaire
Mme	KONE Fatoumata	Biochimie et Biologie Moléculaire
MM	KOUAKOU Sylvain Landry	Pharmacologie
	KOUAME Denis Rodrigue	Immunologie
	KPAIBE Sawa André Philippe	Chimie Analytique
	LATHRO Joseph Serge	Bactériologie-Virologie
	N'GBE Jean Verdier	Toxicologie
	N'GUESSAN Alain	Pharmacie Galénique
Mme	N'GUESSAN-BLAO Amino Rebecca J.	Hématologie
M	N'GUESSAN Déto Ursul Jean-Paul	Chimie Thérapeutique
Mmes	N'GUESSAN Kakwokpo Clémence	Pharmacie Galénique
	OUAYOGODE-AKOUBET Aminata	Pharmacognosie
	SIBLI-KOFFI Akissi Joëlle	Biochimie et Biologie Moléculaire
M	TRE Eric Serge	Chimie Analytique
Mmes	TUO Awa	Pharmacie Galénique
	YAO ATTIA Akissi Régine	Santé Publique
M	YAPO Assi Vincent De Paul	Biologie Générale

### **III.6. ATTACHES DE RECHERCHE**

Mme	ADIKO N'dri Marcelline	Pharmacognosie
M	LIA Gnahoré José Arthur	Pharmacie Galénique

### **III.7. IN MEMORIUM**

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

## **IV. ENSEIGNANTS VACATAIRES**

### **IV.1. PROFESSEURS**

MM	ASSAMOÏ Assamoi Paul	Biophysique
	DIAÏNE Charles	Biophysique
	OYETOLA Samuel	Chimie Minérale
	ZOUZOU Michel	Cryptogamie

### **IV.2. MAITRES DE CONFÉRENCES**

MM	KOUAKOU Tanoh Hilaire	Botanique et Cryptogamie
	SAKO Aboubakar	Physique (Mécanique des fluides)
Mme	TURQUIN née DIAN Louise	Biologie Végétale
M	YAO N'Dri Athanase	Pathologie Médicale

#### **IV.3. MAITRE-ASSISTANT**

M KONKON N'Dri Gilles Botanique, Cryptogamie

#### **IV.4. NON UNIVERSITAIRES**

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



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

**I- BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE**

Professeur	LOUKOU Yao Guillaume	Maître de Conférences Agrégé Chef de Département
Professeurs	ZINZENDORF Nanga Yessé OUASSA Timothée	Maître de Conférences Agrégé Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	KOUASSI AGBESSI Thérèse CABLAN Mian N'Dédey Asher DOTIA Tiepordan Agathe LATHRO Joseph Serge APETE Yah Sandrine épouse TAHOU	Maître-Assistante Assistant Assistante Assistant Assistante

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

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

**III- BIOLOGIE GENERALE, HEMATOLOGIE ET IMMUNOLOGIE**

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

	KOUASSI Dinard	Maître de Conférences Agrégé
	DEMBELE Bamory	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	SANGARE Mahawa	Maître-assistante
	AFFI-ABOLI Mihessé Roseline	Maître-Assistante
	ADJAMBRI Adia Eusebé	Maître-Assistant
	AYE YAYO Mireille	Assistante
	KABRAN Tano K. Mathieu	Assistant
	KOUAME Denis Rodrigue	Assistant
	N'GUESSAN-BLAO R.S.	Assistante
	YAPO Assi Vincent De Paul	Assistant

**III- CHIMIE ANALYTIQUE, CHIMIE MINERALE ET GENERALE, TECHNOLOGIE ALIMENTAIRE**

Professeur	ATINDEHOU Eugène	Professeur Titulaire Chef de Département
Professeurs	MALAN Kla Anglade	Professeur Titulaire
	AKE Michèle Dominique	Professeur Titulaire
	YOLOU Séri Fernand	Professeur Titulaire
	AMIN N'Cho Christophe	Maître de Conférences Agrégé
	GBASSI K. Gildas	Maître de Conférences Agrégé
	BONY Nicaise François	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	BROU Amani Germain	Assistant
	KPAIBE Sawa André Philippe	Assistant
	TRE Eric Serge	Assistant

**IV- CHIMIE ORGANIQUE ET CHIMIE THERAPEUTIQUE**

Professeur	YAPI Ange Désiré	Maître de Conférences Agrégé Chef de Département
Professeur	OUATTARA Mahama	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	KACOU Alain	Assistant



**VII- PHARMACOGNOSIE, BOTANIQUE, BIOLOGIE VEGETALE, CRYPTOGRAMIE**

Professeur	KONE BAMBA Diénéba	Professeur Titulaire Chef de Département
Docteurs	ADJOUNGOUA Attoli Léopold	Assistant
	FOFIE N'Guessan Bra Yvette	Maître-Assistante
	OUAYOGODE-AKOU BET Aminata	Assistante

**VIII- PHARMACOLOGIE, PHARMACIE CLINIQUE ET THERAPEUTIQUE, ET PHYSIOLOGIE HUMAINE**

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

**IX- PHYSIQUE, BIOPHYSIQUE, MATHEMATIQUES, STATISTIQUES ET INFORMATIQUE**

Professeur	ATINDEHOU Eugène	Professeur Titulaire Chef de Département
Professeur	POLNEAU VALLEE Sandrine	Maître de Conférences Agrégé

**X- SANTE PUBLIQUE, HYDROLOGIE ET TOXICOLOGIE**

Professeur	KOUADIO Kouakou Luc	Professeur Titulaire Chef de Département
Professeurs	DANO Djédjé Sébastien	Professeur Titulaire
	OGA Agbaya Stéphane	Maître de Conférences Agrégé

Evaluation de l'efficacité de deux techniques de « traitement de l'eau à domicile » des eaux de consommation issues de puits et de forages des régions de Nawa et de San Pedro

---

	SANGARE TIGORI B.	Maître de Conférences Agrégé
	SACKOU KOUAKOU J.	Maître de Conférences Agrégé
Docteurs	CLAON Jean Stéphane	Maître-Assistant
	MANDA Pierre	Maître-Assistant
	DIAKITE Aïssata	Maître-assistante
	HOUNSA-ALLA Annita Emeline	Assistante
	YAO ATTIA Akissi Régine	Assistante
	N'GBE Jean Verdier	Assistant
	KOFFI Kouamé	Assistant

**A NOS MAITRES  
ET JUGES**

## **A NOTRE MAÎTRE ET PRESIDENTE DE JURY**

### **Monsieur le Professeur KOUADIO LUC**

- Professeur Titulaire d'Hydrologie et de Santé Publique à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques ;
- Président du conseil pédagogique de l'Université Félix Houphouët Boigny de Côte d'Ivoire
- Chef du laboratoire d'hygiène et de service de contrôle des eaux de l'Institut National d'Hygiène Publique ;
- Responsable du Diplôme d'Etude Universitaire d'Homéopathie à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques ;
- Responsable du DESS d'Hygiène alimentaire à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques
- Responsable du Master Professionnel de Santé Publique à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques

*Cher Maître,*

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

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

*Que Dieu vous bénisse !*



## **A NOTRE MAÎTRE ET DIRECTEUR DE THESE**

### **Monsieur le Professeur AMIN N'CHO CHRISTOPHE**

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

*Cher Maître,*

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

*Puisse ce travail vous rendre hommage.*

## A NOTRE MAÎTRE ET JUGE

**Monsieur le professeur OUASSA Timothée**

- Maître de conférences agrégé de Bactériologie-Virologie,
- Responsable des unités de Bactériologie et de mycobactériologie du Centre de Diagnostic et de Recherche sur le SIDA (CeDRes),
- Membre de l'American Society for Microbiologie (ASM),
- Membre de l'European Respiratory Society (ERS),
- Membre de l'Observatoire pour la Surveillance de la Résistance des Microorganismes en Côte d'Ivoire (ORMICI),
- Membre du Côte d'Ivoire's Fulbright Alumni Association (CIFA),
- Ancien interne des hôpitaux d'Abidjan.

*Cher Maître,*

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

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

## A NOTRE MAÎTRE ET JUGE

### Monsieur le professeur GBASSI KOMENAN GILDAS

- ✓ Professeur agrégé de Chimie Physique Générale à l'UFR des Science Pharmaceutiques et Biologiques de l'université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan;
- ✓ Professeur invité du Centre de Recherche en calcul Thermochimique de l'Ecole Polytechnique de Montréal au Canada (période 2014-2018);
- ✓ Chef de service Contrôle des Aliments, des Eaux, et Boissons du Laboratoire National de la Santé Publique (LNSP);
- ✓ Titulaire d'un Doctorat en Chimie de l'Université de Strasbourg (France);
- ✓ Titulaire d'un Master en Science du Médicament de l'Université de Strasbourg (France);
- ✓ Titulaire d'un DEA en Chimie Physique de l'université Félix Houphouët-Boigny;
- ✓ Titulaire d'un DESS en Contrôle de qualité de l'Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan;
- ✓ Titulaire d'un Doctorat en Pharmacie de l'Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan;
- ✓ Membre de la Société Ouest Africaine de Chimie (SOACHIM);
- ✓ Membre de la Société Pharmaceutique de Côte d'Ivoire (SOPHACI);
- ✓ Membre du Réseau des Chercheurs en Génie des Procédés de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF);
- ✓ Membre du Groupe de Recherche sur la Bioencapsulation (BRG).

*Chez maître,*

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

## SOMMAIRE

ABREVIATION – ACRONYME-SIGLE .....	XXI
LISTE DES TABLEAUX.....	XXII
LISTE DES FIGURES.....	XXIII
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	5
I. Généralités sur les eaux de consommation.....	6
II. Les maladies hydriques .....	14
III. Traitements de l'eau .....	23
PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE.....	41
I. Matériels et méthodes .....	42
II. Résultats.....	67
III. Comparaison de l'efficacité des deux techniques de traitement .....	85
IV. Discussions.....	88
CONCLUSION .....	92
RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	95
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	98
TABLE DES MATIERES .....	103
ANNEXES .....	106
PUBLICATION SCIENTIFIQUE .....	110

## ABREVIATION – ACRONYME-SIGLE

---

AFNOR	Agence Française de Normalisation
ASR	Anaérobies Sulfito-Réducteurs
BEA	Bile Esculine Azide
°C	Degré Celsius
°F	Degré Fahrenheit
DCCNa	DiChloroisoCyanurate de Sodium
DDASS	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
DHT	Degré Hydrotimétrique Total
DPD	Diethyl paraPhenylène Diamine
E.D.T.A	Acide Ethylène Diamine Tétra acétique
GAL	β- Galactosidase
GPS	Global Position System (Système de Positionnement Global)
GLUC	β- Glucuronidase
INHP	Institut National d'Hygiène Publique
MES	Matières En Suspension
MO	Matières Organiques
μS	microSiemens
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONG	Organisation Non Gouvernementale
PCB	Polychlorobiphényles
PED	Pays En Développement
pH	Potentiel Hydrogène
SIDA	Syndrome d'Immunodéficience Acquise
SODIS	Solar water Disinfection (Désinfection solaire de l'eau)
T.E.D	Traitement de l'Eau à Domicile
UCV	Unités de Couleur Vraie
UFC	Unités Formatrices de Colonies
UNICEF	Fonds des Nations Unies pour l'Enfance
UNT	Unité Néphélométrique de Turbidité

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau I: Valeurs directives de quelques paramètres proposés par les directives de l'OMS .	13
Tableau II: Mortalité et Morbidité liées à l'eau .....	22
Tableau III: Coordonnées géographiques des forages .....	67
Tableau IV: Niveau de contamination par des facteurs de risque sanitaire .....	71
Tableau V: Paramètres organoleptiques des eaux brutes .....	72
Tableau VI: Paramètres organoleptiques des eaux désinfectées .....	72
Tableau VII: Paramètres organoleptiques des eaux filtrées à l'aide de FILTRAO® .....	73
Tableau VIII: Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de Guimeyo .....	74
Tableau IX: Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de Zakeoua .....	75
Tableau X: Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de Brouagui .....	76
Tableau XI: Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de Méagui.....	77
Tableau XII: Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de Touih.....	78
Tableau XIII: Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de Kako.....	79
Tableau XIV: Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de Moussadougou.....	80
Tableau XV: Résultats de l'analyse microbiologique des eaux du forage de Guimeyo .....	81
Tableau XVI: Résultats de l'analyse microbiologique des eaux du forage de Zakeoua .....	82
Tableau XVII: Résultats de l'analyse microbiologique des eaux du forage de Brouagui .....	82
Tableau XVIII: Résultats de l'analyse microbiologique des eaux du forage de Méagui.....	83
Tableau XIX: Résultats de l'analyse microbiologique des eaux du forage de Touih .....	83
Tableau XX: Résultats de l'analyse microbiologique des eaux du forage de Kako .....	84
Tableau XXI: Résultats de l'analyse microbiologique des eaux du forage Moussadougou ....	84
Tableau XXII: Comparaison de l'efficacité de la désinfection et la filtration à l'aide de FILTRAO® .....	87
Tableau XXIII: Récapitulatif de la comparaison de l'efficacité des deux techniques de traitement.....	88
Tableau XXIV: Volume de désinfectant nécessaire pour la désinfection.....	91

## LISTE DES FIGURES

---

Figure 1: Puits d'eau .....	7
Figure 2: Forage d'eau .....	8
Figure 3: Production d'eau potable: traitement complet .....	24
Figure 4: Sédimentation, filtration et désinfection, trois approches pour le traitement de l'eau .....	29
Figure 5: Le système de décantation de l'eau à trois pots .....	30
Figure 6: Le tamisage de l'eau sur un tissu .....	32
Figure 7: Traitement SODIS .....	35
Figure 8: Femme avec des sachets PUR en Haïti .....	38
Figure 9: Cartographie des régions de la Nawa et San Pedro .....	42
Figure 10: Photographie de deux modèles de FILTRAO® .....	47
Figure 11: Dénombrement des bactéries type Clostridium .....	66
Figure 12: Comparaison de la turbidité après désinfection et filtration à l'aide de FILTRAO® .....	85
Figure 13: Comparaison de couleur après désinfection et filtration à l'aide de FILTRAO® ..	86

# INTRODUCTION

---



L'eau est nécessaire à toute forme de vie. Elle est également un élément de promotion de la santé des individus et du développement socio-économique des collectivités humaines [1-3]. Ainsi l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) au travers de la Décennie Internationale de l'Eau Potable et Assainissement, recommande l'eau potable et l'assainissement pour tous. Pour répondre à cette exigence, la Côte d'Ivoire a fait d'énormes progrès dans les domaines de l'équipement, de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement. [4, 5]. Cependant de nombreuses disparités demeurent entre les villes et le secteur rural notamment dans la surveillance de la qualité des eaux de consommation [6].

Les ressources d'eaux douces indispensables aux besoins de l'homme ne sont pas toujours disponibles en quantité et en qualité à tous les endroits du globe : sur les 8,2 millions de Km<sup>3</sup> de stock d'eaux souterraines que compte la planète, seulement environ 4 millions de Km<sup>3</sup> sont accessibles à l'homme pour ses besoins [7, 8].

Les conséquences d'une mauvaise qualité d'eau sont les maladies hydriques d'origine chimique et microbiologique qui causent la mort de 50 milles personnes chaque jour dans le monde et empêchent des milliers d'êtres humains de travailler [9]. En effet, la diarrhée, symptôme majeur des maladies hydriques, domine le profil épidémiologique des enfants de moins de 5 ans en Côte d'Ivoire [10, 11]. Chaque année, cette source de vie entraîne la mort de 3,4 millions de victimes, pour la plupart des enfants issus de pays en développement. Un bilan insupportable, qui représente 6% des décès dans le monde, toutes causes confondues. En Côte d'Ivoire, on a évalué à 42 % la réduction de la production agricole provoquée par la dracunculose [12].

Face aux problèmes posés par le manque d'eau potable et l'assainissement, l'OMS et les Etats s'organisent pour assurer leur surveillance sanitaire par l'élaboration de normes, de directives sanitaires, l'organisation de contrôle de la

qualité et la proposition de techniques de traitements efficaces et simple d'application [4, 5].

En Côte d'Ivoire, face aux manques d'eau potable dans les zones reculées, les eaux de forages et de puits améliorés constituent une alternative. C'est ainsi que l'ONG "Médecins du Monde" a offert à la population des régions de la Nawa et de San Pedro des forages d'eaux et puits améliorés pour favoriser l'accès à l'eau potable [13]. Cependant, des études ont montré que ces eaux sont fréquemment sujettes à des pollutions d'origine microbiologique [14-16].

En vue de fournir de l'eau potable, notamment au plan microbiologique pour éviter des conséquences néfastes, un contrôle qualité a été mené dans le but de proposer des méthodes de traitement adapté à ces eaux le cas échéant.

C'est dans ce contexte que cette étude qui a été réalisée a eu pour objectif général d'évaluer l'efficacité de deux techniques de traitement de l'eau à domicile des eaux de forages et de puits améliorés construits par l'ONG «Médecins du monde ».

Les objectifs spécifiques étaient de:

- Réaliser l'inspection sanitaire des forages d'eaux afin de déterminer d'éventuelles sources de contamination des points d'eau
- Contrôler la qualité physicochimique et microbiologique des eaux brutes
- Mesurer l'efficacité de désinfection des eaux traitées avec une solution de NaOCl
- Déterminer l'efficacité de filtration du filtre céramique FILTRAO sur les eaux brutes
- Comparer l'efficacité des deux techniques de traitement.

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

- La première partie sera consacrée à la revue bibliographique relative à l'eau de consommation, aux maladies hydriques et aux différentes techniques de traitements de l'eau.
- Dans la seconde partie, l'étude expérimentale décrira la méthodologie adoptée, les principaux résultats obtenus et la discussion.

Enfin, la conclusion mettra en exergue les données essentielles de ce travail.

## PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

## **I. Généralités sur les eaux de consommation**

### **I.1. Définition de l'eau de consommation**

Une eau destinée à la consommation est une eau potable. Selon l'OMS, une eau potable est « une eau ne renfermant en quantité dangereuse ni substances chimiques, ni germes nocifs pour la santé ». En outre, elle doit aussi être agréable à boire que les circonstances le permettent.

La fraîcheur, l'absence de turbidité, de coloration, de goût ou d'odeur désagréable, et de parasites sont autant de qualités exigées d'eau destinée à la consommation humaine [17]

Cette définition est très large et englobe la qualité organoleptique, physicochimique et microbiologique de l'eau de boisson. Il en découle une diversité de réglementation sur l'eau potable selon les pays et les régions du globe.

Aussi, dans un souci de sécurité de l'ensemble de la population mondiale, l'OMS a élaboré des directives pouvant servir de base à l'établissement des normes dans tous les pays membres.

### **I.2. Origines de l'eau de consommation**

Les origines de l'eau sont diverses:

#### **I.2.1. Eaux de sources**

Les eaux de sources sont des eaux d'origine souterraine, microbiologiquement saines et protégées de la pollution, aptes à la consommation humaine sans traitement ni adjonction autre que la décantation ou filtration, réalisées par des procédés physiques. Les mentions obligatoires de l'étiquetage sont le nom de la source, son lieu d'exploitation et les traitements de séparation des composés instables tels le fer ou le manganèse, par décantation et filtration [18].

#### **I.2.2. Eaux de puits - eaux de forages**

##### **a) Eaux de puits**

Un puits est un trou rond qui va de la surface de la terre jusqu'à la nappe phréatique souterraine. A cause des infiltrations d'eau sale, d'urine ou d'excréments animaux, l'eau provenant des puits est de moindre qualité pour la

consommation humaine [19]. Il est destiné aux sites les plus reculés et est idéal pour l'irrigation. La profondeur d'un puits se situe rarement au-dessus de 20 mètres et le débit est très variable en fonction de la saison climatique. En saison humide, l'eau est abondante, tandis que pendant la saison sèche, elle est en quantité infime. L'eau du puits qui est en contact avec les eaux de surface, est susceptible de contenir des bactéries pathogènes qui sont dangereuses pour l'organisme. Elle peut transporter des bactéries, des excréments d'animaux et divers autres débris. Même les puits équipés de couvercle peuvent être pollués [20].



