

REPUBLIQUE DU MALI

UN PEUPLE-UN BUT-UNE FOI

UNIVERSITE DES SCIENCES, DES
TECHNIQUES ET DES TECHNOLOGIES DE
BAMAKO



U.S.T.T.B



FACULTE DE PHARMACIE

ANNEE UNIVERSITAIRE 2018-2019

N°.....

THEME

*Evaluation de la qualité de l'eau de
boisson à Mopti et Sévaré.*

THESE

Présentée et soutenue publiquement le 17/04/2019 devant la

Faculté de Pharmacie

Par M. Yamadou KANOUTE

Pour obtenir le grade de Docteur en Pharmacie

(Diplôme d'Etat)

Jury

Président : Pr. Saibou MAÏGA

Membres : Pr. Ababacar I MAÏGA

Dr. Farmata Koro YARO

Directeur : Brahima B TRAORE Maitre de Conférences

LISTE DES ENSEIGNANTS DE LA FACULTE DE PHARMACIE

➤ ADMINISTRATION

Doyen : Boubacar TRAORE, Professeur

Vice-doyen : Ababacar I. MAIGA, Professeur

Secrétaire principal : Seydou COULIBALY, Administrateur civil

Agent comptable : Famalé DIONSAN, Inspecteur des finances.

➤ PROFESSEURS HONORAIRES

<i>N</i>	<i>PRENOMS</i>	<i>NOM</i>	<i>SPECIALITE</i>
1	BoucacarSidiki	CISSE	Toxicologie
2	Mahamadou	CISSE	Biologie
3	Daouda	DIALLO	Chimie générale et minérale
4	Souleymane	DIALLO	Bactériologie - Virologie
5	Kaourou	DOUCOURE	Physiologie
6	Boukassoum	HAIDARA	Législation
7	Moussa	HARAMA	Chimie Organique (décédé)
8	Gaoussou	KANOUTE	Chimie Analytique
9	Alou A.	KEITA	Galénique
10	Mamadou	KONE	Physiologie
11	Mamadou	KOUMARE	Pharmacognosie
12	Bréhima	KOUMARE	Bactériologie et Virologie
13	Abdourahamane S.	MAIGA	Parasitologie
14	Elimane	MARIKO	Pharmacologie

➤ **DER : SCIENCES BIOLOGIQUES ET MEDICALES**

1. PROFESSEURS / DIRECTEURS DE RECHERCHE

<i>NO</i>	<i>PRENOMS</i>	<i>NOM</i>	<i>SPECIALITE</i>
1	Mounirou	BABY	Hématologie
2	Bakary Mamadou	CISSE	Biochimie
3	Abdoulaye	DABO	Biologie /Parasitologie
4	Mahamadou	DIAKITE	Immunologie-Génétique
5	Alassane	DICKO	Santé Publique
6	Amagana	DOLO	Parasitologie-Mycologie
7	Akory Ag	IKNANE	Santé Publique-Nutrition
8	Ousmane	KOITA	Biologie-Moléculaire
9	Boubacar	TRAORE	Parasitologie - Mycologie

2. MAITRES DE CONFERENCE/MAITRE DE RECHERCHE

<i>NO</i>	<i>PRENOMS</i>	<i>NOM</i>	<i>SPECIALITE</i>
1	Flabou	BOUGOUDOGO	Bactériologie-Virologie
2	Abdoulaye	DJIMDE	Parasitologie - Mycologie
3	Aldjouma	GUINDO	Hématologie
4	Bourèma	KOURIBA	Immunologie chef de DER
5	Ousmane	TOURE	Santé Publiq/Santé Environnem

3. MAITRES ASSISTANTS/CHARGE DE RECHERCHE

<i>NO</i>	<i>PRENOMS</i>	<i>NOM</i>	<i>SPECIALITE</i>
1	Mohamed	AG BARAIKA	Bactériologie-Virologie
2	Charles	ARAMA	Immunologie
3	Boubacar Tiétiè	BISSAN	Biologie clinique

4	Djibril Mamadou	COULIBALY	Biochimie Clinique
5	Seydou Sassou	COULIBALY	Biochimie Clinique
6	M. Antoine	DARA	Biologie Moléculaire
7	M. Souleymane	DAMA	Parasitologie-Mycologie
8	Djénéba Koumba	DABITAO	Biologie Moléculaire
9	Laurent	DEMBELE	Biotechnologie Microbienne
10	Klétigui Casimir	DEMBELE	Biochimie Clinique
11	Seydina S.A.	DIAKITE	Immunologie
12	Yaya	GOITA	Biochimie Clinique
13	Ibrahima	GUINDO	Bactériologie-Virologie
14	Kassoum	KAYENTAO	Santé Publique Biostatistiques
15	Aminatou	KONE	Biologie Moléculaire
16	Birama Apho	LY	Santé Publique
17	Dinkorma	OUOLOGUEM	Biologie Cellulaire
18	Issiaka	SAGARA	Santé Publique Biostatistiques
19	Samba Adama	SANGARE	Bactériologie
20	Fanta	SANGHO	Santé Publique
21	Mahamadou Soumana	SISSOKO	Santé Publique Biostatistiques

4. ASSISTANTS/ATTACHE DE RECHERCHE

NO	PRENOMS	NOM	SPECIALITE
1	Djénéba	COULIBALY	Nutrition/Diététique
4	Issa	DIARRA	Immunologie
5	Mamadou Lamine	DIARRA	Botanique – Biologie végétale

6	Fatou	DIAWARA	Epidémiologie
7	Merepen dit Agnès	GUINDO	Immunologie
8	Oumar	GUINDO	Epidémiologie
9	Falaye	KEITA	Santé Publique/Santé Environ.
10	N'DeyeLallah Nina	KOITE	Nutrition
11	Yacouba	MAIGA	Biostatistique
12	Amadou Birama	NIANGALY	Parasitologie-Mycologie
13	Oumar	SANGHO	Epidémiologie
14	Djakaridia	TRAORE	Hématologie

➤ **DER : SCIENCES PHARMACEUTIQUES**

1. PROFESSEURS/DIRECTEUR DE RECHERCHE

<i>NO</i>	<i>PRENOMS</i>	<i>NOM</i>	<i>SPECIALITE</i>
1	Drissa	DIALLO	Pharmacognosie
2	Saïbou	MAIGA	Législation
3	Rokia	SANOGO	Pharmacognosie Chef de DER

2. MAITRES DE CONFERENCES/MAITRES DE RECHERCHE

<i>NO</i>	<i>PRENOMS</i>	<i>NOM</i>	<i>SPECIALITE</i>
-	Néant	-	-

3. MAITRES ASSISTANTS/CHARGE DE RECHERCHE

<i>NO</i>	<i>PRENOMS</i>	<i>NOM</i>	<i>SPECIALITE</i>
1	Loséni	BENGALY	Pharmacie Hospitalière
2	Bakary Moussa	CISSE	Galénique

3	Yaya	COULIBALY	Législation
4	Issa	COULIBALY	Gestion
5	Balla Fatogoma	COULIBALY	Pharmacie Hospitalière
6	Hamma Boubacar	MAIGA	Galénique
7	Moussa	SANOGO	Gestion
8	Adiaratou	TOGOLA	Pharmacognosie

4. ASSISTANTS/ATTACHE DE RECHERCHE

NO	PRENOMS	NOM	SPECIALITE
1	Seydou Lahaye	COULIBALY	Gestion Pharmaceutique
2	Antoine	DARA	Sciences Pharmaceutiques
3	Daouda Lassine	DEMBELE	Pharmacognosie
4	Adama	DENOU	Pharmacognosie
5	Sékou	DOUMBIA	Pharmacognosie
6	Mahamane	H Aidara	Pharmacognosie
7	Assitan	KALOGA	Législation
8	Ahmed	MAIGA	Législation
9	Aichata Ben Adam	MARIKO	Galénique
10	Aboubacar	SANGHO	Législation
11	Bourama	TRAORE	Législation
12	Karim	TRAORE	Sciences Pharmaceutiques
13	Sylvestre	TRAORE	Gestion Pharmaceutique
14	Aminata Tièba	TRAORE	Pharmacie Hospitalière
15	Mohamed dit Sarmoye	TRAORE	Pharmacie Hospitalière

DER : SCIENCES DU MEDICAMENT

1. PROFESSEURS/DIRECTEUR DE RECHERCHE

NO	PRENOMS	NOM	SPECIALITE
----	---------	-----	------------

1	BénoitYaranga	KOUMARE	Chimie Analytique
2	Ababacar I.	MAIGA	Toxicologie

2. MAITRES DE CONFERENCE/MAITRE DE RECHERCHE

<i>NO</i>	<i>PRENOMS</i>	<i>NOM</i>	<i>SPECIALITE</i>
1	Sékou	BAH	Pharmacologie Chef de DER

3. MAITRES ASSISTANTS/CHARGE DE RECHERCHE

<i>NO</i>	<i>PRENOMS</i>	<i>NOM</i>	<i>SPECIALITE</i>
1	Dominique Patomo	ARAMA	Pharmacie Chimique
2	Mody	CISSE	Chimie Thérapeutique
3	Tidiane	DIALLO	Toxicologie
4	HamadounAbba	TOURE	Bromatologie

4. ASSISTANTS/ATTACHE DE RECHERCHE

<i>NO</i>	<i>PRENOMS</i>	<i>NOM</i>	<i>SPECIALITE</i>
1	Mahamadou	BALLO	Pharmacologie
2	Dalaye Bernadette	COULIBALY	Chimie Analytique
3	Blaise	DACKOOU	Chimie Analytique
4	Fatoumata	DAOU	Pharmacologie
5	Ousmane	DEMBELE	Chimie Thérapeutique
6	Abdourahamane	DIARA	Toxicologie
7	Aiguerou dit Abdoulaye	GUINDO	Pharmacologie
8	Madani	MARIKO	Chimie Analytique
9	Mohamed El Béchir	NACO	Chimie Analytique
10	Mahamadou	TANDIA	Chimie Analytique
11	Dougoutigui	TANGARA	Chimie Analytique

➤ **DER : SCIENCES FONDAMENTALES**

1. PROFESSEURS/DIRECTEUR DE RECHERCHE

<i>NO</i>	<i>PRENOMS</i>	<i>NOM</i>	<i>SPECIALITE</i>
1	Mouctar	DIALLO	Biologie Chef de DER
2	Cheick F.	TRAORE	Biologie / Entomologie
3	Mahamadou	TRAORE	Génétique

2. MAITRES DE CONFERENCES/MAITRE DE RECHERCHE

<i>NO</i>	<i>PRENOMS</i>	<i>NOM</i>	<i>SPECIALITE</i>
1	Lassana	DOUMBIA	Chimie Appliquée

3. MAITRES ASSISTANTS/CARGE DE RECHERCHE

<i>NO</i>	<i>PRENOMS</i>	<i>NOM</i>	<i>SPECIALITE</i>
1	Abdoulaye	KANTE	Anatomie
2	Boureïma	KELLY	Physiologie Médicale

4. ASSISTANTS/ATTACHE DE RECHERCHE

<i>NO</i>	<i>PRENOMS</i>	<i>NOM</i>	<i>SPECIALITE</i>
1	Seydou Simbo	DIAKITE	Chimie Organique
2	Modibo	DIALLO	Génétique
3	Moussa	KONE	Chimie Organique
4	Massiriba	KONE	Biologie Entomologie

➤ **CHARGES DE COURS (VACATAIRES)**

<i>NO</i>	<i>PRENOMS</i>	<i>NOM</i>	<i>SPECIALITE</i>
1	Cheick Oumar	BAGAYOKO	Informatique
2	Babou	BAH	Anatomie
3	Abdourahamane	COULIBALY	Anthropologie Médicale

4	Souleymane	COULIBALY	Psychologie
5	Bouba	DIARRA	Bactériologie
6	Modibo	DIARRA	Nutrition
7	Moussa I.	DIARRA	Biophysique
8	Babacar	DIOP	Chimie
9	Atimé	DJIMDE	Bromatologie
10	Yaya	KANE	Galénique
11	Boubacar	KANTE	Galénique
12	Aboubakary	MAIGA	Chimie Organique
13	Massambou	SACKO	SCMP/SIM
14	Modibo	SANGARE	Anglais
15	Sidi Boula	SISSOKO	Histologie-Embryologie
16	Fatoumata	SOKONA	Hygiène du Milieu
17	Fana	TANGARA	Maths
18	Abdel Kader	TRAORE	Pathologies Médicales
19	Boubacar	ZIBEIROU	Physique

Je rends grâce :

❖ **A DIEU LE TOUT PUISSANT**

A travers ce travail je te glorifie pour ton amour, ta générosité, ta miséricorde, ton soutien dans les moments de tribulations et de solitude. Merci car sans ta volonté ce travail n'existerait pas. Dieu tout puissant, toi qui de toute chose sais quand son heure, je te rends gloire et honneur pour l'aboutissement de mes études de pharmacie. Je te prie de me guider dans cette nouvelle étape de la vie qui va s'ouvrir à moi. Merci de me conduire, de me guider, de me protéger en tout temps, tout lieu et dans toute circonstance dans l'exercice de ma profession.

❖ Au Prophète MOHAMED (PSL) que la bénédiction et salut de Dieu soient sur lui.

