



Année: 2016 – 2017

N°1871/17

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

Par
TEBELE RAYMOND DIDIER

**SURVEILLANCE SANITAIRE DE L'EAU
D'ADDUCTION PUBLIQUE DE
SAN PEDRO DE 2013 A 2016**

Soutenue publiquement le 19 Octobre 2017

COMPOSITION DU JURY :

Président de jury	: Monsieur KOUADIO LUC, Professeur Titulaire
Directeur	: Monsieur AMIN N'CHO CHRISTOPHE, Maître de conférences agrégé
Asseseurs	: Monsieur OGA AGBAYA SERGE STEPHANE, Maitre de conférences agrégé
	: Madame KOUASSI AGBESSI THERESE, Maitre assistante

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

I. HONORARIAT

Directeurs/Doyens Honoraires :

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

II. ADMINISTRATION

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

III. PERSONNEL ENSEIGNANT PERMANENT

1. PROFESSEURS TITULAIRES

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

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

2. MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

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

3. MAITRES ASSISTANTS

M.	ADJAMBRI Adia Eusebé	Hématologie
	ADJOUNGOUA Attoli Léopold	Pharmacognosie
Mmes	ABOLI-AFFI Mihessé Roseline	Immunologie

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

4. ASSISTANTS

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

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

5. CHARGEES DE RECHERCHE

Mme	ADIKO N'dri Marcelline	Pharmacognosie
	OUATTARA N'gnôh Djénéba	Santé publique

6. ATTACHE DE RECHERCHE

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

7. IN MEMORIUM

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

IV. ENSEIGNANTS VACATAIRES

1. PROFESSEURS

M.	DIAINE Charles	Biophysique
	OYETOLA Samuel	Chimie Minérale

2. MAITRES DE CONFERENCES

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

3. MAITRE-ASSISTANT

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

4. NON UNIVERSITAIRES

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

COMPOSITION DES DEPARTEMENTS DE
L'UFR SCIENCES PHARMACEUTIQUES
ET BIOLOGIQUES

I. BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE

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

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

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

III. BIOLOGIE GENERALE, HEMATOLOGIE ET IMMUNOLOGIE

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

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

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

V. CHIMIE ORGANIQUE ET CHIMIE THERAPEUTIQUE

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

VI. PARASITOLOGIE, MYCOLOGIE, BIOLOGIE ANIMALE ET ZOOLOGIE

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

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

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

N'GUESSAN-AMONKOU A. Cynthia	Assistante
TUO Awa	Assistante

VIII. PHARMACOGNOSIE, BOTANIQUE, BIOLOGIE VEGETALE, CRYPTOLOGAMIE,

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

IX. PHARMACOLOGIE, PHARMACIE CLINIQUE ET THERAPEUTIQUE ET PHYSIOLOGIE HUMAINE

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

X. PHYSIQUE, BIOPHYSIQUE, MATHÉMATIQUES, STATISTIQUES ET INFORMATIQUE

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

XI. SANTÉ PUBLIQUE, HYDROLOGIE ET TOXICOLOGIE

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

DEDICACES

Je dédie cette thèse

A DIEU le Père Tout Puissant, Créateur du Ciel et de la Terre !

A son Fils, le Seigneur JESUS unique Chemin de Rédemption à nous autres offert par la Grace de Dieu le Père.

.

Puisses – tu Seigneur, garder ta grâce sur tes enfants que nous aspirons à être.

Merci Seigneur pour ta miséricorde, merci de bénir cette Œuvre et tous ceux qui y ont contribué,

Amen.

A MON PERE

*Feu ALBERT SERY TEBELE, je suis certain que tu souris, de là où tu te trouves
actuellement...*

A MA CHERE MERE

Madame OBRE ADOU LOUISE,

*Maman, ton soutien ne m'a jamais fait défaut, tu es mon supporter numéro 1, merci pour ça
Merci Maman*

*A MES FRERES ET SOEURS, Marie – Hortense, Désiré, Nina , Wassia, Jean – Baptiste ,
Dominique – Esther , Alain - Claude , Corinne - Stéphanie, Mireille, Zadi, Ange - Patrick,
Paule – Andrée, Frédérique – Emmanuelle, Falonne, Sandrine...*

Votre soutien ininterrompu m'a amené enfin là,

Merci Domi, merci Alain, merci Coco, merci Ange, merci Lily, merci Freddie.

A MES TANTES : tantie Odette, tantie Jeannette, tantie Nathalie, tantie Peggy

*A MES ONCLES ; Feu Tonton Obre Adjibly Paul, tonton Claude, tonton Christophe,
tonton Richard, tonton Phillippe*

*A MES COUSINS ET COUSINES de OBREKRO à Impérial au quartier Odoss de Grand -
Bassam*

A TOUTE LA FAMILLE OBRE

A MES AMIS DE LA Faculté de Pharmacie d'ABIDJAN (UFR SPB)

A Toi, mon Type, depuis les culottes courtes, Maky, Anseme N'dakpri, ta main n'a pas flanché dans le soutien que tu m'as apporté, nous y voilà donc : merci pour tout frère .

A toi mon frère BACK , Boni Abel Cyrille Kouassi , Merci pour tes prières.

A mes AMIS, certains sont mes maitres à l'UFR, d'autres des confrères et d'autres encore des compagnons de la vie courante, et vous avez en commun ces soutiens et sollicitudes dont j'ai souvent bénéficiés : vous êtes les frères que la vie m'a donnés, merci bcp :

Lucien, Cooper, Guy, Ayness, BNcjic, J.Dean, Goal, YAD, RM, Gnasmén, Akmo, Systèm, Beadan, Paulo, Tim7 De Brikassa, Guy Mi, Cisco, Petit Pois et tous les Notre Damiens et Caïmans !!!

A Feu Mon Parrain Ambroise Adiabouah et à ma Marraine Tantie Elysabeth ,

*A MA CHERIE, Toi qui as accepté de me supporter jusqu'ici , merci SOLANGE KRA
AFOUET.*

A ma Fille SAGE, ma petite princesse, merci d'être ma motivation.

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

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

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

Je vous suis reconnaissant pour tout.

*Merci Monsieur Degny ,merci
vraiment à toute votre équipe et
à vos collègues que je ne peux
tous citer ici!!!*

Puisse Dieu vous bénir

A LA PHARMACIE DU LAC A SAN PEDRO

- Aux personnels de la pharmacie

Merci pour vos prières. Dieu veille sur vous et vous bénisse.

**A NOS MAITRES
ET JUGES**

A NOTRE MAÎTRE ET PRESIDENT DE JURY

Monsieur le Professeur KOUADIO LUC

- Professeur Titulaire d'Hydrologie et de Santé Publique à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques ;
- 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.

Témoigner de vos bienfaits, en tout cas en ce qui me concerne, remplirait des pages entières de ce document, Merci de votre disponibilité.

L'intérêt que vous portez à vos étudiants fait 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.

Honnêtement, rien n'a été possible sans vous, merci Cher Maître.

Puisse ce travail vous rendre hommage.

A NOTRE MAÎTRE ET JUGE

Monsieur le Professeur OGA Agbaya Serge Stéphane

- *Membre de Conférences Agrégée en épidémiologie, Economie de la santé et du Médicament ;*
- *Sous directeur chargé de la Recherche ET DE l'Equipement à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques ;*
- *Docteur en pharmacie, diplômé de l'Université de Cocody ;*
- *Chef du service Information Médicale à l'Institut de Cardiologie d'Abidjan ;*
- *Ancien interne des hôpitaux Publics d'Abidjan ;*
- *Membre du secrétariat des rédactions de la revue « Cahier Santé Publique » ;*
- *Membre de l'association des Epidémiologistes de Langue Française (ADELF) ;*
du Collège des Economistes de la Santé (France) de l'Association Africaine d'Economie et Politique de Santé.

Cher Maître,

En acceptant de siéger au sein de ce jury, vous confirmez votre caractère d'humilité, de disponibilité et simplicité.

Nous avons eu le privilège de bénéficier de vos qualités d'enseignant au cours de notre cursus universitaire.

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

A NOTRE MAÎTRE ET JUGE

Madame le Docteur KOUASSI-AGBESSI THERESE

- Docteur en pharmacie
- Maître-assistante au département de bactériologie virologie, à l'UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques
- Pharmacien biologique (CES biochimie clinique, CES hématologie, CES parasitologie, CES bactériologie)
- Titulaire d'un DEA de biologie humaine tropicale
- Responsable de l'unité de biologie à l'INHP (Institut national d'hygiène publique)
- 1^{er} prix d'infectiologie en 1992
- Lauréat du concours d'internat (1989-1990)

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 !

PLAN DETAILLE

LISTE DES TABLEAUX-----	XXVIII
LISTE DES FIGURES-----	XXIX
INTRODUCTION GENERALE -----	1
PREMIERE PARTIE : GENERALITES -----	6
I EAU DE CONSOMMATION -----	7
I.1 Définition de l'eau potable -----	7
I.2 Notions de directives et de normes-----	7
I.2.1 Les directives de L'OMS-----	8
I.2.2 Les directives de l'UE -----	8
I.2.3 Les normes de potabilité de l'eau en côte d'ivoire -----	8
II LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES -----	9
II.1 Qualité physico-chimique -----	9
II.1.1 Caractéristiques organoleptiques:(Couleur, odeur, saveur)-----	9
II.2 Les paramètres physico-chimiques en rapport avec la structure naturelle des eaux.-----	11
II.2.1 Paramètres physiques:(turbidité, pH, température, conductibilité)-----	11
II.2.2 Paramètres chimiques-----	14
II.2.3 Les paramètres indésirables-----	21
II.3 Les substances toxiques-----	28
II.3.1 Les toxiques minéraux-----	28
II.3.2 Les toxiques organiques-----	30
II.4 Qualité microbiologique -----	34
II.4.1 Le choix des micro-organismes indicateurs-----	34
III LE CONTROLE DE QUALITE DE L'EAU DE CONSOMMATION -----	37
III.1 Le contrôle physico-chimique -----	37
III.1.1 La fréquence de prélèvement-----	38
III.1.2 Les points de prélèvement -----	39
III.1.3 Les moments de prélèvement-----	39
III.1.4 La fréquence proprement dite de prélèvement-----	40
III.1.5 Les points de prélèvements -----	41
III.2 Le contrôle bactériologique -----	41
III.2.1 Les paramètres de contrôle -----	42
III.2.2 Les méthodes analytiques-----	44
III.2.3 Les méthodes d'analyse -----	44

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE	46
I MATERIEL ET METHODES	47
I.1 Matériel	47
I.1.1 Cadre et durée de l'étude	47
I.1.2 Matériel d'inspection et d'enquête	47
I.1.3 Matériel de prélèvement des eaux d'adduction	47
I.1.4 Appareillage et réactifs	48
I.2 Méthodes	50
I.2.1 Inspection sanitaire	50
I.2.2 Enquête consommateur	50
I.2.3 Analyse des paramètres physico-chimiques	51
I.2.4 Analyse des paramètres microbiologiques	61
I.2.5 Interprétation des paramètres organoleptiques et physicochimiques	64
I.3 Traitement de données	64
II RESULTATS	65
II.1 Enquête consommateur	65
II.1.1 Sexe du chef de ménage	65
II.1.2 Niveau d'instruction du chef de ménage	65
II.1.3 Situation socioprofessionnelle du chef de ménage	66
II.1.4 Taille du ménage	66
II.1.5 Qualité organoleptique de l'eau du réseau de distribution	67
II.1.6 Conservation de l'eau	68
II.1.7 Connaissance des risques sanitaires	71
II.2 Inspection sanitaire du système de production et de distribution d'eau	73
II.3 Contrôle qualité de l'eau d'adduction publique	75
II.3.1 Résultats globaux	75
II.3.2 Les non-conformités globales	80
II.3.3 Evolution des paramètres non conformes au cours des années	81
III DISCUSSION	83
CONCLUSION	86
REFERENCES	88
PRODUCTION SCIENTIFIQUE	92

ABREVIATION, SIGLE

DHT: Degré Hydrotimétrique,

DIEPA: Décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement

DJA: Dose Journalière Admissible,

EDTA: acide Ethylène Diamine Tétra Acétique,

INHP: Institut National d'Hygiène Publique,

MDT: Matières Dissoutes Totales

OMD: Objectifs du Millénaire pour le Développement

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

ONU: Organisation des Nations Unies

pH: potentiel Hydrogène, 13

RGPH: Recensement Général de la Population et de l'Habitat

SODECI: Société de Distribution d'Eau en Côte d'Ivoire

TA: Titre Alcalimétrique,

TAC: Titre Alcalimétrique Complet

UCV: Unité Couleur Vraie

UE: Union Européenne

UNT: Unité Néphélométrique de Turbidité

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Valeurs indicatives de certains hydrocarbures chlorés pesticides -----	31
Tableau II : Valeurs indicatives de quelques Ethènes chlorés -----	32
Tableau III : Périodicité des prélèvements en fonction de la population desservie -----	41
Tableau IV : Types d'analyses physico-chimiques -----	42
Tableau VI : Correspondance entre Conductivité et minéralisation-----	53
Tableau VII : Numéros de programme du Palintest et temps d'incubation des paramètres chimiques--	55
Tableau VIII : Inspection sanitaire-----	73
Tableau IX : Paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau d'adduction de la ville de San Pédro de 2013 -----	76
Tableau X : Paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau d'adduction de la ville de San Pédro de 2014 -----	77
Tableau XI : Paramètres Physico-chimiques et Microbiologiques de l'eau d'adduction de la ville de San Pédro de 2015 -----	78
Tableau XII : Paramètres Physico-chimiques et Microbiologiques de l'eau d'adduction de la ville de San Pédro de 2016-----	79
Tableau XIII : Pourcentage de non-conformité des paramètres analysés -----	80

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Cartographie de la région du Bas-Sassandra -----	47
Figure 2 : Evaluation de la qualité de l'eau en fonction du chef de ménage -----	65
Figure 3 : Répartition du niveau d'instruction des chefs de ménage -----	65
Figure 4 : Répartition du statut socioprofessionnel des chefs de ménage -----	66
Figure 5 : Répartition de la taille du ménage -----	67
Figure 6 : Appréciation de la couleur de l'eau -----	67
Figure 7 : Appréciation du goût de l'eau -----	68
Figure 8 : Appréciation de l'odeur de l'eau -----	68
Figure 9: Conservation de l'eau -----	69
Figure 10 : Temps de conservation de l'eau -----	69
Figure 11 : Evaluation liée au type de récipient pour la conservation de l'eau -----	70
Figure 12: L'existence de couverture du récipient de conservation de l'eau -----	70
Figure 13 : Connaissance des risques liés à la consommation d'une eau insalubre -----	71
Figure 14 : Connaissance d'une victime de maladie d'origine hydrique -----	71
Figure 15 : Maladie mise en cause par 65 enquêtés pour des cas connus -----	72
Figure 16 : Une pirogue de pêcheurs au point de captage -----	74
Figure 17 : Proportion annuelle des échantillons analysés par rapport au référentiel OMS -----	75
Figure 18 : Evolution globale des pourcentages des non-conformités des paramètres analysés -----	81
Figure 19 : Evolution des non-conformités des paramètres organoleptiques -----	81
Figure 21 : Evolution des non-conformités des paramètres physicochimiques -----	82
Figure 22 : Evolution des non-conformités de la teneur en chlore résiduel -----	82

INTRODUCTION GENERALE

Selon l'Organisation des Nations Unies (ONU), environ 768 millions de personnes dans le monde n'ont pas accès à une source d'eau améliorée et quelque 2,5 milliard d'individus sont toujours privés d'accès à un assainissement amélioré. Et selon certaines estimations, le nombre de personnes ne pouvant pas jouir de leur droit à l'eau s'élèverait même à 3,5 milliards[1].

La santé de l'homme pouvant être affectée par ingestion d'eau soit directement soit par l'intermédiaire des aliments ou par ses usages aux soins d'hygiène corporelle, agricoles et industriels, il est impératif de donner de l'eau de bonne qualité et en quantité suffisante aux populations.

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) dans sa stratégie de santé pour tous en l'an 2000 lançait en 1980 un appel au monde entier en ce terme : « la santé pour tous ne deviendra une réalité que lorsque les gouvernements, les collectivités et les individus s'attaqueront ensemble au problème de l'eau » [2].

Pour rendre conséquent cet appel, l'OMS décréta la décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement (DIEPA 1980-1990) qui visait à rendre plus effective l'alimentation en eau potable des zones urbaines et rurales non encore pourvues et à équiper ces zones en systèmes d'assainissement efficaces.

Plus récemment, l'Assemblée générale de l'ONU a déclaré la période allant de 2005 à 2015 « la Décennie Internationale d'Action » avec pour thème : « l'eau, source de vie »[3]

Pour garantir la potabilité de l'eau, il est indispensable de mettre en place une surveillance attentive et constante de la qualité, de la sécurité et de l'acceptabilité des eaux d'approvisionnement du point de vue de la santé publique au niveau de chaque pays.

Cette surveillance nécessite un programme permanent et systématique d'enquêtes et de contrôles de qualités mis en œuvre aux points d'eau de forage et de surface et à différents points des réseaux de distribution des eaux de consommation humaine.

Dans les pays développés cette surveillance est déjà définie par des textes réglementaires nationaux et des moyens importants sont mis en œuvre pour effectuer le contrôle de la qualité de l'eau de boisson.

Pour les pays en développement, la faiblesse des moyens ne permettait pas de faire un contrôle systématique pour la garantie de l'eau potable aussi bien en zone rurale qu'urbaine.

Alors que la cible mondiale consistant à améliorer l'accès à l'eau potable a été atteinte en 2010, les Régions OMS de l'Afrique et de la Méditerranée orientale en sont encore loin, notamment pour les populations pauvres et celles qui vivent en zone rurale.

Il est improbable que le monde atteigne la cible des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) concernant l'accès à des services d'assainissement de base. Environ 1 milliard de personnes en sont dépourvues et sont forcées de déféquer en plein air, par exemple dans les champs ou près de sources d'eau.

Le manque d'installations d'assainissement expose ces populations à un risque élevé de maladies diarrhéiques (dont le choléra), de trachome et d'hépatite [4].

Toutefois, les gains en matière de survie de l'enfant ont été considérables. Aujourd'hui, moins de 1000 enfants de moins de cinq ans meurent chaque jour de diarrhées provoquées par de l'eau insalubre, des moyens d'assainissement inadéquats et d'une mauvaise hygiène, contre plus de 2000 il y a quinze ans [5].

En tant que pays en voie de développement, la Côte d'Ivoire s'est inscrite dans cette résolution mondiale de fournir à sa population un accès satisfaisant à l'eau potable en essayant par des réformes législatives et des efforts financiers de se doter d'infrastructures lui permettant de satisfaire aux OMD.

Ainsi, bien qu'au plan réglementaire, la Côte d'Ivoire ne se soit pourvue qu'en 1998 d'un Code de l'Eau [6], le pays n'est toutefois pas resté sans législation car régi jusque-là, par les normes OMS.

Du point de vue des infrastructures, la Côte d'Ivoire a, dès 1970, consenti des efforts budgétaires importants pour garantir à sa population une bonne qualité de ses eaux de consommation. La fourniture d'eau potable dans les villes est assurée à travers un partenariat avec un fournisseur privé d'eau (la SODECI) selon un cahier de charges précis prévoyant l'augmentation de la fourniture de l'eau d'adduction aux différentes couches de la population urbaine de la capitale et des provinces (SODECI). Le développement de l'hydraulique villageoise reste du ressort de l'Etat de Côte d'Ivoire [7].

Ces efforts budgétaires bien qu'objectivés par la vulgarisation des infrastructures d'adduction d'eau potable en milieu urbain et la multiplication de forages des pompes villageoises en milieu rural, se sont avérés incapables d'assurer aux population vivant en Côte d'Ivoire, une couverture satisfaisante du point de vue de l'approvisionnement en eau potable [8] et ce, malgré leur traduction par une augmentation de la disponibilité de l'eau potable vis-à-vis de la population avec des taux de pénétration d'environ 73% en milieu urbain et d'environ 50% en milieu rural.

En outre, le conflit qui a affecté le pays durant de nombreuses années a eu pour conséquence majeure, dans le secteur de l'eau, le mauvais entretien et donc la détérioration des installations de production et de distribution d'eau potable particulièrement en milieu rural [8].

L'accroissement démographique (RGPH 2014), soutenu par l'immigration ininterrompue exacerbée par l'attractivité économique du pays, contribue logiquement à accroître les besoins, donc sans cesse grandissants, de fourniture d'eau potable, plus au niveau urbain qu'en milieu rural.

La satisfaction de ces besoins va de pair avec l'augmentation des infrastructures d'adduction d'eau elle-même couplée au contrôle tant au niveau urbain que rural de la qualité de l'eau fournie.

Si, au niveau urbain, l'Institut National d'Hygiène Publique (INHP) élabore depuis plusieurs années un programme de contrôle de la qualité de l'eau fournie par la SODECI dans quelques villes surtout Abidjan et ses banlieues (Bassam, Bingerville, Bonoua, Dabou, Jacqueville, Montezo-Alépé et Songon) [9], il n'en étaient pas le cas pour la province et les villes de l'intérieur du pays. Une grande ville de l'intérieur comme San Pedro (2ème pôle économique du pays et premier port cacaoyer au monde) n'a pu, du point de vue de la surveillance sanitaire de l'eau de consommation distribuée aux populations, bénéficier des services de l'INHP jusqu'à un passé très récent. Il est dès lors opportun de connaître les caractéristiques de l'eau d'adduction publique de la ville de San Pedro.

C'est ainsi que cette étude a eu pour objectif général d'évaluer la qualité de l'eau d'adduction de la ville de San Pedro et pour objectifs spécifiques de :

- réaliser une inspection sanitaire des réseaux d'adduction publique ;
- réaliser une enquête consommateur ;
- contrôler la qualité physicochimique et microbiologique de l'eau.

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

I EAU DE CONSOMMATION

I.1 Définition de l'eau potable

Selon les Directives de l'OMS, l'eau potable peut être définie comme étant « une eau de boisson saine qui ne présente aucun risque notable pour la santé d'une personne qui la consommerait sur toute la durée de sa vie, compte tenu des variations de sensibilité éventuelles entre les différents stades de la vie » [10]. Cette eau, ne renferme en quantités dangereuses ni substances chimiques ni germes nocifs pour la santé et doit être aussi agréable à boire que les circonstances le permettent [11].

Cette définition introduit un critère de référence sanitaire qui est essentiel mais aussi un critère d'agrément à la consommation dont l'incidence n'est pas négligeable dans la pratique de la distribution de l'eau.

Notons que le terme consommation englobe tous les usages humains, et ne se résume uniquement pas qu'à l'alimentation ou ingestion humaine. Ainsi, on peut dire que :l'eau dite «potable» est destinée à la consommation humaine, et est principalement utilisée à des fins alimentaires (eau de boisson, cuisine) mais aussi domestiques et d'hygiène corporelle [12].

Pour garantir un minimum de sécurité à l'ensemble de la population mondiale, l'OMS a élaboré des directives pouvant servir à l'élaboration des normes de potabilité. L'Union Européenne (UE) aussi, dans le but d'uniformiser les normes dans tous les pays membres, a publié dès le 03 novembre 1998, une directive relative à la qualité des eaux livrées à la consommation humaine.

I.2 Notions de directives et de normes

Les directives constituent un ensemble de recommandations à l'échelle internationale fixant des valeurs indicatives, c'est-à-dire le niveau (une concentration ou un nombre) des éléments constitutifs d'une eau de boisson de façon qu'elle ne présente aucun risque pour la santé de l'utilisateur.