Source : [20]

**Figure 1: Puits d'eau**

### **b) Eaux de forages**

Un forage est un ouvrage constitué par un long tube enfoncé dans le sol jusqu'au niveau de la nappe phréatique [19]. Bien que ces eaux soient généralement considérées comme acceptables, la protection du périmètre de forage contre toute forme de pollution est indispensable pour la qualité de ces eaux [21]. Sa profondeur finale dépend donc de la profondeur à laquelle se situe l'eau qui alimente le forage. Il est constitué d'un long tube visible à la surface pour empêcher l'écroulement des parois du puits. Le tube est étroit et l'homme n'y pénètre point. Pour un forage, la profondeur peut se situer entre 25 à 80 mètres ou bien plus encore. Le débit est au-dessus de  $5\text{ m}^3$  par heure et peut même aller jusqu'à  $8\text{ m}^3$  par heure. Il est donc constant et ne dépend pas des conditions

climatiques extérieures, car la nappe souterraine emmagasine assez d'eau pour fournir le besoin constant d'une habitation. La captation de l'eau peut se faire à tout moment vu qu'elle possède une plus grande autonomie. De plus, le forage offre un gain de pression important par rapport à un puits. Alors, pour une alimentation de l'eau collective pour toute une communauté, le forage sera une solution plus avantageuse.

Cependant, dans les deux cas, les eaux doivent être analysées avant d'être utilisées. Cette analyse est effectuée au niveau de la DDASS (la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales). Pour un puits, l'eau doit être analysée toutes les semaines, tandis que l'eau de forage ne nécessite qu'une seule analyse par an [20].



Source : [22]

**Figure 2: Forage d'eau**

### **I.2.3.Eaux de surfaces**

Il s'agit des fleuves, rivières, lacs, étangs,...etc.

L'eau du robinet provient en proportion massive des eaux de surface car l'augmentation de la consommation est telle que les eaux de source et de forage ne suffisent pas, en particulier parce que la même eau est utilisée à la fois comme eau de boisson et comme eau de lavage [18].

### **I.3. Contaminations de l'eau**

#### **I.3.1. Contaminations bactérienne et virale**

Les contaminations bactérienne et virale de l'eau de consommation sont essentiellement d'origine fécale ou urinaire [18].

#### **I.3.2. Contaminations d'origine agricole, industrielle ou chimiques**

##### **a) Contaminations d'origine agricole**

Les engrais solubles et les engrais azotés provoquent une augmentation du taux de nitrates des eaux. Les nitrates, à température ambiante, et en solution non stérile, peuvent se transformer en nitrites, dont la consommation, pendant les six premiers mois de la vie provoque la méthémoglobinémie ou maladie bleue. Plus tard la consommation des eaux riches en nitrates est inoffensive. Les pesticides rémanents, c'est-à-dire non biodégradables, sont actuellement interdits mais on en retrouve encore des traces [18].

##### **b) Contaminations d'origine industrielle**

Les polychlorobiphényles ou PCB sont employés dans de multiples industries; le fluor est issu de l'industrie métallurgique. Concernant les centrales nucléaires, les pollutions radioactives sont bien contrôlées et le problème de pollution thermique (réchauffement des rivières) n'a pas d'incidence nutritionnelle.

### **I.4. Critères de potabilité de l'eau**

#### **I.4.1. Critères physiques**

##### **a) Température**

La température n'a aucune signification en termes de contamination. Cependant, l'eau fraîche est habituellement préférée à l'eau tiède. Une température élevée de l'eau (20-30°C) peut aussi favoriser la croissance des microorganismes et entraîner des problèmes de goût, d'odeur, de couleur et de corrosion. La température la plus appréciée de l'eau de boisson se situe entre 4°C et 10°C (39-50°F). Les températures supérieures à 25°C (77°F) sont généralement



inacceptables. On peut utiliser un thermomètre classique ou numérique pour mesurer la température de l'eau [23].

### **b) pH**

Le pH (potentiel hydrogène) est une des caractéristiques fondamentales de l'eau. La valeur du pH est à prendre en considération lors de la majorité des opérations de traitement de l'eau, surtout lorsque celles-ci font appel à une réaction chimique et parce que certains procédés nécessitent d'être réalisés avec un pH spécifique pour être efficace [24]

C'est un élément très important pour la recherche de l'agressivité de l'eau vis-à-vis du ciment et des métaux. Lorsque le pH est inférieur à 7, l'eau est agressive, c'est-à-dire qu'elle peut se charger en plomb au passage dans les canalisations. Le pH d'une eau naturelle est fonction des concentrations en dioxyde de carbone dissous et en hydrogénocarbonates [18].

### **c) Conductivité de l'eau**

Elle rend compte de l'état de minéralisation de l'eau, toutes les valeurs intermédiaires étant possibles entre une conductivité très faible inférieure à  $100 \mu\text{Scm}^{-1}$  ( $\mu\text{S}$ = microSiemens) et supérieure à  $1000 \mu\text{Scm}^{-1}$  (minéralisation excessive) [18].

### **d) Turbidité**

Une eau turbide est une eau trouble. Cette caractéristique vient de la teneur de l'eau en particules en suspension, associées au transport de l'eau. Les matières mêlées à l'eau sont de natures très diverses: matières d'origine minérale (argile, limon, sable...), micro particules, micro-organismes.

La turbidité joue un rôle très important dans les traitements d'eau. Elle est mesurée par la réflexion d'un rayon lumineux dans l'eau. Plus l'eau est trouble, plus l'indice de turbidité est élevé. L'Unité Néphélométrie de Turbidité (UNT) est une unité de mesure de la turbidité [25].

#### **I.4.2. Critères bactériologiques**

##### **a) Numération des bactéries aérobies totaux**

Elle sépare deux groupes essentiels de germes: les saprophytes, qui se cultivent plutôt aux environs de 20 °C, et les pathogènes ou suspects, aux environs de 37 °C. Cet examen tire sa valeur de sa répétition dans le temps pour une eau donnée [18].

##### **b) Recherche et numération des germes de contamination fécale**

La recherche et numération des germes de contamination fécale implique dans la plupart des cas, une analyse des micro-organismes indicateurs de pollution fécale mais, dans certaines circonstances, elle pourra inclure aussi une évaluation des densités d'agents pathogènes spécifiques.

La vérification de la qualité microbienne de l'eau de boisson comprend la recherche d'*Escherichia coli* en tant qu'indicateur de pollution fécale. La présence d'*E. coli* apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente et ce micro-organisme doit être totalement absent de l'eau de boisson. Dans la pratique, la recherche de bactéries coliformes thermotolérantes est souvent une solution de remplacement acceptable.

L'espèce *E. coli* constitue un indicateur utile, mais non universel. Les virus entériques et les protozoaires sont plus résistants à la désinfection. En conséquence, l'absence d'*E. coli* n'indique pas nécessairement que l'eau est exempte de ces organismes. Dans certaines situations, il peut être souhaitable de rechercher davantage de micro-organismes résistants, tels que des bactériophages et/ou des spores bactériennes. Il s'agit notamment des cas où l'on utilise une eau de source dont la contamination par des virus ou par des parasites entériques est connue mais aussi des cas où la communauté est fortement touchée par une maladie virale ou parasitaire [18]

La qualité de l'eau peut varier très rapidement. L'eau de pluie, par exemple, peut accroître considérablement le niveau de contamination microbienne des eaux de

source, et des percées de contaminants véhiculés par l'eau peuvent se manifester à la suite de précipitations. L'interprétation des résultats analytiques doit tenir compte de ces éventualités [26].

#### **I.4.3. Critères chimiques (concentrations limites provisoires)**

L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) a élaboré des directives internationales pour définir la qualité de l'eau de boisson à l'échelle mondiale (Tableau I). L'objectif visé est que ces directives servent à l'établissement de normes nationales applicables non seulement à l'eau distribuée sous canalisation mais aussi à toute eau destinée pour la consommation (bornes fontaines, puits, forages, eau livrée par les camions citernes ou distribuée en bouteille) à l'exclusion des eaux minérales naturelles en bouteille [17].

**Tableau I: Valeurs directives de quelques paramètres proposés par les directives de l'OMS**

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

Source : [27]

## II. Les maladies hydriques

### II.1. Définitions

#### Maladies d'origine hydrique

Une maladie d'origine hydrique est toute maladie de nature infectieuse ou d'origine chimique causée ou présumément causée par l'ingestion d'eau ou par un contact avec l'eau [28].

#### Maladies de nature infectieuse

Les maladies de nature infectieuse sont des infections ou symptômes et signes d'infections à un micro-organisme [28].

#### Maladies d'origine chimique

Les maladies d'origine chimique sont des intoxications ou symptômes et signes d'intoxications à un produit chimique [28].

### II.2. Maladies bactériennes transmises par l'eau

Les maladies bactériennes ne sont pas uniquement transmises par l'eau de boisson. La transmission pouvant se faire par la consommation d'aliments contaminés ou par contact direct avec le porteur [29]. Cependant, parmi celles-ci, le choléra et les salmonelloses sont des affections intestinales parmi les plus caractéristiques de celles liées à la consommation d'eau polluée [30].

#### II.2.1. Le choléra

Il se caractérise par une diarrhée aqueuse qui s'accompagne d'une déshydratation extrême. Cette déshydratation fait la gravité de la maladie. En l'absence de traitement, la mort survient entre 48 et 72 heures.

L'agent responsable est le *Vibrio cholerae* biotype El Tor [31]. Le choléra évolue sous un mode d'épidémie avec une périodicité saisonnière (juin- juillet correspondant à la saison des pluies en Côte d'Ivoire). La transmission hydrique de l'affection a été démontrée plus d'une fois [32].

En effet, les vibrions ont été isolés des sources, des puits et des coquillages [29]. Les aliments pollués par l'eau, les fèces ou les mains contribuent à propager l'épidémie.

Dans les pays en voie de développement, l'absence de réseau d'eau potable, d'assainissement, d'hygiène générale et l'insuffisance des connaissances sanitaires des populations représentent les conditions idéales pour le développement de l'épidémie [29].

En dehors du choléra, d'autres espèces de vibrions sont incriminées dans des épisodes de toxi-infections alimentaires ou de diarrhées [33] .

On peut citer parmi ces espèces: *Vibrio parahaemolyticus*.

### **II.2.2.Les salmonelloses**

Parmi les salmonelloses humaines, on peut distinguer deux groupes nosologiques essentiels:

- les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes dues à quelques sérotypes (*Salmonella Typhi*, *Salmonella Para Typhi A, B et C*) avec un tableau clinique bien particulier;
- les gastro-entérites aiguës ou toxi-infections alimentaires plus fréquentes et dues à un grand nombre de sérotypes ubiquistes.

On peut citer en outre, des septicémies survenant sur terrain immunodéprimé [29].

L'état de portage asymptomatique fait des porteurs sains un des réservoirs de l'infection. Les porteurs chroniques hébergent le germe dans la vésicule biliaire et peuvent excréter jusqu'à  $10^{11}$  bacilles par gramme de matière fécale [29]. De surcroît, la persistance des germes dans l'eau (une semaine à plus d'un mois selon les sérotypes) fait des salmonelles des germes d'une grande importance sanitaire [33].

## **II.3. Maladies virales et parasitaires transmises par l'eau**

### **II.3.1. Les maladies virales : le risque fécal viral en 1998**

Plus de 150 espèces virales pathogènes transmises par voie féco orale sont responsables d'une morbidité et d'une mortalité très lourdes, surtout par diarrhées, poliomyélite et hépatite aiguë. Ces virus ont en commun un cycle de transmission impliquant l'homme ou les animaux et l'environnement hydrique, une grande stabilité dans le milieu naturel et une certaine résistance aux agents de dénaturation physico-chimiques. Éliminés avec les selles à des concentrations pouvant atteindre  $10^{10}$  particules par gramme pour les rotavirus et  $10^9$  particules par gramme pour le virus de l'hépatite A, ils sont présents dans les eaux usées et ne sont que partiellement éliminés dans les boues actives des stations d'épuration [34].

Transmis essentiellement par voie digestive, ils ont une infectivité élevée, l'ingestion de 10 à 100 particules virales suffit à provoquer la maladie. La transmission directe de personne à personne est habituelle pour les rotavirus, les entérovirus, les virus du groupe Norwalk, les adénovirus et le virus de l'hépatite A. La transmission indirecte par consommation d'eau, d'aliments ou d'objets souillés est fréquente; l'eau contaminée peut être à l'origine d'épidémies de gastro-entérites à virus Norwalk ainsi que d'hépatites aiguës A ou E. La recherche des virus dans les excréta humains est difficile [34]. Les techniques sérologiques de type Elisa, disponibles pour la plupart de ces virus, ont un intérêt diagnostique et épidémiologique, en particulier pour les entérovirus, les calicivirus, les astrovirus, les virus des hépatites A et E. La recherche de virus fécaux dans les eaux usées fournit des informations précieuses sur leur portage dans la population et devrait occuper une place plus importante dans la surveillance microbiologique de l'environnement. Bien que l'incidence et la gravité des infections virales liées au péril fécal varient selon le niveau socio-économique des pays, le risque est omniprésent. Les mesures de prévention sont individuelles et collectives. Il existe des vaccins efficaces contre la poliomyélite,

l'hépatite A et les rotavirus. Mais le risque fécal ne sera réellement maîtrisé que par l'hygiène, l'éducation sanitaire, l'assainissement et la consommation d'eau potable. [34].

### **II.3.2. Les maladies parasitaires transmises par l'eau**

On décrit principalement la giardiase, la cryptosporidiose et les amibiases. Leur gravité réside dans la capacité de leurs formes de résistance (kystes ou oocystes) à supporter la chloration. On les retrouve donc dans les réseaux distribuant des eaux ayant été désinfectées par chloration [32].

Plusieurs épidémies de giardiase impliquant jusqu'à 5300 personnes ont été décrites aux Etats-Unis dans les années 1970 [29]. Dans les pays en voie de développement, les cryptosporidies ont été isolés chez 3 à 13 % des malades souffrant de diarrhée. Cette prévalence est en nette augmentation avec la pandémie du SIDA (Syndrome d'Immunodéficience Acquisée). En 1988, un puits contaminé par des eaux usées a causé 117 cas de diarrhée à *Cryptosporidium* aux Etats-Unis [29].

### **II.4. Les maladies liées à l'eau**

#### **II.4.1. Généralités**

Le cycle de transmission dans le cas des maladies liées à l'eau est caractérisé par la présence d'un hôte intermédiaire. Le parasite effectue une partie de son cycle de développement chez cet hôte intermédiaire (mollusque). L'autre partie du cycle s'effectue chez l'homme qui constitue ainsi l'hôte définitif. Les deux principaux modes de transmission sont:

- la pénétration transcutanée (cas de la bilharziose),
- l'ingestion d'eau de boisson contaminée (Dracunculose) [31].

#### **II.4.2. La Bilharziose**

C'est la plus redoutable des affections liées à l'eau. Elle est provoquée par des schistosomes, avec comme hôte intermédiaire un mollusque (bulin ou planorbe).



On estime à 200-300 millions, le nombre de personnes souffrant de cette affection dans le monde [35, 36]. On note une augmentation des fréquences de la bilharziose suite aux grands travaux d'irrigation ou à l'urbanisation sur des terrains marécageux [37, 38].

#### **II.4.3. La Dracunculose**

Elle est transmise par l'ingestion de cyclops (hôte intermédiaire) parasité par un nématode (*Dracunculus medinensis*). Elle affecte 50 millions de personnes [31].

Le ruissellement de l'eau sur les jambes des patients infectés vers les puits où vivent ces micro-crustacés (cyclops) permet leur parasitage.

Les mares ou les puits ouverts où l'on descend pour puiser l'eau, favorise la propagation de la maladie. D'où l'intérêt des margelles pour les puits surtout dans les campagnes [38].

#### **II.5. Maladies dues à un défaut d'hygiène personnelle**

Elles regroupent les affections transmises par les microbes ayant la capacité de survivre longtemps dans l'environnement [37]. Le manque d'eau ou sa rareté favorise leur développement. On peut citer entre autres les affections cutanéomuqueuses (staphylococcies, mycoses, vaginites.) [38]. Elles sont largement rencontrées dans les bidonvilles des grandes villes.

#### **II.6. Les maladies liées à des insectes vecteurs**

Le cycle de transmission de ces maladies fait appel à un insecte comme les anophèles ou les glossines. La plus répandue est le paludisme avec 160 millions de personnes atteintes et 2 millions de décès chaque année [32].

#### **II.7. Les maladies liées à un défaut d'assainissement**

Elles regroupent les helminthiases. Ces parasites polluent les sols par les excréta et contribuent au péril fécal. L'ampleur des helminthiases dans le monde est telle que, bien qu'une infection soit fréquemment associée à une faible morbidité chez

les individus, le tribut global en terme de maladies et même de décès entraînés par les infections helminthiques est lourd [39]. On a estimé que les complications de l'ascaridiose sont responsables de 10000 morts chaque année, et l'anémie ferriprive résultant d'une ankylostomiase entraîne 50000 à 60000 décès par an [40].

Les helminthiases intestinales ont de lourdes conséquences sur la santé, la productivité et la qualité de la vie du fait qu'elles empêchent les enfants d'atteindre leur plein potentiel physique [41, 42].

## **II.8.Dangers chimiques**

Le risque hydrique d'origine chimique a été principalement étudié pour l'eau destinée à la consommation humaine. À moyen terme, des pathologies ont été identifiées, induites par le fluor (fluorose dentaire) ou les nitrates (méthémoglobinose). À long terme, le rôle néfaste de macroconstituants des eaux (sodium, dureté, etc.) n'a pas été confirmé; en revanche, certains microconstituants sont réellement impliqués dans un risque hydrique, tels des métaux lourds (plomb, cadmium); des interrogations subsistent pour certaines molécules organiques (pesticides, haloformes) et, d'une manière plus générale, pour les sous-produits minéraux ou organiques de la désinfection (chloration surtout) des eaux, en termes de risque cancérigène [43, 44].

Le risque d'origine chimique est très mal connu pour les autres voies d'exposition: inhalation et contact.

D'une façon générale, le risque chimique peut être lié, soit à la contamination de l'eau brute, soit à un traitement de l'eau (dérivés de coagulants, sous-produits de désinfection), soit au transport de l'eau par des contaminants présents dans les tuyaux tels que plomb, amiante, hydrocarbures aromatiques polycycliques, soit à une contamination spécifique liée au processus.

L'évaluation du risque d'origine chimique est utilisée principalement lors de la détermination des normes ou recommandations de qualité d'eau potable [17] Cette démarche peut être aussi utilisée en cas de dépassement de normes afin de déterminer l'importance et le type de mesure à prendre pour protéger la santé de la population exposée.

## **II.9.Dangers physiques : radioactivité**

S'agissant du risque radiologique, les émetteurs de rayonnement alpha ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,...) sont généralement d'origines naturelles et susceptibles d'être présents dans les eaux souterraines de zones géologiques déterminées, granitiques pour le Radon. Les émetteurs bêta sont en général associés à des

activités humaines ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,...); la radio-contamination provient de déversements hydriques volontaires ou accidentels et de retombées atmosphériques. La plupart des radionucléides s'adsorbent facilement sur des particules (sédiments des eaux, boues d'épuration); en outre, des organismes vivants (poissons, mollusques, crustacés,...) sont capables d'accumuler certains radioéléments, créant une contamination de la chaîne alimentaire.

Cependant, ce danger ne semble pas pouvoir conduire à un risque significatif compte tenu des faibles doses, sauf dans les industries utilisant la radioactivité et faisant alors l'objet d'une surveillance particulière [45].

### **II.10.Epidémiologie des maladies hydriques**

Les maladies hydriques sont des affections pour lesquelles l'eau joue un rôle direct ou indirect dans la transmission. L'eau peut être donc à l'origine de plusieurs maladies graves pouvant causer des décès (Tableau II)

**Tableau II: Mortalité et Morbidité liées à l'eau**

Maladies	Morbidité/Mortalité par an
<b>1) Maladies liées à l'eau</b>	
- Diarrhée (eau et dysenterie)	1,5 milliard de cas 3,3 millions de morts chez les moins de 5 ans (5 millions de morts tous âges confondus)
- Choléra	500.000 cas 20.000 morts
- Fièvre typhoïde	500.000 cas 25.000 morts
- Ascarirose	1,3 milliards de personnes infectées 59 millions de cas cliniques 10.000 morts
<b>2) Infections liées à une hygiène insuffisante</b>	
- Trachome	146 millions de cas 6 millions aveugles
- Gale et autres infections de la peau	Extrêmement fréquent
<b>3) Infections liées à un manque d'assainissement</b>	
Ténias	75 millions de personnes infectées.

Source : [46]

Entre 2002 et 2013, la surveillance épidémiologique a notifié 7 573 cas de choléra en Côte d'Ivoire avec 272 décès, soit un taux de létalité élevé de 3,6 % [47]. Dans les pays en développement, la fièvre typhoïde est endémique et pose un problème majeur de santé publique. L'incidence dans les PED est de 540 cas/100 000 habitants [48].