Je dédie cette thèse

❖ A mon père Moussa Kanouté

Homme modeste, l'admiration que j'ai pour toi est sans limite. Elever, éduquer constituent les actes les plus nobles de la vie, grandir dans un environnement sain avec toutes les qualités humaines c'est à dire la discipline, l'ordre, l'assiduité et la persévérance forment l'être humain. Ma persévérance et ma réussite c'est à toi que je le dois. L'amour que tu as pour tes enfants, la dignité et le sens de l'honneur, l'amour pour le travail bien fait nous servent de modèle. Qu'Allah le tout puissant t'accorde une bonne santé et une longue vie.

❖ A ma mère Aminata Touré

Toujours présente, disponible et attentive, tes conseils et tes bénédictions m'ont toujours accompagné. Tu incarnes toutes les qualités d'une bonne mère et d'une bonne épouse. Tu as su inculquer à tes enfants l'amour du prochain l'esprit de partage l'honnêteté et le travail. Que Dieu t'accorde une bonne santé et une longue vie. Amen

❖ A mon cher tonton et Professeur Gaoussou Kanouté

Ton aide a beaucoup contribué à la réalisation de ce travail. Tu nous as toujours soutenus mes frères et moi. Soucieux de notre avenir tu as su toujours nous

guider dans le droit chemin. Tes paroles parfois dures mais réconfortantes nous ont toujours donné du courage pour se mettre à la tâche. Saches que tu es et seras toujours un modèle pour nous. Trouve ici l'expression de ma profonde gratitude et de mon amour. Que le Dieu Tout Puissant te donne longue vie.

❖ A tous mes frères et sœurs, cousins et cousines

L'éducation de notre famille est un atout pour la réussite de chacun. Le savoir est un capital inestimable, c'est la vie et l'avenir. Le soutien et l'assistance dont j'ai bénéficiés le long de mes études ont été déterminants. Merci à tous de m'avoir aidé et encourager ; que Dieu préserve l'unité et la force de notre famille. Amen

❖ A mes tontons

Votre aide morale ; vos conseils très fraternels ne m'ont jamais fait défaut. Je tiens ici à vous exprimer ma reconnaissance pour m'avoir entourée d'amour et d'affection, d'avoir toujours été là quand j'avais besoin de vous, de m'avoir toujours soutenu dans mes moments difficiles. Soyons unies pour toujours.

❖ A mes tantes

Vous avez toujours à côté de moi pendant les moments difficiles. Merci pour votre soutien. Je tiens à exprimer ma reconnaissance pour tout l'amour et l'affection dont vous m'avez entourée par votre présence quand j'ai eu besoin de vous. Trouvez en ce travail ma profonde gratitude.

❖ A mes grands-parents

Votre souci pour faire de vos descendants des hommes vous obligeait à vous surpasser. En cet instant ma pensée va vers vous. Que Dieu le tout puissant vous accorde la santé et une longue vie pour ceux qui sont encore, paix et repos éternel pour ceux qui ne sont plus.

❖ A tous mes proches et parents

Vous avez contribué à la réalisation de ce travail. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

REMERCIEMENTS

❖ A l'état malien : Chère patrie, tu as fait de moi un homme éclairé.

Ce travail est l'aboutissement d'énormes efforts et de sacrifices consentis par toi. Je te mettrais au-dessus de toutes mes préoccupations.

❖ A Monsieur Djiguiba Domo Vous n'avez jamais manqué de me soutenir, Votre aide et votre disponibilité m'ont été d'un grand apport, soyez rassurées de ma profonde gratitude.

❖ A Monsieur : Mamadou Traoré, Mama Kontao et Filly Balla Sissoko Je ne trouve pas de mots pour exprimer mes sentiments à vos égards, je vous dirai simplement merci pour tout ce que vous avez fait pour moi à la réalisation de ce travail.

❖ A tout le personnel de la pharmacie JIGI YA

Pour votre gentillesse, votre disponibilité et votre amabilité, recevez à travers ce travail mon profond attachement et toute ma reconnaissance.

❖ A tout le personnel du Laboratoire Nationale des Eaux

Sans votre contribution, nous ne pourrions réaliser ce travail. Je n'oublierai jamais votre générosité ainsi que votre constante disponibilité. Recevez là toute ma gratitude.

❖ Aux Maîtres et Professeurs de la FMPOS

La réussite de ce travail est le résultat de votre enseignement de qualité, retrouvez ici l'expression de ma gratitude.

❖ A toute ma promotion

Nous avons passé des temps inoubliables ensemble. Puisse Dieu nous accorder à tous un épanouissement complet aussi bien dans nos vies professionnelles que familiales.

❖ A mes camarades : Aoua Traoré, Arkietou Maiga, Gouro Soumaila Cissé, Hamadoun Traoré, Modibo Salia Dramé, Aliou Yeli Dramé, Diarradjan Konaté, Kadiatou B Coulibaly, Barassé Coulibaly, Mahady Cissoko, Hamidou Cissé, Yasmina Diarra, Nema Dembélé, Alkali Dombia,

Alassane Koné, mes Tantes (Mme Sanogo Kadia, Zeinabou Samaké) et amis d'enfance (Mohamed Bah et tout le grin) :

Les mots me manquent pour vous remercier. Vous avez été présent au moment où il fallait. Plus que des camarades, plus que des amis vous avez été des frères pour moi et vous m'avez toujours aidé à surmonter les obstacles. Merci pour votre sympathie et votre affection ce travail est le vôtre. Trouvez ici ma profonde gratitude.

❖ Aux Imams de la mosquée OUSMANE BOUN HAFFAN et à l'Imam Ousmane Samaké :

Avec allégresse, recevez ici tout mon respect et ma profonde gratitude pour vos conseils et soutiens. Puisse Dieu vous accordez santé et longévité afin que nous puissions encore bénéficier de toute cette sagesse.

❖ A toutes les personnes de bonne volonté qui ont contribué à l'amélioration de ce travail : pour toute l'affection et la tendresse que vous avez manifestée à mon égard, recevez là mes remerciements les plus sincères.

Hommages aux membres du jury

A notre Maitre et Président de jury

Professeur Saibou MAÏGA

- ❖ **Professeur titulaire en Législation a la Faculté de pharmacie**
- ❖ **Membre du comité d'éthique à la FMOS et à la FAPH**
- ❖ **Membre du comité national de la pharmacovigilance**
- ❖ **Chevalier de l'ordre du mérite**
- ❖ **Pharmacien titulaire de l'officine du point G**

Cher Maitre,

C'est un grand honneur et un réel plaisir que vous nous faites en acceptant de présider ce jury. Votre grande sagesse, vos qualités humaines, sociales et scientifiques font de vous un éminent homme de science respecté de tous et nous sommes également fiers d'avoir pu bénéficier de votre enseignement. Puisse Dieu vous accorder longévité et santé afin que nous puissions toujours apprendre à vos côtés. Trouvez ici la cher Maitre toute notre admiration et notre profond respect.

A notre Maitre et juge

Professeur Ababacar I MAÏGA

- ❖ **Professeur titulaire de toxicologie à la Faculté de pharmacie**
- ❖ **Vice doyen de la faculté de pharmacie**
- ❖ **Ancien Directeur adjoint de la DPM**
- ❖ **Ancien chef de service de la pharmacie hospitalière du point G**

Cher Maitre,

Vous nous faites un grand honneur en acceptant de siéger ce jury. Nous n'avons pas eu le privilège de travailler à vos côtés mais à travers votre enseignement à la faculté, nous avons découvert un professeur très ouvert, aux immenses qualités humaines. Nous vous remercions pour la spontanéité avec laquelle vous acceptez de juger notre travail malgré vos multiples occupations. Recevez la cher Maitre notre profonde gratitude.

A notre Maitre et juge

Docteur Farmata Koro YARO

- ❖ **Directrice Générale du Laboratoire Nationale des Eaux**
- ❖ **Titulaire d'un PhD en microbiologie alimentaire à l'ISFRA,**
- ❖ **Membre de la commission nationale des autorisations de mise sur le marché des denrées alimentaires, des aliments pour animaux et additifs alimentaires,**
- ❖ **Ingénieur de l'agriculture et du génie rural spécialité Agrochimie**

Chère maître,

Nous ne saurions vous dire toutes les qualités humaines, professionnelles et morales que nous admirons en vous.

C'est une fierté et un immense honneur que vous nous faites en nous acceptant dans votre service. Votre simplicité, votre amour du travail bien fait ainsi que votre grande disponibilité font de vous un maitre respecté de tous.

Espérant que ce travail sera à la hauteur de vos espérances, veuillez trouver ici, l'expression de notre profond respect.

Que Dieu vous accorde santé et longévité afin que nous puissions hériter de vos nombreuses vertus.

A notre Maitre et Directeur de thèse

Professeur Brahima B TRAORE

- ❖ **Enseignant chercheur titulaire d'un Ph.D en Agrochimie ;**
- ❖ **Maitre de conférences à l'institut des sciences appliquées ;**
- ❖ **Chef de département d'enseignement et de recherche de chimie appliquée à l'institut des sciences appliquées ;**
- ❖ **Membre du conseil supérieur de l'éducation**
- ❖ **Professeur d'agrochimie, de pédologie, de chimie analytique instrumentale à l'université de Bamako à la faculté des sciences techniques**

Cher Maitre,

C'est un privilège et un grand honneur que vous nous faites en Acceptant de diriger ce travail. Nous avons été marqué par votre savoir scientifique, votre rigueur au travail font de vous le maître idéal. Vous êtes pour nous une bibliothèque précieuse.

Cher Maître nous sommes honorés et très reconnaissant de vous avoir comme Directeur de Thèse.

Que DIEU veille sur vous et vous inonde de ses bienfaits !

LEXIQUE DES ABREVIATIONS

OMS	:	Organisation Mondiale de la Santé
°C	:	Degrés Celsius
µl	:	Microlitre
µm	:	Micromètre
µs/cm	:	microsiemens par centimètre
Alc	:	Alcalinité
BF	:	Borne fontaine
CF	:	Coliformes Fécaux
Cond	:	Conductivité
Coul	:	Couleur
CT	:	Coliformes totaux
DBO5	:	Demande biologique en oxygène
DCO	:	Demande chimique en oxygène
DNGM	:	Direction Nationale de la Géologie et des Mines
DO	:	Densité Optique
DT	:	Durété
<i>E.</i>	:	Enterococcus
<i>E.coli</i>	:	Echerichia coli
ES	:	Eau en sachet
F	:	Forage
FST	:	Faculté des sciences techniques
g/Cm³	:	gramme par centimètre cube
l	:	trajet optique en cm
LNE	:	Laboratoire National des Eaux
N	:	Nord
nm	:	Nanomètre

NTU	:	Nephelometric Turbidity Units
P	:	puits
pH	:	potentiel d'hydrogène
RAS	:	Rien à signaler
S.	:	Streptocoques
SIDA	:	Syndrome d'immunodeficiency acquise
SOMAGEP	:	Société Malienne de Gestion de l'Eau Potable
Spp	:	Espèce
Turb	:	Turbidité
UCV	:	unités de couleur vrai
UV	:	Ultra-Violet
W	:	Ouest

TABLE DES MATIERES

I. Introduction :	1
II. Objectif.....	4
II.1. Objectif général :	4
II.2. Objectifs spécifiques :	4
III. GENERALITES:	5
III.1. DEFINITIONS	5
III.1.1. L'eau.....	5
III.1.2. Eau conditionnée :	5
III.1.3. Eau de boisson :	5
III.2. Les différents types d'eau potable.....	6
III.3. QUELQUES PROPRIETES DE L'EAU.....	6
III.3.1. Propriétés physiques de l'eau.....	6
III.3.1.1. Indice de réfraction de l'eau :	6
III.3.1.2. Tension superficielle de l'eau :	7
III.3.1.3. Conductivité de l'eau :	7
III.3.1.4. Diagramme de phase de l'eau	7
III.3.2. Propriétés chimiques de l'eau	8
III.3.2.1. Nature dipolaire de l'eau.....	8
Figure 2 : Nature dipolaire de l'eau	8
III.3.2.2. Equilibre acido-basique de l'eau :	9
III.3.2.3. Une propriété remarquable de l'eau :	10
III.3.2.4. Décomposition de l'eau :	11
III.3.2.5. Propriétés de l'eau liée à la vie terrestre	12
III.4. ROLE ET DEVENIR DE L'EAU DE BOISSON	13
III.6. Répartition de l'eau dans le monde :	15
III.7.1. Paramètres organoleptiques :	16
III.7.1.1. Couleur :	16
III.7.1.2. Turbidité :	17