1.2.1 Les directives de L'OMS

Il existe depuis 2011 une 4^eÉdition des Directives pour la qualité de l'eau de boisson par l'OMS. Elle a été préparée par plus de 400 experts de 90 pays membres [10].

1.2.2 Les directives de l'UE

L'Union Européenne (UE) définit les normes de qualité essentielles auxquelles doivent satisfaire les eaux destinées à la consommation humaine dans ses états membres [13].

Ces directives qui s'appliquent à l'échelle européenne, prennent en considération les possibilités locales et sont par conséquent, plus exigeantes que celles de l'OMS. Cette exigence emmène l'UE à définir plusieurs niveaux de qualité :

- *la concentration maximale admissible* qui est la quantité maximale qu'un élément constitutif de l'eau de boisson ne doit dépasser ;
- *le niveau guide* qui constitue la concentration idéale à atteindre par les éléments constitutifs de cette eau ;
- *la concentration minimale admissible* qui représente la limite en dessous de laquelle la potabilité d'une eau est diminuée.

La monographie de chacun des éléments constitutifs de l'eau que nous décrirons, s'appuie principalement sur les directives OMS.

1.2.3 Les normes de potabilité de l'eau en côte d'ivoire

Dès l'orée de son indépendance, le gouvernement ivoirien a toujours eu conscience de la nécessité de s'assurer de la disponibilité et de la préservation de la qualité des eaux de consommations humaines comme de celle des eaux naturelles.

Ainsi, jusqu'au vote du Code de l'Eau en 1998, les normes de potabilités de l'eau en Côte d'Ivoire étaient calquées sur celles de l'OMS et avant cela sur celles régies par les lois et règlements de la République Française. Le Code de l'Eau a d'ailleurs entériné cette pratique.

Toutefois, en son article 78, le Code de l'Eau laisse à l'Autorité chargée de l'eau et au Ministre de la Santé, la latitude de préciser les normes de potabilités par un arrêté conjoint.

A ce jour, cet arrêté conjoint de précision des normes de potabilité de l'eau de boisson en Côte d'Ivoire n'a toujours pas été signé et n'est donc pas disponible. La norme de potabilité utilisée en Côte d'Ivoire demeure celle de l'OMS.

II LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES

II.1 Qualité physico-chimique

II.1.1 Caractéristiques organoleptiques:(Couleur, odeur, saveur)

Une eau doit être agréable à boire, claire, fraîche et sans saveur. C'est principalement par ces aspects que le consommateur apprécie la qualité d'une eau.

II.1.1.1 La couleur :

L'eau potable est incolore.

Une eau devient colorée par ajout de substances qui peuvent être organiques colloïdales ou de substances chimiques.

Ainsi, la coloration de l'eau de boisson naturelle (supposée incolore) la rend suspecte vis à vis du consommateur, qui la lie à la présence de substances indésirables qui peuvent être organiques (surtout des produits chimiques), ou aussi des métaux comme le fer, le manganèse ou même des rejets industriels.

Bien que l'importance de la couleur de l'eau de consommation soit essentiellement d'ordre organoleptique, elle induit donc des effets sensoriels qui sont considérés comme des effets sur la santé.

On note que la plupart des individus perçoivent les niveaux de coloration lorsqu'ils dépassent 15 UCV (Unité Couleur Vraie) dans un verre d'eau. La **valeur indicative recommandée** est **inférieure à 15 UCV** pour l'eau de boisson.

Une UCV, ou une unité platine-cobalt, correspond à la quantité de couleur que révèle, dans les conditions d'échantillonnage prescrites, une solution étalon renfermant 1 mg de platine au litre [14].

Ainsi, un échantillon ayant 15 UCV présente une couleur qui se rapproche beaucoup plus d'une solution contenant 15 mg de platine au litre que d'une autre qui en renferme 14 ou 16.

Notons que, la plupart des consommateurs peuvent déceler dans un verre d'eau une coloration de 15 UCV; que 5 UCV suffisent à colorer de façon visible de plus grands volumes d'eau, comme le contenu d'une baignoire; et que peu de gens peuvent déceler un niveau de couleur de 3 UCV [15].

II.1.1.2 L'odeur

L'eau destinée à la consommation doit être inodore.

L'odeur peut se définir comme la sensation causée par des substances à tension de vapeur appréciable qui stimulent les organes sensoriels du nez et des cavités des sinus. La réponse à ce stimulus est complexe; il peut y avoir confusion entre le goût et l'odorat dans les cas où une faible odeur donne une saveur à une substance[14].

L'odeur de l'eau est due à la présence de substances organiques, toute détection d'odeur est considérée comme un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition.

Les odeurs désagréables peuvent être d'origine biologique ou industrielle ou indirectement dues aux activités humaines.

La liste des composés odoriférants trouvés dans l'eau est longue et leurs quantités d'effet sont si minimes que leurs détections et quantifications ne peuvent se faire par des moyens classiques.

Dans l'idéal, aucun consommateur ne devrait pouvoir déceler d'odeur dans l'eau de boisson [16].

II.1.1.3 La saveur (le goût)

Toute eau possède une saveur qui lui est propre et due aux sels de gaz dissous (carbonates). En général, les eaux qui en sont peu chargées ont une saveur dite agréable.

On définit en toute rigueur le goût de l'eau potable comme étant la sensation que provoquent des substances présentes dans l'eau dont les tensions de vapeur et l'odeur sont négligeables [17].

On n'effectuera donc les essais sur le goût qu'avec des échantillons d'eau inodore. L'absence d'une telle précaution est en grande partie responsable de la confusion qui caractérise les ouvrages plus anciens sur la qualité organoleptique de l'eau potable.

Le goût de l'eau peut être dû à une cause naturelle ou aux activités humaines. Un goût déplaisant de l'eau distribuée peut pousser les consommateurs à rechercher d'autres sources/fournisseurs d'eau. Le goût de l'eau ne garantit malheureusement pas son innocuité du point de vue des germes pathogènes ou des produits chimiques minéraux toxiques. En effet, dans les réseaux publics, un changement du goût normal peut être le signe d'une modification de la qualité de l'eau brute, de défauts dans le traitement ou de corrosion chimique des tuyaux et de la prolifération biologique. L'objectif est donc de fournir une eau qui soit considérée comme acceptable au goût pour la majorité des consommateurs [18, 19].

II.2 Les paramètres physico-chimiques en rapport avec la structure naturelle des eaux.

II.2.1 Paramètres physiques:(turbidité, pH, température, conductibilité)

II.2.1.1 La turbidité:

La turbidité est une mesure de la limpidité ou de l'opacité relative de l'eau. Elle n'est pas une mesure directe des matières en suspension dans l'eau, mais plutôt une mesure générale de leur effet de diffusion et d'absorption de la lumière.

Elle traduit la présence de matières étrangères en suspension dans l'eau ce qui éveille la méfiance et la répugnance du consommateur.

Elle peut avoir des conséquences sur la qualité microbienne de l'eau dans la mesure où elle rend inefficace le taux de désinfectant [20].

La turbidité de l'eau est due à la présence de matières en suspension (argile, limons, particules organiques colloïdales). La turbidité des eaux brutes va de 1 à 1000 unités néphélométriques de turbidité (UNT), elle peut être éliminée par simple filtration ou par coagulation-sédimentation-filtration.

Une turbidité qui dépasse 5 UNT est généralement déplaisante pour l'utilisateur et peut protéger les micro-organismes de la désinfection, stimuler la prolifération bactérienne et nécessiter en soi un important apport de chlore, il est d'importance capitale pour la sécurité de l'eau de boisson désinfectée au chlore, de maintenir une faible turbidité, de préférence inférieure à 1 UNT [21].

II.2.1.2 Le pH

Le pH des systèmes aqueux mesure l'équilibre acide-base atteint par différents composés en solution. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH dépend de l'équilibre carbonate-bicarbonate-anhydride carbonique. Le pH et d'autres constituants des eaux naturelles comme les gaz, les colloïdes et toutes sortes de matières déterminent l'importance de la corrosion dans un réseau et définissent l'agressivité de l'eau.

En général, l'apparition de dépôts calcaires dans l'eau est liée à l'insuffisance de son acidité donc à un pH élevé, à l'inverse de l'apparition de phénomènes de corrosion liés à une forte acidité et donc à un pH faible.

Bien qu'aucune relation directe n'ait été établie entre le pH et la santé, il convient de noter que le pH agit indirectement sur la santé dans la mesure où il influe sur les différents procédés de traitement destinés à éliminer les virus, bactéries, et autres organismes nocifs, c'est pourquoi il est impératif que le pH soit compris entre 6,5 et 8,5 [22].

II.2.1.3 La Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz dissous dans l'eau, dans la dissociation de ces sels dissous avec des conséquences sur la conductivité électrique et le pH.

Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C, car on admet que l'eau doit être rafraîchissante. Dans les eaux naturelles et au-dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de micro-organismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de couleur et de la turbidité. Les variations de température saisonnières peuvent affecter les eaux, surtout quand elles sont superficielles[23].

II.2.1.4 La conductivité de l'eau

La conductivité (γ) d'une substance (ici l'eau) est l'habilité ou la puissance de cette substance à conduire la chaleur, l'électricité ou le bruit. Elle est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique (ρ).

$$\gamma = 1/\rho = (1/R). (L/S)$$

γ : conductivité (en $\Omega^{-1}.m^{-1}$ ou S. m⁻¹)

P : résistivité (en $\Omega. m$)

R : résistance (en Ω)

L : distance entre les deux électrodes (en m)

S : surface de chaque électrode (en m²)

La conductivité est un paramètre lié à la salinité de l'eau, et est aussi indicatrice de son taux de minéralisation (notamment en ions calciques) [24].

II.2.2 Paramètres chimiques

II.2.2.1 La dureté

L'eau est composée de nombreux éléments minéraux et organiques dont la concentration dans l'eau est fonction de la composition des sols qu'elle traverse.

Le Degré Hydrotimétrique (DHT) ou Titre Hydrotimétrique ou Dureté Totale de l'eau est l'indicateur de la minéralisation de l'eau.

Il correspond à la somme des concentrations dans l'eau en cations métalliques à l'exception des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Il est surtout proportionnel à la concentration en calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les concentrations en fer, aluminium, manganèse et strontium.

Il s'exprime en degré français (°f ou °fH à ne pas confondre au degré Fahrenheit (°F)) et un degré français (1°f) correspond à la dureté d'une solution contenant 10 mg/l de carbonate de calcium (CaCO_3), soit 4mg de calcium par litre et 2,4mg de magnésium par litre.

Notons qu'un meq (1meq) d'ion calcium équivaut à 5°f.

Il se mesure par complexométrie à l'aide d'un puissant chélatant: l'EDTA (Ethylène Diamine Tétra Acétique) (que l'on retrouve parfois dans les lessives) et qui forme des complexes avec les cations métalliques[25].

Ainsi, tous les métaux divalents (ions ferreux, ...) peuvent aussi être dosés ; ils sont dits interférents mais leurs concentrations sont considérées comme étant négligeables devant celles du calcium et du magnésium.

On peut également calculer le DHT par l'addition des concentrations de calcium et magnésium mesurées par d'autres méthodes, par exemple la spectrophotométrie d'absorption atomique ou bien la chromatographie ionique.

INTERPRETATION DE LA VALEUR DU DEGRE HYDROTOMETRIQUE DE L'EAU

Entre 0 et 10 °f (soit entre 0 et 100mg/L de CaCO₃) : Eau très douce.

Entre 10 et 20 °f (soit entre 100 et 200mg/L de CaCO₃) : Eau douce.

Entre 20 et 30 °f (soit entre 200 et 300mg/L de CaCO₃) : Eau moyennement dure.

Entre 30 et 40 °f (soit entre 300 et 400mg/L de CaCO₃) : Eau dure.

De valeur supérieure à 40 °f (soit sup à 400mg/L de CaCO₃) : Eau très dure.

Une eau dépourvue de calcium et de magnésium (par exemple l'eau distillée ou la lessive de soude) a un DHT nul.

Pour les eaux naturelles, le DHT augmente avec l'éloignement de la source, l'eau se chargeant en sels minéraux le long de son écoulement dans la nature. Ainsi, pendant que l'eau de mer a un DHT de 750°F (soit 7500mg/L de CaCO₃), les eaux continentales naturelles généralement étant chargées en calcaire, ont un DHT voisin de leur TAC.

Pendant qu'une eau trop douce présente un risque de corrosion pour les canalisations par l'absence de la couche carbonatée de protection vis à vis du chlore actif issu du traitement de désinfection, l'eau dure présente elle, des risques d'ordres domestiques en raison de la précipitation du calcaire (carbonate de calcium) qui diminue l'efficacité des détergents (le savon mousse moins), provoque l'apparition de taches blanchâtres sur le linge et augmente la température d'ébullition de l'eau (l'eau dure met plus de temps à bouillir).

La dureté d'une eau est sans conséquence pour la santé humaine, le calcium et le magnésium étant des constituants majeurs de notre organisme. Ainsi, quel que soit son DHT, une eau demeure généralement potable. Il existe toutefois des exceptions à ces règles générales, expliquées par les caractéristiques chimiques de certains minéraux dissous dans l'eau. Une eau trop douce peut présenter des inconvénients pour la santé suite à la dissolution de métaux des canalisations tels que le fer ou le plomb qui pourraient alors être ingérés par notre organisme, pendant que la consommation d'une eau très dure peut se traduire par une augmentation des cas de lithiase urinaire, ceci s'observe lorsque l'eau contient par litre 300 à 500 mg de calcium. D'autre part, une

étude faite en Grande Bretagne a rapporté qu'il existe un lien étroit entre la dureté de l'eau et la mortalité par attaques et ischémies cardiaques, ceci pour une valeur de 170 mg/L de carbonate de calcium. Il est donc indispensable que la dureté de l'eau soit assez faible, la valeur indicative déterminée est de 50 mg/L [26].

II.2.2.2 Les matières dissoutes totales (MDT):

Les matières dissoutes totales sont les sels inorganiques et les petites quantités de matières organiques dissoutes dans l'eau. Leurs principaux constituants sont habituellement les cations calcium, magnésium, sodium, potassium et les anions carbonates, bicarbonates, chlorures, sulfates et en particulier dans les eaux souterraines les nitrates (par les usages agricoles).

Elles proviennent de sources naturelles d'eaux baignant les différents types de roches qu'elles ont traversé, d'égouts, du ruissellement urbain et agricole, des eaux usées industrielles, et de certains procédés de traitement de l'eau potable (adoucissement à la chaux sodée).

Elles sont habituellement, pour les faibles quantités (<10 mg/L), dosées par mesure de la conductivité spécifique au moyen d'une sonde détectant la présence d'ions dans l'eau, et convertissant les mesures en teneurs en MDT en appliquant un facteur changeant selon le type d'eau analysée.

Pour des concentrations plus élevées, un dosage gravimétrique existe mais avec l'inconvénient de ne pas tenir compte des composés organiques volatiles. On peut également doser séparément chaque constituant des MDT.

Aucune donnée récente n'a permis d'identifier des effets pathogènes liés à l'absorption des MDT avec l'eau potable ; toutefois certaines composantes particulières des MDT peuvent avoir des effets sur la santé humaine, ces effets étant discutés dans les textes traitant des composantes en question.

Un des aspects importants des MDT dans l'eau de boisson est leur effet sur le goût. La sapidité d'une eau contenant en MDT environ 300 mg/L est dite excellente, bonne pour

moins de 600 mg/L, alors que le goût de l'eau de boisson devient mauvais au-dessus de 1200 mg/L.

Les concentrations de MDT supérieures à 500 mg/L entraînent un entartrage excessif des conduites, chauffe-eau, chaudières et appareils ménagers [27].

II.2.2.3 Le potassium

Le potassium est un métal alcalin mou, d'aspect blanc métallique, légèrement bleuté, que l'on trouve naturellement lié à d'autres éléments dans l'eau de mer et dans de nombreux minéraux. Il s'oxyde rapidement au contact de l'air et réagit violemment avec l'eau. Il ressemble chimiquement au sodium.

Une valeur indicative a été fixée à 12 mg/L, dans l'eau de consommation [28].

II.2.2.4 Le sodium

Le sodium est un métal mou, blanc argenté et fortement réactif qui, dans la nature, ne se rencontre qu'à l'état combiné. Ce métal alcalin se présente fréquemment sous forme ionisée. On observe que, dans les milieux biologiques et même dans les solides tels que le chlorure de sodium, le métal garde l'état ionisé.

De façon générale, le goût de l'eau potable est jugé désagréable lorsque la concentration du sodium dépasse 200 mg/L. L'objectif de qualité esthétique ou organoleptique est donc fixé pour le sodium à ≤ 200 mg/L. Pour que les personnes suivant un régime hyposodé ne dépassent pas la dose quotidienne totale de 500 mg, il faudrait que la teneur de l'eau potable en sodium ne dépasse pas 20 mg/L. L'OMS recommande donc de réduire l'apport en sodium pour faire baisser la tension artérielle et diminuer le risque de maladie cardio-vasculaire, d'accident vasculaire cérébral et de cardiopathie coronarienne chez l'adulte (recommandation forte)

L'OMS recommande également de ramener la consommation de sodium à < 2 g/jour (5 g sel/jour) chez l'adulte (recommandation forte) [24].

II.2.2.5 Les chlorures

Dans le domaine de la chimie ou de la qualité de l'eau ou de l'air, le terme chlorure désigne :

L'ion chlorure Cl^- : c'est un atome de chlore chargé d'un électron supplémentaire ; c'est un ion négatif (anion), dit halogénure ; un atome de chlore ayant gagné un électron. Il est aussi produit lors de la dissociation du chlorure d'hydrogène dans l'eau.

La présence de chlorures dans les eaux naturelles peut être attribuée à la dissolution de dépôts de sel gemme. Dans l'eau non polluée, le niveau de chlorures est souvent inférieur à 10 mg/L. Des concentrations élevées de chlorures nuisent au goût de l'eau et des boissons (les seuils de goût pour les chlorures de sodium, potassium, ou calcium sont de l'ordre de 200 à 300 mg/L.)

Les concentrations élevées de chlorures hormis les risques pour la santé (effets laxatifs non désirés, contre-indications en cas de pathologies rénales et cardiovasculaires), provoquent des effets corrosifs et attaquent le métal du réseau de distribution surtout lorsque ces eaux sont faiblement alcalines[29].

Ces considérations ont fait adopter une valeur indicative de 250 mg/L [30].

II.2.2.6 Titre Alcalimétrique(TA) et Titre Alcalimétrique Complet(TAC) de l'eau.

Ces deux valeurs permettent de doser les quantités de bicarbonates, carbonates et éventuellement hydroxydes (bases fortes) présentes dans l'eau.

Ce sont des paramètres utilisés au laboratoire de la Chimie des eaux de l'INHP. Ils permettent la détermination titrimétrique de l'alcalinité de l'eau, qui, on vient de le voir, se mesure à l'aide d'une solution étalon d'acide fort en présence d'indicateurs colorés de pH:

-la phénolphthaléine pour le TA, virant du rouge à l'incolore à pH de 8,3

-l'hélianthine pour le TAC, virant du jaune à l'orangé à un pH de 4,3.

Le TA dose la totalité des hydroxydes et la moitié des carbonates alors entièrement transformés en bicarbonates à un pH de 8,3

Le TAC dose la totalité des bicarbonates et des carbonates [31].

II.2.2.7 Les sulfates

Les sulfates de l'eau proviennent essentiellement de la dissolution du gypse. Ils sont le plus souvent associés au calcium, au potassium et au sodium.

Le sulfate, élément chimique composé de soufre et d'oxygène, est présent dans presque toutes les eaux naturelles.

Leur concentration est très faible dans la plupart des eaux douces. Cette concentration peut augmenter par suite de pollutions naturelles. L'ingestion d'eau contenant des concentrations élevées de sulfates peut avoir un effet laxatif, en outre, ces fortes concentrations dans l'eau peuvent accroître la corrosion des métaux. Les seuils gustatifs des sulfates varient avec le cation associé et se situent entre 250 et 500 mg/L. En se fondant sur ces valeurs et compte tenu de l'effet purgatif, on propose une valeur indicative de 400 mg/L [32].

II.2.2.8 L'aluminium

Troisième élément de la croûte terrestre, l'aluminium entre dans la composition de tous les sols, plantes, tissus animaux... et, donc, dans les ressources en eau. Les rejets industriels, l'érosion, le lessivage des minéraux dans les sols, la contamination par les poussières atmosphériques et les précipitations constituent les principales voies d'accès de l'aluminium au milieu aquatique. L'aluminium peut donc provenir du ruissellement des sols et se rencontrer dans l'eau sous trois formes : insoluble, colloïdale et soluble, correspondant notamment à des silico-aluminates, des hydroxydes, des formes libres ou complexes minérales ou organiques. N'oublions pas, non plus, le rôle de nos habitudes culinaires puisque l'aluminium présent dans les aliments peut provenir d'une migration à partir des « contenants » utilisés en cuisine (casseroles, ustensiles, emballages...) surtout

si le contenu alimentaire est acide. Notre exposition à l'aluminium est à 95% d'origine alimentaire [33].

L'eau ne représente que moins de 10 % de cet apport.

Sa présence dans l'eau du robinet peut également être liée à l'utilisation de sels d'aluminium lors du traitement des eaux [34].

En effet, Les sels d'aluminium sont utilisés dans les procédés physico-chimiques de traitement de l'eau pour éliminer les particules organiques en suspension dans l'eau (élimination de la couleur et de la turbidité).

Par ses propriétés chimiques, l'aluminium se lie aux particules organiques en suspension et forme des flocons qui s'agglomèrent et se déposent sous l'effet de la gravité. La grande majorité des sels de métaux utilisés se retrouve dans les boues ou terres de décantation. Cependant il peut en rester dans l'eau du robinet.

Pour l'eau de distribution, le code Français de la santé publique a fixé à 200 µg/L le seuil qu'il est souhaitable de ne pas dépasser. Ce seuil n'est pas dicté par des considérations de santé publique, il correspond simplement à un indicateur de l'efficacité du traitement subi par l'eau.

Cette position reprend les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé établies en 1994, 1998 et 2004 dans ses directives pour les eaux de boisson.

Sur le plan sanitaire, l'aluminium peut entraîner la maladie d'ALZHEIMER. Quelques études ont évoqué une éventuelle augmentation du risque d'Alzheimer lors de la consommation d'une eau trop riche en aluminium [35].

De nombreux « biais » rendent par contre leur interprétation difficile : petit nombre de sujets dans l'étude, prise en compte de la seule consommation d'eau (alors qu'elle est une source très marginale d'exposition), absence de prise en compte des quantités... Les autorités sanitaires ont donc organisé il y a quelques années un vaste travail d'expertise afin de mieux cerner la réalité de ce risque. Dans leur rapport de Novembre 2003, les

experts n'ont pas retenu de lien causal entre l'exposition à l'aluminium par voie digestive et la maladie d'Alzheimer.

En fait on n'a jamais observé d'encéphalopathie » liée à l'aluminium dans une population exposée par la seule voie alimentaire (y compris lors de traitements oraux par des médicaments contenant de l'aluminium). La norme en vigueur de 200 µg d'aluminium par litre d'eau.

Chez le dialysé, il peut provoquer des troubles neurologiques [36].

En ce qui concerne les valeurs indicatives, il est observé que dans de bonnes conditions d'exploitation, les concentrations d'Aluminium de 0,1mg/L ou moins sont réalisables dans les grandes installations de traitement de l'eau. Pour les petites installations c'est la valeur de 0,2mg/L ou moins qui est un niveau possible pour l'Aluminium dans l'eau potable. Pour le dialysé, cette valeur est fixée à 0.035mg/L [10].