D'après l'UNICEF, l'amélioration de l'approvisionnement en eau, de l'assainissement et de l'hygiène suffirait à réduire de 26% le nombre de cas de diarrhées et de 65% celui des morts. Ces progrès entraîneraient aussi une forte diminution des autres maladies liées à l'eau telles que le paludisme et la maladie du sommeil [49].

### **III. Traitements de l'eau**

L'eau recouvre 70% de la superficie du globe, mais malheureusement 97 % de cette eau est salée et non potable. L'eau douce représente 3% de l'eau totale de notre planète. Dans ce faible pourcentage, les rivières et les lacs représentent 0,3%, alors que tout le reste est stocké dans les calottes polaires glacières [50]. Un des facteurs majeurs qui gouvernent le développement de sociétés humaines est la préoccupation d'obtenir et de maintenir une provision adéquate d'eau. Les augmentations des populations ont poussé à puiser de façon intensive dans les sources en surface de bonne qualité mais qui sont en quantité limitée ou les ont contaminées ou ont laissé perdurer des gaspillages humains qui ont amené à détériorer la qualité de l'eau. La qualité de l'eau ne pourra plus être oubliée dans le processus de développement. La conséquence inévitable de l'augmentation de la population et du développement économique est le besoin de concevoir des techniques de traitement de l'eau pour fournir une eau de qualité acceptable issue de sources en surface contaminées [51].

Une eau potable ne contient pas d'organismes pathogènes, de composés chimiques dangereux ni de substances radioactives. Elle a un bon goût et une belle apparence [52]. Elle ne dégage pas d'odeur et ne présente pas une couleur désagréable. Dans ce cas, l'eau potable est exempte de contaminants physicochimiques et bactériologiques pouvant nuire à la santé de l'homme.

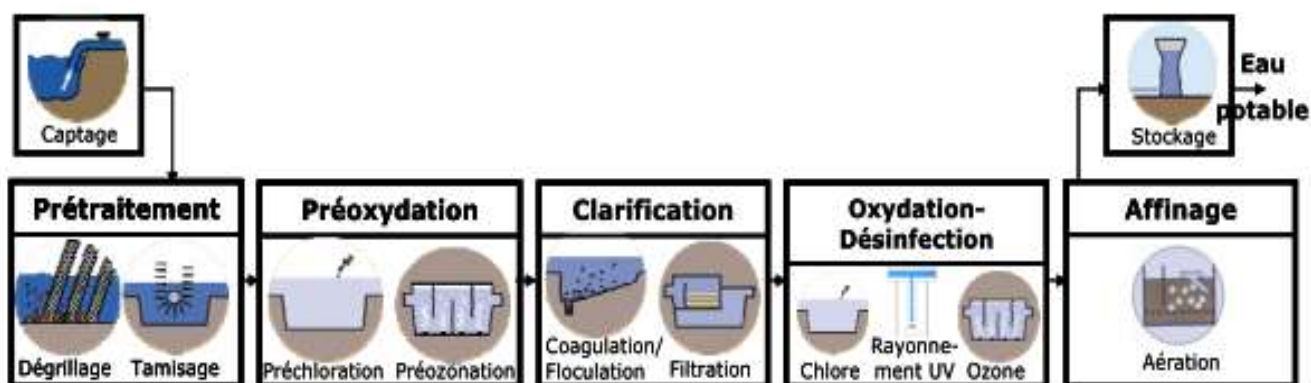
La production d'eau potable peut être définie comme le traitement ou la manipulation d'une source d'eau pour obtenir une qualité de l'eau qui satisfait à des buts spécifiés ou des normes érigées par la communauté au travers de ses agences régulatrices.

Un traitement est destiné à réduire la concentration en certains paramètres de l'eau brute. Pour ce faire, des techniques physiques et chimiques ont été mises au point [53].

### III.1. Les différentes techniques de traitement de l'eau

#### III.1.1. Traitement classique d'une eau de consommation ou traitement complet

La figure ci-dessous présente les différentes étapes d'un traitement complet de l'eau destinée à la consommation humaine.



Source: [54].

Figure 3: Production d'eau potable: traitement complet

#### a) Prétraitement

Une eau, avant d'être traitée, doit être débarrassée de la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne pour les traitements ultérieurs. Pour cela, on effectue des prétraitements de l'eau de surface [55]. Dans le cas d'une eau potable, les prétraitements sont principalement de deux types:

- le dégrillage,
- le tamisage.

Le dégrillage, premier poste de traitement, permet de protéger les ouvrages aval de l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de traitement. Ceci permet également de séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants, ou en compliquer l'exécution. Le dégrillage est avant tout destiné à l'élimination de gros objets: morceaux de bois, etc. Le tamisage, quant à lui, permet d'éliminer des objets plus fins que

ceux éliminés par le dégrillage. Il s'agit de feuilles ou de morceaux de plastique par exemple.

### **b) Pré-oxydation**

L'oxydation est une opération essentielle à tout traitement des eaux. Elle est toujours incluse en fin de filière au niveau de la désinfection. A l'issue du prétraitement, on a une eau relativement propre mais qui contient encore des particules colloïdales en suspension. Celles-ci n'ont en elles-mêmes rien de dangereux. Il nous arrive souvent de consommer de l'eau en contenant: le thé, le café, le vin ou le lait qui sont chargés en matières organiques, mais qui s'oxydent spontanément en présence d'air. On va les détruire dans la mesure du possible par une oxydation. Celle-ci peut être faite de trois façons différentes:

- Ajout de Chlore (pré-chloration)
- Ajout de dioxyde de chlore
- Ajout d'ozone (pré-ozonation)

La pré-chloration est effectuée avant le procédé de clarification. Le chlore est le plus réactif et le plus économique, mais il a comme inconvénient de former avec certains micropolluants des composés organochlorés du type chloroforme ou des composés complexes avec les phénols du type chlorophénol dont le goût et l'odeur sont désagréables [55].

On préfère utiliser le dioxyde de chlore qui coûte plus cher mais qui n'a pas les inconvénients de l'oxydation par le chlore cités ci-dessus. Ce type de traitement est cependant réservé à des cas spécifiques. En effet, l'utilisation du dioxyde de chlore présente, lui aussi, des inconvénients non négligeables comme sa décomposition à la lumière, ce qui entraîne une augmentation du taux de traitement à appliquer en période d'ensoleillement. En conclusion, le dioxyde de chlore est un oxydant plus puissant que le chlore qui représente une alternative intéressante à l'utilisation du chlore lorsque celui-ci entraîne des problèmes de qualité d'eau.



Enfin, depuis quinze à vingt ans, on utilise comme oxydant l'ozone qui, non seulement, a l'avantage de détruire les matières organiques en cassant les chaînes moléculaires existantes, mais également a une propriété virulicide très intéressante, propriété que n'a pas le chlore. Généralement utilisée en désinfection finale, cette technique peut être mise en œuvre en oxydation. Elle peut aussi être employée pour l'amélioration de la clarification. L'un des avantages d'une pré-ozonation est l'oxydation des matières organiques, et une élimination plus importante de la couleur. Un autre avantage est la diminution du taux de traitement (taux de coagulant) dans le procédé de clarification. En somme, la pré-ozonation est une solution de substitution à la pré-chloration. On évite ainsi les problèmes liés aux sous-produits de la chloration.

Néanmoins, ce procédé ne résout pas tous les problèmes car certaines algues résistent à l'ozone. De plus, son coût reste beaucoup plus élevé que celui du chlore.

### **c) Clarification**

La clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les matières en suspension MES (minérales et organiques) d'une eau brute ainsi que des matières organiques dissoutes [56].

La clarification comprend les opérations suivantes:

- Coagulation
- Flocculation
- Filtration

La coagulation est l'une des étapes les plus importantes dans le traitement des eaux de surface. Un mauvais contrôle de ce procédé peut entraîner une augmentation importante des coûts de fonctionnement et le non-respect des objectifs de qualité en sortie. Cette opération a également une grande influence sur les opérations de décantation et de filtration ultérieures. En revanche, un

contrôle efficace peut réduire les coûts de main d'œuvre et de réactifs et améliorer la conformité de la qualité de l'eau traitée.

En résumé, le contrôle de cette opération est donc essentiel pour trois raisons: la maîtrise de la qualité de l'eau traitée en sortie (diminution de la turbidité), le contrôle du coagulant résiduel en sortie et la diminution des contraintes et des coûts de fonctionnement (coûts des réactifs et des interventions humaines).

#### **d) Oxydation-Désinfection**

La désinfection est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation avant distribution. Elle permet d'éliminer tous les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau [56]. Il peut cependant subsister dans l'eau quelques germes banals, car la désinfection n'est pas une stérilisation.

Le principe de la désinfection est de mettre en contact un désinfectant à une certaine concentration pendant un certain temps avec une eau supposée contaminée.

Cette définition fait apparaître trois notions importantes: les désinfectants, le temps de contact et la concentration résiduelle en désinfectant. Une bonne désinfection via les réactifs oxydants demande la combinaison d'une concentration  $C$  avec un temps de contact  $T$ ; c'est le facteur  $C T$  (mg.min/L). Cette valeur varie avec les micro-organismes concernés, le type de désinfectant et la température.

Les quatre principaux désinfectants utilisés en production d'eau potable sont les suivants:

- Le chlore
- Le dioxyde de chlore
- L'ozone
- Le rayonnement UV

La concentration en oxydant est pratiquement le seul paramètre sur lequel l'opérateur peut intervenir. Il faut retenir que l'efficacité de la désinfection dépend, en partie, du suivi de la concentration en oxydant. L'évolution de la concentration en oxydant est liée à la demande en oxydant de l'eau. Cette demande dépend de la qualité de l'eau, du pH, des températures, des matières organiques, et de la concentration en ammoniacque.

#### **e) Affinage**

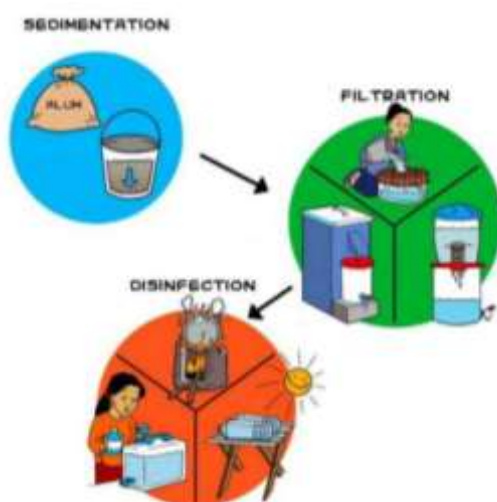
Le traitement final traite de la mise à l'équilibre calco-carbonique. L'eau suit un cycle naturel dans lequel les éléments chimiques qu'elle contient évoluent [56]. L'eau de pluie contient naturellement du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). Quand celle-ci traverse les couches d'humus, riches en acides, elle peut s'enrichir fortement en  $\text{CO}_2$ . Lors de sa pénétration dans un sol calcaire, c'est-à-dire riche en carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ), elle se charge en calcium  $\text{CaO}_2^+$  et en ions bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$ . En fait, le calcium est dissous par l'eau chargée en  $\text{CO}_2$ . On dit qu'elle est entartrante ou incrustante. En revanche, quand l'eau de pluie traverse une roche pauvre en calcium (région granitique), elle reste très chargée en  $\text{CO}_2$  dissous. Cette eau est, en générale, acide. On dit qu'elle est agressive.

Il y a typiquement deux problèmes distincts: corriger une eau agressive et corriger une eau incrustante. La correction d'une eau agressive peut s'effectuer de plusieurs façons. Premièrement, on peut éliminer le  $\text{CO}_2$  par aération. Du fait de l'élimination du  $\text{CO}_2$ , le pH augmente et se rapproche du pH d'équilibre. Deuxièmement, on peut ajouter une base à l'eau. L'ajout de base permet d'augmenter le pH et d'atteindre le pH d'équilibre. La correction d'une eau incrustante peut se faire soit par traitement direct par ajout d'acide soit en réduisant le potentiel d'entartrage par décarbonatation.

#### **III.1.2. Traitement semi complet des eaux destinées à la consommation**

Le traitement semi complet des eaux destinées à la consommation humaine comprend classiquement trois grandes approches [57]:

- **La sédimentation:** elle permet le dépôt de particules de matières présentes dans l'eau. Une fois déposées, ces particules de matières peuvent être retirées plus facilement, ainsi que les micro-organismes fixés sur ces particules. La sédimentation permet d'améliorer la qualité physique et microbiologique d'une eau.
- **La filtration:** elle permet, en faisant passer l'eau à travers un milieu poreux, de retenir les éléments solides (ainsi que les micro-organismes) dont la taille est supérieure aux trous du filtre (une taille en général de l'ordre du nano ou du micromètre). La filtration permet d'améliorer la qualité physique et microbiologique d'une eau.
- **La désinfection:** elle vise à tuer les micro-organismes présents dans l'eau. La désinfection permet d'améliorer uniquement la qualité microbiologique d'une eau.



Source: [23]

**Figure 4: Sédimentation, filtration et désinfection, trois approches pour le traitement de l'eau**

#### **a) La Sédimentation**

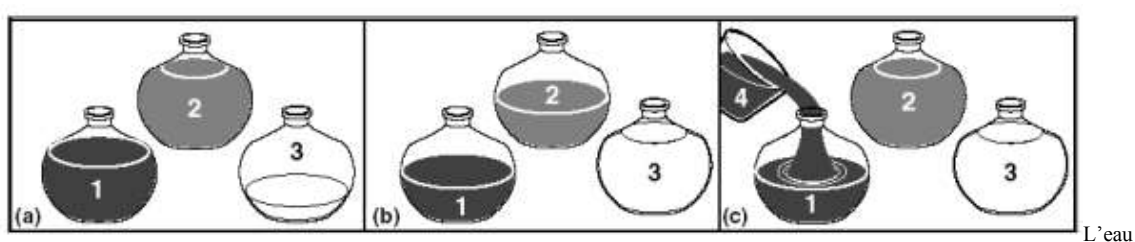
La sédimentation est la première étape de nombreux procédés de traitements: en retirant les plus grosses matières en suspension, elle permet, en amont,

d'optimiser l'efficacité des traitements plus fins et complémentaires, comme la filtration et la désinfection.

- **La décantation**

La décantation consiste à débarrasser l'eau des matières en suspension qui se déposent sous l'effet de leur propre poids. Un stockage inerte de l'eau dans de bonnes conditions d'hygiène pendant une journée permet d'éliminer plus de 50% de la plupart des bactéries [58]. Si le stockage est prolongé, des réductions supplémentaires peuvent être obtenues. Le stockage permet à la décantation d'avoir lieu, permettant aux matières en suspension et à certains pathogènes de descendre au fond du récipient.

L'eau retirée dans la partie supérieure du récipient de stockage est alors moins contaminée que l'eau dans la partie inférieure. Si les matières en suspension sont très petites (comme des particules d'argile), les performances de la décantation en seront d'autant amoindries. Le système de traitement avec trois récipients où l'eau est chaque jour transférée d'un récipient à l'autre permet d'assurer une décantation d'au moins deux jours, assurant une meilleure clarification de l'eau.



L'eau potable est toujours prélevée du pot 3. Cette eau a été stockée pendant au moins deux jours et sa qualité est améliorée. Ce pot sera régulièrement nettoyé (éventuellement stérilisé en le remplissant d'eau bouillante) chaque jour, lorsque de l'eau est apportée à la maison : (a) verser lentement l'eau du pot 2 dans le pot 3 et laver le pot 2, (b) verser lentement l'eau du pot 1 dans le pot 2 et laver le pot 1, (c) verser l'eau prélevée à la source (seau 4) dans le pot 1 (elle peut être filtrée à travers un tissu propre). L'usage d'un tuyau flexible pour siphonner l'eau d'un pot à l'autre perturbera moins les sédiments que de verser l'eau.

Source : [57]

**Figure 5:Le système de décantation de l'eau à trois pots**

- **La coagulation naturelle**

La coagulation consiste à ajouter une substance (un réactif coagulant, souvent liquide) à l'eau pour favoriser l'agrégation des particules solides, soit entre elles, soit avec la substance ajoutée.

Traditionnellement, certaines populations de la corne de l'Afrique (Soudan par exemple) utilisent la poudre de la graine de *Moringa oleifera* pour traiter l'eau puisée dans les rivières et stockée au foyer dans des jarres. Les graines extraites de l'arbre et broyées sont transformées en poudre qui constitue un coagulant efficace. Le dosage requis est de quelques dizaines de mg par litre, selon la turbidité de l'eau à traiter [59]

- **La coagulation chimique**

Les principaux coagulants chimiques utilisés sont à base d'aluminium ou de fer. Les principales formes chimiques utilisables et disponibles de ces métaux sont le sulfate d'aluminium ( $Al_2SO_4$ , appelé également alun), le sulfate de fer ( $FeSO_4$ ) et le chlorure de fer ( $FeCl_3$ ). Ces différents produits sont le plus souvent commercialisés sous forme de cristaux. Il convient de suivre les instructions du fabricant pour appliquer les dosages adéquats en fonction des volumes d'eau à traiter. Une agitation de l'eau pendant plusieurs minutes accélère l'agrégation des particules solides qui peuvent alors décanter [57].

## **b) La Filtration**

La filtration est souvent utilisée en complément de la sédimentation, afin d'affiner le traitement de l'eau. De nombreux procédés existent pour filtrer l'eau. L'efficacité des filtres est directement liée à la taille des pores du filtre, du débit d'eau qui le traverse, des propriétés physiques de l'eau traitée. La filtration permet d'éliminer les matières solides, les pathogènes, certaines substances chimiques et certains goûts et odeurs.

- **Le tamisage**

Le tamisage consiste à verser de l'eau en la faisant passer à travers un tissu propre en coton. Le tamisage permet d'enlever une partie des matières solides en suspension dans l'eau et certains parasites. Le tamisage est parfois utilisé de manière spontanée par les usagers lorsque l'eau présente une forte turbidité. Le recours à cette solution nécessite d'utiliser un tissu propre. S'il est sale, d'autres éléments polluants peuvent être transmis à l'eau. Ce dispositif présente néanmoins une grande simplicité d'utilisation. Outre les particules solides, et en fonction de la taille du tissage, certains tissus permettent de filtrer les helminthes [57].



Source: [57]

**Figure 6: Le tamisage de l'eau sur un tissu**

- **La filtration sur sable**

La filtration sur sable est une méthode d'épuration qui consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de sable qui, au regard de ses propriétés filtrantes, est en mesure de retenir un grand nombre de particules solides et de micro-organismes. Le filtre qui contient le sable est le plus souvent en béton ou en plastique.

A la surface du lit de sable se forme une mince couche biologique (appelée biofilm) où se développent des micro-organismes qui contribuent également au

traitement. Cette couche est responsable de l'élimination de la plupart des micro-organismes présents dans l'eau.

Un filtre à sable nécessite un nettoyage régulier pour conserver des capacités de traitement satisfaisantes. Le nettoyage à réaliser porte sur les différents éléments du filtre, y compris le sable [57].

- **La filtration sur filtre céramique**

La filtration sur céramique utilise un matériau poreux, le plus souvent ayant la forme d'une « bougie » ou d'un « pot ». Les bougies ou pots en céramique fabriqués localement sont souvent réalisés à partir d'un mélange d'argile et de matière organique (sciure de bois, balle de riz...) qui, une fois séché, est cuit au four: les éléments combustibles brûlent, laissant la place à un réseau de fines pores à travers lesquelles l'eau à traiter peut circuler. Certains filtres céramiques contiennent également de l'argent colloïdal, aux propriétés antibactériennes. L'efficacité d'un filtre céramique est étroitement liée à la qualité de sa fabrication et à la taille des pores (qui est suffisamment petite pour parler de microfiltration). Régulièrement, les pores de la céramique s'obstruent suite à l'accumulation de particules présentes dans l'eau, diminuant ainsi le débit de filtration. Le nettoyage du filtre se fait en frottant la surface du filtre avec une brosse et un rinçage à l'eau. Les filtres en céramiques sont destinés au traitement d'eaux relativement claires, car si l'eau est lourdement chargée en matières en suspension, les pores de la céramique sont rapidement bouchés [57].

#### **Avantages de la filtration céramique [60]**

- L'utilisation par les bénéficiaires est facile et intuitive
- Aucun risque de mauvais dosage
- Absence de consommable et de coût d'entretien (sauf remplacement)
- Toutes les particules de taille supérieure à celle des pores du filtre sont retenues (bactéries et matières en suspension...)



- Entretien simple et intuitif et peut être fait sans matériel spécifique
- Peut être produit localement si une source d'argile parfaitement homogène est identifiée.