III.7.1.3. Saveur :	17
III.7.1.4. Gout et odeur :	17
III.7.2. Paramètres physico-chimiques :	18
III.7.2.1. pH :	18
III.7.2.2. Température :	18
III.7.2.3. La conductivité électrique :	18
III.7.2.4. Dureté ou Degré hydrotimétrique :	19
III.7.2.5. L'alcalinité (Alc) :	20
III.7.2.6. Les ions majeurs :	20
III.7.2.6.1. Les anions :	21
III.7.2.6.1.1. chlorures :	21
III.7.2.6.1.2. Sulfates : SO_4^{2-}	21
III.7.2.6.1.3. Nitrites et Nitrates : NO_2^- et NO_3^-	21
III.7.2.6.1.4. Phosphates : PO_4^{3-}	22
III.7.2.6.2. Les cations :	23
III.7.2.6.2.1. Calcium et Magnésium :	23
III.7.2.6.2.2. Sodium et potassium :	24
III.7.3. Autres éléments dissous :	24
III.7.3.1. Certains Métaux :	24
III.7.3.2. Le fluor :	24
III.7.3.3. Les gaz dissous :	25
III.7.4. les métaux lourds :	25
III.7.4.1. Dosage des métaux lourds :	26
III.7.4.2. Quelques Métaux lourds et leur toxicité	26
III.7.5. Paramètres microbiologiques :	27
III.7.5.1. Qualité bactériologique :	27
III.7.5.1.1. Bactéries :	27
III.7.5.1.2. Bactéries qui survivent dans l'eau :	27
III.7.5.1.3. Bactéries pathogènes qui se développent dans l'eau :	28

III.7.5.2. Effet sur la santé :.....	28
III.7.5.3. Contaminants bactériologiques :.....	29
III.7.5.3.1. Les coliformes	30
III.7.5.3.2. Streptocoques fécaux :	32
III.7.5.3.3. Clostridies sulfito-réductrices :	32
III.7.5.3.4. Autres contaminants bactériologiques :.....	32
III.7.6. Autres agents biologiques pathogènes pour l'homme :	33
III.7.6.1. Parasites ou protozoaires :.....	33
III.7.6.2. Virus :.....	33
III.8. RISQUES SANITAIRES LIES A L'EAU : MALADIES HYDRIQUES	34
III.9. LES DIRECTIVES DE QUALITE DE L'EAU :	37
III.10. POLLUTION DES EAUX :.....	41
IV. METHODOLOGIE DE RECHERCHE	43
IV.1. Type de l'étude :	43
IV.2. Cadre de l'étude :	43
IV.3. Lieu de prélèvement :.....	43
IV.4. Lieu d'étude :	45
IV.6. Transport et stockage :.....	47
IV.6.1. Transport :.....	47
IV.6.2. Stockage :.....	47
IV.7. Critères d'inclusion et d'exclusion	48
IV.7.1 Critères d'inclusion :.....	48
IV.7.2 Critères d'exclusion :	48
IV.8. Méthodes d'analyse :	48
IV.8.1 Physico-chimique :.....	48
IV.8.2 Analyse bactériologique:.....	52
V. RESULTATS :.....	54
VI. Commentaires et Discussion :.....	91
A. Mopti.....	91

B. sévaré :	92
C. Eau en sachet :	94
VII.....Conclusion :	
95	
VIII.Recommandations :	
97	
REFRENCES BIBLIOGRAPHQUES.....	99
ANNEXES	105

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Diagramme de phase de l'eau(7)	7
Figure 2 : Nature dipolaire de l'eau	8
Figure 3 : Cycle de l'eau	14
Figure 4 : répartition de l'eau dans le Monde	16
Figure 5 : Carte de la ville de Mopti	44
Figure 6 : carte de la ville de Sévaré	45
Figure 7 : variation des nitrates dans les eaux du réseau à Mopti	69
Figure 8 : variation des nitrates dans les eaux en sachet	72
Figure 9 : variation des chlorures dans les eaux de forages à Mopti	74
Figure 10: variation des nitrates dans les eaux de forages à Mopti	76
Figure 11 : variation des nitrates dans les eaux de puits à Mopti	78
Figure 12 : variation des nitrates dans les eaux de forage à sevaré	81
Figure 13 : variation des chlorures dans les eaux de puits traditionnels à sévaré	84
Figure 14 : variation en plomb dans les eaux en sachets	85
Figure 15 : variation en plomb dans les eaux de forages à Mopti	86
Figure 16 : variation en plomb dans les eaux de puits à Mopti	87
Figure 17 : variation en plomb dans les eaux forage à sévaré	89
Figure 18 : variation en plomb dans les eaux de puits à sévaré	90

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: relation entre minéralisation et conductivité selon la réglementation française.(21)	19
Tableau II: Relation entre dureté de l'eau et concentration équivalente en CaCO3.	20
Tableau III : valeur guide des micro-organismes (32)	30
Tableau IV: Les espèces répondant au nom de coliformes.(31)	31
Tableau V: Principales maladies transmises par l'eau et leurs agents pathogènes(45)	36
Tableau VI: Exemples de maladies liées à quelques éléments chimiques (7).	37
Tableau VII: Paramètres organoleptiques MALINORM	37
Tableau VIII: paramètres de structures (MALINORM)	38
Tableau IX: Substances indésirables (MALINORM)	39
Tableau X: paramètres toxicologiques	39
Tableau XI: Paramètres bactériologiques	40
Tableau XII: Potentiel d'hydrogène et Paramètres organoleptiques MALINORM	40
Tableau XIII: Paramètres bactériologiques MALINORM	40
Tableau XIV: points de prélèvement des eaux du réseau à Mopti	54
Tableau XV: points de prélèvement des eaux de forages à Mopti	55
Tableau XVI: points de prélèvement des eaux de puits traditionnels à Mopti	56
Tableau XVII: point de prélèvement des eaux en sachet à Mopti et à Sévaré	57
Tableau XVIII: point de prélèvement des eaux du réseau à Sévaré	57
Tableau XIX: point de prélèvement des eaux de puits traditionnels à Sévaré	58
Tableau XX: point de prélèvement des eaux de forages à Sévaré	59

Tableau XXI: résultats des analyses obtenues sur le terrain des eaux du réseau à Mopti	60
Tableau XXII: résultats des analyses obtenues sur le terrain des eaux en sachet	61
Tableau XXIII: résultats des analyses obtenues sur le terrain des eaux de forages à Mopti	62
Tableau XXIV: résultats des analyses obtenues sur le terrain des eaux de puits traditionnels à Mopti	62
Tableau XXV: résultats des analyses obtenues sur le terrain des eaux du réseau à Sévaré	63
Tableau XXVI: résultats des analyses obtenues sur le terrain des eaux de forages à Sévaré	64
Tableau XXVII: résultats des analyses obtenues sur le terrain des eaux de puits traditionnels à Sévaré	65
Tableau XXVIII: résultats des analyses bactériologiques des eaux de forages à Mopti	66
Tableau XXIX: résultats des analyses bactériologiques des eaux de puits traditionnels à Mopti	66
Tableau XXX: résultats des analyses bactériologiques des eaux de forages à Sévaré	67
TableauXXXI: résultats des analyses bactériologiques des eaux de puits traditionnels à Sévaré	67
Tableau XXXII: récapitulatif des mesures des paramètres physicochimiques obtenus au laboratoire des eaux du réseau à Mopti	68
Tableau XXXIII : récapitulatif des mesures des paramètres physicochimiques obtenus au laboratoire des eaux en sachet	70
Tableau XXXIV: récapitulatif des mesures des paramètres physicochimiques des eaux de forages à Mopti	73

Tableau XXXV: récapitulatif des mesures des paramètres physicochimiques de puits traditionnels à Mopti	77
Tableau XXXVI: récapitulatif des mesures des paramètres physicochimiques des eaux de forages à Sévaré.....	79
Tableau XXXVII: récapitulatif des mesures des paramètres physicochimiques des eaux de puits traditionnels à Sévaré.....	82
Tableau XXXVIII: résultats d'analyses des oligo-éléments et des métaux lourds des eaux en sachet.....	85
Tableau XXXIX: résultats d'analyses des oligo-éléments et des métaux lourds des eaux de forages à Mopti	86
Tableau XL : résultats d'analyses des oligo-éléments et des métaux lourds des eaux de puits traditionnels à Mopti.....	87
Tableau XLI: résultats d'analyses des oligo-éléments et métaux lourds des eaux de forages à Sévaré.....	88
Tableau XLII: résultats d'analyses des oligo-éléments et des métaux lourds des eaux de puits traditionnels à Sévaré	89

I. Introduction :

L'eau de boisson est l'eau utilisée pour la consommation humaine. C'est l'eau destinée à être bue pour se désaltérer. Sa principale qualité est d'être potable, c'est-à-dire exempte de germes pathogènes et d'organismes parasites(1).

En 2010, l'assemblée générale des Nations Unies a reconnu explicitement le droit à l'eau potable et à l'assainissement comme un droit de l'Homme. Chacun a le droit à un accès suffisant, continu, sûr, acceptable et abordable à de l'eau pour son usage personnel et domestique (2).

Il est très important pour la sante publique de disposer d'une eau salubre, que ce soit pour la boisson, pour un usage domestique, pour la production alimentaire ou pour les loisirs. L'amélioration de l'approvisionnement et une meilleure gestion des ressources hydriques peuvent stimuler la croissance économique des pays et contribuer largement à réduire la pauvreté (2).

En effet l'eau est un élément clef de la vie terrestre. Elle est indispensable au fonctionnement de l'organisme. Elle représente 70% du poids corporel de l'homme adulte et 80% de celui de l'enfant. Ainsi, 2/3 de l'eau présente dans le corps humain sont repartis dans 5.10¹³ de cellules, 5% sous forme de plasma sanguin et 15% constituent le liquide interstitiel (3).

L'eau contaminée et le manque d'assainissement entraînent la transmission de maladies comme le choléra, la diarrhée, la dysenterie, l'hépatite A, la fièvre typhoïde et la poliomyélite. L'insuffisance ou l'absence des services d'alimentation en eau et d'assainissement ou leur mauvaise gestion expose les personnes concernées à des risques évitables pour leur santé.

On estime que, chaque année, plus de 842 000 personnes meurent de diarrhée dans le monde à cause de l'insalubrité de leur eau de boisson et du manque d'assainissement et d'hygiène. Mais la prévention de la diarrhée est en grande partie possible et on pourrait, par exemple, éviter chaque année la mort de 361 000 enfants de moins de 5 ans si on luttait contre ces facteurs de risque.

Lorsque l'eau est difficile à se procurer, il arrive que les gens décident que le lavage des mains n'est pas une priorité, ce qui augmente le risque de diarrhée et d'autres maladies (2).

Si l'eau est source de vie quand elle est salubre, elle est peut-être source de mort lorsqu' elle est polluée ou contaminée. En tuant chaque année 8 millions d'êtres humains, soit une personne toutes les 15 secondes, elle est la principale cause de mortalité dans le monde, bien avant le paludisme, les conflits armés, ou même le sida. Ce n'est pas seulement le manque d'eau qui est responsable de cette hécatombe, mais surtout les maladies d'origines hydriques, dont les enfants sont les premières victimes. Les récentes épidémies de choléra en Haïti nous le rappelle douloureusement, apparue en octobre 2010, elle a affecté 680 820 personnes, soit près de 7% de la population, et enregistré 8 307 décès. En janvier 2013, la maladie avait atteint 41 701 personnes et tué 360 personnes (4).

Ces dernières années, l'organisation Mondiale de la Santé (OMS) a vu augmenter de façon considérable le nombre et la dimension de ses interventions d'urgences dans le domaine de l'eau, à tel point que ses dépenses consacrées aux interventions d'urgences atteignent 40% dans le secteur de l'eau(5).

Au Mali les maladies hydriques fréquentes sont : le choléra, la dysenterie, la fièvre typhoïde, la bilharziose (toutes ces maladies sont liées essentiellement aux micro-organismes) et le goitre qui favorise l'hyperthyroïdie due à l'absence d'iode dans l'eau (3).

Mopti apparait cependant comme l'une des régions les plus affectées par ses diverses maladies dû au faite que la plupart des activités économiques se déroulent autour de l'eau. Mopti enregistre l'un des plus forts taux de cholera à chaque fois que cette maladie faisait son apparition sur notre territoire soit en 1995, 2001, 2002, 2003 et 2004 avec respectivement 985, 52, 16, 597 et 1025 cas excepté la seule année de 1996 où Kayes a enregistré le plus grand nombre de cas (3497 cas) (6).

A Mopti le réseau d'approvisionnement en eau est ravitaillé par le Baní. Ce cours d'eau est le lieu de rejet de la presque totalité des eaux usées artisanales et domestiques sans aucun traitement. Celui de Sévaré est alimenté par six forages équipés dont cinq sont fonctionnels à nos jours. A ceux-ci il faut noter l'utilisation des eaux des puits traditionnels.

Au Mali, Le Laboratoire National des Eaux (LNE) est la structure qui s'occupe de l'analyse et du contrôle de qualité des eaux. La qualité des eaux de boisson à Mopti et Sévaré est donc l'une des missions assignées au LNE.

Notre présente étude a pour but d'apporter une connaissance tangible des caractéristiques de l'eau de boisson à Mopti et Sévaré, et pour cela nous nous sommes fixé comme objectifs :

II. Objectif

II.1. Objectif général :

Evaluer la qualité des eaux de boisson à Mopti et Sévaré.

II.2. Objectifs spécifiques :

- Identifier les types d'eaux utilisées comme eau de boisson à Mopti et Sévaré ;
- Déterminer la qualité physico chimique, microbiologique et toxicologique des eaux de boisson à Mopti et Sévaré ;
- Identifier et caractériser quelques paramètres essentiels de la qualité des eaux souterraines à Mopti et Sévaré ;
- Contribuer à la création d'une base des données de la qualité des eaux de boisson à Mopti et Sévaré

III. GENERALITES:

III.1. DEFINITIONS

III.1.1. L'eau

L'eau que l'on peut aussi appeler oxyde de dihydrogène, hydroxyde d'hydrogène, acide hydroxyque ou monoxyde de dihydrogène est un composé chimique simple, mais avec des propriétés complexes à cause de sa polarisation (voir Nature dipolaire de l'eau). Sa formule chimique est H_2O , c'est-à-dire que chaque molécule d'eau se compose d'un atome d'oxygène entre deux atomes d'hydrogène, disposés en V très ouvert(7).