II.2.3 Les paramètres indésirables

II.2.3.1 Le fer

Composant majoritaire de la croûte terrestre, le fer est présent sur toute la surface de la Terre, il est le quatrième élément dans l'écorce terrestre et le premier parmi les métaux lourds. Très oxydable, il est peu présent dans les eaux de surface aérées. En revanche, dans les eaux souterraines, on en retrouve parfois des concentrations importantes [37].

Le fer dans l'eau potable

Le fer entraîne, à des concentrations supérieures à 0,3 voire 0,1 mg/l, des effets indirects gênants pour l'usager et permet la neutralisation des désinfectants pouvant générer la prolifération des microorganismes dans les réseaux de distribution.

Le Fer est un élément indispensable pour le fonctionnement du corps humain (notamment en entrant dans la composition de l'hémoglobine). Les besoins journaliers en fer sont estimés à environ 10 mg par jour, selon l'âge et le sexe.

Le fer est un élément essentiel à la nutrition. Il entre dans la composition des cytochromes, des porphyrines et des métallo-enzymes. Les besoins nutritionnels en fer varient selon le sexe et l'âge des personnes. Les enfants en bas âge ou plus âgés et les femmes en âge de procréer sont les plus exposés à des carences en fer. Les carences en fer peuvent avoir certains effets, notamment une insuffisance du développement mental et de l'activité chez l'enfant, un taux élevé de catécholamines et une tendance à l'agitation chez l'enfant [38], une perte de rendement au travail chez l'adulte et, dans les cas graves, l'anémie et une oxygénation compromise [39].

La présence du fer dans les eaux naturelles peut être attribuée à la dissolution de roches et de minéraux, au drainage des mines acides, aux infiltrations provenant de remblais, aux égouts ou aux industries métallurgiques. Dans l'eau de boisson, on rencontre normalement moins de 0,3 mg/L de fer. L'accroissement de la teneur du fer dans l'eau pendant la distribution peut résulter soit de la corrosion des tuyauteries en acier, soit de l'existence de dépôts antérieurs. A une teneur de plus de 0,3 mg/L, le fer tache le linge et les installations sanitaires domestiques, donne un mauvais goût et une coloration rouge brun de l'eau. On a donc adopté une valeur indicative de 0,3 mg/L de fer [40].

II.2.3.2 Le manganèse

Le manganèse des eaux de surface naturelle est soit en solution, soit en suspension. Le niveau du manganèse dissout peut être élevé dans les eaux souterraines à l'abri de l'air.

Pour des raisons d'ordre organoleptique, l'objectif pour le manganèse dans l'eau potable a été fixé à $\leq 0,05$ mg/L (≤ 50 µg/L). La présence de cet élément dans les approvisionnements d'eau est indésirable pour plusieurs raisons. À des concentrations supérieures à 0,15 mg/L, le manganèse tache les éléments de plomberie et les tissus; de plus, en fortes concentrations, il donne mauvais goût aux boissons. Comme le fer, il peut causer des problèmes dans les réseaux de distribution en y favorisant la croissance de microorganismes. Même à des concentrations inférieures à 0,05 mg/L, le manganèse peut former dans la tuyauterie des dépôts qui peuvent se présenter sous la forme de précipités noirs [41].

A des concentrations supérieures à 0,15 mg/L, le manganèse présent dans l'eau tache le linge et donne un mauvais goût à des concentrations encore plus élevées. En association avec le fer, il peut provoquer l'accumulation de dépôts dans le réseau de distribution.

La valeur indicative de 0,1 mg/L est basée sur la propension du manganèse à laisser des taches.

II.2.3.3 Les composés azotés

Il s'agit de l'azote ammoniacal et des nitrites dans l'eau. La molécule d'azote (N_2) est essentiellement présente dans l'air. Dans l'eau et le sol, on peut trouver des nitrates et des nitrites. Toutes ces substances appartiennent au cycle de l'azote.

Les hommes ont radicalement modifié les proportions de nitrate et de nitrite, du fait essentiellement de l'application d'engrais contenant du nitrate. L'azote est abondamment émis par les industries, augmentant l'apport de nitrate et de nitrite dans le sol et dans l'eau (suite à certaine réaction du cycle de l'azote). De ce fait, la concentration en nitrate de l'eau potable est augmentée de façon importante.

On sait que les nitrates et les nitrites ont plusieurs effets sur la santé. Les plus communs sont :

- la réaction avec l'hémoglobine du sang, provoquant une diminution des capacités de transport de l'oxygène (nitrite)
- la diminution du fonctionnement de la glande thyroïde (nitrate)
- le manque de vitamine A (nitrate)
- la production de nitrosamines, qui sont connues comme l'une des causes les plus communes de cancer (nitrates and nitrites)

Impact sur l'environnement

Les hommes ont radicalement modifié les concentrations en nitrates et nitrites dans la nature. La cause principale est l'utilisation intensive de fertilisant. Les processus de combustion peuvent aussi augmenter les concentrations en nitrates et nitrites, en

émettant des oxydes d'azote qui peuvent être transformés en nitrites ou en nitrates dans l'environnement.

On trouve aussi des nitrates et des nitrites dans la production chimique et ils sont aussi utilisés comme agents de conservation alimentaire. Ce qui entraîne une augmentation de la concentration en azote dans les eaux souterraines et les eaux de surface ainsi que dans la nourriture.

Cet apport d'azote dans l'environnement a plusieurs effets. Tout d'abord cela peut changer la composition de certaines espèces sensibles aux composés azotés. D'autre part, la plupart des nitrites peuvent avoir des effets sur la santé des hommes et des animaux. La nourriture riche en composés azotés peut provoquer une diminution du transport de l'oxygène dans le sang, ce qui peut avoir de sérieuses conséquences pour le bétail.

Chez les animaux, la consommation de concentrations importantes d'azote peut poser des problèmes au niveau de la glande thyroïde, entraîner des carences en vitamine A. De plus dans l'estomac et dans les intestins, les nitrates peuvent être transformés en nitrosamines, une substance gravement cancérigène.

II.2.3.4 L'azote ammoniacal

Il est important d'éliminer l'ammonium avant l'introduction de l'eau dans le réseau parce qu'il réagit avec le chlore pour produire des chloramines, qui sont des désinfectants moins efficaces et peuvent provoquer des goûts désagréables. Certaines bactéries prolifèrent aussi en transformant l'ammonium en nitrites puis en nitrates qui sont des agents méthémoglobinisants. L'ammonium n'a pas d'effet appréciable sur la santé du consommateur, mais sa présence dans les eaux est un indicateur de pollution. Dans les eaux profondes, sa présence peut également être due aux conditions réductrices régnant dans une nappe. Il doit être éliminé dans les eaux de consommation car c'est un élément qui peut permettre à certaines bactéries de proliférer dans les réseaux de distribution [42].

Les traitements susceptibles d'éliminer l'ammoniac, ou surtout les nitrates sont d'application peu aisée et très rarement employés (sauf la chloration au break-point) pour les eaux de boisson. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a évalué la toxicité de l'ammoniac dans l'eau potable et a conclu qu'il n'était pas nécessaire d'établir une recommandation à son égard, vu l'absence d'effets notoires sur la santé aux concentrations attendues dans l'eau potable.

II.2.3.5 Les nitrates et nitrites

Les nitrates proviennent de l'oxydation complète de l'azote organique et les nitrites de l'oxydation incomplète. Les principales sources de pollution sont l'utilisation des engrais, la fabrication d'explosifs, l'industrie chimique et alimentaire [43]. La teneur en nitrates de l'eau est généralement plus élevée que celle des nitrites. Une forte concentration en nitrites indique une pollution bactériologique par suite de l'oxydation de l'ammoniac. Aucun traitement classique de l'eau ne modifie considérablement la teneur en nitrates. L'exposition à des fortes teneurs en nitrate augmente la concentration des nitrites salivaires. La réduction des nitrates en nitrites est optimale à $\text{pH} > 4,6$. Cette plage s'obtient chez les enfants et les malnutris. Les nitrites jouent un rôle très important dans le cycle de l'azote. Sous l'action de bactéries de type nitrobacter (autotrophes et strictement aérobies, les nitrites sont rapidement oxydés en nitrates. Ces derniers sont donc le produit final de l'oxydation des dérivés azotés. En plus de ces effets sur la qualité organoleptique, il a été reconnu que l'eau chargée en nitrates employée pour des biberons de lait en poudre était susceptible de faire apparaître chez les nourrissons une cyanose liée à la formation de méthémoglobine [44]. Cette intoxication provoquée par l'absorption de petites doses de nitrates est en réalité due aux nitrites formés par réduction des nitrates sous l'influence d'une action bactérienne. Cette intoxication se traduit par une anoxie dont l'importance est fonction de la quantité de nitrites formés. Quant aux nitrites, la toxicité est très significative en raison de leur pouvoir oxydant. Les nitrites peuvent entraîner une méthémoglobinémie comme cela a

été indiqué à propos des nitrates. Les nitrites inhiberaient l'activité biologique de certaines vitamines (A, E, B6...) [45].

En milieu acide (pH = 1 à 5), pH stomacal normal, les nitrites réagissent avec les amines primaires, secondaires et tertiaires généralement d'origine alimentaire pour donner les nitrosamines réputés cancérigènes [46].

II.2.3.6 Le fluor

La fluoration de l'eau est l'addition artificielle et contrôlée d'ions fluorure (F^-) dans le système de distribution d'eau potable à un degré de dilution réputé efficace pour prévenir le risque de carie dentaire [26].

Sur le plan sanitaire, on a rapporté occasionnellement l'apparition de taches sur les dents à des concentrations supérieures à 1,5 mg/L et l'on a observé à des concentrations de 3,0 et 6,0 mg/L des fluoroses osseuses qui peuvent être très graves à des concentrations supérieures à 10mg/L selon le chapitre des (généralités sur l'eau)[47]. Ces observations ont emmené à adopter 1,5 mg/L comme valeur indicative.

II.2.3.7 Le cuivre

L'objectif de qualité esthétique pour le cuivre présent dans l'eau potable est de $\leq 1,0$ mg/L ; cet objectif a été fixé pour assurer la potabilité de l'eau et pour réduire au minimum les taches sur la lessive et les accessoires de plomberie. Le cuivre est un élément essentiel pour le métabolisme humain et il est bien connu que sa carence entraîne divers troubles cliniques, notamment l'anémie nutritionnelle chez les nourrissons [48].

Le cuivre étant utilisé dans la plomberie et élément important des canalisations, ses concentrations dans l'eau du robinet sont souvent plus élevées que celles dans l'eau du réseau de distribution. Sa valeur indicative a été fixée à 1mg/L. (Rudolf EIFE, 2014)

II.2.3.8 La matière organique

La matière organique désigne la matière décomposée d'origine animale, végétale et bactérienne, des composés organiques issus de déchets de l'environnement, qui se

trouve dans le sol. La matière organique fraîche est composée de feuilles, brindilles, résidus de cultures, racines mortes, micro-organismes morts, etc. Elle est présente dans la plupart des sols terrestres ou aquatiques à raison de 0,5 à 10% de la composition du substrat. Théoriquement, elle n'inclut pas les matières non décomposées.

La matière organique du sol provient de plusieurs sources : racines des plantes, insectes et leurs larves, champignons, bactéries pour la décomposition et des animaux souterrains, et inclut la matière sèche et de la matière organique particulaire.

La matière organique fournit de la nourriture pour les microbes du sol, augmente les activités microbiennes et les processus de transformation, améliore les propriétés physiques du sol telles que la structure, la capacité de rétention d'eau, l'aération, le pouvoir tampon du sol et le pH, ...

Les molécules organiques peuvent également être issues de réactions chimiques qui ne sont pas d'origine biotique. Les structures de base sont créées à partir de cellulose, le tanin, la cutine et de la lignine, de même que divers autres protéines, lipides et hydrates de carbone. Ces transformations sont très importantes dans le mouvement des éléments nutritifs dans l'environnement et jouent un rôle dans la rétention d'eau sur la surface de la planète.

La matière organique reste inférieure au milligramme dans les forages bien protégés mais avoisine les 2 mg et même les dépasse dans certaines régions alimentées en eaux de surface. Cette mesure globale est bien loin de refléter le nombre et la diversité des molécules organiques qu'on peut mettre en évidence dans les eaux grâce aux possibilités de la spectrophotométrie d'absorption moléculaire. La valeur indicative retenue est de 5 mg/L [26].

II.3 Les substances toxiques

II.3.1 Les toxiques minéraux

II.3.1.1 Le plomb

Le plomb est un métal lourd grisâtre présent naturellement en petites quantités dans la croûte terrestre. Il est également utilisé dans beaucoup de produits de consommation, de sorte que la population y soit exposés par la nourriture, l'eau, l'air, les poussières et le sol [49]. Plusieurs facteurs influencent les concentrations de plomb dans l'eau potable : pH et alcalinité de l'eau, longueur et diamètre de l'entrée de service en plomb, âge et type de soudures en plomb, température de l'eau, habitudes de consommation, etc.) La dose acceptée a été réduite de 50µg/l à 10µg/L [26].

II.3.1.2 L'argent.

Il y a très peu d'argent dans l'eau, sa teneur est rarement supérieure à 10µg/L. Il arrive que la teneur soit plus élevée dans l'eau de robinet du fait qu'il s'en trouve des traces dans certains métaux (plomb et zinc) utilisés en plomberie [50].

Sur le plan sanitaire, l'argent n'est pas un élément particulièrement toxique. En effet, à une dose journalière continue de 400µg, l'argent peut provoquer l'argyrose mais pour un individu moyen, l'ingestion quotidienne totale (air, eau, nourriture) est d'environ de 20 à 80µg, ce qui est très bas. On n'a pas jugé nécessaire de fixer une valeur indicative pour l'argent [51].

II.3.1.3 L'arsenic

L'arsenic est un élément naturel très répandu dans la croûte terrestre. Il est présent dans certaines réserves d'eau potable, y compris les puits. L'exposition à de fortes concentrations d'arsenic peut avoir des effets sur la santé [52].

L'exposition prolongée (sur de nombreuses années) à de fortes concentrations d'arsenic dans l'eau potable peut aussi provoquer :

- un épaissement et une décoloration de la peau ;
- des nausées, une diarrhée ;
- une baisse de la production de cellules sanguines ;
- une arythmie cardiaque, des dommages aux vaisseaux sanguins ;
- un engourdissement des mains et des pieds.

Une exposition de courte durée (quelques jours à quelques semaines) à de très fortes concentrations d'arsenic dans l'eau potable peut entraîner :

- des douleurs abdominales, des vomissements et de la diarrhée ;
- des crampes et des douleurs musculaires ;
- une faiblesse, ainsi que des rougeurs et des éruptions cutanées ;
- une sensation d'engourdissement, de brûlure ou de picotement ou des douleurs aux mains et aux pieds ;
- un épaissement de la peau sur la paume des mains ou sur la plante des pieds ;
- une perte de réaction motrice ou sensitive.

On recommande une concentration de 0,05mg/L comme valeur indicative (généralités sur l'eau).

II.3.1.4 Le sélénium

Le sélénium est un élément naturel omniprésent dans l'environnement. Il est généralement présent à l'état élémentaire ou sous forme de séléniure (Se^{2-}), de sélénate (SeO_4^{2-}) ou de sélénite (SeO_3^{2-}).

Le sélénium est souvent présent dans l'eau sous forme de sélénites ou de sélénates, la forme chimique subit l'influence du pH et des sels de certains métaux, tels que le fer. On ne trouve que rarement plus de 0,1 mg/L de sélénium aux robinets de différents réseaux. La teneur peut être plus élevée dans les zones sélénifères surtout dans les puits.

Sur le plan sanitaire, des effets toxiques attribués au sélénium ont été observés pour des doses quotidiennes de 0,7 à 7 mg de sélénium par jour. La valeur indicative provisoire, adoptée par l'OMS, est de 0,4 mg/L de sélénium. (OMS, 2011)

II.3.1.5 Le cyanure

Le cyanure d'hydrogène est un liquide incolore dégageant une odeur caractéristique d'amandes amères et possédant une tension de vapeur de 107,6 kPa à 27,2 °C. Il est complètement miscible avec l'eau. Le cyanure de potassium, une poudre granuleuse blanche, et le cyanure de sodium, un solide cristallin blanc, sont tous les deux facilement solubles dans l'eau

Comme le cyanure est toxique pour les humains, la concentration maximale acceptable de cyanure libre dans l'eau potable a été fixée à 0,2 mg/L (200 µg/L).

Dans l'eau, l'acide cyanhydrique se dissocie pour donner l'ion cyanure. Ce phénomène dépend du pH (c'est au-dessus de 8,5 que prédomine l'ion). En général, les niveaux dans l'eau brute sont très faibles (moins de 0,1 mg/L sauf en cas de pollution grave par décharge d'effluents industriels. Il convient de noter que la chloration de l'eau potable laissant un résidu de chlore libre peut diminuer fortement la concentration de cyanure en milieu neutre ou alcalin.

Sur le plan sanitaire, une dose quotidienne de 2,9 à 4,7 mg de cyanures est considérée comme inoffensive du fait de la détoxification dans l'organisme humain. Une valeur indicative de 0,1 mg de cyanures par litre est considérée comme raisonnable pour protéger la santé publique [51].

II.3.2 Les toxiques organiques

II.3.2.1 Les pesticides

La pollution de l'eau par les biocides, pesticides (dont produits phytosanitaires) fait dans de nombreux pays (dont en France) l'objet de réseaux d'observation pour évaluer l'état des lieux, et d'autre part de mesures et de recommandations pour réduire cette

contamination. Une fois dans l'eau, certains pesticides peuvent affecter d'autres compartiments de l'environnement et tout ou partie du réseau trophique, selon la durée de vie et le comportement de la molécule en question, et selon le type d'occupation du sol.

Les pesticides susceptibles d'influer sur la qualité de l'eau sont : les hydrocarbures chlorés et leurs dérivés, les herbicides persistants, les insecticides du sol, les pesticides qui lessivent le sol et ceux qui sont systématiquement ajoutés à l'eau pour la lutte anti vectorielle. Les pesticides qui apparaissent fréquemment sont les hydrocarbures chlorés insecticides. Dans l'eau, des traces de ces pesticides peuvent progressivement s'accumuler le long d'une chaîne alimentaire, par exemple le DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane) s'accumule dans le poisson.

Des valeurs indicatives pour certains hydrocarbures chlorés pesticides sont fixées parce qu'ils peuvent être présents dans l'eau (Tableau I). Ces valeurs indicatives sont déduites de la dose journalière admissible (DJA) établie au cours des années par les réunions mixtes FAO/OMS d'experts des résidus de pesticides, en partant de l'hypothèse que l'eau de boisson ne représente que le 1% de la DJA totale [10].

Tableau I : Valeurs indicatives de certains hydrocarbures chlorés pesticides

Composés	Valeur indicative (mg/l)	DJA (mg/kg) de poids corporel
6,7-dyhydroxydihydroaldrin (DDA isomères totaux)	1	0,005
Aldrine et dieldrine	0,03	0,0001
Chlordane (isomères totaux)	0,3	0,001
Hexa chlorobenzène	0,01	
Heptachlore et époxyde d'heptachlore	0,1	0,0005
Gamma-Hexachlorocyclohexane (HCH lindane)	3	0,01
Méthoxychlore	30	0,1

II.3.2.2 Les éthènes chlorés

Les éthènes chlorés sont rencontrés dans les eaux brutes et dans les eaux traitées à des doses de quelques mg/L. Cette teneur peut augmenter par suite de contamination industrielle car ces composés sont très utilisés dans l'industrie comme solvants, plastifiants, diluants pour peintures, etc....

Sur le plan sanitaire, certains de ces composés se sont révélés cancérogènes humains notamment le chlorure de vinyle provenant des canalisations en chlorure de polyvinyle mal polymérisé si bien que des valeurs indicatives (voir tableau II) ont été fixées pour ces composés.

Tableau II : Valeurs indicatives de quelques Ethènes chlorés

Composés	Valeurs indicatives
Chlorure de vinyle	1,4 µg/L
Dicchloro-1,1 éthène	0,3 mg/L
Trichloréthène	30 µg/L
Tétrachloréthène	10 mg/L

II.3.2.3 Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Susceptibles de polluer l'eau ; ils ont pour sources les rejets pétroliers, d'huiles de vidanges, d'effluents de différentes industries ou d'usines à gaz de vapeurs. Les hydrocarbures aromatiques sont particulièrement solubles. Exemples : Pétrole, kérosène, essence, mazout, fuel, huiles ou lubrifiants.

NB : Leur biodégradabilité est lente pour les eaux de surface et longue pour les eaux souterraines. Leur nuisance, c'est l'apparition de goûts et odeurs pour des seuils extrêmement variables suivant les produits (0,5 µg/L pour l'essence à 1 mg/L pour les huiles et lubrifiants).

Toxicité : elle serait à craindre dans les eaux de boisson pour des doses supérieures aux seuils d'apparition de goûts et odeurs. On a constaté des affections cutanées dues à des produits d'addition du mazout [53].

II.3.2.4 Les chlorophénols

Ils sont l'indice d'une pollution industrielle. Leur nuisance la plus marquante est le goût du chlorophénol qui apparaît dans l'eau en présence de chlore pour des teneurs extrêmement faibles. Si normalement il suffit de réduire la teneur en phénol pur à 1 µg/L pour être à l'abri des goûts, on peut dans certains cas déceler des traces de goûts de chlorophénol avec une teneur de 0,1 à 0,01 µg/L. Le seuil de détection organoleptique de chlorophénol est largement inférieurs aux valeurs qui seraient dangereuses pour la santé des consommateurs : on éliminera ces substances jusqu'à les rendre indétectables au goût [53].

II.3.2.5 Les trihalométhanes

Toutes les sources d'eau potable sont susceptibles de contenir des micro-organismes comme des bactéries, des virus et des protozoaires, qui peuvent causer des maladies graves. L'eau potable est désinfectée pour détruire ou inactiver ces micro-organismes. En raison de son efficacité, le chlore est le désinfectant le plus souvent ajouté à l'eau potable à travers le monde. Toutefois, lorsque le chlore est ajouté à une eau contenant des matières organiques (par exemple des plantes en décomposition ou des algues), des sous-produits peuvent se former. Les trihalométhanes (THM) représentent la forme la plus courante de ces sous-produits [54].

Les trihalométhanes contenus dans l'eau résultant fondamentalement des réactions entre le chlore et les matières organiques présentes naturellement dans l'eau. Les quatre trihalométhanes fréquents dans l'eau sont : le chloroforme, le bromo dichlorométhane, le dibromochlorométhane et le bromoforme. Leur concentration totale est fréquemment inférieure à 100 µg/L. Cette teneur peut augmenter dans le réseau de distribution pourvu de chlore libre résiduel. Sur le plan sanitaire, ces trihalométhanes (notamment le chloroforme) sont cancérogènes et affectent les fonctions hépatique et rénale[55]. Pour ces considérations, une valeur indicative a été fixée à 30 µg/L pour le chloroforme.

II.4 Qualité microbiologique

Les caractéristiques physiques et chimiques d'une eau ne permettent pas à elles seules de se prononcer sur sa valeur hygiénique, car ces analyses ne renseignent pas sur l'existence et la vitalité des germes contenus dans l'eau.

En effet, une eau trouble, colorée, d'un goût désagréable, est considérée comme dangereuse et donc rejetée au profit d'une eau d'aspect plus agréable mais pouvant contenir des germes pathogènes.

L'aspect agréable d'une eau de boisson n'est donc pas une garantie de sécurité en matière de santé publique.