### **Limites de la filtration céramique [60]**

- L'utilisateur doit laver le filtre régulièrement, le filtre doit être remplacé lorsqu'il est «usé» par ces lavages
- Colmatage si l'eau contient des particules fines (eau brute turbide)
- Le filtre est fragile et peut se briser. Il devient alors inopérant
- Ecoulement de l'eau traitée lent (1-3 l/h)

- **La filtration sur membrane**

Les membranes sont des systèmes poreux synthétiques. Selon la taille des pores dans la membrane, on distingue classiquement la microfiltration (pores d'environ 0,1 micron), l'ultrafiltration (pore d'environ 0,01 micron) et la nanofiltration (pore d'environ 0,001 micron). La microfiltration est rarement suffisante, car elle laisse passer bon nombre de micro-organismes. Si l'ultrafiltration s'avère beaucoup plus efficace pour retenir la plupart des micro-organismes et particules solides, elle laissera néanmoins passer les virus et les matières dissoutes (sels inorganiques). La nanofiltration est la technologie membranaire la plus efficace, mais au regard de sa complexité, elle est essentiellement utilisée pour le dessalement de l'eau de mer et pour les traitements industriels [57]

### **c) La Désinfection**

- **L'ébullition**

L'ébullition de l'eau est un moyen efficace pour tuer la majorité des pathogènes (la plupart étant tué à partir d'une température de 70°C). Si faire bouillir l'eau est une méthode facilement contrôlable (seules quelques minutes d'ébullition assurent la garantie d'une eau potable), son recours peut poser des difficultés,

notamment lorsque les combustibles (bois, charbon, gaz...) sont rares ou trop onéreux pour les usagers [57].

- **La désinfection solaire: SODIS**

La désinfection solaire utilise l'énergie solaire pour détruire les éléments pathogènes présents dans l'eau. La méthode SODIS (Solar Water Disinfection) propose d'exposer des bouteilles en plastique remplies d'eau au soleil. La désinfection est assurée de deux manières: un traitement par radiation et un traitement thermique. Les ultra-violets présents dans les rayons solaires combinés à la hausse de température (qui n'a pas besoin d'excéder 50°C) ont la capacité de détruire une grande partie des pathogènes présents dans l'eau. Afin d'optimiser le traitement, il est recommandé de peindre les bouteilles en noir sur la moitié de leur surface, ou de les placer sur des surfaces réfléchissantes (toits en aluminium ou en zinc par exemple). La durée d'exposition est de 6 heures minimum. L'efficacité de cette méthode dépend du rayonnement solaire, ce qui la rend éligible dans des régions situées entre les latitudes 15° et 35° Nord et 15° et 35° Sud.



Source: [23]

**Figure 7: Traitement SODIS**

- **La chloration**

La chloration est une des méthodes les plus largement utilisées pour assurer la désinfection de l'eau. Le chlore tue les organismes pathogènes à condition d'assurer un temps de contact suffisant (minimum 30 minutes).

Selon l'OMS, l'eau de boisson doit contenir entre 0,5 et 5 mg/l de chlore résiduel libre. Si l'eau est stockée dans de bonnes conditions (dans un réservoir opaque et fermé), ce chlore résiduel éliminera tout risque de nouvelle contamination après le traitement. Le chlore est disponible sous différentes formes: solide (tablettes de dichloroisocyanurate de sodium ou DCCNa) ou liquide (eau de Javel ou hypochlorite de sodium). Les produits commercialisés ont souvent des niveaux de dilution variable. Il convient donc de suivre scrupuleusement les instructions des fabricants pour effectuer des dosages adéquats. Outre son pouvoir désinfectant, le chlore a des caractéristiques rémanentes: une fois l'ajout du chlore réalisé dans l'eau, le pouvoir de désinfection peut durer plusieurs jours selon le dosage réalisé.

En présence d'une eau trouble (turbidité supérieure à 5 UNT), un traitement préliminaire est nécessaire pour diminuer la turbidité et améliorer l'action du chlore: la présence de matières en suspension inhibe l'action du chlore, favorisant ainsi la présence de bactéries [57].

### **III.1.3. Les autres types de traitement**

#### **a) Traitements chimiques spécifiques**

La plupart des polluants sont éliminés au cours des traitements classiques de clarification et d'affinage. Cependant, certains exigent des traitements spécifiques. C'est le cas, notamment, des nitrates et des pesticides.

Pour les nitrates, il existe deux techniques principales:

- La dénitrification biologique qui utilise des microorganismes capables de transformer les nitrates en azote gazeux.
- L'autre technique nécessite l'emploi de résines échangeuses d'ions qui absorbent les ions nitrates et libèrent en échange des ions chlorures.

Quant aux pesticides, ils sont éliminés soit par adsorption sur charbon actif, oxydation conventionnelle par le chlore ou oxydation par l'ozone [53].

## **b) Désinfection de l'eau par photosensibilisation avec des extraits de plantes**

C'est une technique qui utilise l'action photo-sensibilisatrice des:

- Extraits de plantes de *Cassia alata*, *Cassia occidentalis*, *cassia papaya* pour inhiber les germes pathogènes de l'eau [61].
- Huiles essentielles de *Citrus bergamia*, *Citrus reticulata*, *Citrus Limonum* permettant d'inhiber des Coliformes totaux [61].

## **c) Les approches combinées pour le traitement de l'eau**

- **Les systèmes de filtration et désinfection**

Il existe plusieurs systèmes de traitement de l'eau qui associent une première étape de filtration des particules solides, puis une seconde étape de chloration pour la désinfection. Ce type d'approche combinée permet d'obtenir de très bons résultats en termes de potabilité sur une grande variété d'eaux à traiter [62].

- **La floculation associée à la désinfection**

PUR Purifier of Water™ a été développé en collaboration avec le « Centers for Disease Control and Prevention ». Vendu sous forme de petits sachets, PUR contient du sulfate de fer (un flocculant) et de l'hypochlorite de sodium (un désinfectant). Pour traiter de l'eau avec PUR, l'utilisateur a recours au protocole suivant :

- Verser le contenu du sachet dans 10 litres d'eau et mélanger pendant 5 minutes,
- Attendre que la floculation fasse effet et que les solides constitués se déposent au fond du seau,
- Filtrer l'eau à travers un textile pour retirer les flocculants restants,
- Attendre 20 minutes supplémentaires pour que l'hypochlorite agisse sur les microorganismes.



Source: [62]

**Figure 8: Femme avec des sachets PUR en Haïti**

- **La coagulation naturelle associée à la désinfection solaire**

La désinfection solaire (SODIS) est d'autant plus efficace que l'eau à traiter est claire. En d'autres termes, une eau avec une forte turbidité limite fortement les capacités de traitement de la désinfection solaire. Le recours au Moringa est une alternative recommandée comme prétraitement en amont d'un dispositif SODIS. Les propriétés coagulantes du Moringa permettent de réduire de manière significative la couleur et la turbidité de l'eau, ainsi que le temps d'exposition solaire requis. Néanmoins, le temps nécessaire au prétraitement est similaire à celui nécessaire à la désinfection solaire [63].

**Conclusion partielle:**

La sédimentation, la filtration et la désinfection sont souvent présentées comme complémentaires: la sédimentation permet de retirer les plus grosses particules de matières, la filtration permet de retirer les particules de granulométrie plus fine qui n'ont pas sédimenté, et la désinfection permet de supprimer les micro-organismes qui subsistent suite aux procédés de sédimentation et filtration.

Ces trois traitements physiques et microbiologiques sont par ailleurs particulièrement pertinents au regard des enjeux spécifiques du traitement de l'eau à domicile. En effet, les sources de contamination entre le point d'eau et sa

consommation sont imputables de manière quasi-systématique à l'intrusion de matières en suspension (pollution physique) et de micro-organismes pathogènes (pollution microbiologique). Que ce soit pour la sédimentation, la filtration ou la désinfection, des technologies existent (plus ou moins simples et plus ou moins robustes selon les cas), qui peuvent se décliner avec des succès variables dans les foyers.

### **III.2.Applications des techniques de traitement**

#### **III.2.1.Eaux d'adduction publique**

##### **a)Eaux souterraines**

Les eaux souterraines qui ont une composition étroitement liée aux terrains qui les contiennent sont le plus souvent exemptes de germes pathogènes. C'est pourquoi on dit qu'elles sont naturellement pures. Néanmoins, la zone de captage doit être protégée par une réglementation efficace et prendre des précautions pour éviter une contamination de l'eau dans le réseau de distribution. Lorsqu'une protection continue ne peut être garantie du point de captage au point de consommation, il est impératif de procéder à un traitement des eaux destinées à la consommation. [64]

La technique de traitement appliquée dans ce cas sera un traitement semi complet qui comportera l'une ou la totalité des différentes étapes selon le niveau de contamination à savoir:

- La sédimentation
- La filtration
- Et/ou la désinfection [64].

##### **b) Eaux de surface**

Pour les eaux brutes de très bonne qualité, une simple approche combinée peut suffire (exemple: filtration et désinfection). À l'inverse, pour des eaux de surface de moins bonne qualité, le traitement de l'eau fait appel, pour une très large part, à des processus physiques ou biologiques [65].

Le traitement appliqué pour ces eaux sera donc un traitement classique ou traitement complet à savoir:

- Prétraitement (dégrillage - tamisage)
- Pré-oxydation (pré-chloration – pré-ozonation)
- Clarification (coagulation/floculation – filtration)
- Oxydation – Désinfection
- Affinage

### **III.2.2.Eaux à domicile**

Le traitement des eaux à domicile est inexistant en cas d'utilisation d'eau souterraine bien protégée et conforme aux normes de potabilité et pour un court réseau de distribution. A l'inverse, pour une eau contaminée, la technique adaptée est le traitement semi complet (sédimentation – filtration – désinfection) mais surtout la technique des approches combinées à savoir:

- La coagulation naturelle associée à la désinfection solaire
- La floculation associée à la désinfection
- Les systèmes de filtration et de désinfection

La filtration se fait généralement sur des filtres en minéraux céramiques et la désinfection au moyen d'une solution hypochlorée (eau de javel). Ces deux techniques seront évaluées dans cette étude pour situer leur niveau d'efficacité.

## PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE

---



## I. Matériels et méthodes

### I.1.Type, cadre et période de l'étude

Ce travail est une étude analytique réalisée au sud-ouest de la Côte d'Ivoire dans les régions de la Nawa et San Pedro sur la question de l'efficacité d'un désinfectant et du filtre FILTRAO® dans le traitement des eaux de forage et de puits améliorés. Elle est réalisée sur la période de trois mois allant d'octobre à décembre 2016.

Cette étude s'est déroulée d'une part dans sept (7) localités de la région de la Nawa et San Pedro: Guimeyo, Zakeoua, Brouagui, Meagui, Touih, Kako et Moussadougou pour la collecte des échantillons et d'autre part dans les antennes INHP de Soubré et de San Pedro pour les différentes analyses. La région de la Nawa et San Pedro sont deux régions frontalières du sud-ouest de la côte d'ivoire [figure 9].



Figure 9: Cartographie des régions de la Nawa et San Pedro

## **I.2.Matériels**

### **I.2.1.Appareillage**

L'appareillage est constitué de:

- pH-mètre à sonde de marque (HACH HQ 11d-France),
- Turbidimètre (TURB 430 IR-France),
- Conductimètre à sonde (HACH HQ 14 d-France),
- Bain marie (MEMMERT-France),
- Photomètre (PALINTEST<sup>®</sup> 7100 - Grande Bretagne),
- Rampes de filtration (SARTORIUS Goethingen- Germany),
- Incubateurs de terrain (LABNET),
- Stérilisateur UV,
- Autoclaves de paillasse (P SELECTA),
- GPS (GARMIN-Etats-unis),
- Appareil photo numérique (SONY-Japon).

### **I.2.2.Réactifs**

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

#### **Réactifs de chimie:**

Les réactifs de chimie utilisés sont de marque PALINTEST<sup>®</sup> (Grande Bretagne):

- Les DPD1 et DPD3 pour le dosage du chlore libre et du chlore total ;
- La pastille Nitratest, la poudre Nitratest et la pastille Nitricol 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 ;
- 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 ;

- 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.

#### **Réactifs de microbiologie:**

Les réactifs de microbiologie sont constitués par les Milieux de culture: Rapid'E coli 2 Agar (France), BEA (France), gélose TSN (France).

### **I.3.Méthodes**

#### **I.3.1.Géolocalisation des ouvrages: repérages par GPS**

##### **a) Principe de fonctionnement du GPS**

Le GPS (Global Position System 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 des puits et forages lors des différentes campagnes de terrain effectuées dans le cadre de ce travail.

##### **b) 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. En effet, cet appareil fonctionne avec les satellites. 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.Inspection sanitaire**

Une inspection sanitaire est une inspection sur place d'un approvisionnement en eau pour identifier les sources réelles et potentielles de contamination. La structure physique et le fonctionnement des systèmes, ainsi que des facteurs externes (tels que l'emplacement des latrines) sont évalués. Cette information peut servir à sélectionner les actions appropriées pour protéger et améliorer l'approvisionnement en eau de ce point d'eau. Les inspections sanitaires se concentrent généralement sur les sources de contamination microbiologique, principalement la contamination fécale des personnes et des animaux. Cependant, dans certains cas les inspections peuvent identifier des risques chimiques liés aux industries ou aux activités agricoles locales [66].

Pour l'étude, cette activité a permis de déterminer d'éventuelles sources de contamination des points d'eau. Elle est menée à l'aide d'un questionnaire (annexe 1).

### **I.3.3.Méthodes de prélèvement, Transport et Conservation des échantillons**

#### **a) Echantillonnage**

L'échantillonnage a porté sur sept forages. Le nombre d'échantillons par forage est constitué de:

- Un (1) échantillon de 1000 ml pour les analyses physicochimiques sur l'eau brute,
- Un (1) échantillon de 500 ml pour les analyses microbiologiques sur l'eau brute,
- Un (1) échantillon de 30L pour les tests de désinfection et de filtration.

Pour ce travail, 21 échantillons ont été collectés.

#### **➤ Critères d'inclusion**

Les critères pris en compte dans le cadre de cette étude pour la sélection des forages sont les forages et puits améliorés construits par l'ONG « Médecins du monde ».

#### **➤ Critères de non inclusion**

Les critères de non inclusion considérés dans cette étude sont constitués par les autres points d'eau.

#### **b) Prélèvement, Transport et Conservation des échantillons**

Les prélèvements sont faits selon les règles en vigueur en vue de ne pas modifier les valeurs des paramètres recherchés. Les échantillons d'eau brute sont rangés dans une glacière en vue de les amener au laboratoire tout en respectant la chaîne de froid par des accumulateurs de glace. Les échantillons d'eau à traiter sont prélevés dans des fûts de 30 litres.

Les échantillons prélevés sont transportés à l'abri de la lumière avec une température allant de 4°C à 8°C [67]. Mais les échantillons de 30L n'étaient pas conservés à cette température durant le transport.

Les échantillons sont acheminés au laboratoire le plus rapidement possible c'est-à-dire dans les 3 heures qui suivent le prélèvement pour les différentes analyses.

Quant aux prélèvements pour les analyses physicochimiques, ils sont disposés sur la paille avant les analyses afin que leur température revienne à la température ambiante.

### I.3.4. Analyses des eaux à risques

#### a) Traitement de l'eau

##### ➤ Produits de traitement de l'eau

Un désinfectant à base d'hypochlorite de sodium 8° Chlorométrique et un filtre dénommé FILTRAO® (Figure 10) sont utilisés pour le traitement des eaux.



**Figure 10: Photographie de deux modèles de FILTRAO®**

### ➤ **Traitement des eaux par désinfection**

Pour la technique de désinfection, un volume de 1,25 ml de l'hypochlorite de sodium 8° (NaOCl) est ajouté à 20 litres d'eau. Une homogénéisation par agitation pendant 30 secondes à une minute est faite par la suite. Les analyses sont effectuées sur l'eau ainsi traitée après une heure de contact.

### ➤ **Traitement des eaux par filtration avec un filtre céramique le FILTRAO®**

La filtration se fait de la façon suivante: une quantité d'eau de cinq (5L) litres par forage est filtrée à l'aide du filtre FILTRAO® à raison de 1 à 2 litres par heure. Les analyses physicochimiques et microbiologiques sont effectuées après deux heures de filtration.

### **b) Analyses des paramètres organoleptiques**

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

### ➤ **Mesure de la Couleur**

La couleur de l'eau de boisson est liée à la présence de substances organiques, de métaux comme le fer, le manganèse ou de rejets industriels [17].

L'importance de la couleur de l'eau de consommation se situe au niveau organoleptique, mais les effets sensoriels sont considérés comme ayant une importance sur la santé. La plupart des individus perçoivent les niveaux de coloration lorsqu'ils dépassent 15 UCV (Unité de Couleur Vraie) dans un verre d'eau. Mais l'acceptabilité peut varier selon les circonstances locales. La valeur indicative est inférieure à 15 UCV pour l'eau de boisson [17;68]. 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 [69].

#### ✓ **Technique**

1- Rincer le flacon avec environ 10 ml de l'échantillon d'eau, boucher le flacon avec le capuchon à vis noir et retourner le flacon à 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 vis à noir 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)



### **c) Analyses physicochimiques**

Les analyses physicochimiques ont été réalisées avant et après les différents traitements des eaux à savoir les eaux brutes et les eaux traitées.

#### **➤ Mesure du pH**

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

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

#### **✓ Principe**

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

#### **✓ Mode Opératoire**

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

2- Allumer le pH-mètre.

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

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

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

### ➤ **Détermination de la conductivité**

#### ✓ **Principe**

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

#### ✓ **Mode Opératoire**

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

Afin d'éviter une dilution ou une contamination, rincer la cellule avec de 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. En dehors de 20°C une correction est effectuée selon la formule générale [70]:

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

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 ( $\text{NH}_4^+$ )

#### ✓ Principe

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

#### ✓ Mode Opératoire

- 1- Remplir un tube jusqu'à 10 ml de l'échantillon;
- 2- Ajouter une pastille « Ammonia N°1 » et une pastille « Ammonia N°2 », écraser et remuer pour dissoudre;
- 3- Attendre 10 minutes pour permettre le développement complet de la couleur;
- 4- Sélectionner Phot 62 pour mesurer l'ammonium en milligramme par litre d'eau ( $\text{mg/L NH}_4^+$ );
- 5- Lecture du résultat à 640 nm.
- 6- Le résultat s'affiche en  $\text{mg/L NH}_4^+$ .

### ➤ Dosage des Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

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

#### ✓ Principe

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

#### ✓ Mode Opératoire

- 1- Remplir un tube jusqu'à 10 ml de l'échantillon à analyser;
- 2- Ajouter une pastille « Nitricol », écraser et remuer pour dissoudre;
- 3- Attendre 10 minutes pour permettre le développement de la couleur;

- 4- Sélectionner Phot 64 pour mesurer les nitrites en milligramme par litre d'eau ( $\text{mg/L NO}_2^-$ );
- 5- Lire le résultat par rapport à une longueur d'onde de 520 nm.

➤ **Dosage des Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )**

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

✓ **Principe**

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

✓ **Mode Opératoire**

- 1- Prélever 20 ml d'échantillon dans le tube Nitratest;
- 2- Ajouter une cuillère de poudre Nitratest et une pastille Nitratest, ne pas écraser la pastille. Fermer le tube avec le capuchon et agiter pendant une minute;
- 3- Attendre une autre minute puis remuer le tube trois ou quatre fois pour permettre la floculation. Attendre encore deux minutes ou jusqu'à l'obtention d'une solution claire;
- 4- Enlever le capuchon et nettoyer le haut du tube avec un papier propre. Transférer le contenu de cette solution claire dans une éprouvette ronde, jusqu'au trait 10 ml;
- 5- Ajouter une pastille Nitricol, écraser et remuer pour dissoudre;
- 6- Attendre 10 minutes jusqu'au développement complet de la couleur;
- 7- Sélectionner la longue d'onde 570 nm du photomètre;
- 8- Lire le résultat qui s'affiche en milligramme de nitrates par litre d'eau ( $\text{mg/L NO}_3^-$ ).

### ➤ Dosage des Chlorures (Cl<sup>-</sup>) et du Sodium

#### ✓ Principe

Les chlorures d'un volume connu d'eau sont précipités par le nitrate d'argent (AgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en présence d'acide nitrique. La différence d'absorption permet le dosage.