L'eau est un liquide incolore, inodore, transparent et insipide, lorsqu'elle est pure. On dit qu'elle est source de vie, vu l'importance qu'elle occupe à l'instar des autres éléments indispensables à l'alimentation et aux besoins physiologiques de l'homme(1).

III.1.2. Eau conditionnée :

On appelle eau conditionnée, l'eau mise en sachet ou en bouteille c'est-à dire conditionnée dans du matériau adéquat(8,9).

III.1.3. Eau de boisson :

L'eau de boisson est l'eau utilisée pour la consommation humaine. C'est l'eau destinée à être bue pour se désaltérer. Sa principale qualité est d'être potable, c'est-à-dire exempte de germes pathogènes et d'organismes parasites(10).

Elle répond aux mêmes caractéristiques de l'eau potable.

Une eau est dite potable, quand sa consommation par l'homme est sans danger. Elle doit être exempte de contaminants microbiologiques, et son niveau de contaminants chimiques ne doit pas être dommageable pour la santé (10,11). Selon l'OMS, une eau dite potable est une eau que l'homme peut consommer tout le long de sa vie sans danger ou risque pour la santé. Cette eau en effet doit être agréable à boire et ne doit renfermer en quantité, ni substances chimiques, ni germes nocifs pour la santé. Elle ne doit contenir certaines

substances chimiques qu'en quantité limitée. Il s'agit de substances indésirables ou toxiques telles que les métaux lourds ou encore les hydrocarbures et les pesticides (12–14).

III.2. Les différents types d'eau potable

Pour la consommation humaine, il existe trois (3) types d'eau : l'eau de table, l'eau de source et les eaux minérales. Les eaux de table sont les eaux de robinet mises en bouteilles. Elles subissent des traitements pour être conformes aux normes. Les eaux de source sont issues de nappes souterraines non polluées, profondes ou protégées des rejets dûs aux activités humaines. Les eaux minérales sont des eaux de source ayant des propriétés particulières. Elles ont des teneurs en minéraux et oligo-éléments susceptibles de leur conférer des vertus préventives pour la santé. Elles ne peuvent être traitées car elles sont potables à l'origine (15).

III.3. QUELQUES PROPRIETES DE L'EAU

III.3.1. Propriétés physiques de l'eau

III.3.1.1. Indice de réfraction de l'eau :

L'indice de réfraction (n) d'un milieu transparent est une mesure de sa capacité à changer la direction de propagation d'un rayon de lumière qui y entre. Si la lumière devait voyager dans le vide puis pénétrer dans l'eau, on pourrait faire le rapport des sinus des angles d'incidence et de réfraction (mesures à partir de la perpendiculaire à la surface de l'eau) selon la loi de Snell- Descartes pour calculer l'indice de réfraction de l'eau relativement au vide. Cet indice ne dépendrait que de l'état physique de l'eau (solide, liquide ou gazeux).

$$\text{Loi de Snell- Descartes} \quad n = \frac{c}{v}$$

c : vitesse de la lumière dans le vide

v : vitesse de la lumière dans le milieu(7).

III.3.1.2. Tension superficielle de l'eau :

Les ponts hydrogène confèrent à l'eau une grande tension superficielle et une grande cohésion. Cela se voit quand de petites quantités d'eau sont posées sur une surface non soluble et que l'eau reste ensemble sous forme de gouttes. Cette propriété qui se manifeste par la capillarité est utile pour le transport vertical de l'eau chez les végétaux et nuisible avec la remontée d'humidité dans les murs des maisons (7).

III.3.1.3. Conductivité de l'eau :

L'eau pure est en réalité un isolant, qui conduit mal l'électricité. Cependant l'eau est un si bon solvant, qu'elle contient souvent une bonne quantité de sels dissous. Si l'eau contient de telles substances elle peut conduire l'électricité facilement.(7)

III.3.1.4. Diagramme de phase de l'eau

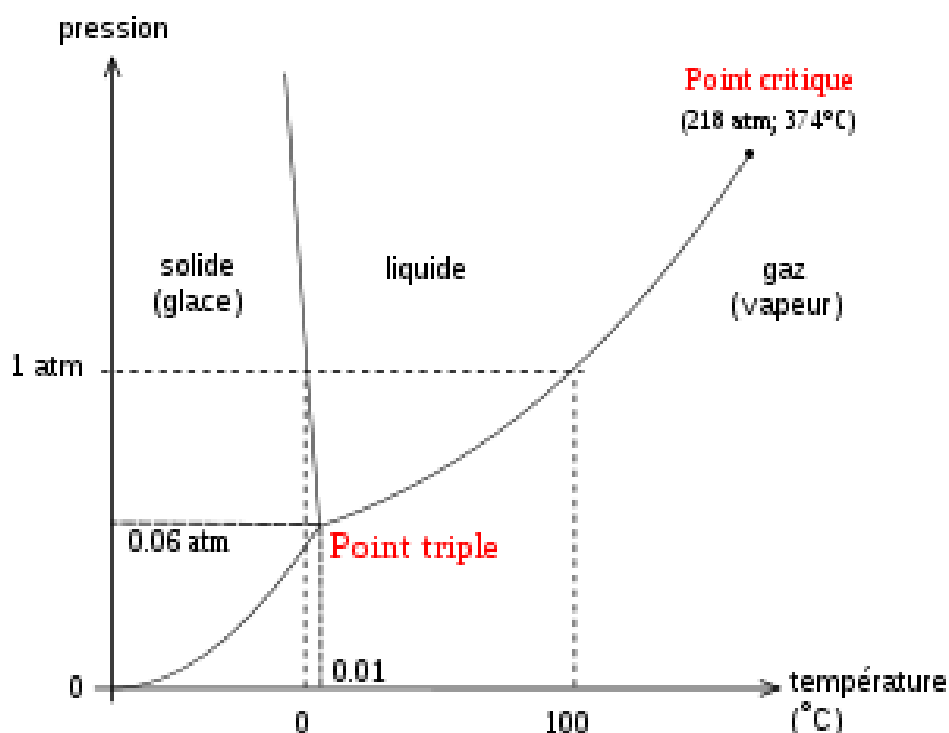


Figure 1: Diagramme de phase de l'eau(7)

III.3.2. Propriétés chimiques de l'eau

III.3.2.1. Nature dipolaire de l'eau

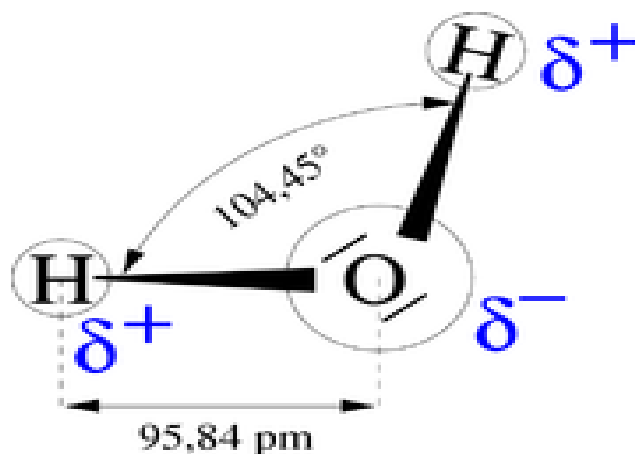


Figure 2 : Nature dipolaire de l'eau

Une propriété très importante de l'eau est sa nature polaire. La molécule d'eau forme un angle de $104,45^\circ$ au niveau de l'atome d'oxygène entre les deux atomes d'hydrogène. Puisque l'oxygène a une électronégativité plus forte que l'hydrogène, le côté de la molécule d'eau où se trouve l'atome d'oxygène est chargé négativement, par comparaison avec le côté hydrogène. Une molécule avec une telle différence de charge est appelée un dipôle (molécule polaire), ayant un moment dipolaire de 1,83D. Cette différence de charge fait que les molécules d'eau s'attirent les unes les autres, le côté positif de l'une attirant le côté négatif d'une autre. Un tel lien électrique entre deux molécules s'appelle un pont hydrogène ou liaison hydrogène (7).

Cette polarisation permet aussi à la molécule d'eau de dissoudre les corps ioniques, en particulier les sels, et de les maintenir dans cet état en entourant chaque ion d'une coque de molécules d'eau, c'est la solvation (voir ci-dessous l'eau comme solvant).

Cette force d'attraction, relativement faible par rapport aux liaisons chimiques covalentes de la molécule elle-même, est à la source de propriétés comme un point d'ébullition élevé (quantité d'énergie calorifique nécessaire pour briser les ponts hydrogènes), ainsi qu'une capacité calorifique élevée.

À cause des ponts hydrogènes également, la densité de l'eau liquide est supérieure à la densité de la glace (état où l'eau est cristallisée). De ce fait, en hiver la glace qui se forme à la surface d'un étang y reste et protège du gel l'eau située plus bas, ce qui permet aux poissons et autres êtres vivants d'y survivre. L'eau atteint sa plus haute densité à la température de 4°C, qui est ainsi la température qu'on trouve typiquement au fond d'un étang gelé (7).

III.3.2.2. Equilibre acido-basique de l'eau :

L'eau se dissocie naturellement en ion hydronium H_3O^+ et ion hydroxyde OH^- :



Par perte d'un proton H^+ , elle devient OH^- . Par gain d'un proton H^+ , elle devient l'ion hydronium H_3O^+ . On dit donc que c'est une espèce amphotère c'est-à-dire elle est à la fois un acide et une base. Du fait de l'équilibre, à une température donnée, le produit des concentrations de ces ions, ou « produit de dissociation », est constant. À 25°C, il vaut :

$$[\text{H}_3\text{O}^+], [\text{OH}^-] = 10^{-14} \text{ (pas d'unité car constante d'équilibre)}.$$

La concentration (en mole par litre) étant symbolisée par une mise entre crochets.

Les ions hydronium et hydroxyde sont très réactifs, ils peuvent attaquer d'autres matériaux, les dissoudre. On définit l'acidité grâce à la concentration en ion hydronium, par le pH (Potentiel hydrogène) :

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}_3\text{O}^+].$$

À 25°C, le *pH* de l'eau pure vaut 7, il est dit neutre. L'ajout de certains produits dits « acides » va déplacer l'équilibre de dissociation de l'eau et abaisser le *pH* (augmentation du nombre d'ions hydronium) ; à l'inverse, l'ajout de certains produits dits « basiques » va déséquilibrer la réaction dans l'autre sens, favoriser la présence d'ions hydroxyde et augmenter le *pH*.

On note que l'eau peut capturer un proton ou en libérer un, c'est donc un ampholyte, c'est-à-dire à la fois un acide et une base. Cet équilibre acide/base est d'une importance capitale en chimie et en biologie (16).

III.3.2.3. Une propriété remarquable de l'eau :

L'eau comme solvant : Grâce à sa polarité, l'eau est un excellent solvant. Quand un composé ionique ou polaire pénètre dans l'eau, il est entouré de molécules d'eau. La relative petite taille de ces molécules d'eau fait que plusieurs d'entre elles entourent la molécule de soluté. Les dipôles négatifs de l'eau attirent les régions positivement chargées du soluté, et vice versa pour les dipôles positifs. L'eau fait un excellent écran aux interactions électriques (la permittivité électrique ϵ_e de l'eau est de 78,5 à 25°C), il dissocie donc facilement les ions.

En général, les substances ioniques et polaires comme les acides, alcools, et sels se dissolvent facilement dans l'eau, et les substances non-polaires comme les huiles et les graisses se dissolvent difficilement. Ces substances non-polaires restent ensemble (En théorie des ensembles, un ensemble désigne intuitivement une collection d'objets (les éléments de l'ensemble), « une multitude qui peut être comprise comme un tout »,...) dans l'eau car il est énergétiquement plus facile pour les molécules d'eau de former des ponts hydrogène entre elles que de s'engager dans des interactions de van der Waals avec les molécules non polaires.

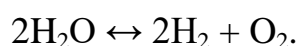
Un exemple de soluté ionique est le sel de cuisine (La cuisine est l'ensemble des techniques de préparation des aliments en vue de leur consommation par les êtres humains (voir cuisinerie). La cuisine est diverse à travers le monde, fruit des...) alias chlorure de sodium (NaCl) qui se sépare en cations Na^+ et anions Cl^- , chacun entouré de molécules d'eau. Les ions sont alors facilement transportés loin de leur matrice cristalline. Un exemple de soluté non ionique est le sucre (Ce que l'on nomme habituellement le sucre est, dès 1406, une "substance de saveur douce extraite de la canne à sucre" (Chrétien de Troyes, Le Chevalier au lion). Il est majoritairement formé...) de table. Les dipôles des molécules d'eau forment des ponts hydrogène avec les régions dipolaires de la molécule de sucre, et celle-ci est ainsi extraite vers l'eau liquide.