Une eau microbiologiquement potable ne doit renfermer aucun micro-organisme (bactéries, virus, parasites). Le dénombrement et l'identification de ces micro-organismes nécessitent la mise en œuvre de méthodes longues et complexes si bien qu'il est onéreux et pratiquement impossible sur le plan matériel de rechercher tous les micro-organismes pathogènes susceptibles de contaminer l'eau de boisson.

II.4.1 Le choix des micro-organismes indicateurs

L'objectif des contrôles bactériologiques est de rechercher dans l'eau de consommation les micro-organismes indicateurs de pollution fécale.

En effet, la plupart des bactéries pathogènes responsables des maladies hydriques sont d'origine intestinale ce qui témoigne de la contamination de l'eau de boisson par les excréments de l'homme et des animaux à sang chaud, si bien que le décellement de ces micro-organismes indicateurs de pollution fécale est synonyme de présence de matières fécales dans l'eau de boisson et donc de la présence éventuelle d'organismes pathogènes.

L'emploi de micro-organismes de la flore normale de l'intestin comme indicateurs de pollution fécale, plutôt que la recherche des organismes pathogènes eux-mêmes est un

principe universellement admis pour la surveillance et l'évaluation de la qualité microbiologique de l'eau distribuée.

Ces espèces bactériennes considérées comme indicatrices de pollution fécale doivent avoir les caractéristiques suivantes :

- être abondants dans les excréments, mais absents ou simplement peu nombreux dans les autres milieux.
- appartenir à la flore intestinale des personnes en bonne santé.
- être incapables de se développer dans l'eau.
- survivre plus longtemps dans l'eau que les organismes pathogènes et mieux résister qu'eux aux désinfectants (par exemple au chlore).
- être faciles à isoler, à identifier et à dénombrer.

Il n'y a pour ainsi dire, aucun organisme capable de remplir toutes ces conditions, cependant quelques-uns les vérifient en partie.

Trois groupes de bactéries sont conventionnellement considérées comme indicatrices de pollution fécale :

- les coliformes fécaux dont *Escherichiacoli* constitue l'indicateur fondamental ;
- les streptocoques fécaux ;
- l'espèce anaérobie *Clostridiumperfringens*.

D'autres bactéries anaérobies, telles que les bifidobactéries et bactéroïdes peuvent être proposées car elles sont plus abondantes dans les déjections que les coliformes mais on ne dispose pas de méthodes courantes de détection et de dénombrement de ces germes et l'on doute que ces espèces soient exclusivement d'origine intestinale.

II.4.1.1 Les coliformes

Deux groupes de coliformes sont à distinguer :

- les coliformes totaux qui comprennent les espèces du genre *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *klebsiella*.

- les coliformes fécaux avec essentiellement l'espèce *Escherichia coli*.

Alors que les coliformes totaux sont présents dans les fèces, dans le sol et dans les eaux non polluées, *Escherichia coli* est exclusivement d'origine fécale.

Il ne doit pas y avoir de coliformes dans les eaux d'alimentation traitées, si néanmoins tel est le cas, il faut envisager deux possibilités :

Soit un traitement inefficace, soit une contamination postérieure au traitement.

Ces coliformes sont des germes Gram négatifs, mesurant 2 à 5 µm ; les coliformes totaux se caractérisent par leur aptitude à fermenter le lactose à 35°C (ou 37°C) en produisant un acide, du gaz et un aldéhyde dans un délai de 24 à 48 heures.

Il s'agit de germes non sporulés ne possédant pas de cytochrome-oxydase.

Les coliformes fécaux (thermo-tolérants) constituent un sous-groupe des coliformes totaux dont ils partagent les caractéristiques, à la différence près qu'ils supportent une température plus élevée (44 à 44,5°C), à laquelle ils peuvent pousser et qu'ils produisent de l'indole à partir du tryptophane, les germes possédant cet ensemble de propriétés sont considérés comme des *Escherichia coli*. Ces germes sont des témoins très sensibles (c'est-à-dire abondant dans les fèces ou dans les eaux résiduaires), très spécifiques (d'origine strictement fécale), peu résistants (courte durée de survie dans les milieux extérieurs) et constituent le meilleur indice de contamination fécales récentes.

II.4.1.2 Les streptocoques fécaux

Il s'agit de streptocoques normalement présents dans les fèces humaines et animales, ce sont : *S.faecalis*, *S.durans*, *S. bovis*, *S. avium*. Ce sont des streptocoques du groupe D, morphologiquement semblables, gram positif, mesurant environ 1 µm de diamètre se présentant sous forme de courtes chaînes de cocci associées.

Ces micro-organismes sont peu sensibles (se développent rarement dans l'eau polluée), peu résistants. Quand ils font office d'indicateurs complémentaires, le rapport du nombre des coliformes fécaux à celui des streptocoques fécaux (> 3 à 1 pour les déchets

humains ; $< 0,7$ à 1 pour les déchets animaux) peut servir à situer l'origine de la pollution fécale dans les sources fortement polluées d'eau brute, à condition de recueillir des données en nombre suffisant, dans les conduites du réseau de distribution.

II.4.1.3 Les clostridiales réductrices des sulfites

Ce sont des organismes anaérobies produisant des spores, dont le plus caractéristique, *Clostridium perfringens*, est normalement présent dans les fèces.

Ce sont des bactéries gram positifs mesurant 4 à 6 μm de long et 1 à 2 μm de large. *Clostridium perfringens* est un témoin peu sensible, particulièrement résistant, il est le meilleur témoin des contaminations anciennes et intermittentes ; sa permanence marque la défaillance en un point donné du système de distribution.

III LE CONTROLE DE QUALITE DE L'EAU DE CONSOMMATION

III.1 Le contrôle physico-chimique

La surveillance de l'eau de boisson est le processus continu et vigilant d'évaluation et d'examen sous l'angle sanitaire de la salubrité et de l'acceptabilité de l'eau de boisson. Cette surveillance contribue à la protection de la santé publique à travers la promotion de l'amélioration des approvisionnements en eau, en termes de qualité, de quantité, d'accessibilité physique, de couverture, d'accessibilité économique et de continuité (paramètres connus sous le nom d'indicateurs de service) et complète le contrôle de la qualité exercé par le fournisseur d'eau de boisson. La surveillance de l'approvisionnement en eau de boisson ne décharge pas le fournisseur de la responsabilité qui lui incombe de garantir une qualité acceptable de l'approvisionnement et sa conformité avec des objectifs sanitaires prédéterminés et d'autres objectifs de performance [56].

On peut aussi définir la surveillance sanitaire d'une eau d'adduction comme le dispositif sanitaire en vigueur pour garantir la qualité microbiologique de l'eau distribuée. Elle contribue à préserver un bon niveau de santé de la population dans le but de limiter la

survenue d'épidémies d'origine hydrique. Elle permet une évaluation plus structurée et une meilleure maîtrise du risque infectieux lié à la consommation d'eau du robinet.

La nature et l'amplitude des variations spatiales et temporelles de la concentration des constituants physico-chimiques de l'eau dépendent à la fois de leur origine et de leur comportement dans le réseau de distribution. L'appréciation de telles variations nécessite la conception d'un programme d'échantillonnage qui couvre à la fois les variations aléatoires et les variations systématiques de la qualité de l'eau et il faut veiller à ce que les échantillons prélevés soient représentatifs de la qualité de l'eau de l'ensemble du système de distribution.

Ce programme définit :

- la fréquence de prélèvement ;
- les points de prélèvement ;
- les moments de prélèvement ;
- l'analyse des échantillons.

III.1.1 La fréquence de prélèvement

On ne peut guère généraliser la fréquence des évaluations de la qualité physico-chimique de l'eau de boisson. Cependant, une évaluation approfondie est indispensable avant toute mise en service d'un nouvel approvisionnement en eau ainsi qu'après toute modification importante dans le traitement.

Par suite, il faut des analyses périodiques à une fréquence déterminée par les conditions locales, ainsi d'assez fréquentes évaluations seront nécessaires pour certains constituants ou caractéristiques (les substances dont la concentration varie pendant la distribution) alors qu'on pourra se contenter d'évaluations moins fréquentes pour d'autres qui varient peu.

III.1.2 Les points de prélèvement

Les points exacts des prélèvements doivent être représentatifs de l'ensemble du réseau ou de la zone à problème. Il n'est pas possible de formuler des recommandations générales quant au choix de ces points compte tenu de la complexité de la question. Le meilleur choix repose sur une connaissance locale des problèmes particuliers de la source d'approvisionnement et du réseau de distribution, ainsi pour les substances dont les concentrations ne varient probablement pas pendant la distribution, il suffit généralement de prélever des échantillons au seul niveau de l'eau qui entre dans le réseau. Pour les substances dont la concentration peut varier pendant la distribution (substance participant à des réactions, substances provenant du réseau), pour ces substances-là, il peut se produire des variations entre le ou les points de captage et le robinet du consommateur. Cependant deux stratégies extrêmes d'échantillonnage peuvent être distinguées :

- le choix laissé totalement au hasard, dans ce cas il faut que les variations de qualité soient elles-mêmes aléatoires.
- le choix systématique à partir de la connaissance des facteurs qui affectent les substances intéressantes.

III.1.3 Les moments de prélèvement

La qualité de l'eau brute, l'efficacité des traitements et les effets du réseau lui-même sur la qualité de l'eau de boisson sont des éléments qui varient avec le temps.

Pour les substances dont la concentration ne varie probablement pas pendant la distribution, les facteurs principaux qui déterminent le moment des prélèvements sont donc la concentration de la substance étudiée, la variation de cette concentration et la mesure dans laquelle elle est affectée par le traitement.

Pour les substances dont la concentration peut varier pendant la distribution, ces substances sont affectées par de nombreux processus et ont donc tendance à connaître des variations complexes et imprévues au cours du temps. Si l'échantillonnage n'a

guère d'importance, il faut dans ce cas procéder à une estimation statistique du nombre d'échantillons à prélever sur un robinet particulier pendant une période donnée. Il faut choisir conjointement les lieux et les moments de prélèvement car il y a une limite à la quantité d'échantillons que l'on peut prélever et analyser.

Deux stratégies peuvent être adoptées :

- le prélèvement à de nombreux robinets une seule fois ou quelquefois seulement ;
- les prélèvements à un nombre limité de robinets, mais plus fréquemment pour chacun d'eux.

L'importance relative des variations dans le l'espace est un facteur important du choix de la stratégie. Il faut consacrer davantage d'efforts à la première stratégie qu'à la deuxième stratégie lorsque les variations dans l'espace sont prédominantes et vice-versa.

III.1.4 La fréquence proprement dite de prélèvement

La fréquence des prélèvements dépend de la qualité de la source, du traitement appliqué à l'eau, des risques de contamination, des antécédents de l'approvisionnement et de la population desservie. Lorsque cette dernière s'accroît, la dimension et la complexité du réseau en font de même, tout comme les risques de contamination par interconnexion et par reflux.

Toute source d'eau qui exige un traitement doit faire l'objet de vérifications quotidiennes en teneur en coliformes, de sa turbidité et de son pH au point d'entrée dans le réseau, car la pollution à la source est permanente et la contamination que constitue le traitement doit être impénétrable.

Dans un réseau d'adduction, la contamination du système de distribution s'accroît avec la longueur des canalisations et le nombre des branchements domestiques. Il serait souhaitable de faire des prélèvements hebdomadaires, mais ce n'est pas possible dans le cas des petits réseaux.

La fréquence des prélèvements doit être fixée par l'autorité nationale.

L'OMS recommande les fréquences de prélèvement minimales suivantes, étalées régulièrement sur le mois (Tableau III).

Tableau III : Périodicité des prélèvements en fonction de la population desservie

POPULATION DESSERVIE	NOMBRE MINIMAL DE PRELEVEMENTS
5000 habitants	1 par mois
5000 à 100000 habitants	1 par mois et par 5000 habitants
Plus de 100000 habitants	1 par mois et par 10000 habitants + 10 supplémentaires

III.1.5 Les points de prélèvements

Il faut prélever une partie des échantillons à des endroits fixes (stations de pompage, réservoirs) ainsi que là où des prélèvements antérieurs avaient fait apparaître des problèmes. Les autres échantillons doivent être prélevés au hasard dans le réseau de distribution notamment dans les bâtiments occupés par une population nombreuse comme les hôpitaux, les écoles, les édifices publics, les immeubles locatifs, les hôtels, les usines et autres locaux où existent de grandes possibilités de contamination par reflux et par interconnexion. L'objectif général est d'accroître le programme de prélèvement, surtout en période d'épidémie, d'inondation, de cas d'urgence ou à la suite d'interruption de l'approvisionnement ou des travaux de réparation.

III.2 Le contrôle bactériologique

L'eau de boisson ne doit contenir aucun micro-organisme pathogène et être exempte de toute bactérie indiquant une pollution fécale

Pour s'assurer qu'un approvisionnement en eau de boisson satisfait à ces directives de qualité bactériologique, il est important d'analyser régulièrement des échantillons prélevés dans le but de rechercher des indicateurs de pollution fécale. Pour une bonne efficacité de la surveillance, ces échantillons prélevés doivent être représentatifs de l'ensemble du réseau. Pour une telle surveillance, doivent être définis la fréquence et les points de prélèvement.

III.2.1 Les paramètres de contrôle

Plusieurs niveaux d'analyses chimiques et microbiologiques sont définis (Tableau IV). Ces niveaux diffèrent par le nombre de paramètres à prendre en considération selon qu'il s'agisse du contrôle minimal, courant, périodique ou occasionnel.

Tableau IV : Types d'analyses physico-chimiques

Type	C1	C2	C3	C4			
				C4 a	C4 b	C4 c	"C4 d"
Paramètres organoleptiques	Aspect (qualitatif) : odeur, saveur, couleur. Turbidité	Aspect (qualitatif) : odeur, saveur, couleur. Turbidité	Aspect (quantitatif) : odeur, saveur, couleur. Turbidité				
Paramètres physico chimiques Structure naturelle des eaux.	pH. Conductivité.	Température. pH. Conductivité.	Température. pH. Conductivité. Chlorures. Sulfates. Silice. Calcium. Magnésium. Sodium. Potassium. Aluminium. Résidus secs. Oxygène dissous. Anhydride carbonique libre (essai au marbre) ou calcul de l'équilibre calcocarbonique. Carbonates Hydrogénocarbonates.				(M.E.S.) (D.C.O.) (D.B.O5.)
Paramètres concernant les substances indésirables		Nitrates Nitrites Ammonium Deux paramètres parmi les	Nitrates Nitrites Ammonium Oxydabilité au KMnO4, à chaud, en	Azote Kjeldhal Hydrocarbures dissous Agents de surface			Bore. Baryum. Substances extractibles au chloroforme.

Type	C1	C2	C3	C4			
				C4 a	C4 b	C4 c	"C4 d"
		paramètres suivants : chlorures, sulfates, oxydabilité au KMnO4 ou carbone organique total, titre alcalimétrique complet ou dureté totale	milieu acide Hydrogène sulfuré Fer Cuivre Zinc Manganèse Phosphore Fluor	Indice Phénol.			
	Chlore résiduel ou tout autre paramètre représentatif du traitement de désinfection	Chlore résiduel ou tout autre paramètre représentatif du traitement de désinfection	Chlore résiduel ou tout autre paramètre représentatif du traitement de désinfection				
Paramètres concernant les substances toxiques.					Cadmium Plomb H.P.A	Arsenic Cyanures Chrome Mercure Sélénium	
Autres paramètres						Pestici- des Compo- sés orga- nohalo- génés volatils	

Analyse physico- chimique réduite (C1)
 Analyse physico- chimique sommaire (C2)
 Analyse physico- chimique complète (C3)
 Analyses physico-chimiques particulières (C4)
 Matières totales en suspension (M.E.S.).
 Demande chimique en oxygène (D.C.O.).
 Demande biologique en oxygène (D.B.O5.)

III.2.2 Les méthodes analytiques

III.2.2.1 Prélèvement, stockage et transport d'eau en vue des examens chimiques et bactériologiques

Il faut veiller à ce que les échantillons soient représentatifs de l'eau à vérifier et qu'ils ne soient pas accidentellement contaminés au cours du prélèvement ou du transport. On étiquettera clairement les échantillons, on notera le lieu, la date et l'heure du prélèvement, la nature de l'eau et toute autre information pertinente et on procédera sans délai à l'expédition au laboratoire d'analyse.

Pour les examens chimiques, il faut éviter que les concentrations des substances à analyser évoluent entre le prélèvement et l'analyse. En effet, cette variation des constituants chimiques de l'eau peut provenir, d'une contamination par le récipient ou processus chimiques ou physiques se déroulant dans l'échantillon. Pour éviter les variations de concentration des constituants chimiques, on utilise des flacons en verre, propres, bouchés à l'émeri et des conservations dont la nature varie selon la substance à analyser.

Pour les examens bactériologiques, il faut éviter des contaminations accidentelles au cours du prélèvement (conditions aseptiques) et neutraliser les désinfectants résiduels par l'adjonction de 0,1 mL d'une solution à 1,8% de thiosulfate de sodium par 100 mL de contenance du flacon.

Les échantillons ainsi prélevés sont tenus à l'abri de la lumière et au frais, de 4 à 8° C, et doivent parvenir au laboratoire au plus tard dans les 6 heures qui suivent le prélèvement pour les analyses microbiologiques.

III.2.3 Les méthodes d'analyse

III.2.3.1 L'analyse des constituants chimiques

Lorsqu'on analyse un échantillon d'eau représentatif pour mesurer une substance, la précision du résultat dépend totalement des erreurs susceptibles de se produire cours de l'analyse. Les erreurs d'analyse les plus graves sont généralement relevées pour les

substances présentes à de faibles concentrations. Le contrôle de la qualité doit être un élément fondamental des programmes d'échantillonnage et d'analyse, surtout quand les résultats doivent être comparés à des normes ou à des directives chiffrées.

III.2.3.2 L'analyse bactériologique

L'on dispose de deux méthodes principales pour la détection et la numération des bactéries indicatrices : la méthode des tubes multiples, dans laquelle on ensemence avec des volumes mesurés d'eau des tubes identiques contenant un milieu de culture adéquat à base de lactose et la méthode de filtration sur membrane qui retient les bactéries à sa surface. Il convient de relever que les deux méthodes ne donnent pas des résultats strictement comparables pour un même groupe d'organismes et que, pour obtenir des résultats vraiment comparables, il faut toujours utiliser la même méthode

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

I MATERIEL ET METHODES

I.1 Matériel

I.1.1 Cadre et durée de l'étude

Ce travail a eu pour cadre d'étude la ville San Pedro, située à 340 km (coté côtière) d'Abidjan, dans le Sud-ouest de la Côte d'Ivoire, dans la région du Bas-Sassandra (Figure 1). San Pedro abrite la seconde zone portuaire du pays et fait l'objet de surveillance sanitaire annuelle des eaux d'adduction publique. Cette étude a été menée sur quatre ans, de 2013 à 2016. La ville de San Pedro,

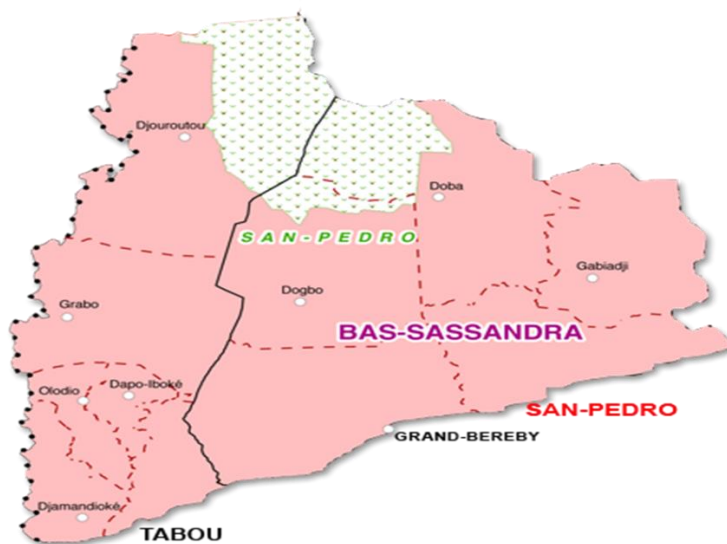


Figure 1 : Cartographie de la région du Bas-Sassandra

I.1.2 Matériel d'inspection et d'enquête

Des fiches d'enquêtes élaborées par l'INHP, pour le réseau d'adduction publique et pour les consommateurs, ont été utilisées.

I.1.3 Matériel de prélèvement des eaux d'adduction

Le matériel de prélèvement est composé de :

- flacons de 1000 mL pour les analyses physicochimiques,
- flacons de 500 mL pour les analyses microbiologiques,
- glacières contenant des accumulateurs,
- camping gaz.

I.1.4 Appareillage et réactifs

I.1.4.1 Analyse physico-chimique

L'appareillage est constitué de :

- pH mètre à sonde (Wagtech®-Grande Bretagne)
- Conductimètre à sonde (Wagtech®-Grande Bretagne)
- Photomètre 7100 (Wagtech®-Grande Bretagne)
- Turbidimètre à IR (Wagtech®-Grande Bretagne)
- Bain marie (MEMMERT-France),

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

- DPD1 et DPD3 pour le dosage du chlore libre et du chlore total,
- Pastille Nitratest, Poudre Nitratest et Pastille Nitricol pour le dosage des nitrates,
- pastille Nitricol pour le dosage des nitrites,
- pastilles Ammonia N°1 et Ammonia N°2 pour le dosage de l'ammonium,
- acide sulfurique (d=1,84), Oxalate de sodium et Permanganate de potassium pour le dosage de la matière organique selon la méthode AFNOR,
- pastille Iron HR pour le dosage du fer,
- pastille Aluminium N° 1 et Aluminium N° 2 pour le dosage de l'aluminium,
- pastille de Manganèse N°1 et N°2 pour le dosage du manganèse,
- pastille Hardicol N°1 et N°2 pour le dosage de la dureté totale,
- pastille Fluorure N°1 et N°2 pour le dosage des fluorures,
- pastille Alkaphot pour le dosage de l'alcalinité,
- pastille Acidifying CD et Pastille Chloridol pour le dosage des chlorures,
- pastille Sulphate Turb pour le dosage des sulfates,
- pastille Potassium K pour le dosage du potassium,
- pastilles phosphate HR et Phosphate SR pour le dosage des phosphates,
- pastille Calcicol N°1 et Calcicol N°2 pour le dosage du calcium,
- pastille magnecol pour le dosage du magnésium.

I.1.4.2 Analyse microbiologique

Pour les différentes analyses effectuées, les instruments et appareils habituellement rencontrés dans tout laboratoire de microbiologie des eaux sont utilisés. Il s'agit de :

- Rampe de filtration (SARTORIUS Goethingen- Germany),
- Incubateurs de terrain (LABNET),
- Stérilisateur UV,
- Etuve de paillasse (P SELECTA),
- de membranes filtrantes en nitro cellulose de 0,45 µ de diamètre (Millipore-France),

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

Les formules des milieux sont données en gramme par litre (g/L) d'eau distillée.

1- La gélose P.C.A.

La gélose glucosée à l'extrait de levure appelée par les Anglo-Saxons "Plate Count Agar" (PCA) est utilisée en bactériologie alimentaire pour le dénombrement des bactéries aérobies.

✓ Elle est constituée de :	
✓ Peptone	5,0
✓ Extrait de levure	2,5
✓ Glucose	1,0
✓ Agar	15,0

pH 7,0 ± 0,2 - Stérilisation pendant 15 minutes à 121°C.

2- La gélose T.S.N. (Tryptone – Sulfite – Néomycine)

C'est un milieu de dénombrement des anaérobies sulfito-réducteurs (spores de *Clostridium* sulfito-réducteurs et *Clostridium perfringens*) dans les produits alimentaires.