#### ✓ Mode Opératoire

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 ml de l'échantillon.
- 2- Ajouter une pastille «Acidifying CD», écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Ajouter une pastille «Chloridol», laisse 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 par rapport à une longueur d'onde de 520 nm.
- 6- Le résultat s'affiche en milligramme de Chlorure par litre d'eau (mg/L Cl<sup>-</sup>)
- 7- Aller à la concentration en mg/L de Chlorure de sodium (NaCl)
- 8- Déduire la concentration de sodium par un calcul ( $[Na] = [NaCl] - [Cl]$ )

### ➤ Dosage du Fer (Fe)

#### ✓ Principe

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

#### ✓ Mode Opératoire

- 1- Remplir le tube de 10 ml de l'échantillon à analyser.
- 2- Ajouter une pastille « Iron HR », écraser et remuer pour dissoudre.
- 3- Attendre une minute pour permettre le développement de la couleur.
- 4- Sélectionner Phot 19.

- 5- Lire le résultat par rapport à une 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)**

✓ **Principe**

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

✓ **Mode Opératoire**

- 1- Dans un tube, introduire 10ml 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<sup>-</sup>)**

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.

#### ✓ Principe

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

#### ✓ Mode Opératoire

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 ml de l'échantillon;
- 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 Calcium ( $\text{Ca}_2^+$ )- Potassium ( $\text{K}^+$ )- Magnésium ( $\text{Mg}^+$ )-Sulfates ( $\text{SO}_4^-$ )- Phosphates ( $\text{PO}_4^-$ )

#### ✓ Procédure de dosage du calcium

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

✓ **Procédure de dosage du potassium**

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

✓ **Procédure de dosage du magnésium**

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

✓ **Procédure de dosage des sulfates**

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

✓ **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  $PO_4$



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

✓ **Principe**

Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la teneur de l'eau en alcalins libres, carbonates et bicarbonates. La détermination du TAC est basée sur la neutralisation de l'eau par l'acide chlorhydrique (HCl) ou l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en présence d'un indicateur coloré (l'hélianthine) [71].

✓ **Mode Opérateur**

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

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

✓ **Principe**

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

- 1- Filtrer l'échantillon pour obtenir une solution claire.
- 2- Remplir le tube jusqu'à 10 ml de l'échantillon.

- 3- Ajouter une pastille «Hardicol N°1», écraser et remuer pour dissoudre.
- 4- Ajouter une pastille «Hardicol N°2», écraser et remuer pour dissoudre.
- 5- Attendre 5 minutes pour permettre le développement de la couleur.
- 6- Sélectionner Phot 15.
- 7- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L CaCO<sub>3</sub>.

**Remarque:**

- 0<DHT<10°F: eau très douce
- 10°F<DHT<20°F: eau douce
- 20°F<DHT<30°F: eau moyennement dure
- 30°F<DHT<40°F: eau dure
- DHT>40°F: eau très dure

➤ **Dosage du chlore libre et du chlore total**

Le dosage du chlore libre et du chlore total est une analyse réalisée que sur les eaux traitées. Cette analyse ne concerne pas les eaux brutes.

✓ **Principe**

Le réactif DPD en présence du Chlore, donne un complexe de coloration rose, d'intensité croissante avec la concentration en Chlore. Cette coloration est appréciée au spectrophotomètre à une longueur d'onde  $\lambda = 428$  nm.

✓ **Mode opératoire**

- 1- Rincer le flacon avec environ 10 ml de l'échantillon d'eau, boucher le flacon avec le capuchon à vis noir et retourner le flacon à plusieurs fois. Verser l'échantillon utilisé et répéter la procédure de rinçage deux à trois fois.
- 2- Remplir le flacon rincé avec l'échantillon jusqu'au repère indiqué sur le flacon.
- 3- Ajouter et écraser le réactif DPD 1. Boucher le flacon avec le bouchon vis à noir fourni et agiter pendant 10 secondes

- 4- Essuyer le flacon avec du papier JOSEPH ou avec un chiffon doux ou pelucheux fourni. Vérifier que l'extérieur du flacon est sec, propre et dépourvu de tâches.
- 5- Mettez l'appareil en marche en appuyant sur la touche ON / OFF.
- 6- Appuyer la touche MODE pour sélectionner la lecture du chlore libre
- 7- Appuyez sur la touche READ / ENTER pour confirmer votre sélection. L'appareil affichera [STBY] indiquant qu'il est prêt à accepter cette mesure
- 8- Placer le flacon avec la couleur développée dans la cuve échantillon et aligner le repère du flacon sur le repère du mesureur.
- 9- Pousser sur le flacon jusqu'à ce qu'il soit bien placé
- 10- Appuyez sur la touche READ / ENTER. L'appareil affiche la mesure en unités appropriées en 3 secondes.
- 11- Ajouter et écraser le réactif DPD 3, Boucher le flacon avec le bouchon vis à noir fourni et agiter pendant 10 secondes
- 12- Essuyer le flacon avec du papier JOSEPH ou avec un chiffon doux ou pelucheux fourni. Vérifier que l'extérieur du flacon est sec, propre et dépourvu de tâches.
- 13- Appuyer la touche MODE pour sélectionner la lecture du chlore total
- 14- Appuyez sur la touche READ / ENTER pour confirmer votre sélection. L'appareil affichera [STBY] indiquant qu'il est prêt à accepter cette mesure
- 15- Placer le flacon dans la cuve échantillon et aligner le repère du flacon sur le repère du mesureur.
- 16- Pousser sur le flacon jusqu'à ce qu'il soit bien placé
- 17- Appuyez sur la touche READ / ENTER. L'appareil affiche la mesure en unités appropriées en 3 secondes.

**Remarque: Chlore libre + Chlore combiné = Chlore totale. De ce fait on en déduit la valeur du Chlore combiné.**

### ➤ **Dosage des matières organiques (MO)**

La procédure utilisée pour le dosage des matières organiques est celle de la norme NF EN ISO 8467: 1993 (annexe 2) qui est une méthode utilisant l'oxydabilité au permanganate de potassium. Le résultat est exprimé en milligramme d'oxygène (O<sub>2</sub>) par litre d'eau (mg/L d'O<sub>2</sub>)

Ce test a pour but d'approcher la teneur en matières organiques dans l'eau en mesurant la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du permanganate de potassium (KMnO<sub>4</sub>) par les matières organiques contenues dans une eau. Il s'agit d'un dosage en retour.

#### **d) Analyses microbiologiques**

La contamination microbiologique est de loin le risque associé à l'eau de boisson le plus grave pour la santé publique, ce qui en fait la priorité lors de l'analyse de qualité de l'eau. Les agents pathogènes dans l'eau (bactéries, virus, protozoaires et helminthes) peuvent entraîner un grand nombre de problèmes de santé, mais la principale préoccupation concerne les maladies diarrhéiques transmises aux personnes qui boivent de l'eau contaminée par des matières fécales [72].

L'analyse de la contamination microbiologique est habituellement la priorité dans la plupart des projets d'eau de boisson.

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

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

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

Les analyses microbiologiques portent sur les eaux brutes et les eaux traitées.

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

### ✓ **L'appareil de filtration [73]**

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 frité 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  $0,45\mu\text{m}$ .

### ✓ **Principe**

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

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

### ✓ **Procédure de la membrane filtrante**

#### ○ **Activités préopératoire:**

- Stériliser l'unité de filtration (le poste de filtration et l'entonnoir cylindrique) de préférence par flambage soit à l'alcool ou à l'aide d'un camping gaz;
- Etiqueter les milieux de culture en fonction du numéro des échantillons;
- Sécher les milieux de cultures pour ramener leur température à  $37^{\circ}\text{C}$ ;

- Allumer le feu du bec bunsen favorisant un environnement stérile;
  - **Filtration :**
    - 1- Ouvrir les robinets des postes de filtration (seuls les robinets des postes de filtration à utiliser sont ouverts);
    - 2- Porter la membrane sur le poste de filtration et placer l'entonnoir cylindrique;
    - 3- Prélever 100ml de l'échantillon d'eau à analyser et transvaser dans l'entonnoir;
    - 4- Ouvrir le robinet servant à faire le vide pour permettre la filtration;
    - 5- Oter l'entonnoir cylindrique pour retirer la membrane du poste de filtration avec une paire de pinces stérilisée à nouveau puis porter la membrane sur un milieu correspondant pour la recherche d'une bactérie donnée;
    - 6- Incuber les milieux ainsi cultivés aux températures correspondantes pendant 18 heures à 24 heures;
    - 7- A la fin du temps d'incubation, procéder à la lecture du milieu pour dénombrement les bactéries;
    - 8- Si nécessaire, confirmer les résultats de la culture par des tests de confirmation.

L'analyse microbiologique a porté sur:

- La recherche et le dénombrement des coliformes totaux, thermotolérants et streptocoques fécaux;
- La recherche et le dénombrement des germes anaérobies sulfite réducteurs (ASR).

✓ **Les coliformes totaux et thermotolérants**

• **Principe**

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

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

- **Mode opératoire**

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

✓ **Dénombrement des streptocoques fécaux**

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

- **Principe**

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

- **Mode opératoire**

- Filtrer sur une membrane une prise d'essai (100ml) de l'eau à analyser soigneusement homogénéisée. La membrane est ensuite placée à la surface de la gélose BEA

- Incuber durant 24 heures à une température de 37°C
- Dénombrer les colonies entourées d'un halo noir
  - **Recherche des spores de micro- organismes anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) par filtration sur membrane**
  - **Principe et mode opératoire**

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

Le principe de la recherche et du dénombrement de ces micro-organismes est proche des autres modes opératoires:

- 1- On sélectionne les spores bactériennes dans l'échantillon par un chauffage au bain-marie à 75±5°C pendant 15 minutes, pour que les cellules végétatives soient détruites.
- 2- Filtration de ces 100 ml d'échantillon au travers d'une membrane filtrante stérile dont les pores présentent une dimension de 0.45 µm pour que les spores de bactéries soient retenues à l'intérieur de la membrane filtrante.
- 3- Dépôt de la membrane à l'envers sur un milieu de culture sélectif (gélose Tryptose Sulfite Néomycine: milieu TSN).
- 4- L'anaérobiose est créée par une seconde couche de ce milieu sur la membrane.

Incubation des boîtes à 37±1°C pendant 44±4 heures [74].



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

Durant l'incubation, il y a réduction du sulfite de sodium, sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) et donc production de sulfure de fer se manifestant par un halo noir autour des colonies. Seul ce type de colonie est compté. [74] (figure 11)



Source : [74]

Figure 11: Dénombrement des bactéries type Clostridium

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

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

## II. Résultats

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

- La réalisation du positionnement des forages prospectés par repérage GPS des différents sites
- L'exploitation des données de l'enquête sanitaire
- Le contrôle de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux brutes
- Le traitement des eaux par désinfection avec une solution d'hypochlorite de sodium et par filtration avec le filtre FILTRAO®

### II.1.Géolocalisation des forages

Les coordonnées géographiques des forages sont contenues dans le Tableau III ci-dessous. Au total sept (7) forages ont été répertoriés chacun appartenant à une localité bien précise ce qui donne sept (7) localités dont quatre (4) dans la région de la Nawa soit 57% des forages analysés et trois (3) dans la région de San Pedro soit 43%.

**Tableau III: Coordonnées géographiques des forages**

		Caractéristiques GPS	
Localités		Longitudes	Latitudes
Région de la Nawa	GUIMEYO	07°16.575'	008°03.940'
	ZAKEOUA	06°15.338'	006°30.536'
	BROUAGUI	05°38.911'	006°49.412'
	MEAGUI	05°24.368'	006°33.542'
Région de San Pedro	TOUIH	05°15.862'	006°32.008'
	KAKO	04°46.274'	007°00.855'
	MOUSSADOUGOU	04°54.305'	006°21.087'

## **II.2.Résultats de l'inspection sanitaire**

### **II.2.1.Puits de la localité de Guiméyo**

La localité de Guiméyo est située dans la sous-préfecture d'Okrouyo dans le département de Soubré dont elle est distante de quarante kilomètres. Ce village dispose d'un dispensaire rural au sein duquel le puits a été foré. Aux dires de l'Infirmier du centre de santé, ce puits a une profondeur de 23 mètres. L'équipe d'inspection a noté que la fosse septique des toilettes du personnel soignant est en amont du puits seulement à 9,5 mètres. Le puits dispose d'une clôture, d'un couvercle et d'un dispositif mécanique de puisette. Il existe un système de drainage et d'évacuation des eaux perdues. L'intérieur du puits est tapi de ciment de la margelle jusqu'au fond. Tout le dispositif est fonctionnel. Mais l'environnement immédiat du puits n'est pas entretenu.

Le puits est donc de type moderne qui est conseillé pour avoir de l'eau potable, mais la présence de la fosse septique en amont à moins de 15 mètres et l'environnement insalubre constituent une source de pollution.

### **II.2.2.Forage du centre de santé rural de Zakéoua**

Zakéoua est un village de la Sous-préfecture de Grand Zattry dans le département de Soubré. Situé sur l'axe principal reliant Grand Zattry à Issia; Zakéoua dispose d'un centre de santé rural. Le forage est au sein de la cour du centre de santé à environ 150 mètres du dispensaire et 100 mètres de la maternité. Le forage est de type à pédale et dispose d'une clôture. Il existe un système d'évacuation d'eau perdue. L'équipe d'inspection n'a pas noté de sources de pollution environnante.

Ce forage est donc à l'abri de pollution environnementale et dispose d'un système sécuritaire contre toute contamination issue des usagers.

### **II.2.3.Puits de centre de santé de Brouagui**

Le centre de santé de Brouagui dispose d'un puits amélioré avec un dispositif de puisage fonctionnel. Il existe un couvercle qui empêche l'eau de pluie de

contaminer le puits. L'environnement immédiat bénéficie d'une bonne hygiène environnementale.

L'hygiène environnementale satisfaisante contribuerait donc à garantir la qualité de l'eau du puits.

#### **II.2.4. Forage du centre de santé de Méagui**

La ville de Méagui est le chef lieu dudit département. Elle dispose d'un centre de santé urbain non alimenté en eau d'adduction publique. Selon le responsable de la Sodeci, la production en eau de cette localité n'arrive pas à couvrir les besoins de la population. Ainsi certains quartiers ne sont pas alimentés. Le forage est au sein du centre de santé. Le forage est envahi par la broussaille. L'environnement immédiat est insalubre. Le forage est connecté au mini château mais les bâtiments ne le sont pas.

Le manque d'hygiène environnementale autour du forage constitue donc un risque de contamination de son eau.

#### **II.2.5. Puits du centre de santé rural de Touih**

Touih est un village de la Sous-préfecture de Gabiadji dont il est distant de 27 km et 17 km de la ville de Méagui. Il est sur l'axe reliant Méagui à San-Pedro. Le village Touih dispose d'un centre de santé rural au sein duquel le puits est creusé. Aux dires de l'Infirmier du centre de santé, ce puits a une profondeur de 13 mètres. Le puits dispose d'une clôture, d'un couvercle et d'un dispositif mécanique de puisette. Le dispositif est non fonctionnel. Il existe un système de drainage et d'évacuation des eaux perdues. L'intérieur du puits est tapi de ciment de la margelle jusqu'au fond. L'équipe d'inspection n'a pas noté de sources de pollution environnante.

Ce puits est donc à l'abri de toute contamination environnementale.

### **II.2.6.Puits du centre de santé rural de Kako**

Kako est un village de la sous-préfecture de grand Bérébi dont il est distant d'une vingtaine de kilomètres. Le centre de santé dispose d'un puits amélioré situé à proximité de la voie publique non bitumée. L'environnement immédiat est insalubre.

La poussière issue de la voie publique et l'environnement insalubre constituent un risque de contamination pour l'eau de ce puits.

### **II.2.7.Puits du centre de santé rural de Moussadougou**

Situé à 45 kilomètres de la ville de San-Pedro Moussadougou est sur l'axe dénommé "la côtière". Il dispose d'un centre de santé rural au sein duquel le puits est réalisé. Selon le registre mis à la disposition de l'équipe d'inspection par la sage femme du centre et qui a fait le point de la traçabilité des travaux du puits, celui-ci a une profondeur de 8 mètres. Le puits dispose d'une clôture, d'un couvercle et d'un dispositif mécanique de puisette. Il existe un système de drainage et d'évacuation des eaux perdues. L'intérieur du puits est tapi de ciment de la margelle jusqu'au fond. L'on note un environnement immédiat très insalubre et l'intérieur de la cour du puits ne bénéficie pas d'un entretien adéquat.

Le manque d'un entretien adéquat autour du puits constitue donc un risque de contamination de l'eau de ce puits.

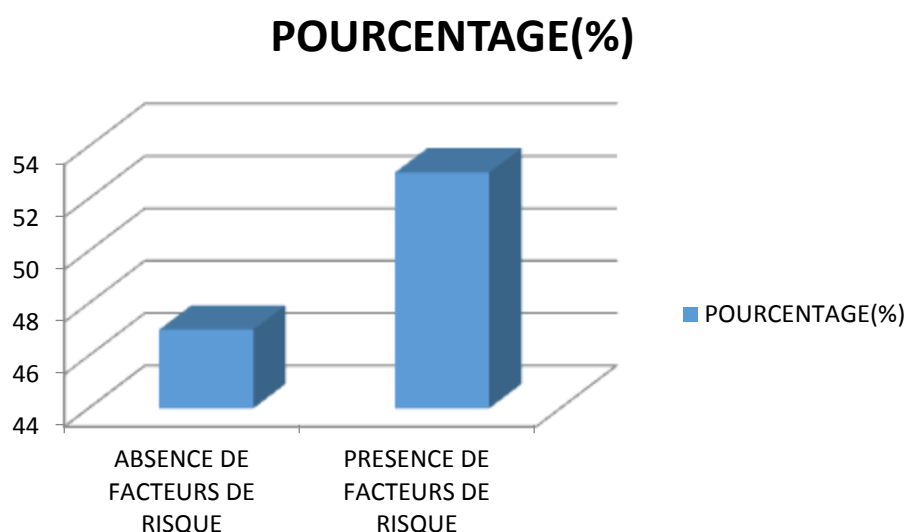
Les résultats de l'inspection sanitaire des sept (7) ouvrages montrent qu'il y a un risque véritable de contamination des eaux. Au total quatre (4) forages sont exposés à l'insalubrité soit 57% et trois (3) forages soit 43% sont à l'abri de toute contamination.

Aussi, la profondeur de la plupart des forages inférieure à 20 mètres (exemple: 8 mètres de profondeur pour le puits du centre de santé de Moussadougou) expose

ces puits à des infiltrations d'eau sale, d'urine ou d'excréments animaux, ce qui affecterait donc la qualité microbiologique de l'eau.

**Tableau IV: Niveau de contamination par des facteurs de risque sanitaire**

Niveau de risque de contamination	Fréquence	Pourcentage (%)	Pourcentage cumulé (%)
Absence de facteurs de risque	3	47	47
Présence de facteurs de risque	4	53	100
Total	7	100	



**Figure 13:** Niveau de contamination par des facteurs de risque sanitaire

### II.3.Résultats de l'analyse des paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques analysés sont la couleur et la turbidité. Ces deux paramètres ont été analysés à la fois sur les eaux brutes que sur les eaux traitées.

#### II.3.1.Eaux brutes

Au plan organoleptique (Tableau V), les eaux de Zakeoua, de Guimeyo et de Touih ont eu des paramètres non conformes au regard de la norme OMS 2011.

Les turbidités de 18,9, 5,58 et 5,47 UNT pour l'eau respectivement de Zakeoua, de Guimeyo et de Touih sont supérieures à 5 UNT (norme OMS 2011).

La couleur de l'eau de Zakeoua de 20 UCV est largement supérieure à la norme qui est 15 UCV

**Tableau V: Paramètres organoleptiques des eaux brutes**

Localités	Guimeyo	Zakeoua	Brouagui	Meagui	Touih	Kako	Moussadougou
Date	11/10	11/10	12/10	13/10	14/10	18/10	19/10
Prélèvement	10H40	12H25	10H55	09H24	10H14	17H31	16H50
Heure d'analyse	17H15	17H15	16H50	15H25	14H18	16H00	16H00
Turbidité (UNT)	<b>5,58</b>	<b>18,9</b>	4,31	3,43	<b>5,47</b>	2,7	2,01
Couleur (UCV)	10	<b>20</b>	5	10	0	10	10

### II.3.2.Eaux traitées

#### a) Analyse des eaux désinfectées

L'analyse des caractères organoleptiques des eaux désinfectées a montré une diminution de la turbidité de l'eau de Zakeoua qui est passée de 18,9 UNT à 11,5 UNT (Tableau IX). Cette valeur est supérieure à 5 UNT. La couleur de cette eau reste inchangée avec une valeur 20 UCV.