Cette faculté de solvant de l'eau est vitale en biologie (La biologie, appelée couramment la « bio », est la science du vivant. Prise au sens large de science du vivant, elle recouvre une partie des sciences naturelles et de l'histoire naturelle des êtres vivants (ou...), parce que certaines réactions biochimiques n'ont lieu qu'en solution (par exemple, réactions dans le cytoplasme ou le sang (Le sang est un tissu conjonctif liquide formé de populations cellulaires libres, dont le plasma est la substance fondamentale et est présent chez la plupart des animaux. Un humain adulte...)). C'est pourquoi l'eau liquide est considérée comme indispensable à la vie et est activement recherchée sur les divers astres du système solaire, notamment sur Mars et Europe (L'Europe est une région terrestre qui peut être considérée comme un continent à part entière, mais aussi comme l'extrémité occidentale du continent eurasiatique, voire...) une lune (La Lune est l'unique satellite naturel de la Terre et le cinquième plus grand satellite du système solaire avec un diamètre de 3 474 km. La distance moyenne séparant la Terre de la Lune est de...) de Jupiter (7).

III.3.2.4. Décomposition de l'eau :

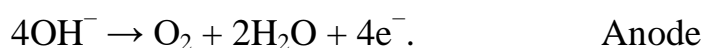
La première décomposition de l'eau fut faite par Lavoisier, en faisant passer (Le genre Passer a été créé par le zoologiste français Mathurin Jacques Brisson (1723-1806) en 1760.) de la vapeur d'eau sur du fer (Le fer est un élément chimique, de symbole Fe et de numéro atomique 26. C'est le métal de transition et le matériau ferromagnétique le plus courant dans la vie quotidienne, sous forme pure ou...) chauffé au rouge (thermolyse). Ce faisant, il établit que l'eau n'était pas un élément mais un corps chimique composé de plusieurs éléments.

La thermolyse de l'eau commence à devenir significative vers 750°C, et elle est totale vers 3 000°C. La réaction produit du dioxygène et du dihydrogène :



L'autre manière de décomposer l'eau est l'électrolyse. Sous l'effet d'un courant qui la traverse (Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous les rails, pour en maintenir

l'écartement et...), l'eau peut être divisée en hydrogène et oxygène. Les molécules d'eau se dissocient naturellement en ions H_3O^+ et OH^- , qui sont attirés par la cathode (La cathode est une électrode siège d'une réduction, que l'on qualifie alors de réduction cathodique. Elle correspond à la borne positive (+) dans une pile électrique qui débite et à la borne...) et l'anode (L'anode est l'électrode où a lieu une réaction électrochimique d'oxydation (menant à la production d'électrons) par opposition à la cathode où se produit une...) respectivement mais comme cette dissociation est faible dans la pratique on a recours à des catalyseurs (En chimie, un catalyseur est une substance qui augmente la vitesse d'une réaction chimique ; il participe à la réaction mais il ne fait partie ni des produits, ni des réactifs et n'apparaît donc pas dans...) comme l'acide sulfurique (L'acide sulfurique (anciennement appelé huile de vitriol ou vitriol) est un composé chimique corrosif de formule H_2SO_4 .) ou l'hydroxyde de sodium. À l'anode, quatre ions OH^- se combinent pour former des molécules de dioxygène O_2 , deux molécules d'eau, et libérer quatre électrons. Les molécules de dioxygène ainsi produites s'échappent sous forme de bulles de gaz (Un gaz est un ensemble d'atomes ou de molécules très faiblement liés et quasi-indépendants. Dans l'état gazeux, la matière n'a pas de forme propre ni de...) vers la surface, où elles peuvent être collectées. Dans le même temps, à la cathode, il y a une libération de deux molécules de dihydrogène H_2 avec utilisation de quatre électrons (7).



III.3.2.5. Propriétés de l'eau liée à la vie terrestre

Certaines des caractéristiques de l'eau font d'elle une molécule remarquable, aux particularités qui ont permis à la vie sur Terre de se développer. Ces caractéristiques, surtout liées à sa nature dipolaire, sont explicitées ainsi qu'il suit.

- l'eau a une force de cohésion élevée, ce qui rend cette matière difficile à évaporer (température d'ébullition particulièrement élevée pour une molécule de cette masse molaire). Cela permet à une importante phase liquide d'exister aux températures connues sur Terre, phase liquide indispensable à la vie telle que nous la connaissons.
- de même, ses propriétés de solvant « doux » permettent à un très grand nombre de réactions biochimiques de se produire.
- le fait que la densité de l'eau soit plus grande à l'état liquide que solide, propriété commune avec le bismuth, a une conséquence remarquable : la glace flotte. De surcroît, le fait que la densité de l'eau douce soit maximale à 4°C fait que la température au fond d'un lac ne peut pas descendre en dessous de 4°C (sauf cas extrêmes). Cela permet à la vie aquatique de survivre aux périodes glacées, car l'eau reste liquide sous son manteau de glace isolant (d'ordinaire la densité à l'état liquide est plus faible qu'à l'état solide pour les autres corps).

Par ailleurs, sa tension superficielle particulièrement élevée permet le phénomène de capillarité, qui permet, entre autres, aux plantes de pousser et à de nombreux êtres vivants de se déplacer sur la surface de l'eau (7).

III.4. ROLE ET DEVENIR DE L'EAU DE BOISSON

L'eau que nous consommons constitue les deux tiers des liquides de l'organisme chez l'adulte de 60kg où elle joue un rôle important. Le corps d'un adulte contient quelques quarante-cinq (45) litres d'eau. Cette eau, assure l'hydratation des cellules du corps et a un rôle de véhicule de certaines substances nutritives.

Un manque de liquide tend constamment à s'installer dans l'organisme. Chaque jour, notre organisme rejette de l'eau sous forme d'urine (95%), de sueur (99%), de vapeur d'eau par les poumons et de liquide dans les selles (80%), pour éliminer les toxines et régler la température (1).

III.5. CYCLE DE L'EAU :

Le cycle de l'eau (ou cycle hydrologique) est un modèle représentant le parcours entre les grands réservoirs d'eau liquide, solide ou gazeuse sur terre : les océans, l'atmosphère, les lacs, les cours d'eau, les nappes souterraines et les glaciers. Le moteur de ce cycle est l'énergie solaire qui, en favorisant l'évaporation de l'eau, entraîne tous les autres échanges. La science qui étudie le cycle de l'eau est l'hydrologie. Elle se divise en hydrogéologie (hydrologie souterraine), hydrologie de surface et hydraulique urbaine, etc (17).

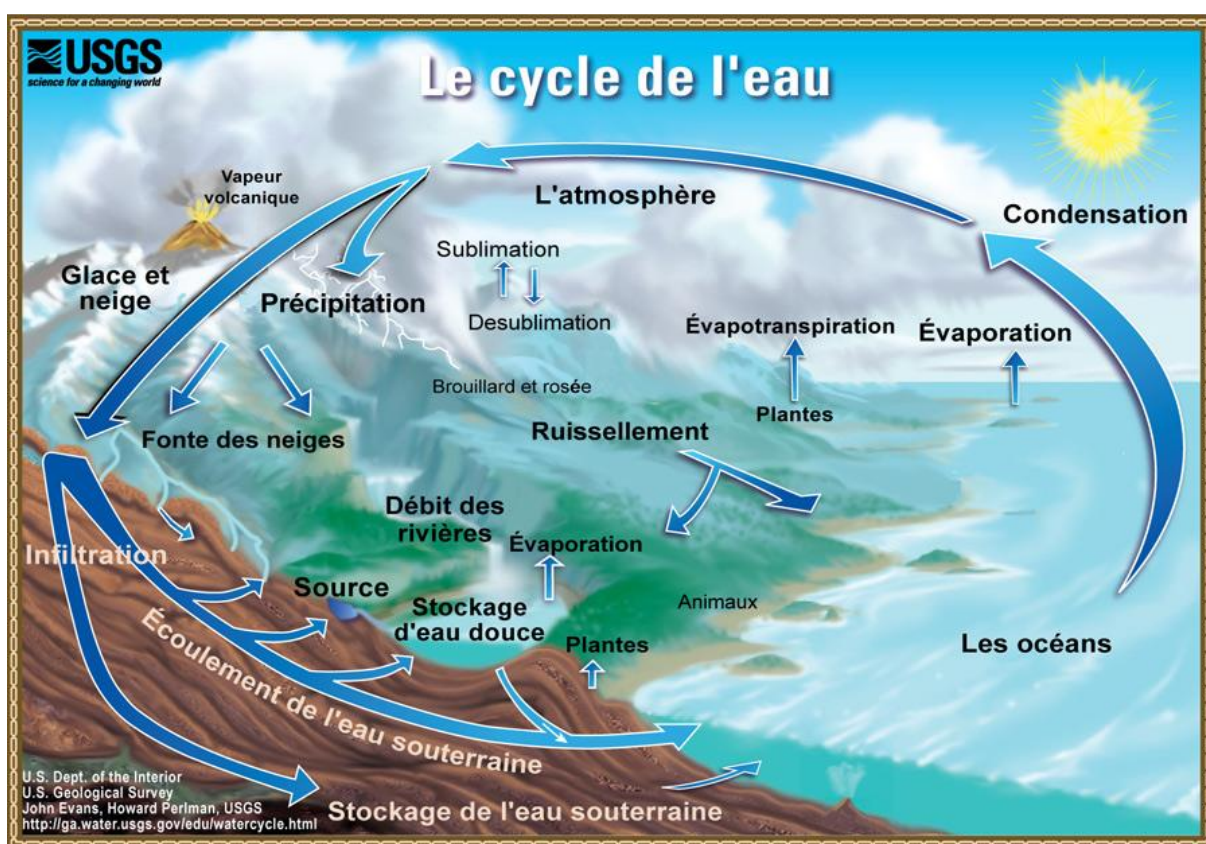


Figure 3 : Cycle de l'eau

1. Etapes du cycle de l'eau :

1-1-L'évaporation : Chauffée par le soleil, l'eau des océans, des rivières et des lacs s'évaporent et montent dans l'atmosphère.

1-2-La condensation : Au contact des couches d'air froid de l'atmosphère, la vapeur d'eau se condense en minuscules gouttelettes qui, poussées par des vents se rassemblent et forment des nuages.

1-3-Les précipitations : Les nuages déversent leur contenu sur la terre, sous forme de pluie, neige ou grêle.

1-4-Le ruissellement : La plus grande partie de l'eau tombe directement dans les océans. Le reste s'infiltré dans le sol (pour former des nappes souterraines qui donnent naissance à des sources) ou ruisselle pour aller grossir les rivières qui a leur tour, vont alimenter les océans.

Et le cycle recommence...

L'eau change de forme mais dans son cycle, c'est toujours le même.

Alors forcément, elle se charge parfois d'éléments indésirables qui la polluent qu'il faut traiter avant qu'elle ne retourne dans la nature.

L'homme est obligé pour sa santé, de la surveiller (17).

De ce cycle nous pouvons dégager trois sources d'approvisionnement en eau :

Les eaux de pluies : Les eaux de pluies peuvent être collectées à partir des toitures dans des récipients ou dans des impluviums. A l'origine ses eaux sont pures sur le plan microbiologique, mais sur le plan chimique, il leur manque souvent certains éléments indispensables à la sante comme le sodium, magnésium, manganèse, fer, iode.

Les eaux de surface : composées d'eau de mer, de fleuve, de rivière, de marigot ; ces eaux couvrent la terre. Les eaux de ruissellement reçoivent toutes sortes de déchets contenant des germes nuisibles pour la santé.

Les eaux souterraines : Formées par des eaux d'infiltrations, elles sont en principe exemptes de pollution. Cependant elles peuvent, d'une part être contaminées par la technique de puisage, la proximité des latrines ou d'autres source de pollution, le manque de protection, d'autre part, elles peuvent être chargées par des éléments ; eaux saumâtres (NaCl) ; eaux dures (Ca⁺⁺) ; eau ferrugineuse (Fe⁺⁺).

III.6. Répartition de l'eau dans le monde :

Il y'a 1 386 000 000 de km³ d'eau sur toute la terre. Environ 97 % est saline. En ce qui concerne l'eau douce, plus de 68 % se trouve dans la glace et les glaciers

et 30 % se trouve dans le sol. Les sources d'eau douce de surface, comme les rivières et les lacs, totalisent 93 100 km³, ce qui représente un 150ème (1/150) d'un pourcent de la quantité totale de l'eau. Cependant, les rivières et les lacs sont les sources de la plupart de l'eau qui est utilisée par les hommes tous les jours(18).