✓ Tryptone	15,00
✓ Sulfite de sodium	1,00
✓ Sulfate de néomycine	0,05
✓ Sulfate de polymyxine	0,02
✓ Extrait de levure	10,00
✓ Citrate de fer	0,50
✓ Agar	13,50

pH = 7,2- Stérilisation pendant 15 minutes à 121°C.

3- Rapid'E coli 2 Agar

Cette gélose est utilisée pour la recherche et le dénombrement des coliformes.

4- La gélose B.E.A (Bile-Esculine-Azide de sodium)

La gélose à la bile, à l'esculine et à l'azide de sodium est un milieu sélectif utilisé pour l'isolement et le dénombrement des streptocoques fécaux dans les eaux.

✓ Tryptone	17
✓ Peptone pepsique de viande	3
✓ Extrait autolytique de levure	5
✓ Bile de bœuf bactériologique	10
✓ Chlorure de sodium	5
✓ Esculine	1
✓ Citrate ferrique ammoniacal	0,5
✓ Azide de sodium	0,15
✓ Agar	13

pH : $7,1 \pm 0,1$.

NB : La verrerie et accessoires classique de laboratoire ont été utilisés.

I.2 Méthodes

I.2.1 Inspection sanitaire

Les agents de la SODECI (Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire) ont été enquêtés sur la production, le traitement et la distribution de l'eau de consommation. L'enquête a porté sur la règle des cinq M.

I.2.2 Enquête consommateur

Les consommateurs ont été enquêtés sur la qualité et les usages des eaux de consommation. L'enquête a porté sur :

- le sexe du chef de ménage,
- le niveau d'instruction du chef de ménage,
- la situation socioprofessionnelle du chef de ménage,
- la taille du ménage,
- la qualité organoleptique de l'eau du réseau de distribution,
- les conditions de conservation de l'eau,
- la connaissance des risques liés à la consommation d'une eau insalubre,

- la connaissance d'un témoin malade
- la maladie en mise en cause...

I.2.3 Analyse des paramètres physico-chimiques

Les mesures ont été réalisées sur les échantillons d'eau (1000 mL) prélevés sur des points du réseau d'adduction préalablement identifiés avec le concours des agents de la SODECI.

Il existe deux types de mesure à savoir :

- 5- Les mesures dites « mesures in-situ », qui se font sur le site de prélèvement après que l'eau ne soit sortie de la canalisation par l'intermédiaire d'un robinet ;
- 6- Les mesures de laboratoire sur les échantillons prélevés sur le réseau et conditionnés dans les flacons de 1000 mL.

I.2.3.1 Mesures in-situ

Ces mesures concernent les paramètres que sont le pH, la turbidité, la conductivité, la minéralisation et la température.

I.2.3.1.1 Détermination du pH

➤ Principe

La détermination du pH par électrode spécifique est basée sur la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel, chlorure de potassium saturé). Cette différence de potentiel est liée à l'activité des ions H_3O^+ .

➤ 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 d'eau à analyse. La membrane de verre doit être totalement immergée. Agiter légèrement l'électrode pour homogénéiser le milieu ;
- 5- Attendre que la mesure se stabilise et lire le résultat sur l'affichage digital de l'appareil, exprimé en unité pH.

I.2.3.1.2 Détermination de la turbidité

La mesure de la turbidité de l'eau peut s'effectuer en utilisant l'effet Tyndall ou l'opacimétrie. Pour celle des eaux destinées à la boisson (faible turbidité), le principe de l'effet Tyndall est utilisé.

➤ **Principe**

Un liquide trouble s'éclaire vivement lorsqu'elle est traversée par un faisceau lumineux, c'est le phénomène dit de Tyndall, dû aux particules insalubres en suspension. L'intensité de la lumière diffractée est liée au nombre et à la dimension des particules, à leur indice de réfraction ainsi qu'à celui du liquide dans lequel elles sont en suspension. Elle est aussi fonction de la longueur d'onde, de la lumière incidente, de la direction de l'observation et varie avec la température.

➤ **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 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 l'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 que la lecture se stabilise pour lire la valeur affichée sur l'écran (en UNT).

I.2.3.1.3 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 déminéralisée. 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.
- 6- Lire le résultat qui s'affiche sur l'écran.

1.2.3.1.4 Détermination de la minéralisation

Elle a été obtenue à l'aide de la table de correspondance entre la conductivité et la minéralisation (tableau 4).

Tableau V : Correspondance entre Conductivité et minéralisation

Conductivité ($\mu\text{mho/cm}$)	Minéralisation (mg/L)
Conductivité inférieure à 50 $\mu\text{mho/cm}$	1,365 x conductivité ($\mu\text{mho/cm}$) à 20°C
Conductivité comprise entre 50 et 166 $\mu\text{mho/cm}$	0,947658 x conductivité ($\mu\text{mho/cm}$) à 20°C
Conductivité entre 166 et 333 $\mu\text{mho/cm}$	0,769574 x conductivité ($\mu\text{mho/cm}$) à 20°C
Conductivité comprise entre 333 et 833 $\mu\text{mho/cm}$	0,715920 x conductivité ($\mu\text{mho/cm}$) à 20°C
Conductivité comprise entre 833 et 10 000 $\mu\text{mho/cm}$	0,758544 x conductivité ($\mu\text{mho/cm}$) à 20°C
Conductivité supérieure à 10 000 $\mu\text{mho/cm}$	0,850432 x conductivité ($\mu\text{mho/cm}$) à 20°C

1.2.3.1.5 Détermination de la température

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

I.2.3.1.6 *Dosage du chlore libre et du chlore total*

✓ **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 photomètre à une longueur d'onde = 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.
- 1- Appuyer la touche MODE pour sélectionner la lecture du chlore libre
- 2- Appuyez sur la touche READ / ENTER pour confirmer votre sélection. L'appareil affichera [STBY] indiquant qu'il est prêt à accepter cette mesure
- 3- Placer le flacon avec la couleur développée dans la cuve échantillon et aligner le repère du flacon sur le repère du mesureur.
- 4- Pousser sur le flacon jusqu'à ce qu'il soit bien placé
- 5- Appuyez sur la touche READ / ENTER. L'appareil affiche la mesure en unités appropriées en 3 secondes.
- 6- Ajouter et écraser le réactif DPD 3, Boucher le flacon avec le bouchon vis à noir fourni et agiter pendant 10 secondes
- 7- 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.
- 8- Appuyer la touche MODE pour sélectionner la lecture du chlore total
- 9- Appuyez sur la touche READ / ENTER pour confirmer votre sélection. L'appareil affichera [STBY] indiquant qu'il est prêt à accepter cette mesure
- 10- Placer le flacon dans la cuve échantillon et aligner le repère du flacon sur le repère du mesureur.
- 11- Pousser sur le flacon jusqu'à ce qu'il soit bien placé
- 12- 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.

I.2.3.2 Mesures réalisées au laboratoire

Les paramètres chimiques (tableau III) ont été dosés à l'aide d'un photomètre à lecture directe, le photomètre 7100 Wag-WE 10441[®]. Il est noté dans ce tableau le numéro du programme de dosage et le temps d'incubation.

Les mesures ont été réalisées sur une bouteille de chaque lot d'eau minérale naturelle.

Tableau VI : Numéros de programme du Palintest et temps d'incubation des paramètres chimiques

Paramètres chimiques	Numéro du programme	Temps d'incubation (en minutes)
Manganèse (Mn)	20	20
Ammonium (NH ₄ ⁺)	62	10
Nitrite (NO ₂ ⁻)	64	10
Aluminium (Al)	03	05
Fluorures (F ⁻)	14	05
Chlorures (Cl ⁻)	46	02
Degré hydrotimétrique total (DHT)	15	02
Titre alcalimétrique complet (TAC)	02	01
Fer (Fe)	19	01
Nitrate (NO ₃ ⁻)	63	10

➤ Principe du photomètre 7100 DE WAGTECH[®]

Le photomètre 7100 de WAGTECH[®] est un photomètre à lecture directe utilisé pour mesurer l'intensité de la couleur qui résulte quand des réactifs chimiques sont ajoutés à un échantillon d'eau. Dans ces tests, l'intensité de la couleur est proportionnelle à la concentration de l'élément en question.

➤ Technique générale :

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon à analyser ;
- 2- Ajouter les pastilles écraser et remuer pour dissoudre ;

- 3- Attendre le temps d'incubation correspondant ;
- 4- Sélectionner le numéro du programme correspondant à l'élément chimique recherché ;
- 5- Insérer un tube témoin contenant 10 mL d'eau distillée dans le support d'éprouvettes ;
- 6- Placer le chapeau pare-lumière sur le tube témoin et appuyer OK ;
- 7- Attendre que l'écran affiche « insérer l'échantillon » puis retirer le tube témoin et insérer l'échantillon dans le support d'éprouvettes ;
- 8- Placer le chapeau pare-lumière sur l'échantillon et appuyer OK ;
- 9- Lire le résultat affiché en mg/L.

I.2.3.2.1 Dosage de l'Ammonium (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 Opérateur**

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

I.2.3.2.2 Dosage des Nitrites (NO_2^-)

✓ **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 Opérateur**

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

- 4- Sélectionner Phot 64 pour mesurer les nitrites en milligramme par litre d'eau (mg/L NO_2^-) ;
- 5- Lire le résultat à la longueur d'onde de 520 nm.

I.2.3.2.3 Dosage des Nitrates (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 Opérateur

- 1- Prélever 20 mL d'échantillon dans le tube Nitratest;
- 2- Ajouter une cuillère de poudre Nitratest et une pastille Nitratest, ne pas écraser la pastille. Fermer le tube avec le capuchon et agiter pendant une minute;
- 3- Attendre une autre minute puis remuer le tube trois ou quatre fois pour permettre la floculation. Attendre encore deux minutes ou jusqu'à l'obtention d'une solution claire;
- 4- Enlever le capuchon et nettoyer le haut du tube avec un papier propre. Transférer le contenu de cette solution claire dans une éprouvette ronde, jusqu'au trait 10 mL;
- 5- Ajouter une pastille Nitricol, écraser et remuer pour dissoudre;
- 6- Attendre 10 minutes jusqu'au développement complet de la couleur;
- 7- Sélectionner la longue d'onde 570 nm du photomètre;
- 8- Lire le résultat qui s'affiche en milligramme de nitrates par litre d'eau (mg/L NO_3^-).

I.2.3.2.4 Dosage des Chlorures (Cl^-) et du Sodium (Na^+)

✓ Principe

Les chlorures d'un volume connu d'eau sont précipités par le nitrate d'argent (AgNO_3^-) en présence d'acide nitrique. La différence d'absorption permet le dosage.

✓ Mode Opérateur

- 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 à la longueur d'onde de 520 nm.
- 6- Le résultat s'affiche en milligramme de Chlorure par litre d'eau (mg/L Cl⁻)
- 7- Aller à la concentration en mg/L de Chlorure de sodium (NaCl)
- 8- Déduire la concentration de sodium par un calcul ($[Na] = [NaCl] - [Cl]$)

I.2.3.2.5 Dosage du Fer (Fe)

✓ **Principe**

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

✓ **Mode Opératoire**

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

I.2.3.2.6 Dosage du Manganèse (Mn)

✓ **Principe**

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

✓ **Mode Opératoire**

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

I.2.3.2.7 Dosage des Fluorures (F⁻)

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

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

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

I.2.3.2.8 Dosage de l'Aluminium (Al)

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

✓ Principe

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

✓ Mode Opératoire

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

I.2.3.2.9 Dosage des Calcium (Ca^{2+}) Potassium (K^+) Magnésium (Mg^{2+})-Sulfates (SO_4^{2-})- Phosphates (PO_4^{3-})

✓ 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 qui 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^- .

I.2.3.2.10 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_2SO_4) en présence d'un indicateur coloré (l'hélianthine) [50].

✓ **Mode Opératoire**

- 1- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon.
- 2- Ajouter une pastille « Alkaphot », écraser et remuer pour dissoudre totalement la pastille.
- 3- Attendre une minute et mélanger encore.
- 4- Sélectionner Phot 2.
- 5- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L CaCO_3 .

I.2.3.2.11 Détermination du Degré Hydrotimétrique Total (DHT)

✓ **Principe**

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

✓ Mode Opératoire

- 1- Filtrer l'échantillon pour obtenir une solution claire.
- 2- Remplir le tube jusqu'à 10 mL de l'échantillon.
- 3- Ajouter une pastille « Hardicol N°1 », écraser et remuer pour dissoudre.
- 4- Ajouter une pastille « Hardicol N°2 », écraser et remuer pour dissoudre.
- 5- Attendre 5 minutes pour permettre le développement de la couleur.
- 6- Sélectionner Phot 15.
- 7- Lire le résultat qui s'affiche en mg/L CaCO_3 .

Remarque:

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

I.2.4 Analyse des paramètres microbiologiques

Cette étude a pour but d'évaluer la flore microbienne sur le plan qualitatif et quantitatif sur le réseau d'adduction d'eau potable de San Pedro. Les méthodes de références AFNOR ont été utilisées pour la recherche des Coliformes totaux, coliformes thermotolérants, *Escherichia coli* [57], des entérocoques [58] et des anaérobies sulfito-réducteurs [59]. – :

I.2.4.1 Technique de la filtration sur membrane :

- 1- Choisir les milieux de culture en fonction des bactéries à chercher et du nombre d'échantillons pour l'analyse ;
- 2- Sécher les milieux à l'étuve ;
- 3- Stériliser la rampe de filtration (postes et entonnoirs) ;

- 4- Sortir les milieux de l'étuve et les étiqueter ;
- 5- Pourvoir les postes de membranes filtrantes 0,45 μ à l'aide de pinces brucelles passées à la flamme ;
- 6- Transférer au moins 250 mL d'échantillon dans l'entonnoir indiqué de la rampe ;
- 7- Fermer le robinet du collecteur ;
- 8- Lancer la filtration par le bouton de mise en route de la pompe électrique ;
- 9- Retirer ensuite les membranes une à une stérilisant à chaque fois les pinces et les porter sur les milieux qui conviennent ;
- 10- Incuber les cultures aux températures convenables.

I.2.4.2 Dénombrement des anaérobies sulfito-réducteurs

✓ **Milieu de culture**

Gélose T.S.N. (Tryptone – Sulfite – Néomycine).

✓ **Principe**

Ce milieu contient un critère de différenciation : le sulfite de sodium dont la réduction est révélé par le fer (précipitation du sulfure de fer).

L'incubation se fait en anaérobiose.

✓ **Mode opératoire**

- Ensemencer sur gélose TSN coulée en tube 1 mL de la solution mère et 1 mL de la dilution au 1/10 ;
- Incuber les tubes à essai à 46°C pendant 48 heures ;
- Dénombrer les colonies entourées d'auréole noire.

I.2.4.3 Dénombrement des coliformes

✓ **Milieu de culture**

Rapid'E coli 2 Agar.

✓ **Principe**

La méthode utilise un milieu chromogénique de dénombrement.

Le principe du milieu repose sur la mise en évidence simultanée de deux activités enzymatiques : la β -D-Glucuronidase (GLUC) et la β -D-Galactosidase (GAL).

Le milieu contient deux substrats chromogéniques :

- un substrat spécifique de la GAL qui entraîne la coloration bleue des colonies positives pour cette enzyme,
- un substrat spécifique de la GLUC qui entraîne la coloration rose des colonies positives pour cette enzyme.

✓ **Mode opératoire**

- Filtrer sur une membrane une prise d'essai (250 mL) de l'eau à analyser soigneusement homogénéisée par agitation. La membrane est ensuite placée à la surface de la gélose Rapid'E coli.
- Incuber durant 18 à 24 heures à une température de 37°C.
- Dénumbrer les colonies :
 - Colonies bleues : coliformes totaux ;
 - Colonies violettes : coliformes thermo tolérants (E. coli).

I.2.4.4 Dénombrement des streptocoques fécaux

✓ **Milieu de culture**

La gélose B.E.A (Bile-Esculine-Azide de sodium).

✓ **Principe**

L'azide de sodium provoque l'inhibition des bactéries contaminantes à Gram négatif.

- La bile de bœuf empêche la croissance des bactéries à Gram positif.
- Les entérocoques hydrolysent l'esculine en glucose 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 (250 mL) de l'eau à analyser soigneusement homogénéisée par agitation. La membrane est ensuite placée à la surface de la gélose B.E.A.

- Incuber durant 24 heures à une température de 37°C.
- Dénombrer les colonies entourées d'un halo noir.

I.2.5 Interprétation des paramètres organoleptiques et physicochimiques

Les paramètres organoleptiques, physicochimiques et bactériologiques ont été interprétés à partir des directives OMS. Des pourcentages de non-conformités des paramètres ont été calculés. L'évolution de ces non-conformités en fonction des années a été représenté sur des graphiques.

I.3 Traitement de données

Les données ont été saisies et traitées avec le logiciel Excel.

II RESULTATS

II.1 Enquête consommateur

L'enquête a été réalisée en 2013 sur une population de 110 ménages.

II.1.1 Sexe du chef de ménage

Le sex-ratio est de 1,94 (Figure 3).

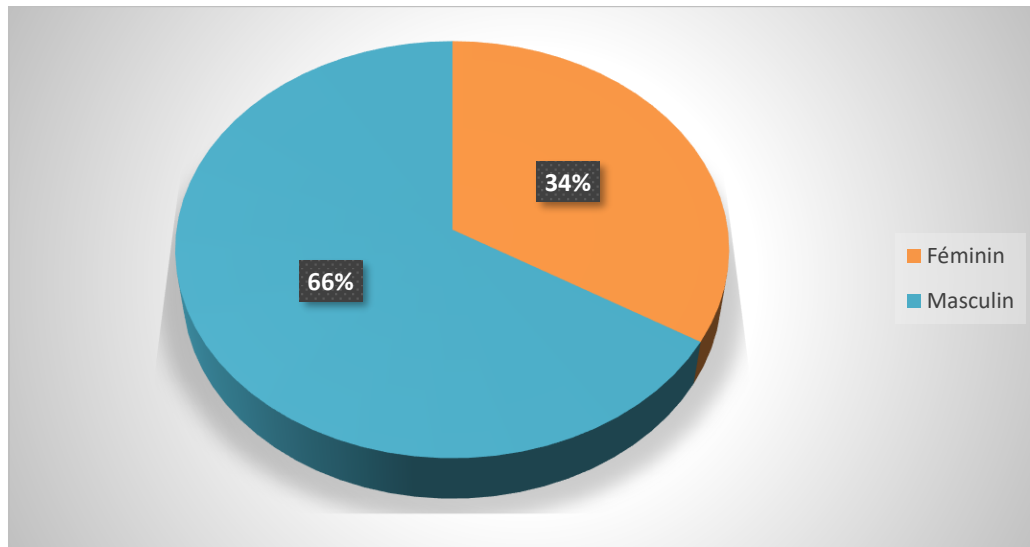


Figure 2 : Evaluation de la qualité de l'eau en fonction du chef de ménage

II.1.2 Niveau d'instruction du chef de ménage

La quasi-totalité des chefs de ménage ont un niveau d'instruction d'au moins le BEPC (Figure 4).

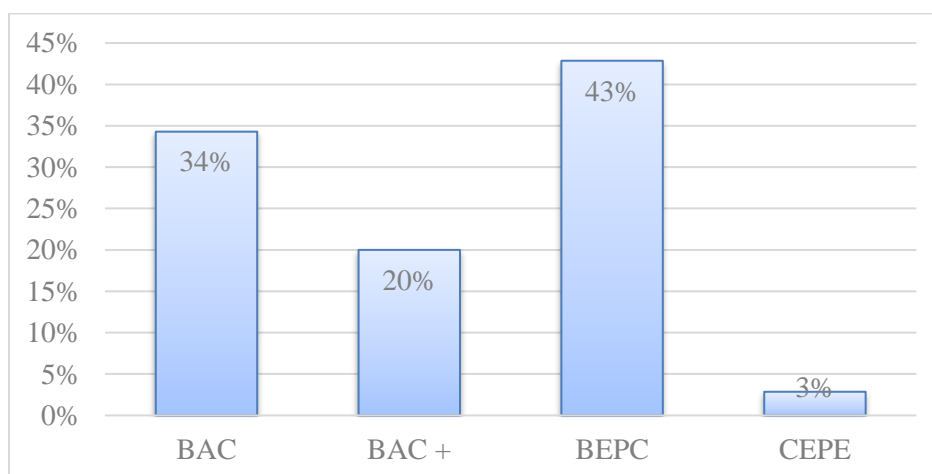


Figure 3 : Répartition du niveau d'instruction des chefs de ménage

socioprofessionnelle du chef de ménage

La plupart des enquêtés sont des salariés (Figure 5).

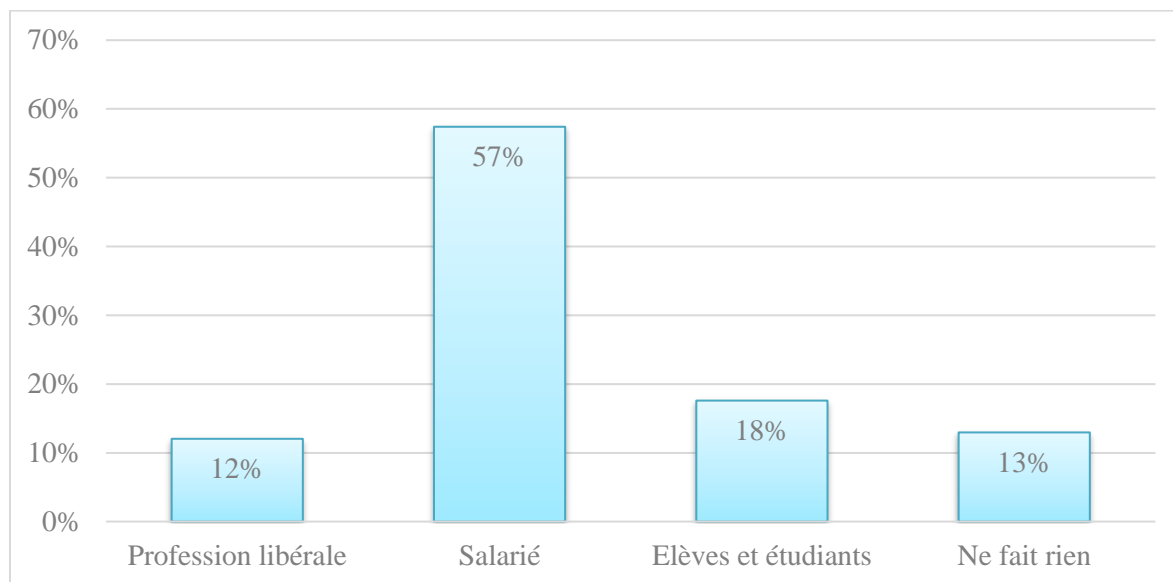
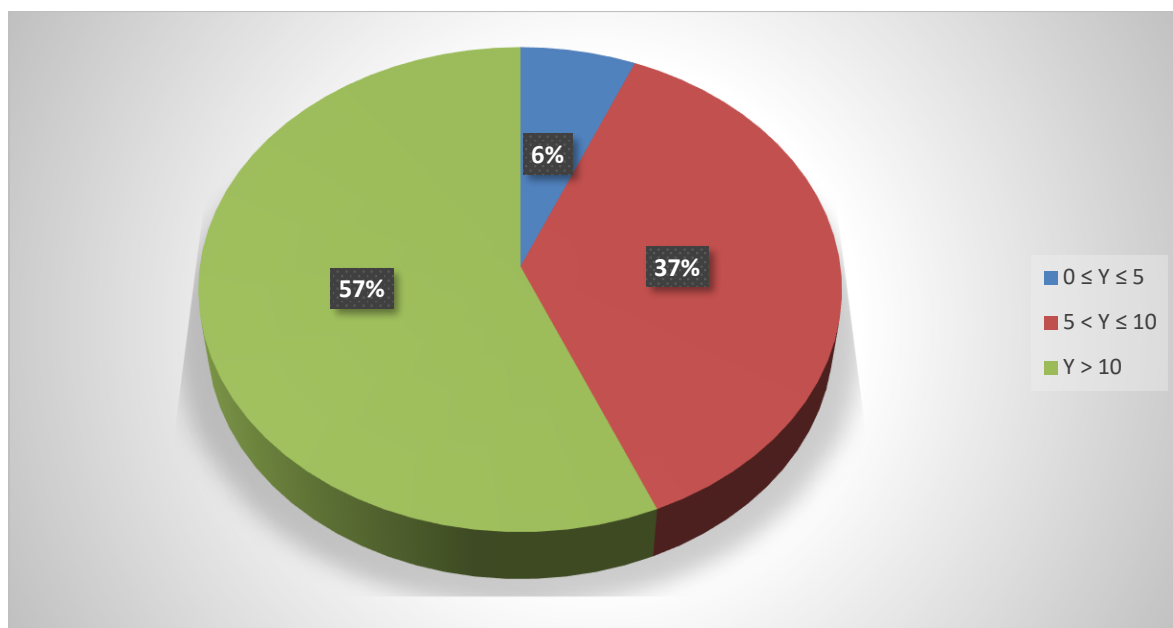


Figure 4 : Répartition du statut socioprofessionnel des chefs de ménage

II.1.4 Taille du ménage

Les ménages ayant plus de 10 personnes sont les plus représentés (Figure 6).