**Tableau VI: Paramètres organoleptiques des eaux désinfectées**

Localités	Guimeyo	Zakeoua	Brouagui	Meagui	Touih	Kako	Moussadougou
Date	11/10	11/10	12/10	13/10	14/10	20/10	20/10
Prélèvement	19H30	19H30	18H05	17H43	15H15	18H20	18H20
Turbidité (UNT)	2,87	<b>11,5</b>	4,11	3,1	4,36	2,07	2,31
Couleur (UCV)	10	<b>20</b>	5	10	5	5	5

### **b) Eaux filtrées à l'aide de FILTRAO®**

La filtration a permis de corriger les non-conformités organoleptiques relevées sur les eaux brutes (Tableau X).

**Tableau VII: Paramètres organoleptiques des eaux filtrées à l'aide de FILTRAO®**

Localités	Guimeyo	Zakeoua	Brouagui	Meagui	Touih	Kako	Moussadougou
Date	11/10	11/10	12/10	13/10	14/10	20/10	20/10
Prélèvement	19H30	19H30	18H55	17H45	16H18	18H20	18H20
Turbidité (UNT)	0,83	1,03	0,57	1,03	1,32	0,61	0,92
Couleur (UCV)	10	10	5	10	10	5	5

### **II.4.Résultats de l'analyse physico-chimiques des eaux**

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées sur les eaux brutes et les eaux traitées de Guimeyo (Tableau VIII), de Zakeoua (Tableau IX), de Brouagui (Tableau X), de Méagui (Tableau XI), de Touih (Tableau XII), de Kako (Tableau XIII) et de Moussadougou (Tableau XIV). Les paramètres de non-conformités ont été le fer sur l'eau brute de Zakeoua. (Tableau XV)



**Tableau VIII: Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de Guimeyo**

Paramètres	Résultats des eaux	Résultats des eaux	Résultats des eaux
	brutes	désinfectées	filtrées à FILTRAO®
<b>Date</b>	11/10	11/10	11/10
<b>Prélèvement</b>	10H40	19H30	19H30
<b>Heure d'analyse</b>	17H15	-	-
<b>pH</b>	7,54	7	8,01
<b>T° (°C)</b>	27,2	<b>29,1</b>	26,3
<b>Conductivité</b>	319	336	271
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/L)</b>	0	0	0
<b>Mg<sup>2+</sup> (mg/L)</b>	55	55	55
<b>K<sup>+</sup> (mg/L)</b>	3,4	3,4	3,4
<b>Zn (mg/L)</b>	0,01	0,01	0,01
<b>Ca<sup>2+</sup> (mg/L)</b>	48	48	48
<b>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	5,9	5,9	5,9
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	4,8	1,82	2,06
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	0,02	0,01	0,24
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/L)</b>	0,12	0,06	0,27
<b>MO (mg/L)</b>	0,28	0,83	0,28
<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>	3,3	10	2,5
<b>Na<sup>+</sup> (mg/L)</b>	19	14	23
<b>DHT (mg/L)</b>	120	95	80
<b>TAC (mg/L)</b>	150	150	85
<b>Fe (mg/L)</b>	0,1	0	0
<b>Mn (mg/L)</b>	0,008	0,007	0,002
<b>Al (mg/L)</b>	0	0	0,27
<b>F<sup>-</sup> (mg/L)</b>	0,28	0,48	0,86
<b>Chlore total</b>	-	1,90	-
<b>Chlore libre</b>	-	1,84	-

**Tableau IX: Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de Zakeoua**

Paramètres	Résultats des eaux	Résultats des eaux	Résultats des eaux
	brutes	désinfectées	filtrées à FILTRAO®
Date	11/10	11/10	11/10
Prélèvement	12H25	19H30	19H30
Heure d'analyse	17H15	-	
pH	6,52	7,88	7,89
T° (°C)	28,8	28,5	26,4
Conductivité	124,8	134	196,6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	0	0	0
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	<<	3	17
K <sup>+</sup> (mg/L)	9,6	4,6	4,9
Zn (mg/L)	0,02	<<	<<
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	18	16	54
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	5,5	5,9	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,64	0,74	1,78
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,04	0,01	0,11
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	0,09	0,03	0,43
MO (mg/L)	0,55	0,28	0,28
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	6,3	11,5	2,8
Na <sup>+</sup> (mg/L)	15,2	18,5	29
DHT (mg/L)	40	45	45
TAC (mg/L)	80	65	50
Fe (mg/L)	<b>0,35</b>	0,2	0,01
Mn (mg/L)	0,042	0,026	0
Al (mg/L)	0,01	0	0,12
F <sup>-</sup> (mg/L)	0,26	0,19	0,97
Chlore total	-	2,75	-
Chlore libre	-	2,70	-

**Tableau X: Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de Brouagui**

Paramètres	Résultats des eaux	Résultats des eaux	Résultats des eaux
	brutes	désinfectées	filtrées à FILTRAO®
Date	12/10	12/10	12/10
Prélèvement	10H55	18H55	18H55
Heure d'analyse	16H50	-	-
pH	7,38	7,94	7,94
T° (°C)	27,2	25,2	25,2
Conductivité	203,3	296	296
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	0	0	0
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	55	55	55
K <sup>+</sup> (mg/L)	3,4	3,4	3,4
Zn (mg/L)	0,01	0,01	0,01
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	48	48	48
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	5,9	5,9	5,9
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,76	0,76	0,76
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0	0	0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	0,07	0,07	0,07
MO (mg/L)	0,55	0,55	0,55
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	3,6	3,6	3,6
Na <sup>+</sup> (mg/L)	5,9	5,9	5,9
DHT (mg/L)	85	85	85
TAC (mg/L)	105	105	105
Fe (mg/L)	0,1	0,1	0,1
Mn (mg/L)	0,014	0,014	0,014
Al (mg/L)	0,02	0,02	0,02
F <sup>-</sup> (mg/L)	0	0	0
Chlore total	-	1,34	-
Chlore libre	-	1,30	-

**Tableau XI: Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de Méagui**

Paramètres	Résultats des eaux	Résultats des eaux	Résultats des eaux
	brutes	désinfectées	filtrées à FILTRAO®
Date	13/10	13/10	13/10
Prélèvement	09H24	17H43	17H45
Heure d'analyse	15H25	-	-
pH	8,33	6,56	7,05
T° (°C)	27,2	26,7	26,3
Conductivité	102,5	110,8	177
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	1	4	0
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	5	1	1
K <sup>+</sup> (mg/L)	6,7	6,3	2,8
Zn (mg/L)	0,29	0,02	0,01
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	10	10	30
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	6	6,5	8
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	14	11,2	1,5
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0	0	0,03
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	0,11	0,38	0,51
MO (mg/L)	0,38	0,38	0,27
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	9,3	11,5	17,5
Na <sup>+</sup> (mg/L)	15,2	18,5	29
DHT (mg/L)	15	15	70
TAC (mg/L)	15	5	55
Fe (mg/L)	0	0,01	0,25
Mn (mg/L)	0,012	0,004	0,005
Al (mg/L)	0,01	0,03	0,09
F <sup>-</sup> (mg/L)	0,17	0,42	0,66
Chlore total	-	1,10	-
Chlore libre	-	1,08	-

**Tableau XII: Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de Touih**

Paramètres	Résultats des eaux	Résultats des eaux	Résultats des eaux
	brutes	désinfectées	filtrées à FILTRAO®
Date	14/10	14/10	14/10
Prélèvement	10H14	15H15	16H18
Heure d'analyse	14H18	-	-
pH	6,38	<b>7,08</b>	<b>7,72</b>
T° (°C)	28,3	27,6	27,1
Conductivité	133	145,8	292
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	0	0	0
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	<<	3	17
K <sup>+</sup> (mg/L)	9,6	4,6	4,9
Zn (mg/L)	0,02	<<	<<
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	18	16	54
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	5,5	5,9	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	3,5	4,5	1,7
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0	0,01	0,01
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	0,04	0,07	0,04
MO (mg/L)	0,18	0,18	0,09
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	13,5	16	16,5
Na <sup>+</sup> (mg/L)	22	26	27
DHT (mg/L)	30	40	85
TAC (mg/L)	45	45	115
Fe (mg/L)	0,05	0,01	0,01
Mn (mg/L)	0,036	0,018	0,012
Al (mg/L)	0,06	0	0,14
F <sup>-</sup> (mg/L)	0,09	0,41	1,2
Chlore total	-	1,68	-
Chlore libre	-	1,57	-

**Tableau XIII: Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de Kako**

Paramètres	Résultats des eaux	Résultats des eaux	Résultats des eaux
	brutes	désinfectées	filtrées à FILTRAO®
<b>Date</b>	18/10	20/10	20/10
<b>Prélèvement</b>	16H00	18H20	18H20
<b>Heure d'analyse</b>	17H31	-	-
<b>pH</b>	6,91	7,54	7,23
<b>T° (°C)</b>	27,6	22,9	24,8
<b>Conductivité</b>	252	267	332
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/L)</b>	0	0	0
<b>Mg<sup>2+</sup> (mg/L)</b>	<<	12	55
<b>K<sup>+</sup> (mg/L)</b>	12	10,5	7,2
<b>Zn (mg/L)</b>	<<	<<	<<
<b>Ca<sup>2+</sup> (mg/L)</b>	36	38	28
<b>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	9,8	7,9	0,5
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	2,5	3,9	10,5
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	0	0	0
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/L)</b>	0,45	0,04	0,39
<b>MO (mg/L)</b>	0,07	0,1	0,02
<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>	12	14	23
<b>Na<sup>+</sup> (mg/L)</b>	19	23	14
<b>DHT (mg/L)</b>	45	65	70
<b>TAC (mg/L)</b>	115	100	110
<b>Fe (mg/L)</b>	0,01	0,01	0,01
<b>Mn (mg/L)</b>	0,005	0,006	0,003
<b>Al (mg/L)</b>	0,03	0,03	0
<b>F<sup>-</sup> (mg/L)</b>	0,32	1,34	0,44
<b>Chlore total</b>	-	1,85	-
<b>Chlore libre</b>	-	1,80	-

**Tableau XIV: Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de Moussadougou**

Paramètres	Résultats des eaux	Résultats des eaux	Résultats des eaux
	brutes	désinfectées	filtrées à FILTRAO®
<b>Date</b>	19/10	20/10	20/10
<b>Prélèvement</b>	16H00	18H20	18H20
<b>Heure d'analyse</b>	16H50	-	-
<b>pH</b>	7,36	7,34	7,36
<b>T° (°C)</b>	28,8	23,1	25,3
<b>Conductivité</b>	353	394	348
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/L)</b>	0	1	0
<b>Mg<sup>2+</sup> (mg/L)</b>	41	24	8
<b>K<sup>+</sup> (mg/L)</b>	19	12	9,5
<b>Zn (mg/L)</b>	<<	<<	<<
<b>Ca<sup>2+</sup> (mg/L)</b>	30	56	28
<b>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	1,4	0,7	0,3
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	10,75	10,9	20,4
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	0	0	0
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/L)</b>	0,44	0,02	0
<b>MO (mg/L)</b>	0,14	0,07	0,02
<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>	28,5	32	24,5
<b>Na<sup>+</sup> (mg/L)</b>	50,5	54	15,5
<b>DHT (mg/L)</b>	110	85	90
<b>TAC (mg/L)</b>	105	130	105
<b>Fe (mg/L)</b>	0,01	0,05	0,01
<b>Mn (mg/L)</b>	0,008	0,004	0
<b>Al (mg/L)</b>	0,02	0,38	0,06
<b>F<sup>-</sup> (mg/L)</b>	0,1	0,02	0,25
<b>Chlore total</b>	-	1,50	-
<b>Chlore libre</b>	-	1,48	-

## II.5. Résultats des analyses microbiologiques

Les résultats de l'analyse microbiologique des eaux brutes ont montrés que toutes ces eaux étaient contaminées par des germes indicateurs de pollution fécale. Les deux techniques de traitement appliquées à ces eaux ont données des résultats très satisfaisant (**Tableaux XV à XXI**).

**Tableau XV: Résultats de l'analyse microbiologique des eaux du forage de Guimeyo**

Localités de Guimeyo	Résultats des eaux brutes	Résultats des eaux désinfectées	Résultats des eaux filtrées à l'aide de FILTRAO®	Critères (UFC/100ml)
Date	11/10	11/10	11/10	
Prélèvement	10H40	19H30	19H30	
Heure d'analyse	17H15	-	-	
CT	>150	0	0	0/100ml
CTH	>150	0	0	0/100ml
<i>E. Coli</i>	>150	0	0	0/100ml
<i>Enterococcus Faecalis</i>	>150	0	0	0/100ml
ASR	0	0	0	0/100ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0	0	0/100ml
<b>Observations</b>	EAU NON POTABLE	EAU POTABLE	EAU POTABLE	



**Tableau XVI: Résultats de l'analyse microbiologique des eaux du forage de Zakeoua**

Localités de Zakeoua	Résultats des eaux brutes	Résultats des eaux désinfectées	Résultats des eaux filtrées à l'aide de FILTRAO®	Critères (UFC/100ml)
Date	11/10	11/10	11/10	
Prélèvement	12H25	19H30	19H30	
Heure d'analyse	17H15	-	-	
CT	>150	0	0	0/100ml
CTH	>150	0	0	0/100ml
<i>E. Coli</i>	>150	0	0	0/100ml
<i>Enterococcus Faecalis</i>	>150	0	0	0/100ml
ASR	0	0	0	0/100ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0	0	0/100ml
Observations	EAU NON POTABLE	EAU POTABLE	EAU POTABLE	

**Tableau XVII: Résultats de l'analyse microbiologique des eaux du forage de Brouagui**

Localités de Brouagui	Résultats des eaux brutes	Résultats des eaux désinfectées	Résultats des eaux filtrées à l'aide de FILTRAO®	Critères (UFC/100ml)
Date	12/10	12/10	12/10	
Prélèvement	10H55	18H05	18H55	
Heure d'analyse	16H50	-	-	
CT	13	0	0	0/100ml
CTH	0	0	0	0/100ml
<i>E. Coli</i>	0	0	0	0/100ml
<i>Enterococcus Faecalis</i>	24	0	0	0/100ml
ASR	0	0	0	0/100ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0	0	0/100ml
Observations	EAU NON POTABLE	EAU POTABLE	EAU POTABLE	

**Tableau XVIII: Résultats de l'analyse microbiologique des eaux du forage de Méagui**

Localités de Méagui	Résultats des eaux brutes	Résultats des eaux désinfectées	Résultats des eaux filtrées à l'aide de FILTRAO®	Critères (UFC/100ml)
Date	13/10	13/10	13/10	
Prélèvement	09H24	17H43	17H45	
Heure d'analyse	15H25	-	-	
CT	>150	0	0	0/100ml
CTH	43	0	0	0/100ml
<i>E. Coli</i>	43	0	0	0/100ml
<i>Enterococcus Faecalis</i>	60	0	0	0/100ml
ASR	0	0	0	0/100ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0	0	0/100ml
Observations	EAU NON POTABLE	EAU POTABLE	EAU POTABLE	

**Tableau XIX: Résultats de l'analyse microbiologique des eaux du forage de Touih**

Localités de Touih	Résultats des eaux brutes	Résultats des eaux désinfectées	Résultats des eaux filtrées à l'aide de FILTRAO®	Critères (UFC/100ml)
Date	14/10	14/10	14/10	
Prélèvement	10H14	15H15	16H18	
Heure d'analyse	14H18	-	-	
CT	>150	0	0	0/100ml
CTH	>150	0	0	0/100ml
<i>E. Coli</i>	6	0	0	0/100ml
<i>Enterococcus Faecalis</i>	>150	0	0	0/100ml
ASR	0	0	0	0/100ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0	0	0/100ml
Observations	EAU NON POTABLE	EAU POTABLE	EAU POTABLE	

**Tableau XX: Résultats de l'analyse microbiologique des eaux du forage de Kako**

Localités de Kako	Résultats des eaux brutes	Résultats des eaux désinfectées	Résultats des eaux filtrées à l'aide de FILTRAO®	Critères (UFC/100ml)
Date	18/10	20/10	20/10	
Prélèvement	16H00	18H20	18H20	
Heure d'analyse	17H31	-	-	
CT	>150	0	0	0/100ml
CTH	39	0	0	0/100ml
<i>E. Coli</i>	39	0	0	0/100ml
<i>Enterococcus Faecalis</i>	59	0	0	0/100ml
ASR	0	0	0	0/100ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0	0	0/100ml
Observations	EAU NON POTABLE	EAU POTABLE	EAU POTABLE	

**Tableau XXI: Résultats de l'analyse microbiologique des eaux du forage Moussadougou**

Localités de Moussadougou	Résultats des eaux brutes	Résultats des eaux désinfectées	Résultats des eaux filtrées à l'aide de FILTRAO®	Critères (UFC/100ml)
Date	18/10	20/10	20/10	
Prélèvement	16H00	18H20	18H20	
Heure d'analyse	17H31	-	-	
CT	>150	0	0	0/100ml
CTH	94	0	0	0/100ml
<i>E. Coli</i>	94	0	0	0/100ml
<i>Enterococcus Faecalis</i>	25	0	0	0/100ml
ASR	0	0	0	0/100ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0	0	0/100ml
Observations	EAU NON POTABLE	EAU POTABLE	EAU POTABLE	

### III. Comparaison de l'efficacité des deux techniques de traitement

La comparaison de l'efficacité des deux techniques de traitement va se faire en se basant sur les résultats obtenus avec ces techniques. Il s'agira de confronter les résultats d'analyse des eaux traitées par désinfection et par filtration à l'aide de FILTRAO®. Cette comparaison portera sur:

- Les résultats d'analyse des paramètres organoleptiques
- Les résultats d'analyse des paramètres physicochimiques
- Les résultats d'analyse des paramètres microbiologiques
- Le rendement de chaque technique de traitement.

Pour ce faire, nous utiliserons des graphiques et des tableaux comparatifs pour montrer les limites et avantages de chacune des techniques de traitement.

#### III.1. Comparaison des résultats d'analyses des paramètres organoleptiques

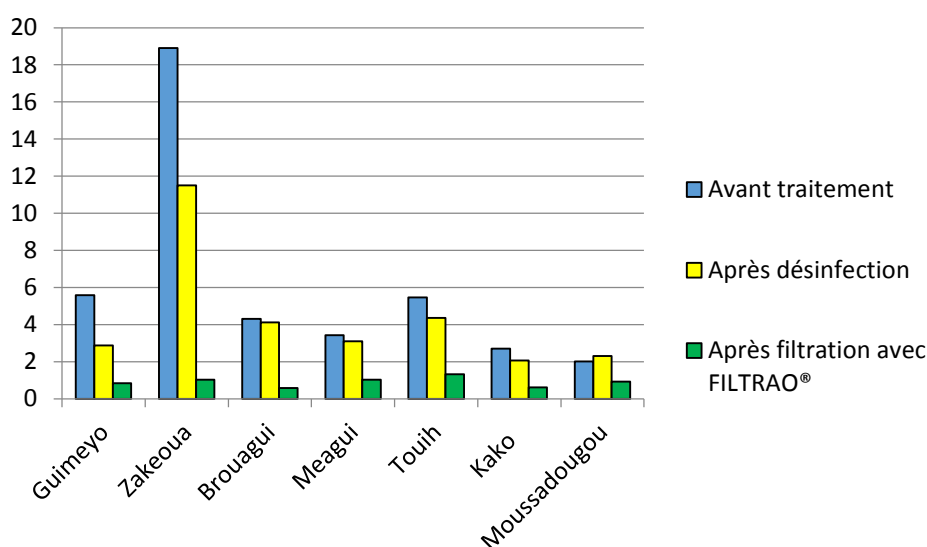


Figure 12: Comparaison de la turbidité après désinfection et filtration à l'aide de FILTRAO®

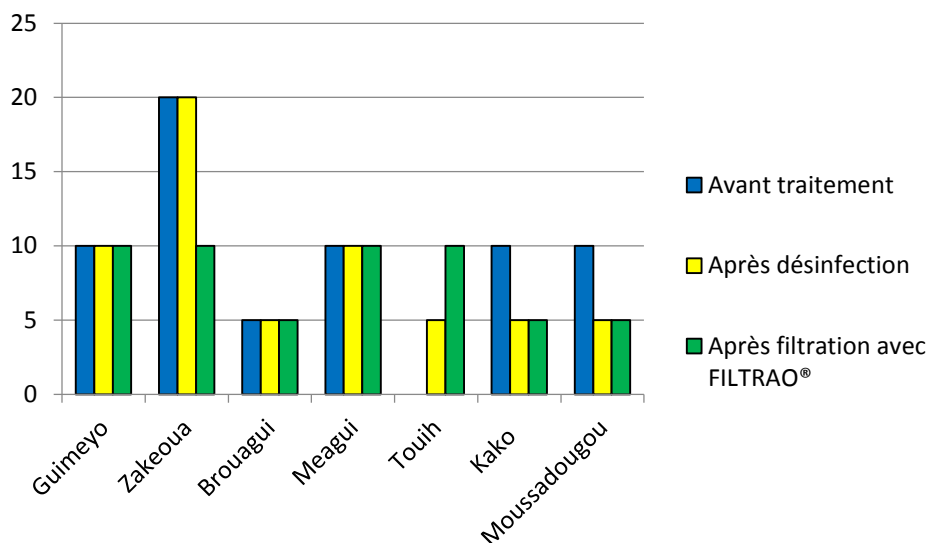


Figure 13: Comparaison de couleur après désinfection et filtration à l'aide de FILTRAO®

### III.2. Comparaison des résultats d'analyse des paramètres physicochimiques

Au plan physicochimique, les paramètres de non-conformités ont été le fer sur l'eau brute de Zakeoua. Les deux techniques de traitement appliquées ont permis de corriger cette anomalie mais à des degrés différents.