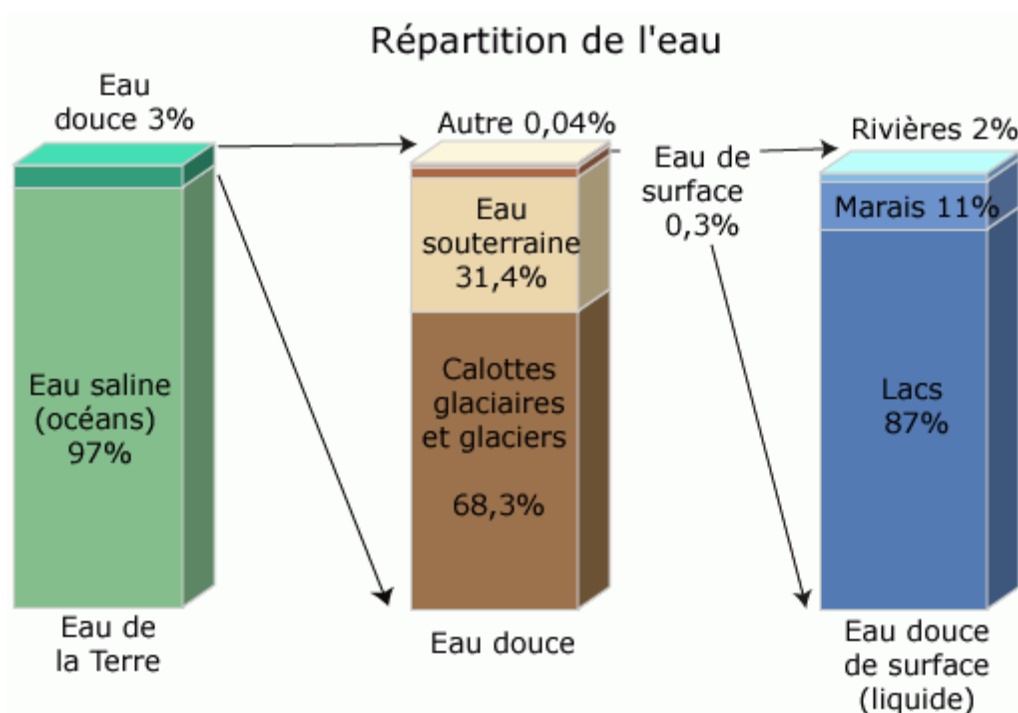


Figure 4 : répartition de l'eau dans le Monde

III.7. QUALITES DE L'EAU DE CONSOMMATION

III.7.1. Paramètres organoleptiques :

III.7.1.1. Couleur :

La couleur de l'eau peut provenir de substances minérales comme le fer, le manganèse et/ou de substances organiques qui proviennent généralement des algues, des protozoaires et de la décomposition de la végétation (substances humiques, tanins, lignines).

Une eau naturelle, même une fois traitée n'est jamais rigoureusement incolore (si on la compare, par exemple à une distillée). Pour l'eau potable, le degré de couleur acceptable est de 15 unités de couleur vrai (UCV) (16).

Il ne faut pas confondre couleur et turbidité. Elles sont très préjudiciables pour l'esthétique.

III.7.1.2. Turbidité :

C'est l'indice apparent qui montre que l'eau contient des matières étrangères en suspension (débris organiques, argiles, organismes microscopiques) et éveille la méfiance et la répugnance du consommateur. On utilise un turbidimètre plus précis que les yeux pour déterminer la turbidité de l'eau. L'un des buts primordiaux du traitement de l'eau est de réduire sa turbidité. Les eaux convenablement filtrées et désinfectées ont des turbidités inférieures à 0,5 NTU (Nephelometric Turbidity Units) (16).

III.7.1.3. Saveur :

Elle sera évaluée par le type et l'intensité du goût comme le ferait un dégustateur. Une eau potable ne doit pas présenter de goût particulier (7).

III.7.1.4. Gout et odeur :

- Goût : << Ensemble complexe des sensations olfactives, gustatives perçues au cours de la dégustation >> (19).

- Odeurs : Propriété organoleptique par l'organe olfactif en << flairant >> certaines substances volatiles (19).

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur « non désagréable ». La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur.

Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère. Les odeurs sont causées par la présence dans l'eau de substances relativement volatiles. Ces substances peuvent être inorganiques comme le chlore, les hypochlorites, le bioxyde de soufre SO_2 ou le sulfure d'hydrogène H_2S ; ou organiques comme les esters, les alcools, les nitrites, les dérivés aromatiques et des composés plus ou

moins bien identifiés résultant de la décomposition de matières animales ou végétales (comme les algues) ou encore dus à la pollution (20).

III.7.2. Paramètres physico-chimiques :

III.7.2.1. pH :

Le pH est une mesure de l'acidité ou la basicité de l'eau c'est à dire de la concentration en ion hydrogène (H^+). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur 7 médiane correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous forme ionique plus toxiques. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons (16).

III.7.2.2. Température :

L'objectif à poursuivre, pour des raisons de qualité organoleptique, consiste à maintenir l'eau potable à une température égale ou inférieure à 15°C et on admet que l'eau doit être rafraichissante. Dans les eaux naturelles 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 la couleur et de la turbidité. Les variations de température saisonnières peuvent affecter les eaux, surtout quand elles sont superficielles (20).

La température de l'eau joue un rôle important par exemple en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz dont, entre autres, l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique (16).

III.7.2.3. La conductivité électrique :

La conductivité électrique est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre 2 plaques séparées de 1cm et de 1cm² de surface. La conductivité électrique (EC) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels en solutions sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs.

La conductivité électrique (EC) standard s'exprime généralement en microsiemens par centimètre ($\mu\text{s}/\text{cm}$) à 20°C. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (16).

L'eau pure est en réalité un isolant, qui conduit mal l'électricité. Mais puisque l'eau est un si bon solvant, elle contient souvent une bonne quantité de soluté dissous, le plus souvent des sels. Si l'eau contient de telles substances, elle peut conduire l'électricité facilement (16).

Tableau I : relation entre minéralisation et conductivité selon la réglementation française(21).

Conductivité	Minéralisation
0-100 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation très faible
100-200 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation faible
200-333 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation moyennement accentuée
333-666 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation accentuée
666-1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation importante
>1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation élevée

III.7.2.4. Dureté ou Degré hydrotimétrique :

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{++} et Mg^{++} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend à réduire la toxicité des métaux.

Les eaux potables de bonne qualité ont un degré hydrotimétrique Inférieur à 15 degrés, elles sont acceptables jusqu'à 50 degrés, mais si elles dépassent 60 degrés, elles ne moussent pas et leur adoucissement doit être envisagé.

La dureté se mesure en mg de CaCO_3 par litre.

Tableau II: Relation entre dureté de l'eau et concentration équivalente en CaCO₃.

Dureté de l'eau	Concentration en mg/L
Eau douce	0 à 60 mg/L
Eau moyennement douce	60 à 120 mg/L
Eau dure	120 à 180 mg/L
Eau très dure	plus de 180 mg/L

Une dureté supérieure 200 mg/L peut provoquer l'entartrage du système de distribution et entraîner une consommation excessive de savon avec formation d'écume (21).

III.7.2.5. L'alcalinité (Alc) :

L'alcalinité est une mesure de la capacité de l'eau à résister à des changements du pH, qui tendrait à rendre l'eau plus acide. Le pH est une valeur donnée pour indiquer le degré d'acidité ou de basicité d'une substance.

L'alcalinité de l'eau est due à la présence de certains ions: carbonates, bicarbonates, et hydroxydes (souvent désignés sous le nom des sels alcalins).

Les bicarbonates sont la cause la plus commune de l'alcalinité et sont trouvés dans presque toutes les sources d'eau, de même que des carbonates. Des hydroxydes (hydroxyde de sodium et potassium) sont moins souvent trouvés dans l'eau mais les concentrations peuvent augmenter après certains traitements.

L'eau avec une basse alcalinité peut également être corrosive. En conséquence du cuivre et du plomb peuvent se retrouver dans l'eau suite à la dissolution des canalisations. Elle peut également irriter les yeux. L'eau avec l'alcalinité élevée a un goût de soude, peut dessécher la peau et peut endommager la tuyauterie et le système de distribution d'eau.

III.7.2.6. Les ions majeurs :

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 10 ions, couramment appelé les majeurs. On distingue les anions : Chlorures, Sulfates, Nitrates,

Nitrites, Phosphates et Bicarbonates et les cations : Calcium, Magnésium, Sodium et le Potassium.

III.7.2.6.1. Les anions :

III.7.2.6.1.1. chlorures :

Les chlorures, très répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium (CaCl₂), les ions chlorures (Cl⁻) dont la plus grande partie se trouve dans les océans, constituent environ 0,05 % de la lithosphère (partie solide de la sphère terrestre). De façon générale, l'ion chlorure est présent dans toutes les eaux, à des concentrations variables. Dans les eaux de surface, il est présent en faible concentration. Dans les eaux souterraines, la teneur en ion chlorure peut atteindre quelques grammes par litre au contact de certaines formations géologiques.

III.7.2.6.1.2. Sulfates : so₄²⁻

Les sulfates, composés naturels des eaux, les ions sulfates (SO₄²⁻) sont liés aux cations majeurs : calcium, magnésium et sodium. A part ceux du plomb, du baryum et du strontium, la plupart des sulfates sont solubles dans l'eau. Ils peuvent néanmoins être réduits en sulfure, volatilisés dans l'air en hydrogène sulfuré. Les sulfures d'hydrogène (H₂S), précipités en sel insoluble ou assimilés par des organismes vivants. La concentration en sulfates dans les eaux naturelles est très variable, mais ne dépasse généralement pas le gramme par litre.

III.7.2.6.1.3. Nitrites et Nitrates : NO₂⁻ et NO₃⁻

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. 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. 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...).

En milieu acide ($\text{pH} = 1$ à 5), pH stomacal normal, les nitrites réagissent avec les amines primaires, secondaires et tertiaires généralement d'origine alimentaire pour donner les nitrosamines réputées cancérigènes (22).

III.7.2.6.1.4. Phosphates : PO_4^{3-}

On retrouve assez souvent des phosphates dans les eaux et habituellement la quantité ne dépasse pas 1mg/l en PO_4^{3-} . Dans l'eau de puits, la présence de phosphates peut être liée à une contamination par infiltration en provenance de fosses d'aisance ou de fumier. Dans le cas des eaux de surface ou de nappes, Il peut s'agir d'infiltration d'eaux résiduelles industrielles ou d'eau de puits ayant traversé des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés. Les phosphates sont des anions qui s'attachent très facilement aux minéraux du sol. Dans certaines régions et en particulier dans les zones phosphatiques, la plupart des

eaux renferment des traces dues aux terrains. Le phosphore joue un rôle important dans le développement des algues, il est susceptible de favoriser leur développement dans les réservoirs et les grosses canalisations. Enfin les phosphates rencontrés peuvent aussi provenir d'un traitement des eaux (poly phosphates). On peut admettre jusqu'à 1 mg de PO_4^{3-} par litre, surtout si la présence de phosphates n'est pas liée à une pollution humaine ou animale. Cependant, des doses supérieures peuvent être tolérées sans danger. La réglementation française prévoit que la teneur en PO_4^{3-} de l'eau livrée à la consommation ne dépassera pas 5 mg/l contre 0,005mg/l pour la norme malienne.

Les phosphates dégradent les qualités organoleptiques de l'eau (odeur, saveur, turbidité, couleur), bouleversent les conditions d'utilisation ne serait-ce qu'en raison de son aspect inesthétique (putréfaction).

III.7.2.6.2. Les cations :

III.7.2.6.2.1. Calcium et Magnésium :

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires, sous forme de carbonates. Ces sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles. Leur teneur dans l'eau, qui peut varier de 1 à 150 mg/l, est directement liée à la nature géologique des terrains traversés. Les sels de calcium sont obtenus en majorité lors de l'attaque de roches calcaires par l'anhydride carbonique dissous (CO_2). Il constitue l'élément cationique dominant des eaux superficielles. Le calcium est l'élément principal de la dureté de l'eau. Le magnésium est un élément très répandu dans la nature, dans de nombreux minéraux et ou minerais dans les calcaires (2,1 % de l'écorce terrestre). Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes (quelques mg/l à plusieurs centaines de mg/l). La plupart des eaux naturelles présentent des teneurs comprises entre 5 et 10 mg/l. Cette concentration est en relation directe avec la nature géologique des terrains traversés. Le magnésium

dans l'eau provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes et de la mise en solution de magnésium sous forme de carbonates ($MgCO_3$) et de bicarbonates (Mg_2HCO_3).

III.7.2.6.2.2. Sodium et potassium :

Le cation sodium (Na^+) est abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites). La roche Halite (évaporite $NaCl$) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées.

Le potassium (K^+) est assez abondant sur terre, mais peu fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaé dans les sols (sur les argiles notamment). Les sources principales de potassium sont les roches cristallines (mais dans les minéraux ou minerais moins altérables que ceux notamment du sodium) et les argiles.

III.7.3. Autres éléments dissous :

III.7.3.1. Certains Métaux :

Le fer et le manganèse peuvent provoquer une coloration et sont à l'origine de dépôts dans les réseaux. Des corrosions peuvent en résulter. Par ailleurs ; ils affectent les qualités organoleptiques de l'eau, comme d'autres métaux tels que le cuivre, l'aluminium, le zinc.

III.7.3.2. Le fluor :

Les sources principales de fluor dans les eaux souterraines sont l'apatite présent dans les bassins phosphates ($8 <fluorine < 5mg/l$ au Sénégal), et la fluorine présente dans les roches magnétiques alcalines et dans des filons ($0.3 <fluorine < 0.5 mg/l$). Les zones de thermalisme sont également fréquemment concernées.

C'est essentiellement le temps de contact entre la roche et l'eau souterraine, ainsi que les contrôles chimiques qui sont les causes principales des concentrations élevées en iode (la dissolution de la fluorine - CaF_2 - est contrôlée par la concentration en calcium).