Y=nombre de personnes dans un ménage
Figure 5 : Répartition de la taille du ménage

II.1.5 Qualité organoleptique de l'eau du réseau de distribution

Les enquêtés jugent la qualité organoleptique de l'eau d'adduction publique mauvaise (Figures 7, 8 et 9).

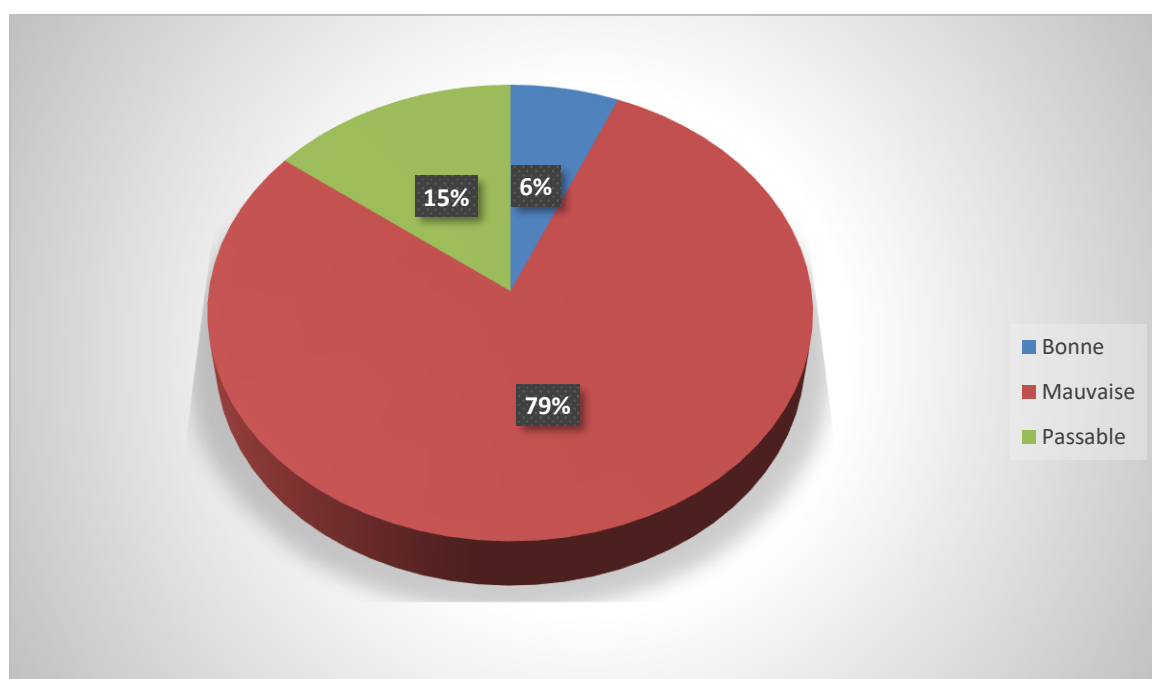


Figure 6 : Appréciation de la couleur de l'eau

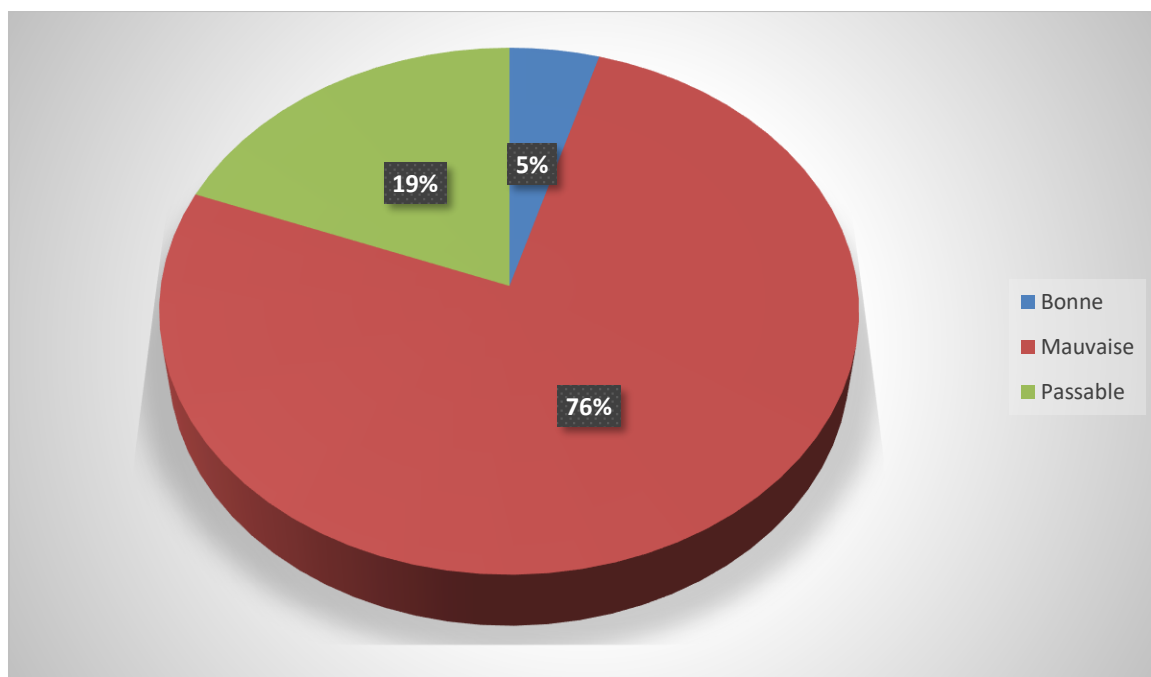


Figure 7 : Appréciation du gout de l'eau

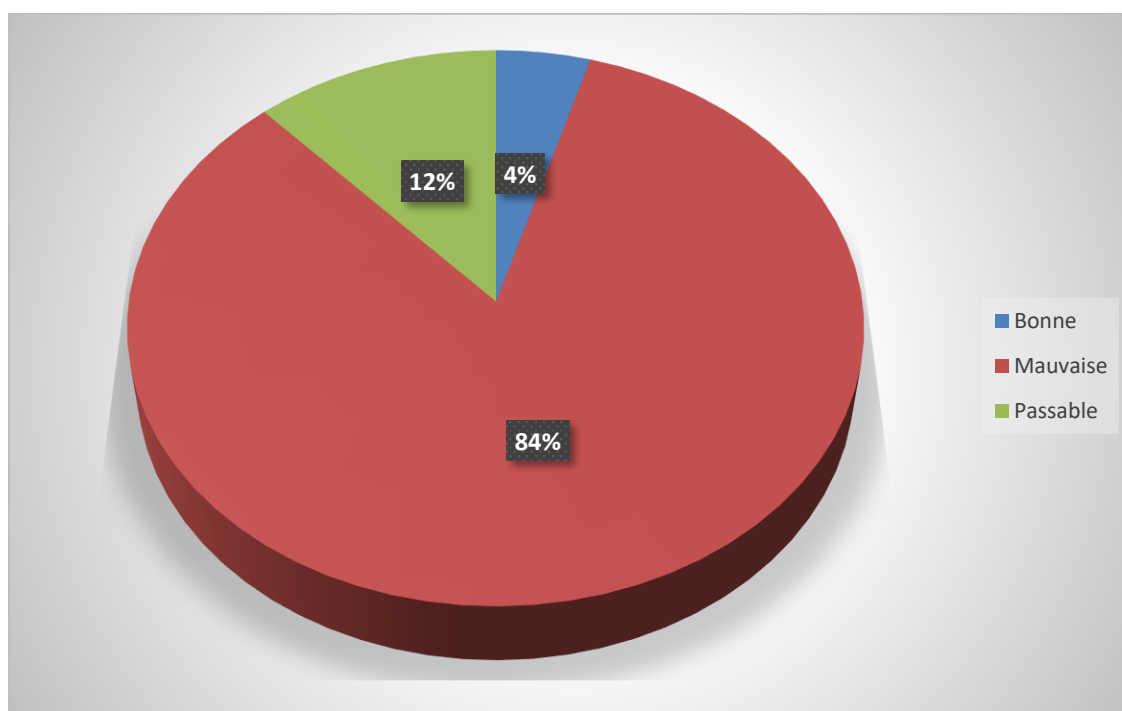


Figure 8 : Appréciation de l'odeur de l'eau

II.1.6 Conservation de l'eau

L'eau est conservée dans 79% des ménages (Figure 10) avec un temps de conservation pouvant dépasser 7 jours (Figure 11). Les eaux sont généralement conservées dans des

sceaux en plastiques et quelques fois dans des barriques en métal (Figure 12). Les récipients de conservation sont couverts dans 87% des cas (Figure 13).

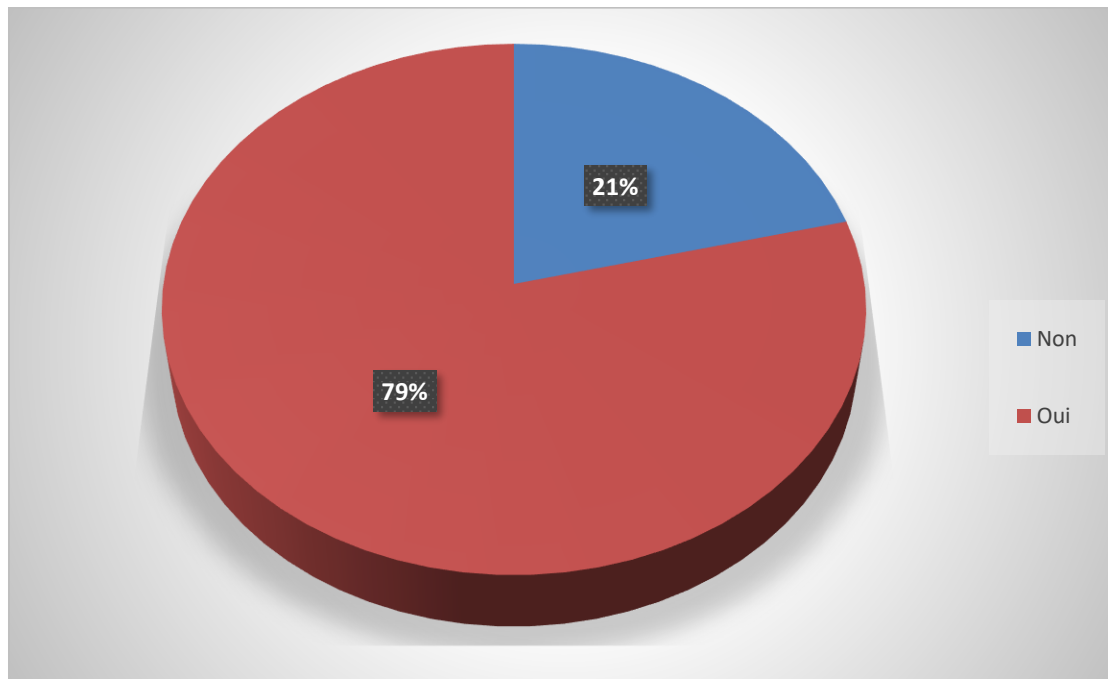


Figure 9: Conservation de l'eau

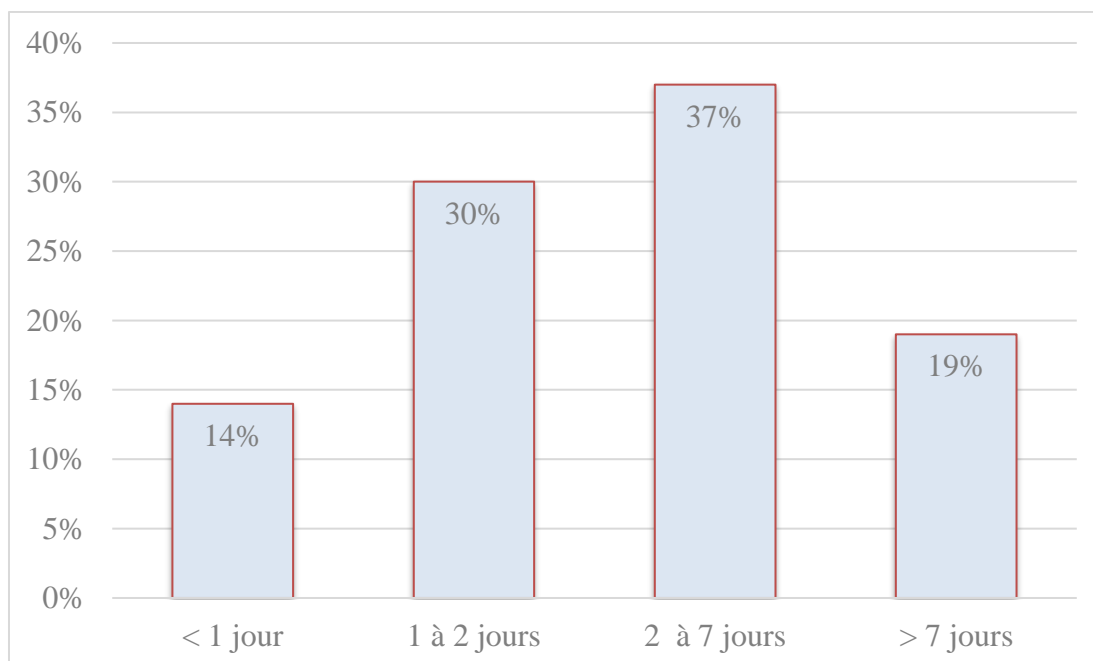


Figure 10 : Temps de conservation de l'eau

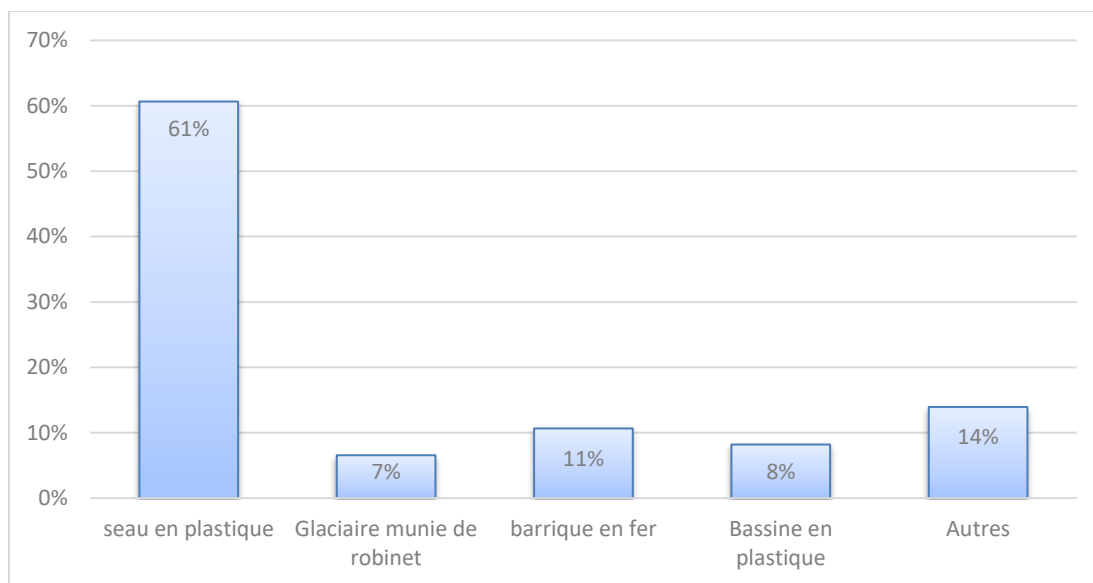


Figure 11 : Evaluation liée au type de récipient pour la conservation de l'eau

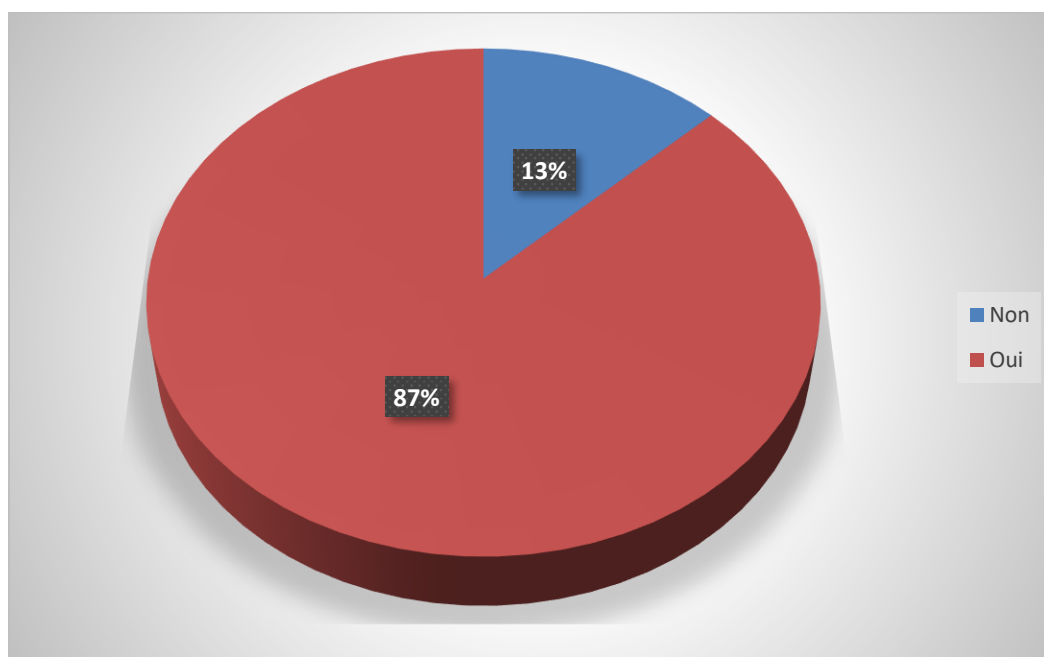


Figure 12: L'existence de couverture du récipient de conservation de l'eau

II.1.7 Connaissance des risques sanitaires

La connaissance des chefs de ménage sur les risques sanitaires liés à l'eau est satisfaisante (Figure 14). Sur les 110 enquêtés, 90 ont répondu à la question de la connaissance ou non d'une victime de ces pathologies (Figure 15). Les maladies diarrhéiques et les maux de ventre sont les plus incriminés (Figure 16).

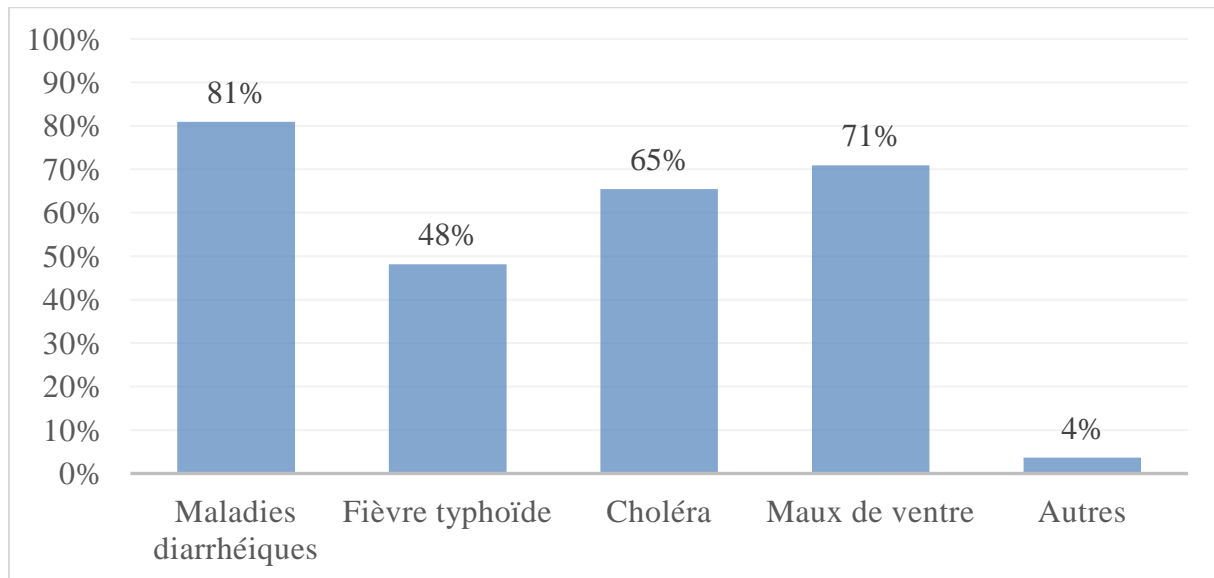


Figure 13 : Connaissance des risques liés à la consommation d'une eau insalubre

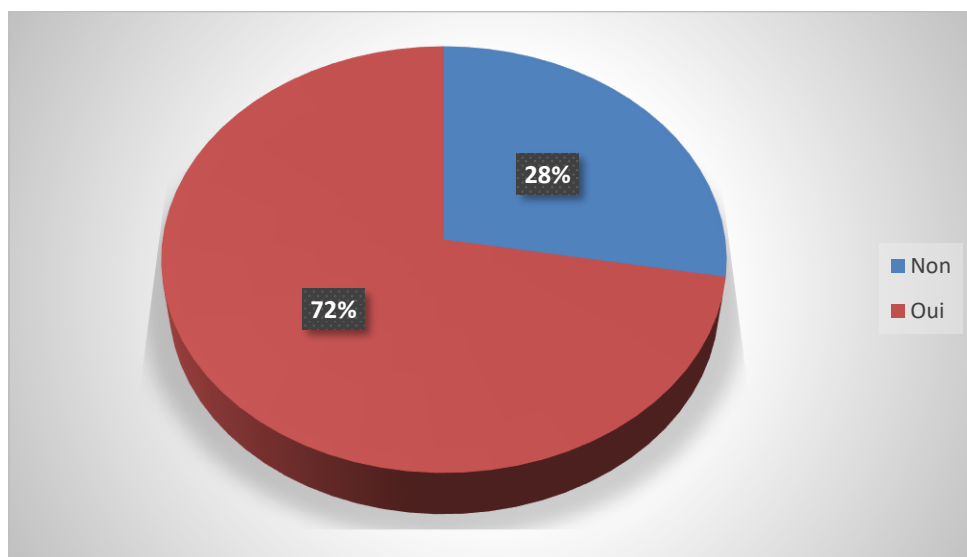


Figure 14 : Connaissance d'une victime de maladie d'origine hydrique

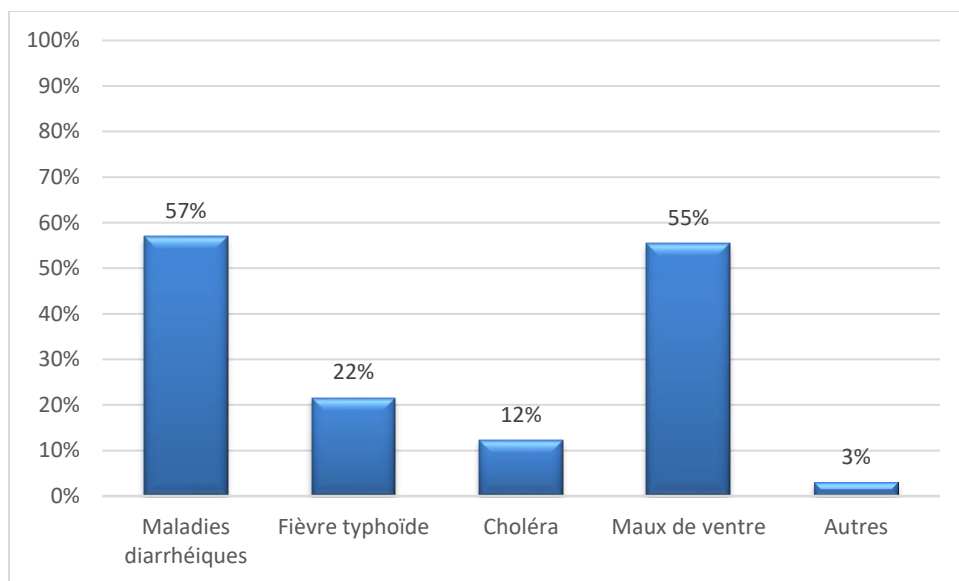


Figure 15 : Maladie mise en cause par 65 enquêtés pour des cas connus

II.2 Inspection sanitaire du système de production et de distribution d'eau

L'inspecteur du réseau d'adduction publique de San Pedro a été réalisée en 2013, 2014, 2015 et 2016. Les principales non-conformités sont résumées dans le tableau VII.