### III.3. Comparaison des résultats d'analyse des paramètres microbiologiques

Tableau XXII: Comparaison de l'efficacité de la désinfection et la filtration à l'aide de FILTRAO®

Paramètres	Avant traitement	Après traitement	
		Désinfection	Filtration à FILTRAO®
CT	>150	0	0
CTH	>150	0	0
E.coli	>150	0	0
<i>Enterococcus Faecalis</i>	>150	0	0
ASR	0	0	0
<i>Pseudomonas Aeruginosa</i>	0	0	0

### III.4. Comparaison des rendements

La désinfection et la filtration sont deux techniques de traitement d'eau qui se sont montrées efficaces. Cependant, les deux techniques ont des rendements opposés. En effet, la désinfection permet de traiter un grand volume d'eau: pour 20 litres d'eau, on ajoute 1,25ml de solution d'hypochlorite de sodium alors que la filtration à l'aide de FILTRAO® permet d'obtenir 1 litre à 2 litres par heure ce qui est relativement faible si l'on doit couvrir un grand besoin en eau de consommation.

**Tableau XXIII: Récapitulatif de la comparaison de l'efficacité des deux techniques de traitement**

	Organoleptiques	microbiologique	Rendement
Désinfection	<b>Inefficace</b>	<b>Efficace</b>	<b>Elevé</b> (nombre de litre souhaité par heure)
Filtration à l'aide de FILTRAO®	<b>Efficace</b>	<b>Efficace</b>	<b>Faible</b> (1 à 2 litres par heure)

---

#### **IV. Discussions**

L'inspection sanitaire des forages révèle:

- Une insalubrité de l'environnement extérieur et intérieur dans 57% des ouvrages
- La présence d'éléments susceptibles d'entraîner une pollution notable dans 57% des ouvrages

Il existe sur le plan réglementaire en Côte d'Ivoire, les articles 38, 39 et 40 de la loi n°98-75 du 23 décembre 1998 du code de l'eau qui mentionne les périmètres de protection [75].

Néanmoins aucun décret d'application de cette loi n'a été pris en compte pour les forages destinés à l'approvisionnement. Le corollaire de l'absence d'un tel cadre réglementaire est l'apparition d'environnement insalubre associé à l'absence de périmètres de protection des points d'eau. C'est le cas des forages de Guimeyo, Méagui, Kako et Moussadougou.

Tous ces éléments exposent les eaux de ces forages à une contamination certaine. Aussi, la profondeur de la plupart de ces ouvrages est inférieure à 20 mètres, ce qui les expose également à une contamination par les infiltrations d'eau sale, d'urine et d'excréments d'animaux.

En effet, les travaux d'Abdoulaye ont montré que l'une des causes les plus importantes de pollution de certains forages à Abidjan est l'inexistence de mesures de protection essentielles et que par ailleurs l'insalubrité en générale a une conséquence néfaste sur la qualité des eaux souterraines [76]. Ainsi, selon ces travaux, cette vulnérabilité des eaux souterraines serait-elle en corrélation directe avec la profondeur des ouvrages; les eaux les moins profondes étant plus sujettes à la pollution.

Le pH de l'eau des différents forages étaient conformes à l'exception de l'eau des forages de la localité de Touih qui a un pH de 6,38 (acceptable). Contrairement aux eaux des régions des lagunes qui ont un pH acide [77], les pH des eaux de la région de Soubré et San-Pedro sont normales avec un pH compris entre 6,5 et 8,5 pour les eaux des localités de Guimeyo, Zakeoua, Brouagui, Méagui, Kako et Moussadougou.

La turbidité, le fer, la couleur ont présenté un pourcentage de non-conformité plus ou moins élevé sur 3 des 7 forages visités particulièrement à Zakeoua. L'eau de Zakeoua à une turbidité de 18,9 UNT largement supérieure à 5 UNT (norme OMS). Les eaux de Guimeyo et Touih ont une turbidité légèrement au-dessus de la normale respectivement 5,58 UNT et 5,48 UNT mais ces turbidités sont acceptables au regard de la norme OMS.

La forte turbidité des eaux de Zakeoua explique la couleur de cette eau qui est de 20 UCV supérieure à 15 UCV (norme OMS).

Cette caractéristique viendrait de la teneur de l'eau en suspension associée à des matières de nature très diverse (argile, limon, sable, micro-organismes) dans la mesure où l'enquête sanitaire a montré que le puits de Zakeoua est à l'abri de pollution environnementale et dispose d'un système sécuritaire contre toute contamination issue des usagers.



Le taux de fer de l'eau de Zakeoua de 0,35 mg/l est supérieur à 0,30 mg/l. Ce taux de fer pourrait également expliquer la couleur forte de cette eau partant la turbidité très élevée. JUSTIN E. en 2006 a montré dans une étude que le taux de fer et de manganèse élevé dans une eau influencent la qualité organoleptique de l'eau (aspect, couleur, goût métallique) et peuvent être à l'origine de développement de micro-organismes initiant des phénomènes de corrosion [78]. Le taux de non-conformité des paramètres microbiologiques étaient de 100% pour la plupart des forages.

Les eaux des forages de Guimeyo, Brouagui, Méagui, Touih, Kako et Moussadougou (6/7) soit 86% contenaient des coliformes totaux, des coliformes thermotolérants, *E.coli*, et *Entérocooccus faecalis*. Celle de Zakeoua contenait que des coliformes totaux et *Entérocooccus faecalis*.

Par contre, toutes ces eaux ne contenaient pas de germes anaérobies sulfite réducteurs et de *Pseudomonas aeruginosa*.

Toutes les eaux des sept (7) forages sont donc impropres à la consommation humaine du fait de la présence de germes indicateurs de pollution fécale.

Pour apporter une solution, deux techniques de traitement simple et facile d'application ont été utilisées, la désinfection par chloration à l'aide d'une solution d'hypochlorite de sodium à 8° et la filtration à l'aide d'un filtre céramique FILTRAO®.

La désinfection et la filtration se sont montrées efficaces. Sur le plan microbiologique, les deux techniques de traitement ont éliminés tous les germes rendant ainsi les eaux propres à la consommation au regard de la norme OMS qui recommande qu'une eau destinée à la consommation soit exempte de germes indicateurs de pollution fécale [79].

Au plan physico-chimique, les deux techniques de traitements ont montré des niveaux d'efficacité différents:

- La désinfection a corrigé la turbidité des eaux de Guimeyo et Touih passée respectivement de 5,58 et 5,47 à 2,87 UNT et 4,36 UNT. Par contre l'eau de Zakeoua après désinfection reste toujours trouble avec une turbidité de 11,5 UNT et une couleur de 20 UCV. On constate donc que la désinfection à des limites en ce qui les caractères organoleptiques notamment la turbidité partant la couleur. Néanmoins, elle améliore le taux de fer devenu conforme avec une valeur de 0,20 mg/l pour l'eau de Zakeoua contre 0,35 mg/l avant désinfection.
- La filtration à l'aide de FILTRAO<sup>®</sup> a corrigé totalement la turbidité ainsi que la couleur des eaux de Zakeoua. Cette eau après filtration est devenue limpide avec une turbidité de 1,03 UNT et une couleur de 10 UCV. Le taux de fer de cette eau également conforme après filtration. Cette technique améliore donc les caractères organoleptiques et physico-chimiques. Cependant elle présente des insuffisances à savoir le rendement faible et le caractère fragile du filtre qui limite sa manipulation.

La filtration permet d'améliorer la qualité physique et microbiologique de l'eau alors que la désinfection permet d'améliorer la qualité microbiologique de l'eau. Desille D. 2012, dans son étude sur la conservation et le traitement de l'eau à domicile a fait le même constat [57]

**Tableau XXIV: Volume de désinfectant nécessaire pour la désinfection**

Eau	Hypochlorite de sodium	Hypochlorite de sodium
	8° (ml)	12° (ml)
20L	1,25ml	0,83ml
100L	6,25ml	4,15ml
1000L	62,5ml	41,5ml

*NB : Ne jamais mettre de désinfectant dans le forage.*

## CONCLUSION

---

Le but poursuivi dans cette étude est d'évaluer l'efficacité de deux techniques de traitement des eaux de forages et puits modernes dans les régions de Soubré et San-Pedro pour améliorer la qualité des eaux destinées à la consommation.

La méthodologie adoptée à cet effet à consister:

- d'abord, à réaliser le positionnement des ouvrages prospectés par repérage GPS et procéder à une inspection sanitaire afin d'établir une relation entre la gestion de l'environnement et la qualité des eaux consommées.
- ensuite, à réaliser l'analyse des eaux brutes pour déterminer le degré de pollution de ces eaux
- enfin, à apporter une solution fiable et simple d'application basée sur deux techniques de traitement:
  - La désinfection de l'eau par une solution d'hypochlorite de sodium 8°
  - La filtration de l'eau à l'aide d'un filtre céramique FILTRAO®

Au terme de cette étude, il ressort que le risque de pollution d'origine environnementale des eaux de forage de la zone étudiée existe. En effet, l'inspection sanitaire réalisée sur les sites a permis de révéler une insalubrité autour de certains puits. Aussi, les résultats d'analyse microbiologique et physico-chimique des eaux non traitées des puits et forages montrent-ils la présence de germes de contamination fécale et environnementale. Toutes les eaux des sept forages dans les régions de Soubré et San Pedro sont donc impropres à la consommation humaine du fait de la présence de germes indicateurs de pollution fécale : 6/7 forages soit 86% des eaux contenaient *E. coli* et les coliformes thermotolérants et 100% contenaient les coliformes totaux et *Entérocooccus faecalis*.

Au plan physico-chimique, seule l'eau de Zakeoua comprend des paramètres non conformes au regard des critères de potabilité de l'eau. La turbidité et la couleur de cette eau sont largement supérieures à la norme respectivement 5 UNT et 20 UCV. Le taux de fer de cette eau est supérieur à 0.30 mg/l. Par contre toutes les eaux analysées ont un pH normal.

La désinfection et la filtration ont donné des résultats très satisfaisants:

- Le désinfectant à savoir l'hypochlorite de sodium 8° a éliminé tous les germes indicateurs de pollution fécale des eaux après 1 heure de contact. Les turbidités ont légèrement diminué notamment celle de Zakeoua mais sa valeur est restée supérieure à 5 UNT. Quant à la couleur elle est restée inchangées.
- La filtration à l'aide de FILTRAO® a agit à la fois sur la qualité microbiologique et physico-chimique de toutes les eaux avec l'élimination de tous les germes indicateurs de pollution fécale et la normalisation de la turbidité et la couleur.

Pour préserver la santé des populations de la zone, il est préférable de traiter l'eau de ces puits et forages soit par désinfection, soit par filtration avant toute consommation. Cependant, l'idéal serait d'associer les deux c'est-à-dire filtrer l'eau avant désinfection pour avoir une eau potable de qualité microbiologique et physico-chimique.

## RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

---

## **RECOMMANDATIONS**

### *○ A l'endroit des Autorités sanitaires ivoiriennes*

- Elaborer un programme d'éducation sanitaire des populations basé sur la sensibilisation et l'incitation à traiter l'eau des puits avant consommation
- Promouvoir après contrôle, les procédés de T.E.D comme la chloration et la filtration
- Réaliser un contrôle permanent des puits
- Exiger le respect des normes de protection des puits
- Etendre le réseau d'adduction d'eau potable dans les zones non encore dotées

### *○ A l'endroit des fabricants*

- Mettre à la disposition de la population des filtres céramiques sophistiqués et fiable en modernisant la fabrication de FILTRAO<sup>®</sup>.

### *○ Dans les centres de santé*

- Privilégier la désinfection des eaux de forages prélevés avant utilisation pour une question de rapidité et de moindre coût
- En cas d'eau trouble, pratiquer une décantation suivie de filtration sur un tissu propre avant la désinfection
- Laisser un temps de contact d'au moins 1 heure, temps de contact nécessaire pour l'élimination des bactéries résistantes

### *○ Dans les ménages*

- Privilégier la filtration des eaux de forages à l'aide de FILTRAO<sup>®</sup> avant consommation.
- Conserver l'eau de boisson dans un récipient fermé et de préférence muni d'un robinet
- Conserver le désinfectant dans un endroit sec à l'abri de la lumière
- Eviter la vidange des fosses d'aisance dans les rues et faire appel aux services compétents
- Protéger les puits d'eau

### **PERSPECTIVES**

- Réaliser des tests sur la qualité de FILTRAO® commercialisé en vue de garantir la reproductibilité de la fabrication et un bon débit de filtration.
- Réaliser un contrôle qualité sur le désinfectant
- Déterminer les sous produits de la chloration



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

1. MIRAS, C.D. and J. LE TELLIER, *Gouvernance urbaine et accès à l'eau potable au Maroc : partenariat public-privé à Casablanca et Tanger-Tétouan*. 2005, Paris, France,. 276.
2. MAKOUTODE, M., et al., *Qualité et mode de gestion de l'eau de puits en milieu rural au Bénin : cas de la sous-préfecture de Grand-Popo*. Médecine d'Afrique Noire 1999. 46(11): p. 528-534.
3. MONJOUR, E., I. VOULDOUKIS, and L. MONJOUR, *De nouvelles stratégies prônées pour la prévention des maladies liées à l'eau de boisson en milieu tropical*. La Houille Blanche 2005. 4: p. 26-29.
4. KRIEF, B.C., *Conférences sur l'Investissement et Rencontres d'affaires Eau, Energie et Transports Afrique de l'Ouest et Centrale-Afrique de l'Est / Océan Indien*, in *Profil sectoriel eau-Côte d'Ivoire*. 2005. p. 20.
5. KRIEF, B.C., *Conférence Régionale sur l'Investissement Bâtiment et Travaux Publiques Afrique de l'Ouest et Centrale.*, in *Profil Sectoriel CI*. 2007, Côte d'Ivoire. p. 7
6. ZEZE, D.G. and K. A.A, *Indices stégomyiens et situation épidémiologique de la fièvre jaune en zone rurale de Côte d'Ivoire* Méd. trop., 1994. 54(4): p. 324-330.
7. DE MARSILY, G., *L'eau*. Edition flammariion, coll. Dominos, ed. 1995. 128.
8. SYLVESTRE, M. and C. GRENIER, *L'eau souterraine, une source à exploiter* 1987: Québec, bibliothèque OMS, Abidjan,. p. 35
9. OMS, *Décennies internationale de l'eau et de l'assainissement*,. 1985b.
10. INS and M.C. OCR, *Enquête Démographique et de Santé en Côte d'Ivoire 1998-1999*, . 2001(Abidjan Décembre): p. 298 p.
11. MINISTERE DE LA SANTE ET DE L'HYGIENE PUBLIQUE, C., *Plan National de Développement Sanitaire 2009-2013*, . 2008(Abidjan Décembre ): p. 172 p.
12. MINISTERE DE LA SANTE ET DE LA PROTECTION SOCIALE, *Plan national de la dracunculose en côte d'ivoire*.. 1993., Abidjan. 176.
13. AIP, *Médecins du monde réalise 11 ouvrages pour renforcer la santé dans le sud-ouest*. Mai 2016. . 2016.
14. OHOU-YAO, M.J.A., et al., *Contamination des eaux de puits traditionnels par les nitrates sur le bassin versant de Lobo (Buyo, sud-ouest de la Côte d'Ivoire)*.. 2014: p. p.12.
15. ALLECHY F.B, et al., *Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des aquifères du socle précambrien : cas de la région d'Oumé (centre-ouest de la Côte d'Ivoire)*. . 2016. Juillet 2016.: p. 394.
16. KOFFI Y.B, et al., *Ressources minières, pétrolières et gazières de la Côte d'Ivoire et problématique de la pollution des ressources en eau et des inondations*. . 2014: p. 136.
17. OMS, *Directives de qualité pour l'eau de boisson*., Recommandations Genève. 2 e éd. , 1994. Vol 1: p. 202p.
18. APFELBAUM, M., *Eaux de boisson, café, thé, tisanes*. Diététique et nutrition (7e édition),, 2009: p. 237-247.
19. LABAS, J. and R. VUIK, *Forage à la tarière manuelle : manuel de formation technique*., Fondation PRACTICA, 2010: p. 78.
20. AUDIAWEB. *Puits ou forages? Comment choisir? Quelles différences?* 2015-2016.
21. GROS, J., *Comment alimenter en eau potable moins de 50 habitants*. Synthèse technique ENGREF / Eau, 2002.
22. KAMMERER, F.a.M. *La Guinée : de l'eau, du bois, du soleil - fours solaires et poêles économes* 2006.
23. CAWST, *Introduction à l'Analyse de Qualité de l'Eau de Boisson*,. 2013,. 197p.

24. CREPA, *Protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques*,. 2005,. 52.
25. RODIER, J., *L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats*. 1996, Paris (France), . 1384.
26. OMS, *Directives de qualité pour l'eau de boisson*. . 3è ed. Vol. Vol. 1. 2004.
27. OMS, *Directives pour la qualité de l'eau de boisson, Directives pour la qualité de l'eau de boisson*,. 2011. quatrième édition. OMS, Genève, Suisse [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwg/secondaddendum20081119.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/secondaddendum20081119.pdf).
28. CHAGNON, M. and D.G. BOLDUC, *Bilan des éclosions des maladies d'origine hydrique signalées dans les directions régionales de la santé publique du Québec en 1996 et 1997*. Unité risques biologiques environnementaux et occupationnels, institut national de santé publique du Québec,, 2000: p. 23.
29. LECLERC, H. and C. HASLAN, *Microbiologie des eaux d'alimentation*. Paris : Technique et documentation-Lavoisier, 1993: p. p65-122.
30. BONTOUX, J., *Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson*. 1983, Paris.
31. APHA, *Standard methods for examination of water and wastewater*. 19th ed. ed. 1999, Washington D.C : APHA.
32. CLAON, J.S., *Consommation d'eau de puits dans quatre Communes de la ville d'Abidjan desservies par Le réseau de distribution d'eau potable*, in *SPB*. 1997, Abidjan cocody. p. 146.
33. OMS, *Directives de qualité pour l'eau de boisson*. Critère d'hygiène et documentation à l'appui. Genève : OMS, 1986. Vol.2 : p.121p.
34. NICAND, E., R. TEYSSOU, and Y. BUISSON, *Le risque fécal viral en 1998* *Virologie*, 1998. **2**(2): p. 103-116
35. CLARKE, R., *L'eau source de vie*. In journée mondiale de l'alimentation. Rome : FAO, 1994.
36. SCHWARTZBROD, L., *Virologie des eaux : aspects épidémiologiques*. . Microbiologie-aliments-nutrition. Paris : Techniques et Sciences-Lavoisier, , 1992. 10: p. 213-220.
37. GRAND, M. and A. BAUMGARTNER, *Médecine tropicale*. 2 è<sup>me</sup> éd Médecine-Sciences-Flammarion. 1993, Paris. 928.
38. TESSIER, S., *Les maladies liées à l'eau en milieu urbain*. . Cahier santé, 1992. (2): p. 77-84
39. LATHAM, M., *Intestinal parasites : a priority for primary health care (Introduction)* New York : Cornell University-Division of Nutrition Sciences,, 1991: p. 19.
40. POLLIT, E., *Malnutrition and infection in the classroom*. . 1990 Paris : UNESCO.
41. DAVIS, A., *The global problem : parasites and the quality of life in children in parasitic worms and Chil. The quality of life for the post-survival child*. . Proceeding of a workshop, London : Imperial college,, 1991: p. 33-37.
42. W.H.O, *Prevention and control of intestinal parasitic infections ( Geneva)*. Report of a WHO Export committee. Geneva : WHO Technical Report Series,, 1984: p. 86p
43. CANTOR, K.P., *Drinking water and cancer*. *Cancer causes and control*, 1997. 8 p. 292-308.
44. MORRIS, R.D., *Drinking water and cancer*. *Environmental Health Perspectives*, 1995. 103 (suppl 8): p. 225–231.
45. HARTEMANN, P., *Contamination des eaux en milieu professionnel*. *Toxicologie-Pathologie*, 2004. 1 (2): p. 63-78.