Le fluor est reconnu comme essentiel dans la prévention des caries dentaires (dentifrices fluores). Cependant, une ingestion régulière d'eau dont la concentration est supérieure à 2mg/l (OMS) peut entraîner des problèmes de fluorose des os et dentaire (décoloration des dents pouvant évoluée jusqu'à leur pertes). Les enfants en croissance sont particulièrement vulnérables.

III.7.3.3. Les gaz dissous :

Le sulfure d'hydrogène H₂S est un révélateur de conditions anaérobies, et d'un potentiel d'oxydo-réduction trop bas ; il dégage une très de mauvaise odeur (puanteur) et peut être à l'origine de corrosion.

III.7.4. les métaux lourds :

Les métaux lourds sont en général les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas metalloïdes (élément qui combine certaines caractéristiques du métal comme l'Arsenic par exemple) caractérisés par une masse volumique supérieure à 5 g/Cm³. Ils sont généralement à l'état de traces dans les eaux ; quarante et un métaux correspondent à cette définition générale auxquels il faut ajouter cinq metalloïdes. Parmi ces métaux lourds seuls l'Arsenic, le Cadmium, le Chrome, le Cuivre, le Mercure, le Nickel, le Plomb, le Sélénium et le Zinc font l'objet de contrôle notable et régulier.

Certains types de pollution se caractérisent par la présence de métaux lourds, par exemple la présence de Cuivre et de Nickel signe des rejets prévenants d'industries de traitement de surface des métaux, le Chrome traduit la présence d'une tannerie ; le Plomb est lié à des pollutions diffuses ; le Zinc est évacué par des industries qui pratiquent la galvanisation ou la préparation d'alliages tels que le laiton ou le bronze ; le Cadmium peut notamment être rejeté par des usines de galvanoplasties et des industries chimiques de textiles et de teintures.

Les métaux lourds se dissolvent très bien dans les eaux acides (pH faible). Dans les eaux neutres ou basiques, ils précipitent ou s'accumulent principalement dans la phase solide (boues).

III.7.4.1. Dosage des métaux lourds :

Les métaux lourds sont problématiques en raison de leurs caractères persistants et de leur toxicité. C'est pour cette raison que les règlements les concernant imposent des seuils très bas.

III.7.4.2. Quelques Métaux lourds et leur toxicité

Arsenic :

A l'état pur, l'arsenic n'est pas toxique mais il s'oxyde facilement à l'air pour former l'anhydride arsénieux qui lui est très toxique pour le système nerveux. Il est présent dans les pigments de peinture, de porcelaine et est utilisé pour le tannage des peaux.

Plomb : Le plomb et ses dérivés sont des toxiques majeurs et des polluants importants de l'environnement. Le plomb est à l'origine d'une pathologie appelée saturnisme (intoxication au plomb apparaissant lorsque le taux dans l'organisme atteint 800µg/l(23).

Le **saturnisme** est une **intoxication par le plomb** dangereuse pour la santé car le plomb a toujours des effets toxiques sur l'organisme, même à faible dose, surtout au niveau du système nerveux, de la moelle osseuse et des reins. Le saturnisme est mesuré par une **plombémie** (ou taux de plomb dans le sang). On parle de saturnisme lorsque la plombémie est égale ou supérieure à 50 microgrammes par litre de sang (24).

Le plomb est présent dans les batteries et accumulateurs, les alliages pour soudure, les colorants jaunes (peinture), les carburants... L'eau de boisson peut contenir du plomb lorsque les canalisations sont constituées de ce métal.

Mercuré :

Le mercure est un puissant toxique pour le système nerveux. On le retrouve dans les piles, les enseignes lumineuses... Il est présent dans la croûte terrestre et océanique.

Cadmium :

Le cadmium est un sous-produit de la métallurgie du zinc et du plomb. Il rentre dans la fabrication des batteries, accumulateurs, et dans le revêtement anti-corrosion des métaux. C'est un toxique redoutable pour le système nerveux.

Chrome :

Le chrome est un élément anormal de l'eau, il provient habituellement des eaux usées des ateliers de galvanoplastie. Il a des caractéristiques cancérigènes.

III.7.5. Paramètres microbiologiques :

III.7.5.1. Qualité bactériologique :

Etymologiquement, le mot qualité est emprunté au latin philosophique *qualitas* qui signifie manière d'être, attribut propre de l'être et en particulier aspect sensible et non mesurable des choses. (Robert, 1973) C'est la manière d'être plus ou moins caractéristique (en parlant des choses). Ce qui fait qu'une chose est plus ou moins recommandable, par rapport à l'usage ou au goût humain, qu'une autre de même espèce. C'est un degré plus ou moins élevé d'une échelle de valeur pratique. La qualité bactériologique de l'eau est évaluée lors des contrôles analytiques réglementaires, par la recherche de bactéries, principalement des germes témoins de contamination fécale. La présence de ces bactéries dans l'eau peut avoir pour origine une pollution de la source, un dysfonctionnement du traitement de potabilisation ou un entretien insuffisant des équipements de distribution (7).

III.7.5.1.1. Bactéries :

Les bactéries pathogènes tiennent une place prépondérante dans les infections d'origine hydrique. Leur pathogénicité est relative d'un individu à un autre et d'un germe à un autre. Ce sont : les salmonelles, les shigelles, les vibrions, les staphylocoques, les *Pseudomonas* etc.... (1,25).

III.7.5.1.2. Bactéries qui survivent dans l'eau :

Vibrio cholerae est la bactérie la plus connue, responsable de nombreuses épidémies mortelles de choléra. Elle se développe surtout dans les eaux

stagnantes et dans les estuaires. La maladie n'a pas été éradiquée et demeure une cause de mortalité fréquente dans les pays pauvres. Il existe quelques cas sporadiques dans les pays développés, notamment aux Etats-Unis, à la suite de la consommation de crabes et de crevettes pas assez cuits. *Vibrio cholerae* est très sensible à la désinfection (26).

Salmonella est responsable de la typhoïde, première cause de mortalité d'origine hydrique jusqu'à la seconde guerre mondiale. La bactérie est très sensible à la désinfection (27).

Escherichia coli est une bactérie de l'intestin, surtout dans le bétail, indicateur de contamination fécale dans l'eau. *E. coli* n'est pas directement pathogène car elle supprime des bactéries nuisibles dans l'intestin, tout comme la campylobactérie présente dans les intestins et par conséquent les fientes d'oiseaux. Cependant, *E.coli* est productrice de la vérotoxine qui provoque des diarrhées hémorragiques (28,29).

III.7.5.1.3. Bactéries pathogènes qui se développent dans l'eau :

Pseudomonas spp. est très fréquente dans les eaux usées et les eaux pluviales. La bactérie est très résistante aux antibiotiques. *Aeromonas spp.* est naturellement présente dans l'eau claire. Elle se développe dans les eaux usées et chaudes.

Legionella spp. Compte 42 espèces dont *Legionella pneumophila* responsable de la maladie du légionnaire (légionellose). Ces bactéries sont sensibles à la chaleur et la maladie est liée à l'inhalation de microgouttelettes (1,30,31).

III.7.5.2. Effet sur la santé :

Les conséquences dépendent de plusieurs facteurs :

- ✓ l'état général du consommateur ;
- ✓ la virulence des microorganismes ;
- ✓ la dose ingérée.

Les troubles sont principalement des troubles gastro-intestinaux, diarrhées, vomissements. Pour autant, les risques microbiologiques ne doivent pas être sous-estimés (8).

✚ **Limite de la qualité à respecter** : L'eau ne doit pas contenir de microorganismes pathogènes ni de germes témoins de contamination fécale.

III.7.5.3. Contaminants bactériologiques :

Les contaminants bactériologiques sont nombreux. L'indicateur de pollution idéal doit présenter un certain nombre d'exigences à savoir : l'innocuité, une spécificité, la sensibilité, une certaine résistance et une facilité de détection. Ainsi les contaminants les plus proches, c'est-à-dire ceux qui vérifient en partie les exigences se présentent en trois groupes :

- les coliformes parmi lesquelles *Escherichia coli* est un indicateur ;
- les Streptocoques fécaux avec *Enterococcus faecalis*;
- les espèces anaérobies telles que *Clostridium perfringens* (7).

Tableau III : valeur guide des micro-organismes (32) .

MICRO-ORGANISMES	VALEURS GUIDES
TOUTES LES EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION	
<i>E. coli</i> ou bactéries coliformes thermo tolérantes	Non détectables dans un échantillon de 100ml
Eaux traitées, à l'entrée du réseau de distribution	
<i>E.coli</i> ou bactéries coliformes thermotolérantes	Non détectables dans un échantillon de 100ml
Coliformes totaux	Non détectables dans un échantillon de 100ml
Eaux traitées, dans le réseau de distribution	
<i>E.coli</i> ou bactéries coliformes thermotolérantes	Non détectables dans un échantillon de 100ml
Coliformes totaux	Non détectables dans un échantillon de 100ml. Dans les installations importantes, on ne doit trouver de coliformes dans 95% des échantillons prélevés sur une période de 12 mois.

III.7.5.3.1. Les coliformes

Les coliformes fécaux sont des indicateurs classiques faciles à déceler et à dénombrer. Ce sont : *Escherichia coli*, *Citrobacter sp*, *Enterobacter sp*, *Serratia sp*. Certains germes d'origine fécale répondent à la définition de coliformes totaux. Ceux-ci sont présents dans le sol, dans les fèces et les eaux non polluées. Germe à Gram négatif, les coliformes totaux se caractérisent par leur aptitude à fermenter le lactose à 35°C voir 37°C en produisant de l'acide, du gaz et un aldéhyde dans un délai de 24-48 heures. Les coliformes thermo tolérants constituent un sous-groupe de coliformes totaux dont ils partagent les caractéristiques à la différence qu'ils supportent la température de 44-45°C. Ils peuvent pousser et produire du tryptophane. Seul *E. coli* est capable de fermenter le lactose à 44-45°C (28,30,33).

La présence dans l'eau de boisson de ces coliformes révèle :

- soit un traitement inefficace ;
- soit une contamination postérieure au traitement à savoir un manque d'hygiène.

La détermination de quelques caractéristiques écologiques et biochimiques communes à *E.coli* et à certaines espèces bactériennes a permis de définir le groupe appelé coliformes. La présence de coliformes dans les aliments et dans l'eau revêt la même signification que *E coli*

En effet, les coliformes thermotolérants sont considérés comme des témoins d'une contamination fécale récente de l'aliment, surtout lorsque celui-ci est frais. Les coliformes peuvent être accompagnés par des pathogènes du genre *Shigella* capables d'entraîner des troubles digestifs graves. La présence de *E. coli* est directement liée à une contamination fécale mais ne permet ni de dater, ni d'évaluer l'importance de la contamination. Le tableau IV ci-dessous répertorie les espèces répondant au nom de coliformes (32,34–36).

Tableau IV : Les espèces répondant au nom de coliformes (31).

Origine fécale connue	Aquatique ou Tellurique	Probablement non fécale
<i>Escherichia coli</i>	<i>Klebsiella terrigena</i>	<i>Klebsiella trevisanii</i>
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Enterobacter amnigenus</i>	<i>E. agglomerans</i>
<i>Klebsiella oxytoca</i>	<i>E. intermedium</i>	<i>E.gergoviae</i>
<i>Enterobacter cloacae</i>	<i>Serratia plymuthia</i>	<i>E. sakazakii</i>
<i>Enterobacter aerogenes</i>	<i>Serratia fonticola</i>	<i>Hafnia alvei</i>
<i>Citrobacter freundii</i>	<i>Rhanella aquatilis</i>	<i>Serratia marcescens</i>
<i>Citrobacter diversus</i>		<i>Serratia liquefaciens</i>
<i>Citrobacter amalonatiae</i>		<i>Serratia odorifera</i>

III.7.5.3.2. Streptocoques fécaux : Ils sont spécifiques de la flore intestinale de l'homme et des animaux et sont considérés comme des indicateurs secondaires. Ils appartiennent aux genres *Enterococcus* et *Streptococcus*. Ils se caractérisent par certaines propriétés biochimiques communes et une large tolérance à des conditions de croissance défavorables. Ils sont résistants du fait de leur constitution. Dans le genre Entérocoque, on peut citer : *Enterococcus avium*, *E. casseflavus*, *E. faecalis*, *E. faecium*, *E. gallinarium*, *E. malodoratus*.

Chez les Streptocoques, les espèces *S. bovis* et *S. equinus* appartiennent aux Streptocoques du groupe D. Ce sont des cocci Gram positif mesurant 0,7 à 1 µm de diamètre. Ils se présentent sous forme de chaînette de cocci associés. Contrairement à *E. coli*, les Entérocoques permettent de dater et de situer l'origine de la contamination. Ils sont utilisés pour préciser la signification des résultats douteux et de recherche de coliformes (33,34,37).

III.7.5.3.3. Clostridies sulfito-réductrices :

Ce sont des micro-organismes anaérobies produisant des spores dont le plus caractéristique est *Clostridium perfringens*. Il est présent dans les fèces mais en plus petit nombre que *E. coli*. Ce sont des bactéries à Gram positif mesurant 4 à 6 µm de long et 1 à 2 µm de large. Ils sont peu sensibles aux désinfectants. La présence de *C. perfringens* dans une eau de boisson est synonyme d'une défaillance du processus de traitement ou une contamination intermittente à distance et ancienne (38–40).