Tableau VII : Inspection sanitaire

	2013	2014	2015	2016
Matériel	Radeau fonctionnel et hydromobile non fonctionnel	Radeau fonctionnel et hydromobile non fonctionnel	Radeau fonctionnel et hydromobile non fonctionnel	Radeau et hydromobile fonctionnels
4 Châteaux d'eau	Un non fonctionnel	Fonctionnels	Fonctionnels	Fonctionnels
Conduites d'eau	Fonte et PVC	Fonte et PVC	Fonte et PVC	Fonte et PVC
Main d'œuvre	Personnel non vacciné	Personnel non vacciné	Personnel non vacciné	Personnel non vacciné
Milieu	Bâtiment vétuste Absence de périmètre de protection du point de captage	Bâtiment vétuste, Absence de périmètre de protection du point de captage	Bâtiment dégradé Absence de périmètre de protection du point de captage	Bâtiment dégradé Absence de périmètre de protection du point de captage
Matières premières			Absence de sable dans un bac sur trois	Sable de filtration insuffisant
Méthodes (traitement de type complet)	Désinfection non correct	Désinfection non correct	Insuffisance de la filtration, Désinfection non correct	Insuffisance de la filtration, Désinfection non correct

La source d'eau brute de la station de San Pedro provient de la rivière San Pedro. Il n'existe pas de périmètre de protection à l'exhaure. On note la présence de plantations de cacao et de champs de manioc aux alentours. Les gens y pratiquent aussi la pêche (Figure 2). Il existe deux systèmes de captage d'eau brute, un ancien système à radeau et l'hydromobile. Les deux systèmes n'ont été fonctionnels qu'en 2016.



Figure 16 : Une pirogue de pêcheurs au point de captage

La station de traitement de l'eau d'adduction publique dispose de trois unités de production. Le traitement de type complet comprend les étapes suivantes :

- la préoxydation- coagulation-floculation-décantation
- la filtration
- la désinfection
- la neutralisation

II.3 Contrôle qualité de l'eau d'adduction publique

II.3.1 Résultats globaux

Les prélèvements d'échantillons d'eau ont été effectués sur différents points du réseau d'adduction publique pour le contrôle qualité de seize (16) paramètres physico-chimiques et quatre (5) paramètres bactériologiques par échantillon d'eau. Au total, pour les quatre années d'étude, trente et un (31) échantillons ont été prélevés et analysés. Les taux annuels d'échantillons analysés sont très faibles par rapport au référentiel de l'OMS (Figure 16). Les résultats des paramètres physico-chimiques et microbiologiques classiques analysés sont consignés dans les tableaux VII à X. Les paramètres non-conformes qui reviennent de façon régulière sont principalement le pH, la turbidité, le chlore résiduel et à un degré moindre, l'aluminium, la couleur et la présence d'*Enterococcus faecalis*.

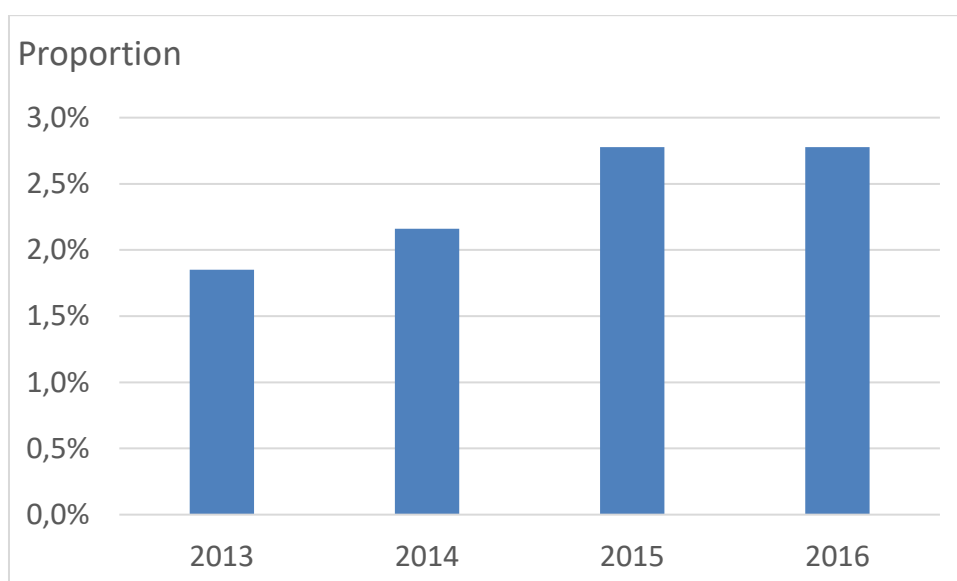


Figure 17 : Proportion annuelle des échantillons analysés par rapport au référentiel OMS

Tableau VIII : Paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau d'adduction de la ville de San Pedro de 2013

Point de prélèvement	STATION	ENTREE	MILIEU I	MILIEU II	MILIEU III	MILIEU IV
Date de prélèvement	20/06/2013	20/06/2013	20/06/2013	20/06/2013	20/05/2013	20/06/2013
Heure de Prélèvement	10H 00	10H 35	11H 00	11H 15	11H 45	12H 05
Date d'Analyse	20/06/2013	20/06/2013	20/06/2013	20/06/2013	20/05/2013	20/06/2013
Heure d'Analyse	13H 30	13H 30	13H 30	13H 30	13H 30	13H 30
Couleur	5	5	5	5	5	5
Turbidité	2,15	2,68	2,29	3,14	1,29	2,58
Minéralisation	71,15	68,75	74,25	72,15	74,20	68,90
pH	5,8	5,73	5,7	5,4	6,1	5,6
Nitrates						
Nitrites	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
Ammonium	0,22	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Matières Organiques	0,92	0,75	0,59	0,76	0,26	0,97
Chlorures						
Dureté Total	30	30	25	30	25	30
Alcalinité						
Chlore résiduel	3,30	0,10	0,55	0,05	0,05	0,07
Fer	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Manganèse	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Aluminium						
Fluorures	0,82	1,12	1,14	0,77	0,92	0,34
Coliformes totaux	0	0	0	0	0	0
Coliformes Thermotolérants	0	0	0	0	0	0
<i>E. coli</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Enterococcus faecalis</i>	0	0	0	0	0	0
Spores-clostridies	00	00	00	00	00	00

Tableau IX : Paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau d'adduction de la ville de San Pedro de 2014

Point de prélèvement	STATION	ENTREE	MILIEU I	MILIEU II	MILIEU III	MILIEU IV	FIN
Date de prélèvement	03/04/2014	03/04/2014	03/04/2014	03/04/2014	03/04/2014	03/04/2014	03/04/2014
Heure de Prélèvement	09H 07	09H 45	09H 55	10H 13	10H 37	11H 05	11H 33
Date d'analyse	03/04/2014	03/04/2014	03/04/2014	03/04/2014	03/04/2014	03/04/2014	03/04/2014
Heure d'Analyse	13H 15	13H 15	13H 15	13H 15	13H 15	13H 15	13H 15
Couleur	05	05	05	05	05	05	05
Turbidité	1,55	0,50	0,88	1,25	0,47	0,65	0,56
Minéralisation	72,8	55,5	61,15	60,25	61,9	56,05	59,25
pH	7,3	6,5	6,5	7,0	6,4	6,4	6,5
Nitrates	3,10	2,40	2,60	2,60	3,80	2,80	3,20
Nitrites	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
Ammonium	0,03	0,06	0,03	0,02	0,01	0,06	0,03
Matières Organiques	0,00	3,23	2,95	0,56	2,95	0,56	3,23
Chlorures	17,5	8,5	46,0	12,0	12,5	9,7	11,0
Dureté Total	45	25	30	30	30	25	20
Alcalinité	15	10	05	10	10	05	05
Chlore résiduel	10,4	0,42	4,80	4,40	0,11	0,12	3,10
Fer	0,10	0,05	0,01	0,00	0,01	0,05	0,10
Manganèse	0,001	0,034	0,003	0,005	0,000	0,044	0,004
Aluminium	0,18	0,10	0,16	0,18	0,11	0,09	0,09
Fluorures	0,53	0,10	0,21	0,54	0,12	0,10	0,30
Coliformes totaux	00	00	00	00	00	05	00
Coliformes Thermotolérant	00	00	00	00	00	02	00
<i>E. coli</i>	00	00	00	00	00	03	00
<i>Enterococcus faecalis</i>	00	00	00	00	00	00	00
Spores-clostridies	00	00	00	00	00	00	00

Tableau X : Paramètres Physico-chimiques et Microbiologiques de l'eau d'adduction de la ville de San Pédro de 2015

Point de prélèvement	STATION	ENTREE	MILIEU I	MILIEU II	MILIEU III	MILIEU IV	MILIEU V	MILIEU VI	FIN
Date de prélèvement	19/12/20 15	19/12/20 15	19/12/20 15	19/12/20 15	19/12/20 15	19/12/20 15	19/12/20 15	19/12/20 15	19/12/20 15
Heure de Prélèvement	8H 46	09H 59	10H 27	10H 54	11H 11	11H 27	12H 53	13H 12	13H 50
Date d'Analyse	19/12/20 15	19/12/20 15	19/12/20 15	19/12/20 15	19/12/20 15	19/12/20 15	19/12/20 15	19/12/20 15	14H 23
Heure d'Analyse	14H 23	14H 23	14H 23	14H 23	14H 23	14H 23	14H 23	14H 23	
Couleur	25	25	25	15	25	25	15	20	25
Turbidité	6,27	5,41	17,9	4,84	6,20	5,66	4,36	4,85	7,62
Minéralisati on	56,95	55,6	61,05	60,95	59,75	58	62,8	60,8	59,35
pH	6,9	6,6	6,5	6,7	6,7	6,6	6,5	6,5	6,7
Nitrates	0,48	0,36	0,44	0,64	0,56	0,38	0,74	0,42	0,58
Nitrites	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01
Ammonium	0,04	0,08	0,06	0,09	0,06	0,01	0,01	0,03	0,04
Matières Organiques	3,00	2,33	3,33	3,0	2,66	2,33	2,66	2,33	3,00
Chlorures	0,1	0,3	10,5	11,0	11,0	8,8	11,0	10,5	12,0
Dureté Total	30	30	45	40	45	55	35	55	60
Alcalinité	5	5	15	35	25	5	95	0	15
Chlore résiduel	4,90	3,50	2,90	0,07	1,49	2,50	0,34	1,18	2,8
Fer	0,35	0,05	0,20	0,05	0,15	0,10	0,10	0,05	0,10
Manganèse	0,004	0,003	0,002	0,007	0,008	0,002	0,003	0,004	0,003
Aluminium	0,34	0,36	0,70	0,80	0,44	0,47	0,45	0,46	0,44
Fluorures	0,54	0,21	0,53	0,12	0,10	0,10	0,25	0,18	0,22
Coliformes totaux	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Coliformes Thermotolér ant	00	00	00	00	00	00	00	00	00
<i>E. coli</i>	00	00	00	00	00	00	00	00	00
<i>Enterococcus faecalis</i>	00	00	00	09	00	00	00	00	00
Spoires- clostridies	00	00	00	00	00	00	00	00	00

Tableau XI : Paramètres Physico-chimiques et Microbiologiques de l'eau d'adduction de la ville de San Pédro de 2016

Point de prélèvement	STATION	ENTREE	MILIEU I	MILIEU II	MILIEU III	MILIEU IV	MILIEU V	MILIEU VI	FIN
Date de prélèvement	17/10/2016	17/10/2016	17/10/2016	17/10/2016	17/10/2016	17/10/2016	17/10/2016	17/10/2016	17/10/2016
Heure de prélèvement	10H15	10H 42	9H 30	11H 02	11H 34	11H 51	12H 10	12H 41	13H 12
Date analyse	17/10/2016	17/10/2016	17/10/2016	17/10/2016	17/10/2016	17/10/2016	17/10/2016	17/10/2016	17/10/2016
Heure analyse	14H30	14H30	14H30	14H30	14H30	14H30	14H30	14H30	14H30
Couleur	10	10	05	05	10	10	10	05	10
Turbidité	6.14	4.06	2.44	4.06	3.27	0.89	3.02	2,20	3.10
Minéralisation	51.0	50.55	51,5	52,1	51,2	50,0	50,75	49,85	50.85
pH	7.0	6.8	6.6	6.7	6.2	6.3	6.3	6.4	6.0
Nitrates	0.88	0.64	0.62	0.64	0.74	0.48	0.36	0.48	0.48
Nitrites	0.00	0.01	0.03	0.02	0.01	0.04	0.02	0.00	0.00
Ammonium	0.01	0.00	0.00	0,00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.01
Matières Organiques	1.38	0.01	0.55	1.10	1.38	0.28	0.83	0.28	1.38
Chlorures	12.5	12.0	11.0	12.5	12.0	10.5	11.5	12.0	12.0
Dureté Total	25	15	25	20	20	20	20	05	20
Alcalinité	15	25	45	30	15	15	20	20	25
Chlore résiduel	3.5	2.8	1.55	2.8	2.4	0.01	1.58	1.36	2.10
Fer	0.05	0.05	0.00	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Manganèse	0.008	0.008	0.013	0.009	0.008	0.036	0.011	0.008	0.008
Aluminium	0.49	0.25	0.31	0.28	0.41	0.05	0.43	0.13	0.29
Fluorures	0.39	0.28	0.18	0.24	0.26	0.15	0.19	0.20	0.33
Coliformes totaux	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Coliformes Thermotolérant	00	00	00	00	00	00	00	00	00
<i>E. coli</i>	00	00	00	00	00	00	00	00	00
<i>Enterococcus faecalis</i>	12	11	01	00	00	00	01	00	00
Spores-clostridies	00	00	00	00	00	00	00	00	00

II.3.2 Les non-conformités globales

Le pourcentage d'échantillons ayant présenté au moins un paramètre non conforme est évalué à 96,7%. Sur les six cent vingt-sept (627) paramètres analysés, quatre - vingt - sept (87 soit 13,9%) sont montré non conformes (Tableau XII).

Tableau XII : Pourcentage de non-conformité des paramètres analysés

Paramètres	Nombre de paramètres analysés	Nombre de paramètres non-conformes	Pourcentage de non-conformité
Couleur	31	0	0,0%
Turbidité	31	22	71,0%
Minéralisation	31	0	0,0%
pH	31	12	38,7%
Nitrates	25	0	0,0%
Nitrites	31	0	0,0%
Ammonium	31	0	0,0%
Matières Organiques	31	0	0,0%
Chlorures	25	0	0,0%
Dureté Total	31	0	0,0%
Alcalinité	25	0	0,0%
Chlore résiduel	31	28	90,3%
Fer	31	1	3,2%
Manganèse	31	0	0,0%
Aluminium	25	16	64,0%
Fluorures	31	0	0,0%
Coliformes totaux	31	1	3,2%
Coliformes Thermotolérants	31	1	3,2%
<i>E. coli</i>	31	1	3,2%
<i>Enterococcus faecalis</i>	31	5	16,1%
Spores-clostridies	31	0	0,0%
Total	627	87	13,9%

II.3.3 Evolution des paramètres non conformes au cours des années

L'évolution globale annuelle des paramètres non conformes est présentée sur la Figure 18. De façon spécifique, l'évolution des non-conformités des paramètres organoleptiques, physicochimiques et du chlore résiduel sont présentés respectivement sur les figures 19, 20 et 21.

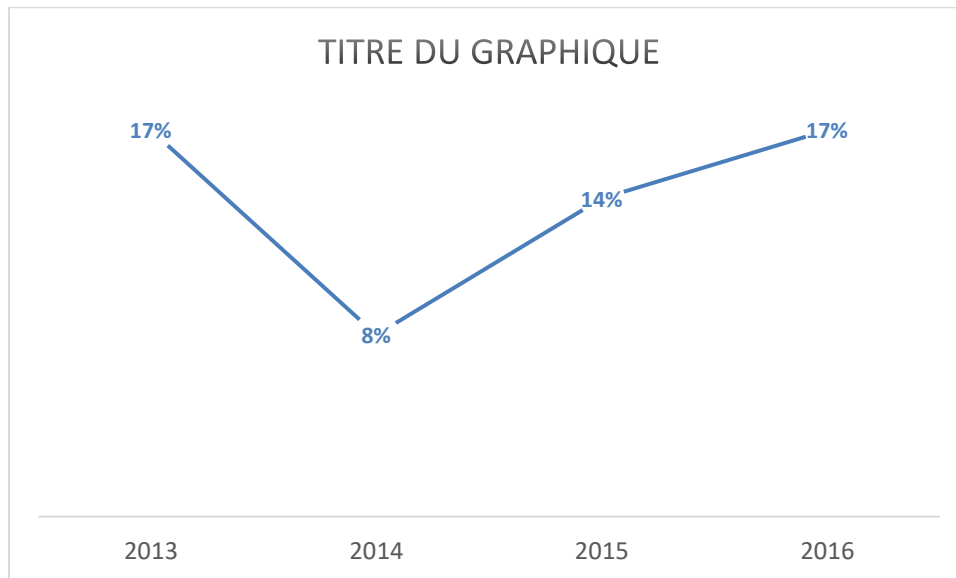


Figure 18 : Evolution globale des pourcentages des non-conformités des paramètres analysés

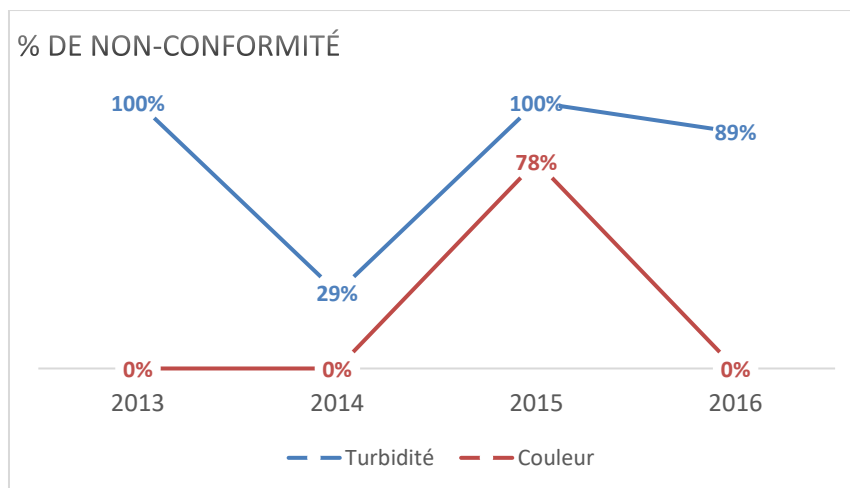


Figure 19 : Evolution des non-conformités des paramètres organoleptiques

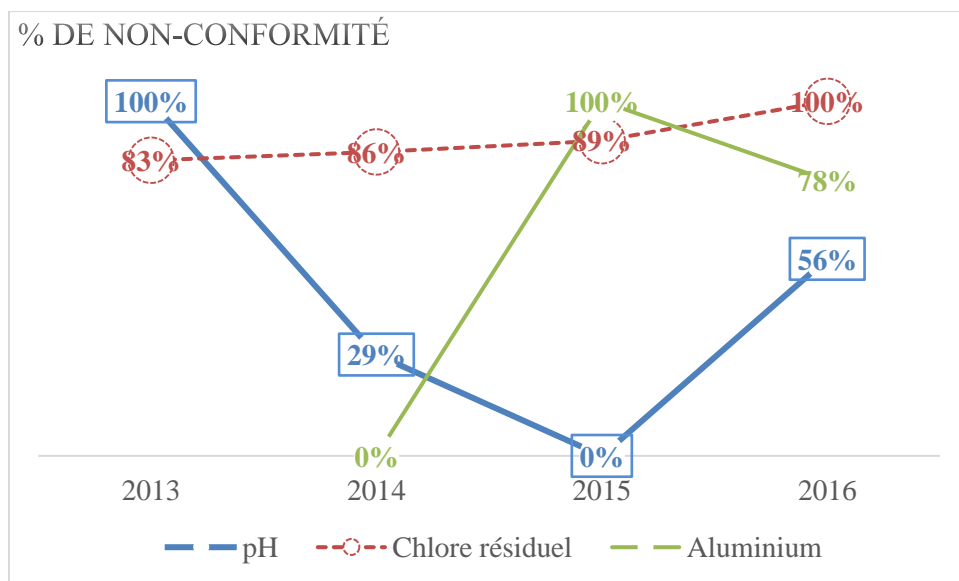


Figure 20 : Evolution des non-conformités des paramètres physicochimiques

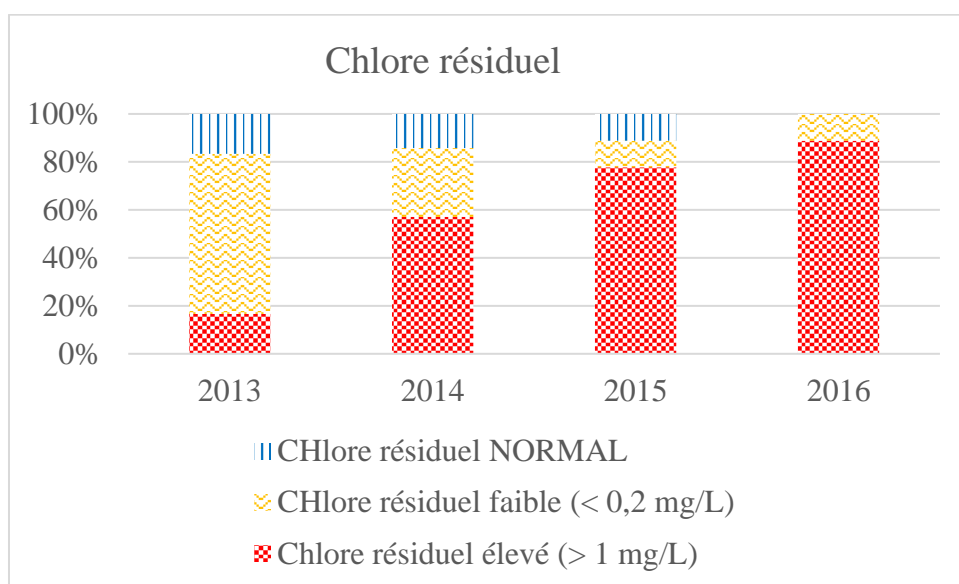


Figure 21 : Evolution des non-conformités de la teneur en chlore résiduel

III DISCUSSION

La surveillance sanitaire a pour objectif de garantir la qualité hygiénique des eaux de consommation. Pour atteindre cet objectif, plusieurs actions préventives sont menées à savoir :

- ✓ l'inspection sanitaire des sources d'approvisionnement, du système de traitement
- ✓ l'enquête consommateur,
- ✓ le contrôle de la qualité (physicochimique et bactériologique) de l'eau notamment d'adduction publique et
- ✓ la surveillance épidémiologique des maladies à transmission hydriques.