46. KOUASSI, M.M.A., *Etude de la qualité de l'eau et les pratiques d'hygiène dans un approvisionnement en eau par une hydraulique villageoise améliorée : cas de Triniakro (Dimbokro), Côte d'Ivoire.*, faculté de pharmacie. 2013, université FHB. p. 132p.
47. MINISTERE DE LA SANTE ET DE L'HYGIENE PUBLIQUE, C., *Données choléra 2002-2013*. 2013.
48. AUBRY, P. and B.-A. GAUZERE, *Les salmonelloses, actualités 2015*. Médecine Tropicale, 2015: p. 6.
49. OMS. *Diarrhée, Maladies parasitaires : pour que l'eau reste source de vie*, . 2008 [cited Disponible sur : <http://www.destinationsante.com/Diarrhees-maladies-parasitaires-pour-que-l'eau-reste-source-de-vie.html>
50. HERNANDEZ, *Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable*. , in *Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse*. 2006. p. 163p.
51. MONTGOMERY, J., *Water Treatment Principles and Design*. John Wiley & Sons, ISBN 0-471-04384-2, 1985
52. ODOULAMI, L., *La problématique de l'eau potable et la santé humaine dans la ville de Cotonou (République du Bénin)*. 2009, Université d'Abomey-Calavi. p. 32.
53. DEGREMONT-SUEZ, *mémento technique de l'eau*. 10<sup>e</sup> ed. 2005.
54. SMAPA, *Manual de procedimientos, Tuxtla Gtz*. 2005 Chiapas, México.
55. CENTRE INTERNATIONAL DE FORMATION, *Principes généraux de traitement des eaux, Lyonnaise des Eaux*. 2000
56. DEGREMONT, *Mémento technique de l'eau*. Lavoisier SAS – Lexique technique de l'eau, Paris, dixième édition, 2005(Tome 2).
57. DESILLE, D., *Conservation et traitement de l'eau à domicile*. Programme Solidarité Eau, 2012: p. 37.
58. CDC and CCHI, *Systèmes d'eau salubre pour le monde en développement : manuel pour la mise en œuvre de projets de traitement et d'emmagasiner de l'eau à domicile*. 2002.
59. YAHAYA, D.S., A.M. ENEMADUKU, and E.O. ERU, *The use of Moringa seed extract in water purification*. 2011.
60. PSI, *Traitement d'eau à domicile, Enquête de suivi sur les déterminants de l'utilisation des produits de traitement de l'eau au niveau des ménages ayant des enfants de moins de cinq ans en Haïti*. PSI Research, Division 2011, 2012.
61. SUNDA, M., et al., *Désinfection de l'eau avec les huiles essentielles de Citrus bergamia, Citrus reticulata et Citrus limonum. Désinfection de l'eau avec les huiles essentielles de Citrus bergamia, Citrus reticulata et Citrus limonum*. in :8 e congrès international du Gruttee, 8<sup>e</sup> congrès international du Gruttee, 2009. 8.
62. CDC, *Turbid water chlorine dosing report, Busia, Kenya* 2009.
63. WILSON, S.A. and S.A. ANDREWS, *Impact of a natural coagulant pretreatment for colour removal on solar water disinfection (SODIS)*. 2011
64. COULIBALY, K., *Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako*, in *SPB*. 2005, Université de Bamako, faculté de médecine de pharmacie et d'odonto-stomatologie. p. 69.
65. BEAULIEU, P. and B. FISSET, *Eau du robinet : une exigence de qualité*. Cahiers de Nutrition et de Diététique, 2009. 44(6): p. 294-301
66. W.H.O. *Water. Sanitation Health.Fact sheets on environmental sanitation. Introduction to fact sheets on water.Water. Sanitation Health. Fact sheets on environmental sanitation. Introduction to fact sheets on water*.2017 [consulté le 26 décembre 2016].

67. AFNOR, *Analyse microbiologique : Contrôle de qualité des produits alimentaires*. . Méthodes horizontales, 1976. t.1(6<sup>e</sup> éd., Washington D.C., APHA): p. 1193p.
68. OMS, *Directive de qualité pour l'eau de boisson contrôle de la qualité de boisson destinée à l'approvisionnement des petites collectivités*. Vol. 3. 1986, Genève. 202.
69. RODIER, J., *L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer*. 6<sup>e</sup> ed. 1978, Paris: Bordas.
70. AFNOR, *Analyse microbiologique : contrôle de qualité des produits alimentaires*. Méthodes horizontales, 1976. t.1(6<sup>e</sup> éd., Washington D.C., APHA6<sup>e</sup> éd. Washington D.C. APHA).
71. AFNOR, *Jus de fruits et de légumes : Spécifications et méthodes d'analyses*. 2<sup>e</sup> édition. 1996, Paris.
72. UNICEF, *Manuel de qualité de l'eau de l'UNICEF*. UNICEF. 2008, New York, USA.
73. RODIER, J., *Analyse de l'eau*. 8eme Ed ed. 1996, Paris : Dunod. 412p.
74. MELIGNE, M., *Analyse microbiologique de l'eau*. 2010.
75. REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE, *Loi n°98-75 du 23 décembre 1998 portant code de l'eau de la république de Côte d'Ivoire*. Abidjan. 1998. p. 68.
76. ABDOULAYE, S., *Etude sanitaire des forages des stations de traitement du Plateau et d'Adjamé de la ville d'Abidjan*, in *SPB*. 1999, Abidjan cocody.
77. KORE, S.N., *Influence de l'environnement sur la qualité des eaux d'adduction de Grand-Bassam*. 1999, Université d'Abobo-Adjamé. p. 88.
78. JUSTIN, E., *La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires*. 2006.
79. OMS, *Directives pour la qualité de l'eau de boisson : Second amendement. I, Recommandations, Troisième Edition*. . 2011., OMS, Genève, Suisse. Disponible sur : [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/secondaddendum20081119.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/secondaddendum20081119.pdf).

# TABLE DES MATIERES

---

ABREVIATION – ACRONYME-SIGLE .....	XXI
LISTE DES TABLEAUX .....	XXII
LISTE DES FIGURES .....	XXIII
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE .....	5
I. Généralités sur les eaux de consommation .....	6
I.1.Définition de l'eau de consommation.....	6
I.2.Origines de l'eau de consommation.....	6
I.2.1.Eaux de sources .....	6
I.2.2.Eaux de puits - eaux de forages.....	6
I.2.3.Eaux de surfaces.....	8
I.3.Contaminations de l'eau .....	9
I.3.1.Contaminations bactérienne et virale .....	9
I.3.2.Contaminations d'origine agricole, industrielle ou chimiques.....	9
I.4.Critères de potabilité de l'eau .....	9
I.4.1.Critères physiques .....	9
I.4.2.Critères bactériologiques .....	11
I.4.3.Critères chimiques (concentrations limites provisoires).....	12
II. Les maladies hydriques .....	14
II.1.Définitions .....	14
II.2.Maladies bactériennes transmises par l'eau.....	14
II.2.1.Le choléra .....	14
II.2.2.Les salmonelloses .....	15
II.3.Maladies virales et parasitaires transmises par l'eau .....	16
II.3.1.Les maladies virales : le risque fécal viral en 1998.....	16
II.3.2.Les maladies parasitaires transmises par l'eau .....	17
II.4.Les maladies liées à l'eau.....	17
II.4.1.Généralités .....	17
II.4.2.La Bilharziose.....	17
II.4.3.La Dracunculose .....	18

II.5.Maladies dues à un défaut d'hygiène personnelle .....	18
II.6.Les maladies liées à des insectes vecteurs .....	18
II.7.Les maladies liées à un défaut d'assainissement .....	18
II.8.Dangers chimiques .....	20
II.9.Dangers physiques : radioactivité .....	20
II.10.Epidémiologie des maladies hydriques .....	21
III. Traitements de l'eau .....	23
III.1.Les différentes techniques de traitement de l'eau .....	24
III.1.1.Traitement classique d'une eau de consommation ou traitement complet .....	24
III.1.2.Traitement semi complet des eaux destinées à la consommation .....	28
III.1.3.Les autres types de traitement .....	36
III.2.Applications des techniques de traitement .....	39
III.2.1.Eaux d'adduction publique.....	39
III.2.2.Eaux à domicile.....	40
PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE .....	41
I. Matériels et méthodes .....	42
I.1.Type, cadre et période de l'étude .....	42
I.2.Matériels .....	43
I.2.1.Appareillage.....	43
I.2.2.Réactifs .....	43
I.3.Méthodes .....	45
I.3.1.Géolocalisation des ouvrages: repérages par GPS .....	45
I.3.2.Inspection sanitaire .....	45
I.3.3.Méthodes de prélèvement, Transport et Conservation des échantillons .....	46
I.3.4.Analyses des eaux à risques .....	47
II. Résultats.....	67
II.1.Géolocalisation des forages .....	67
II.2.Résultats de l'inspection sanitaire.....	68
II.2.1.Puits de la localité de Guiméyo .....	68
II.2.2.Forage du centre de santé rural de Zakéoua .....	68
II.2.3.Puits de centre de santé de Brouagui .....	68
II.2.4.Forage du centre de santé de Méagui .....	69
II.2.5.Puits du centre de santé rural de Touih .....	69

II.2.6.Puits du centre de santé rural de Kako .....	70
II.2.7.Puits du centre de santé rural de Moussadougou .....	70
II.3.Résultats de l'analyse des paramètres organoleptiques .....	71
II.3.1.Eaux brutes.....	71
II.3.2.Eaux traitées.....	72
II.4.Résultats de l'analyse physico-chimiques des eaux.....	73
II.5.Résultats des analyses microbiologiques .....	81
III. Comparaison de l'efficacité des deux techniques de traitement .....	85
III.1.Comparaison des résultats d'analyses des paramètres organoleptiques.....	85
III.2.Comparaison des résultats d'analyse des paramètres physicochimiques.....	86
III.3.Comparaison des résultats d'analyse des paramètres microbiologiques.....	87
III.4.Comparaison des rendements .....	87
IV. Discussions.....	88
CONCLUSION .....	92
RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	95
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	98
TABLE DES MATIERES .....	103
ANNEXES .....	106
PUBLICATION SCIENTIFIQUE .....	110



## ANNEXES

---

## ANNEXE 1 : Formulaire d'inspection sanitaire

### Première partie : informations générales

- a. Lieu : .....
- b. Village / Municipalité : .....
- c. Nombre de personnes qui utilisent le forage : .....
- d. Échantillon d'eau prélevé ? ..... Numéro d'échantillon .....
- e. Date de la visite : .....

**Deuxième partie : évaluation des risques.** Entourer la réponse la plus appropriée. Répondre « oui » s'il y a un risque potentiel et « non » s'il y a un risque nul ou très faible. Voir les explications au verso.

#### Observations

- |   |           |
|---|-----------|
| 1. Y a-t-il une latrine à moins de 10 m du forage ?   | Oui / Non |
| 2. Y a-t-il une latrine ou une autre source de contamination fécale en amont du puits ?   | Oui / Non |
| 3. Y a-t-il une autre source de contamination à moins de 10 m du puits ?<br>(animaux, agriculture, routes, industries, etc.) ?            | Oui / Non |
| 4. Y a-t-il un défaut de drainage occasionnant la formation de flaques d'eau à moins de 3 m du puits ?                                    | Oui / Non |
| 5. Le canal de drainage est-il absent, endommagé ou encrassé ?  | Oui / Non |
| 6. Le mur ou la clôture autour de la pompe est-il inadéquat ?   | Oui / Non |
| 7. La dalle autour du forage mesure-t-elle moins de 2 mètres de diamètre ?  | Oui / Non |
| 8. L'eau renversée s'accumule-t-elle sur la dalle ?   | Oui / Non |
| 9. La dalle du puits est-elle fissurée ou endommagée ?  | Oui / Non |
| 10. La pompe manuelle est-elle mal fixée ? S'agit-il d'une pompe à chaîne ?<br>Si oui, est-ce que le couvercle de la pompe est manquant ? | Oui / Non |

Risque de contamination (total de réponses « oui ») : ..... / 10

### Troisième partie : résultats et commentaires


a. Risque de contamination (cocher la case appropriée) :

9-10 = Très élevé	6-8 = Élevé	3-5 = Moyen	0-2 = Faible

b. Les risques suivants ont été observés :

### Partie 4. Nom et signature des techniciens :

## ANNEXE 2 : Détermination de l'indice de permanganate de potassium selon la norme ISO 8467 1993

 INSTITUT NATIONAL D'HYGIENE PUBLIQUE  LABORATOIRE DE CHIMIE DES EAUX	DETERMINATION DE <u>L'INDICE DE</u> <u>PERMANGANATE</u> METHODE <u>AFNOR</u>	2 <sup>ème</sup> édition	Page : 1/2
		Code :	11/06/LCE ISO 8467
		Date :	1993

### Réactifs

- Acide sulfurique (d= 1.84) – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- Oxalate de sodium – Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>
- Permanganate de potassium – KMnO<sub>4</sub>

### Procédure du test

- 1- Transférer **25 ml** de l'échantillon dans un tube à essai et y ajouter **5 ml** de **AS<sub>2</sub>**. Mélanger en agitant doucement.
- 2- Placer le tube à essai dans un bain d'eau bouillante pendant **10 min ± 2 min**
- 3- Ajouter **5 ml** de la solution **PP<sub>1</sub>** et démarrer le chronométrage.
- 4- Après **10 min ± 15 s**, ajouter **5 ml** de la solution **OS<sub>1</sub>** et attendre que la solution se décolore.
- 5- Titrer pendant que la solution est encore chaude, avec **PP<sub>1</sub>** jusqu'à une coloration rose pale persistante pendant **30 s**. Noter le volume **V<sub>1</sub>** de **PP<sub>1</sub>** consommé
- 6- Effectuer parallèlement à la détermination, un essai à blanc en utilisant le même mode opératoire, mais en remplaçant la prise d'essai par **25 ml** d'eau distillée. Noter le volume **V<sub>0</sub>** de **PP<sub>1</sub>** consommé.
- 7- Conserver la solution (de l'essai à blanc) titrée pour l'étalonnage de la solution **PP<sub>1</sub>** décrit comme suite :

8- Ajouter 5 ml de la solution **OS<sub>1</sub>** à la solution titrée conservée (7). Réchauffer si nécessaire, à environ 80°C et titrer avec le **PP<sub>1</sub>** jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pale persistante pendant **30 s.** noter le volume **V<sub>2</sub>** de **PP<sub>1</sub>** consommé.

### Résultat

$$I_{Mn} = \frac{V_1 - V_0}{V_2} * f \text{ soit } I_{Mn} = K(V_1 - V_0)$$

Avec

$$f = \frac{V_4 * C(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) * M_0 * 1000}{1000 * V_5} = 16$$

$$K = 16/V_2$$

### Note

- **AS<sub>2</sub> : Acide Sulfurique (2 mol/L)**
- **PP<sub>1</sub> : Permanganate de Potassium (2 mmol/L)**
- **OS<sub>1</sub> : Oxalate de Sodium (5 mmol/L)**

## PUBLICATION SCIENTIFIQUE

---

## C4

### ETUDE COMPAREE DE DEUX TECHNIQUES DE « TRAITEMENT DE L'EAU DOMICILE » ISSUE DE PUIITS ET FORAGES EN MILIEU RURAL ET URBAIN DANS LES REGIONS DU NAWA ET DE SAN PEDRO

N'guetta Jean Paul<sup>1</sup>, Deto Deloto Dézaï<sup>1</sup>, Bakayoko Aminata<sup>2</sup>, Mobio N'cho Ovo Jeannine Valery<sup>2</sup>, Amin N'cho Christophe<sup>1,2</sup>, Kouadio Luc<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> UFR Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, BPV 34 Abidjan

<sup>2</sup> Institut National d'Hygiène Publique, BPV 14 Abidjan

## INTRODUCTION

En 2015, une mission d'évaluation de la qualité de l'eau de forages construits par l'ONG « Médecins du monde » dans des centres de santé des régions du Nawa et de San Pedro a été conduite par l'Institut National d'Hygiène Publique. Les résultats ont montré que ces eaux étaient contaminées par des germes indicateurs de pollution fécale. Dans le souci de fournir de l'eau potable aux populations des dites localités, une seconde mission est conduite en cette année 2016 pour trouver une solution durable à la qualité microbiologique de l'eau. L'objectif de cette étude a été d'évaluer l'efficacité de deux techniques de traitement de l'eau de forage.

## METHODES

L'étude a porté sur l'évaluation de l'efficacité d'un désinfectant à base d'hypochlorite de sodium et du filtre céramique Filtrao<sup>®</sup>. Les eaux traitées sont issues de 7 forages. Le nombre d'échantillons par forage est constitué d'un échantillon de 1000 mL pour les analyses physicochimiques sur l'eau brute, un échantillon de 500 mL pour les analyses microbiologiques sur l'eau brute et un échantillon de 30 L pour les tests de désinfection et de filtration. Les paramètres physicochimiques et microbiologiques ont été mesurés avant et après traitement de l'eau.

## RESULTATS

Toutes les eaux brutes des sept forages contenaient des germes indicateurs de pollution fécale. Au plan physicochimique, un seul forage a présenté une turbidité très élevée. Le désinfectant et le Filtrao<sup>®</sup> ont éliminé tous les germes indicateurs de pollution fécale des eaux. La filtration a permis en plus la correction de la turbidité.

## CONCLUSION

Toutes les eaux brutes des sept forages sont impropres à la consommation humaine. Les deux techniques de filtration sont montrées efficaces. En dehors des limites de chacune des méthodes, la désinfection des eaux sera préconisée dans les centres de santé pour une question de rapidité et le Filtrao<sup>®</sup> dans les ménages.

**Mots clés:** Eau, désinfection, Filtre céramique, Physicochimie, Microbiologie

## RESUME

L'accès à l'eau potable inscrit au cœur des préoccupations depuis 2000, année de la décennie de l'eau potable, demeure encore de nos jours.

A l'instar des Etats de pays en développement (PED), la Côte d'Ivoire a réalisé beaucoup d'efforts dans le domaine de l'équipement et de l'approvisionnement en eau particulièrement en milieu rural. Le taux de couverture en milieu rural est passé de 23% en 2006 à près de 70% en 2010.

Cependant, la garantie de la qualité de l'eau par le contrôle des paramètres de l'eau fournie est un élément indispensable. Par ailleurs, le traitement de ces eaux fournies par des techniques de T.E.D s'impose dès lors que la qualité de l'eau est mise en cause.

L'objectif de cette étude vise à évaluer l'efficacité de deux techniques de T.E.D des eaux de forages et de puits améliorés construits par l'ONG « Médecins du monde » dans les régions de Soubré et de San-Pedro.

L'approche méthodologique adoptée était une inspection sanitaire associée à une campagne de prélèvement pour l'analyse des paramètres organoleptique, physico-chimique et bactériologique. Ces analyses ont montré que toutes les eaux étaient contaminées par des germes indicateurs de pollution fécale.

Dans le but de fournir de l'eau potable à la population des dites localités, deux techniques de T.E.D à savoir la désinfection et la filtration à l'aide de FILTRAO® ont été évaluées et appliquées à ces eaux brutes :

- La désinfection a amélioré la qualité microbiologique de l'eau par l'élimination de tous les germes indicateurs de pollution fécale.
- La filtration à l'aide de FILTRAO® à améliorer la qualité microbiologique et physico-chimique des eaux traitées à la fois par l'élimination de tous les germes indicateurs de pollution fécale et la correction de la forte turbidité de l'eau de Zakeoua passée de 18,9 UNT à 1,03 UNT après filtration

Au final les deux techniques de T.E.D se sont montrées efficaces avec chacune ses avantages et ses limites. La désinfection peut être préconisée pour les centres de santé utilisant l'eau en grande quantité à des fins hygiéniques et laisser au choix les deux techniques aux ménages pour l'alimentation en eau potable.

**Mots clés: Eau, Désinfection, Filtration, Qualité de l'eau de boisson.**