Ce présent travail relatif à la surveillance sanitaire de l'eau d'adduction publique de San Pedro a concerné les trois premiers aspects (l'inspection, l'enquête et le contrôle qualité) ci-dessus.

L'enquête consommateur réalisée en 2013 a mis en évidence des plaintes de population concernant la qualité de l'eau d'adduction publique. Ces plaintes sont superposables aux résultats de l'inspection de la station de traitement où la dégradation continue des installations et l'insuffisance du traitement complet de l'eau de surface ont été notés. La source d'eau n'est pas protégée. Des champs notamment de cacao sont aux abords du cours d'eau. L'utilisation des produits phytosanitaires au sein de ces champs et la pêche pourraient constituer un risque de contamination chimique de l'eau brute.

Les résultats des campagnes de prélèvement des échantillons d'eau ont montré qu'au cours de ces quatre années (2013 à 2016), moins de 3% du nombre minimal de prélèvements prescrit par les recommandations de l'OMS ont été effectués. Selon les estimations de l'OMS, le nombre d'échantillons d'eau à prélever est en rapport avec la densité de la population. Pour la commune de San Pedro qui compte 174 000 habitants en 2014, le nombre d'échantillons mensuelle est évalué à 27 ; soit 324 échantillons d'eau par an. Ce faible taux d'échantillons analysés est essentiellement dû à l'absence de financement de l'activité. Les analyses de laboratoire ont montré que le pourcentage

d'échantillons d'eau analysés non conforme est estimé à 96,7%. Les non conformités au plan microbiologique ont porté sur 16,1% des prélèvements effectués. Les microbes retrouvés ont été les coliformes totaux, les coliformes thermotolérants et *E. coli* pour un (1) cas sur 31 et la présence d'*Enterococcus faecalis* pour 4 cas sur 31. La présence de *E. coli* est associée à une faible teneur en chlore résiduel comme l'ont signalé plusieurs auteurs [60, 61]. Contrairement à *E. coli*, la présence d'*Enterococcus faecalis* est associée une teneur élevée en chlore résiduelle et en turbidité. La désinfection d'une eau n'est efficace que lorsqu'elle est effectuée sur une eau ayant une faible turbidité. La présence de ces germes dans l'eau traitée pourrait provoquer de graves intoxications dans la population. Ceci pourrait en partie expliquer l'incidence élevée de la diarrhée estimée à 30,07‰ dans la population générale contre 80,69‰ dans la population infanto-juvénile (0 à 4 ans) à San Pedro [62].

Un taux de chlore résiduel supérieur allant de 1 mg à 4 mg associé à une turbidité élevé (1 à 10 UNT) peut générer des sous-produits de chloration comme les trihalométhanés (THM) qui peuvent être cancérigènes.

La non-conformité observée du pH est liée à une insuffisance de traitement de neutralisation. Le pH acide est un facteur qui intervient dans la corrosion des canalisations et des équipements de stockage. En effet la corrosion peut provoquer une rupture des canalisations d'où l'exposition à une contamination par les eaux usées ou toutes autres sources de pollution. Concernant les équipements de stockage les risques chimiques sont liés au fait que certains ménages stockent les eaux dans des récipients métalliques souvent imperméabilisés par de la peinture ou du goudron d'où le risque de relargage des métaux lourds comme le plomb et le cadmium dans ces eaux stockées. Le relargage peut également se faire dans les eaux des canalisations en fonte de San Pedro.

Enfin le dernier paramètre le plus indexé est l'aluminium. L'aluminium fait partie des paramètres indésirables. La non-conformité due à cet élément est de 67%. Ce pourcentage est largement supérieur à ceux obtenus à Grand Bassam, Bonoua, Dabou,

Montezo-Alépé et Songon et inférieur à ceux de Jacqueville et Agboville [63]. Ce paramètre a été classé dans les paramètres indicateurs dont les valeurs ont été fixées uniquement à des fins de contrôle, notamment vis-à-vis du fonctionnement des installations de traitement.

En effet, pour l'expertise collective de l'Institut de Veille Sanitaire (InVS), l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) et l'Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé (AFSSAPS) [64], il n'existe pas d'éléments de preuve suffisants pour considérer que l'aluminium a un rôle causal dans la maladie d'Alzheimer. Aussi, Cette expertise n'a mis en évidence aucun effet toxique avéré de la consommation d'aluminium contenu dans l'alimentation et l'eau dans la population générale française. Compte tenu de l'insuffisance de connaissances actuelles sur la toxicité de l'aluminium, l'OMS a adopté une valeur guide pour l'aluminium dans l'eau de boisson égale à 0,2 mg/l, valeur non fondée sur des considérations sanitaires mais sur des considérations de la coloration de l'eau traitée.

Au total, force est de constater que le contrôle de la qualité des eaux d'approvisionnement public de San Pedro ne permet pas de garantir une sécurité à la consommation de l'eau distribuée au public.

CONCLUSION

Au terme de cette étude qui avait pour but l'évaluation de la qualité de l'eau d'adduction publique de la ville de San Pedro, la méthodologie adoptée était de :

- réaliser une inspection sanitaire des réseaux d'adduction publique ;
- réaliser une enquête consommateur ;
- contrôler la qualité physicochimique et microbiologique de l'eau.

L'inspection du réseau d'adduction publique a montré des non-conformités au niveau de la protection de la ressource, de la filtration et de la désinfection. L'enquête consommateur a objectivé des plaintes concernant la quantité et la qualité (couleur, particules en suspension) de l'eau de consommation. Les caractéristiques organoleptiques et physicochimique des 31 échantillons d'eau traitée sur les 4 années ont présenté un pH acide dans 41,94% des cas ; une turbidité supérieure à 1 NTU dans 80,65% des cas ; un taux de chlore résiduel non conforme dans 90,32% des cas ; un taux d'aluminium non conforme dans 48,38% des cas et une couleur non conforme dans 22,58% des cas. Pour la bactériologie, 3,22% des échantillons contenaient des Coliformes totaux, des Coliformes thermotolérants et des E. coli et 16,13% des Enterococcus faecalis. Globalement, 80% ne respectent pas les normes d'une potable. Il est nécessaire pour les autorités de veiller à la fourniture d'eau potable pour la population et impératif pour ces derniers de traiter l'eau par des techniques de traitement de l'eau à domicile avant toute consommation afin de préserver leur santé.

REFERENCES

1. Programme mondial des Nations Unies pour l'évaluation des ressources en eau, *Résumé exécutif du rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau. Eau et Energie*. WWDR 2014. 12.
2. OMS, *Stratégie mondiale de la Santé pour tous d'ici l'an 2000*. Série Santé pour tous N°3 1981, Genève. 92.
3. Programme des Nations Unies pour l'environnement, *Rapport du Directeur exécutif sur les résultats des réunions intergouvernementales présentant un intérêt pour le Conseil d'administration/Forum ministériel mondial sur l'environnement*. 2006, UNEP/GCS S. IX/8, Dubaï. 16.
4. OMS, *Statistiques sanitaires mondiales 2015*. 2015, Genève, NLM classification: WA 900.1, . 40.
5. WHO and UNICEF, *25 years Progress on Sanitation and Drinking Water : 2015 update and MDG assessment*. 2015, New York –Genève, . 90.
6. République de Côte d'Ivoire, *LOI n°98-755 du 23 décembre 1998 portant Code de l'Eau*. 1998, Abidjan. 24.
7. Marin, P., et al., *Un partenariat réussi pour l'eau en Côte d'Ivoire*. 2009, Abidjan, Côte d'Ivoire: PPIAF, Gridlines. 4.
8. UNICEF Côte d'Ivoire, *Programme d'Hydraulique et d'Assainissement pour le Millénaire (PHAM)-CI, CRIS 024147*. 2012, Abidjan. 10.
9. Amin, et al., *Qualité physicochimique et bactériologique des eaux d'adduction publique de huit communes en Côte d'Ivoire*. J. sci. pharm. biol. J. sci. pharm. biol., 2008. **9**(1): p. 22-31.
10. WHO, *Guidelines for drinking-water quality, fourth edition*. 2011, Geneva, NLM classification: WA 675,. 518.
11. Centre belge d'étude et de documentation des eaux, *La Tribune du CEBEDEAU*. 1983. **36**(470 à 481): p. 383.
12. Hartemann, P., *Eau de consommation, risque, santé* Sciences Eaux & Territoires, 2013. **1**(10): p. 14-21
13. Union Européenne, *Directive n° 2015/1787 du 06/10/15 modifiant les annexes II et III de la directive 98/83/CE*. 2015.
14. American Public Health Association, et al., *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 1976, 22e édition. Washington, DC
15. Bean, E.L., *Progress report on water quality criteria*. J. Am. Water Works Assoc. , 1962. **54**: p. 1313.
16. Suffer, I., et al., *Development of a Methodology to Identify Odor Objection and Odor Rejection Concentrations for Taste and Odor Compounds in Drinking Water*. Proc., in Annual Conference and Exposition. 2013: AWWA, Denver.
17. Proulx, F., M. Rodriguez , and J.-B. Sérodes, *Les goûts et les odeurs dans l'eau potable : revue des composés responsables et des techniques de mesure*. Journal of Water Science, 2010. **23**(3): p. 303-323
18. Baker, R.A., *Taste and odours joint discussion: examination of present knowledge* J. Am. Water Works Assoc., 1966. **58**: p. 695.
19. AFNOR, *NF EN 1622 – Détermination du seuil d'odeur (TON) et du seuil de flaveur (TFN)*. 2006.
20. Santé Canada, *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada Document technique : la turbidité*. 2013. p. 96. www.santecanada.gc.ca.
21. Leland, D.E. and M. Damewood, *Slow sand filtration in small systems in Oregon*. J. Am. Water Works Assoc., 1990. **82**(6): p. 50-59.
22. Hunter, J., L. Rey, and D. Scott, *L'action de prévention et de lutte contre les maladies dans le cadre des grands travaux hydrauliques*. hydrobiologie, 1980. **60**: p. 198-211.
23. Hoak, R.D., *The thermal pollution problem*. J. Water Pollut. Control Fed. , 1961. **33**: p. 1267.
24. Rodier, J., *L'analyse de l'eau*. 9ème ed. 2009, Dunod, Paris. 1579.
25. United States Environmental Protection Agency, *Quality criteria for water. Office of Water and Hazardous Materials*. 1976, Washington, DC, Rep. EPA-440/9-76-023, .
26. OMS, *Directives pour la qualité de l'eau de boisson*,. 2011. **quatrième édition**. OMS, Genève, Suisse(www.who.int/water_sanitation_health/dwg/secondaddendum20081119.pdf).

27. Tihansky, D.P., *Economic damages from residential use of mineralized water supply*. . Water Resour. Res., 1974. **10**(2): p. 145.
28. Canada, S., *Document de conseils sur le potassium provenant des adoucisseurs d'eau*. Mai 2008. p. 16.
29. McConnell, H.H. and J. Lewis, *Add salt to taste*. Environment, 1972. **14**: p. 38.
30. JOCE, *Directive n°98/83/CE du 03/11/98 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine*,. 1998.
31. El, N., et al., *Évaluation de la qualité des eaux souterraines pour l'utilisation dans l'eau potable et l'agriculture : plaine de Tadla, Maroc*. Afrique SCIENCE, 2012. **8**(1): p. 54-66.
32. Santé Canada, *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Document technique - Les sulfates*. 2010. p. 16.
33. Sollars, C.J., et al., *Aluminium in European drinking water*. Environ. Technol. Lett., 1989. **10**: p. 131-150.
34. Miller, R.G., et al., *The occurrence of aluminum in drinking water*. J. Am. Water Works Assoc., 1984. **76**: p. 84-91.
35. Xu, N., et al., *Brain aluminum in Alzheimer's disease using an improved GFAAS method*. Neurotoxicology, 1992. **13**: p. 735-744.
36. Alfrey, A.C., G.R. LeGendre, and W.D. Kaehny, *The dialysis phallopathy syndrome. Possible aluminum intoxication*. N. Engl. J. Med., 1976. **294**(4): p. 184-188.
37. Hem, J.D., *Chemical factors that influence the availability of iron and manganese in aqueous systems*. Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 1972. **140**: p. 17.
38. Voorhess, M.L., et al., *Iron deficiency anemia and increased urinary iron epinephrine excretion*. J. Pediatr., 1975. **86**: p. 542.
39. Sproule, B.J., J.H. Mitchell, and W.F. Miller, *Cardiopulmonary physiological response to heavy exercise in patients with anemia*. J. Clin. Invest., 1960. **39**: p. 378.
40. Cohen, J.M., et al., *Taste threshold concentrations of metals in drinking water*. J. Am. Water Works Assoc., 1960. **52**: p. 660.
41. Griffin, A.E., *Significance and removal of manganese in water supplies*. J. Am. Water Works Assoc., 1960. **52**: p. 1326.
42. Santé Canada, *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada Document technique : l'ammoniac*. 2013. p. 54p.
43. Hammoumi, N.E., et al., *Évaluation de la qualité des eaux souterraines pour l'utilisation dans l'eau potable et l'agriculture : plaine de Tadla, Maroc*. Afrique Science, 2012. **8**(1): p. 54-66.
44. Walton, G., *Survey of literature relating to infant methemoglobinemia due to nitrate-contaminated water*. Am. J. Public Health Nation's Health, 1951. **41**: p. 986-996.
45. Mirvish, S.S., *Effects of vitamins C and E on N-nitroso compound formation, carcinogenesis, and cancer*. Cancer, 1986. **58** (Suppl. 8): p. 1842-1850.
46. Ould Cheikh, M.E., et al., *Caractérisation physico-chimique des eaux d'alimentation de la ville de Tijkja (Mauritanie)*. Int. J. Biol. Chem. Sci, 2011. **5**(5): p. 2133-2139.
47. Cauley, J.A., et al., *Effects of fluoridated drinking water on bone mass and fractures: the study of osteoporotic fractures*. J. Bone Miner. Res., 1995. **10**: p. 1076-1086.
48. Williams, D.M., G.R. Lee, and G.E. Cartwright, *Mitochondrial iron metabolism*. Fed. Proc., Fed. Am. Soc. Exp. Biol., 1973. **32**: p. 924.
49. Quinn, M.J. and J.C. Sherlock, *The correspondence between U.K. 'action levels' for lead in blood and in water*. Food Addit. Contam., 1990. **7**: p. 387.
50. Santé Canada, *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique – l'argent*. 1979 update 1986. p. 4p.
51. OMS, *Directives de qualité pour l'eau de boisson*. . 3è ed. Vol. Vol. 1. 2004.
52. Sabbioni, E., et al., *Cellular retention, toxicity and carcinogenic potential of seafood arsenic. I. Lack of cytotoxicity and transforming activity of arsenobetaine in the BALB/3T3 cell line*. Carcinogenesis, 1991. **12**(7): p. 1287-1291.

53. Dégremont, *Mémento technique de l'eau Tome 1 - Tome 2*. 2005. 2503.
54. Stevens, A.A., et al., *Chlorination of organics in drinking water*. J. Am. Water Works Assoc., 1976. **68**: p. 615
55. Mills, C.J., et al., *Risques pour la santé liés à la consommation de sous-produits de la chloration de l'eau potable : rapport d'un groupe d'experts*. Mal. chron. Can., 1998. **19**(3): p. 103-115.
56. Lloyd, B.J. and J.K. Bartram, *Surveillance solutions to microbiological problems in water quality control in developing countries*. Health-Related Water Microbiology 1990, 1991. **24**(2): p. 15p.
57. AFNOR NF EN ISO 9308-1, *Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des Escherichia coli et des bactéries Coliformes. Partie 1 : méthode par filtration sur membrane*. 2000.
58. AFNOR NF EN ISO 7899 - 2, *Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux. Partie 2 : Méthodes par filtration sur membrane*. 2000.
59. AFNOR NF EN 2646-1 ISO 6461-2, *Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des spores de micro-organismes anaérobies sulfito-réducteurs*. 1993.
60. Vingolin, L.T.E.G., *Analyse situationnelle du contrôle de qualité de l'eau d'adduction dans la ville d'Abidjan de 1996 à 2008*, in UFR Pharmacie. 2011, UFHB: Abidjan, Côte d'Ivoire. p. 102.
61. Kouamé, K.M., *Bilan du contrôle par l'INHP de la Qualité l'eau d'adduction publique de 1996 à 2005 des réseaux d'Agboville, de Bassam, de Bingerville, de Bonoua, de Dabou, de Jacqueville, de Montézo et de Songon*, in UFR Pharmacie. 2006, Cocody: Abidjan, Côte d'Ivoire.
62. DPPEIS (Direction de la Prospective, d.I.P., de l'Evaluation et de l'information Sanitaire), *Rapport annuel sur la situation sanitaire de l'année 2015*. 2016, Abidjan, Côte d'Ivoire. 316.
63. Amin, et al., *Qualité physicochimique et bactériologique des eaux d'adduction publique de huit communes en Côte d'Ivoire*. J. sci. pharm. biol., 2008. **9**(1): p. 22-31.
64. Gourier-Fréry, C., et al., *Aluminium. Quels risques pour la santé ? Synthèse des études épidémiologiques. Volet épidémiologique de l'expertise collective InVS-Afssa-Afssaps - Institut de Veille Sanitaire*. 2003, Paris, France. 271.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

CONTRÔLE QUALITE DES EAUX D'ADDUCTION PUBLIQUE DE SAN PEDRO DE 2013 A 2016

Degny Gnaba Serge¹, Tébéle Raymond², Amin Ncho Christophe^{1,2}, Kouadio Luc^{1,2}

1. Institut National d'Hygiène Publique, BPV 14 Abidjan
2. UFR Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, BPV 34 Abidjan

Introduction

Le traitement des eaux d'adduction publique demeure problématique en Côte d'Ivoire, notamment dans les villes de l'intérieur du pays. Dans les banlieues d'Abidjan, les non-conformités restent principalement dominées par un pH acide et un taux de chlore résiduel faible. La situation dans les villes de l'intérieur reste faiblement documentée. La ville de San Pedro située à 340 Km (coté côtière) d'Abidjan dans le Sud-ouest de la Côte d'Ivoire, abrite la seconde zone portuaire du pays et fait l'objet de surveillance sanitaire annuelle des eaux d'adduction publique. Les caractéristiques de cette eau sont décrites dans cette étude.

Méthodes

Une campagne annuelle de prélèvement (sept échantillons d'eau) a été effectuée dans la ville à différents points du réseau d'adduction pour l'analyse de dix huit (18) paramètres physico-chimiques et cinq (5) paramètres bactériologiques. Au total, pour les quatre années d'étude, trente et un (31) échantillons ont été prélevés.

Résultats

L'eau brute utilisée pour la production d'eau d'adduction provient du fleuve Sassandra. Les caractéristiques de l'eau traitée sur les 4 années (31 échantillons d'eau) présentaient un pH acide dans 41,94% des cas ; une turbidité supérieure à 1 NTU dans 80,65% des cas ; un taux de chlore résiduel non conforme dans 90,32% des cas ; un taux d'aluminium non conforme dans 48,38% des cas et une couleur non conforme dans 22,58% des cas. Les treize (13) autres paramètres physico-chimiques sont conformes aux normes de potabilité.

Pour la bactériologie, 3,22% des échantillons contenaient des Coliformes totaux, des Coliformes thermotolérants et des *E. coli* et 16,13% des *Enterococcus faecalis*. Aucun échantillon ne comportait de spores de clostridies.

Conclusion

L'eau d'adduction publique de San Pedro a présenté de nombreuses non-conformités au niveau des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Le risque de survenu de maladies d'origine hydrique reste élevé.

Mots clés : Contrôle qualité ; Eau d'adduction publique ; San Pedro ; maladie d'origine hydriques

RESUME

Introduction

A Abidjan et ses banlieues, les non-conformités des échantillons d'eau d'adduction publique restent principalement dominées par un pH acide et un taux de chlore résiduel faible. La situation dans les villes de l'intérieur reste faiblement documentée. La ville de San Pedro située au Sud-ouest de la Côte d'Ivoire, à 340 Km d'Abidjan, abrite la seconde zone portuaire du pays et fait depuis quelques années l'objet de surveillance sanitaire annuelle des eaux d'adduction publique. L'objectif de cette étude est d'évaluer les caractéristiques de cette eau de consommation.

Méthodes

La surveillance sanitaire réalisée a porté sur une enquête consommateur en 2013 et une inspection sanitaire annuelle du système de traitement d'eau et un contrôle qualité des eaux traitées de 2013 à 2016. Une campagne annuelle de prélèvement d'échantillons d'eau a été effectuée dans la ville à différents points du réseau d'adduction pour l'analyse de seize (16) paramètres physico-chimiques et cinq (5) paramètres bactériologiques. Au total, pour les quatre années d'étude, trente et un (31) échantillons ont été prélevés.

Résultats

L'eau brute utilisée pour la production d'eau d'adduction provient de la rivière San Pedro. Le traitement de l'eau présente des insuffisances notamment au niveau de la filtration et de la désinfection. Des plaintes concernant la qualité de l'eau d'adduction publiques sont notées auprès de la population. Les caractéristiques des 31 échantillons d'eau traitée sur les 4 années ont présenté un pH acide dans 41,94% des cas ; une turbidité supérieure à 1 NTU dans 80,65% des cas ; un taux de chlore résiduel non conforme dans 90,32% des cas ; un taux d'aluminium non conforme dans 48,38% des cas et une couleur non conforme dans 22,58% des cas. Les treize (11) autres paramètres physico-chimiques sont conformes aux normes de potabilité.

Pour la bactériologie, un échantillon (3,22%) contenait des Coliformes totaux, des Coliformes thermotolérants et des *E. coli* et quatre autres échantillons (16,13%) des *Enterococcus faecalis*. Aucun échantillon ne comportait des spores de clostridies.

Conclusion

L'eau d'adduction publique de San Pedro a présenté de nombreuses non-conformités au niveau des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Le risque de survenu de maladies d'origine hydrique reste élevé.

Mots clés : Inspection sanitaire ; Enquête consommateur ; Contrôle qualité ; Eau d'adduction publique ; San Pedro