III.7.5.3.4. Autres contaminants bactériologiques :

- *Pseudomonas aeruginosa*

C'est un organisme pathogène de circonstance. Il a pour cible, les personnes immunodéprimées, les personnes du troisième âge et les très jeunes. Il peut exister dans l'eau de boisson, en présence ou en l'absence de coliformes. Les *Pseudomonas spp.* ont un intérêt particulier dans le contrôle de qualité des eaux de boisson conditionnées, et dans le domaine de l'hygiène hospitalière pour la surveillance de l'approvisionnement en eau des hôpitaux. Selon

l'AFNOR, l'eau conditionnée ne doit contenir aucun *Pseudomonas aeruginosa* dans 100 ml (1,25,41).

- *Legionella*

Ce sont des bactéries ubiquistes, particulièrement abondantes dans les eaux riches en fer et réchauffées (40-45°C), dans les environnements chauds, alternativement secs et humides. Une quarantaine d'espèces ont été décrites depuis la découverte du germe en 1977. Ce sont les sérotypes 1 et 6 de l'espèce de *Legionella pneumophila* qui sont incriminés souvent dans les cas de Légionellose(31).

III.7.6. Autres agents biologiques pathogènes pour l'homme :

Comme autre agents biologiques pathogènes pour l'homme, on distingue : les parasites et les virus.

III.7.6.1. Parasites ou protozoaires :

Ce sont des parasites dits opportunistes car ils se développent sur un hôte. Les plus connus sont les *Giardia* et le *Cryptosporidium* découverts en 1955. Ces parasites sont rejetés par les animaux et les hommes. *Cryptosporidium* est résistant aux désinfectants. La dose infectieuse n'est pas connue avec précision mais pourrait démarrer avec un seul microorganisme. Certains parasites comme les douves appartenant aux genres *Fasciola* et *Dicrocoelium* peuvent polluer l'eau de boisson. La maturation des œufs du genre *Fasciola* nécessite des températures de 22 à 25°C(11,31).

III.7.6.2. Virus :

Parmi les virus présents dans l'eau, on compte le virus de l'hépatite A, le virus de l'hépatite E plutôt confiné dans les milieux tropicaux, le virus commun des gastroentérites, les *Adénovirus*, les *Réovirus*. On compte plus de 140 virus identifiés dont la plupart se retrouvent dans les selles.

Le seuil de déclenchement des maladies est mal connu mais paraît très bas. Leur résistance aux traitements de désinfection est variable(42).

III.8. RISQUES SANITAIRES LIES A L'EAU : MALADIES

HYDRIQUES

Définition :

Les maladies hydriques sont des maladies causées par l'eau contaminée par des déchets humains, animaux ou chimiques. Autrement dit, c'est n'importe quelle maladie causée par la consommation d'eau contaminée(7).

Généralités :

L'eau ressource naturelle, indispensable à la vie est aussi de manière directe ou indirecte, la première cause de mortalité et de maladie au monde. L'inéluctable raréfaction et l'inégalité de la répartition des ressources en eau conduisent à une inquiétante dégradation de la qualité de l'eau, qui a de lourdes conséquences en matière de santé. Ainsi dans les pays en développement, 80% des maladies sont dues à l'eau et un africain sur deux souffre d'une maladie hydrique (43). Selon l'OMS, chaque année 30 millions de personnes meurent des suites d'une épidémie ou d'une contagion due à la pollution des eaux et 2 millions de personnes dont la plupart des enfants meurent de maladies diarrhéiques. Les maladies hydriques comprennent entre autres : le choléra, la fièvre typhoïde, la poliomyélite, la méningite, les hépatites A et E, la diarrhée. Ces maladies sont dûes à la mauvaise qualité de l'eau et la plupart peuvent être évitées si l'eau est traitée avant d'être utilisée (7).

Maladies hydriques opportunistes :

Il existe quatre catégories de maladies opportunistes liées à l'eau. Ce sont les maladies diarrhéiques, celles dues aux organismes aquatiques, celles dues aux vecteurs liés à l'eau et celles dues à une pénurie d'eau. Les maladies diarrhéiques sont des maladies dont la manifestation première est la diarrhée. Elles sont causées par des germes pathogènes qui sont pour la plupart présents dans les eaux de boisson contaminées. Chaque jour, les maladies diarrhéiques causent la mort de 6000 personnes et les principales victimes sont les enfants de moins de cinq ans. En Chine, en Inde et en Indonésie, deux fois plus de

personnes meurent de maladies diarrhéiques que du SIDA. Ces mortalités sont dues au facteur de risque eau, assainissement et hygiène. Les maladies d'origine aquatiques sont des maladies causées par des organismes aquatiques qui passent une partie de leur vie dans l'eau et une autre en tant que parasites. Ces maladies comprennent la dracunculose, la paragonimiasse, la clonorchiasse et la schistosomiasse. Ces maladies sont causées par toute une variété de Plathelminthes et Némathelminthes qui infectent les humains. Ces maladies ne sont pas généralement mortelles mais empêchent les personnes atteintes de vivre normalement et diminuent leurs capacités de travail. En Afrique sub-saharienne 80% des cas de schistosomiasse sont transmis. Des études montrent que la maladie a pu être réduite de 77% dans certaines régions, grâce à une meilleure fourniture d'accès à l'eau potable et l'assainissement(44).

Les maladies dues aux vecteurs liés à l'eau sont des maladies transmises par les vecteurs tels que les moustiques et les mouches tsé-tsé qui se reproduisent ou vivent dans ou près des eaux polluées et non polluées. Des millions de personnes souffrent d'infections transmises par ces vecteurs, telles que la malaria, la fièvre jaune, la dengue, la maladie du sommeil et la filariose.

Plus d'un million de personnes meurent chaque année de la malaria dont environ 90% en Afrique sub-saharienne. Les maladies dues à une pénurie d'eau telles que le trachome et la tuberculose sont des maladies qui se développent dans des régions où l'eau est rare et les systèmes d'assainissement faibles. Ces maladies s'étendent dans le monde entier. Elles peuvent être contrôlées facilement grâce à une meilleure hygiène, mais des approvisionnements adéquats en eau potable doivent être disponibles(44).

Tableau V: Principales maladies transmises par l'eau et leurs agents pathogènes(45)

MALADIES	AGENTS
<p>Origine bactérienne</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fièvres typhoïde et paratyphoïde • Dysenterie bacillaire • Choléra • Gastroentérite aiguës et diarrhée 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Salmonella Typhi</i> - <i>Salmonella Paratyphi A et B</i> - <i>Shigella spp.</i> - <i>Vibrio cholerae</i> - <i>Escherichia coli enterotoxinogène</i> - <i>Campylobacter jejuni / coli</i> - <i>Yersinia enterocolytica</i> - <i>Salmonella spp.</i> - <i>Shigella spp.</i>
<p>Origine virale</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hépatites A et E - Poliomyélite- Gastroentérite aiguë et diarrhée 	<ul style="list-style-type: none"> - Virus Hépatites A et E - Poliovirus - Virus de Norwalk - Rotavirus, Astrovirus- Calcivirus, Coronavirus- Enterovirus, Adenovirus- Reovirus.
<p>Origine parasitaire</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dysenterie amibienne - Gastroentérite 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Entamoeba histolytica</i> - <i>Giardia intestinalis</i> - <i>Cryptosporidium, Isospora belli</i>

Les maladies hydriques liées aux éléments chimiques

Ce sont des maladies d'origine chimique dues à un dépassement de la quantité ou de la valeur admise pour certains éléments. L'eau contient de nombreux oligo-éléments qui sont bénéfiques à faible concentration comme le fer ou le fluor, mais toxiques à plus forte dose pour l'homme. Par contre certains éléments tels que l'arsenic, le cyanure ou le plomb sont dangereux même à faible dose.

Tableau VI: Exemples de maladies liées à quelques éléments chimiques (7).

Eléments chimiques	Maladies
Arsenic	Arsénicisme
Fluor	Fluorose
Nitrate	Méthémoglobinémie
Plomb	Saturnisme
Toxines de cyanobactéries	Impacts sur le foie, le cerveau suivant le type de toxine produite

III.9. LES DIRECTIVES DE QUALITE DE L'EAU :

NORMES MALIENNES

On distingue des normes pour l'eau transportée sous canalisation et l'eau non transportée sous canalisation.

➤ Eau transportée sous canalisation

1-Parametres physico-chimiques

1-1-Parametres organoleptiques

Tableau VII: Paramètres organoleptiques MALINORM

Paramètres	Unités	Valeurs maxi. admissibles
Couleur	UCV	25
Turbidité	UNT	5
Gout, Saveur et odeur	Non déplaisant pour la majorité des consommateurs	

1-2-Parametres de structure :

Tableau VIII: paramètres de structures (MALINORM)

Paramètre	Unité	Valeur maxi. admissible
pH	-	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8$
Chlorures	mg/l Cl^-	600
Sulfates	mg/l SO_4^{2-}	500
Dureté totale	mg/l CaCO_3	500
Alcalinité	mg/l CaCO_3	<150
Calcium	mg/l Ca^{2+}	400
Magnésium	mg/l Mg^{2+}	100
Sodium	mg/l Na^+	400
Potassium	mg/l K^+	100
Conductivité	$\mu\text{s/cm}$	1500

1-3-Substances indésirables :

Tableau IX: Substances indésirables (MALINORM)

Paramètres	Unités	Valeurs maxi. admissible
Nitrates	mg/l NO ₃	50
Nitrites	mg/l NO ₂	0,02
Azote Ammoniacal	mg/l NH ₄ ⁺	0,5
Fer	mg/l Fe ²⁺	0,3
Fer total		
Manganèse	mg/l Mn	0,5
Cuivre	mg/l Cu ²⁺	1
Zinc	mg/l Zn	3
Arsenic	mg/l As	0,01
Plomb	mg/l Pb	0,01
Fluorures	mg/l F ⁻	0,5
Cadmium	mg/l Cd	0,003
Nikel	mg/l Ni	0,02
Chrome	mg/l Cr ⁶⁺	0,05
Cyanures	mg/l CN ⁻	0,07
Ortho phosphates	mg/l	0,001

2-1-Parametres toxicologiques :

Tableau X: paramètres toxicologiques

Paramètres	Unités	Valeurs maxi. admissible
DBO5	mg/l	<50
DCO	mg/l	<150
Oxygène dissous	mg/l O ₂	0,7
% Saturation O ₂ dissous	-	70%

3-1-Parametres bactériologiques : MALINORM

Tableau XI: Paramètres bactériologiques

Paramètres	Unités	Valeurs maxi. admissible
Coliformes totaux	/100ml	0
Coliformes fécaux	/100ml	0
<i>Escherichia coli</i>	/100ml	0

➤ **Eau non transportée sous canalisation**

Les normes fixées pour les eaux non transportées sous canalisation se distinguent de celles transportées sous canalisation à quelques chiffres/unités près qui suivent :

1-Parametres physico-chimiques :

Tableau XII: Potentiel d'hydrogène et Paramètres organoleptiques

MALINORM

Paramètres	Unités	Valeurs maxi. admissibles
pH		$5.5 \leq \text{pH} \leq 9$
Couleur	UCV	25
Turbidité	UNT	10
Gout, Saveur et odeur	Non déplaisant pour la majorité des consommateurs	

2-Parametres bactériologiques :

Tableau XIII: Paramètres bactériologiques MALINORM

Paramètres	Unités	Valeurs maxi. admissible
Coliformes totaux	/100ml	10
Coliformes fécaux	/100ml	0
<i>Escherichia coli</i>	/100ml	0

III.10. POLLUTION DES EAUX :

On entend par pollution d'une eau : l'ensemble des éléments qui la rendent impropre à un usage déterminé, il faut ajouter :

- qu'il y a autant de variétés de pollutions que d'usages,
- que de nouvelles pollutions apparaissent au fur et à mesure que nos connaissances en toxicologie avancent et nos moyens d'analyse se perfectionnent : il n'est d'ailleurs pas exclu que certaines se révèlent injustifiées après des études plus approfondies Et à savoir que la pollution la plus à craindre n'est pas forcément celle dont on parle de plus.(46)

On a traditionnellement :

- **-la pollution physique** : Dûe à la présence de matières en suspension et des colloïdes. Elle se traduit par une coloration ou un trouble plus ou moins prononcé.
- **la pollution chimique** : Dûe à des substances en solution ; elle se traduit par un changement de saveur, parfois par l'apparition d'un caractère toxique lorsque le corps dissous est un poison.
- **-la pollution thermique** : Conduisant à un accroissement de température due à des circuits de refroidissements, le plus souvent des centrales énergétiques.

1- Origine de la pollution : on a principalement :

1-1-les pollutions domestiques : elles-mêmes divisées en eaux de vanne qui comprennent les eaux de diverses toilettes et eaux ménagères qui englobent les lavages.

1-2-la pollution urbaine : les rues, les trottoirs, les commerces et l'artisanat, les bâtiments scolaires, les hôpitaux, eau de pluie.

1-3-la pollution liée aux ruissellements autoroutiers en rase campagne : Les travaux de construction et de matériaux utilisés ; le déversement accidentel ; l'entretien des voies.

1-4-la pollution agricole : érosion des sols ; engrais chimiques ; pesticides ; insecticides ; fongicides etc....

1-5- la pollution industrielle : les tanneries ; le déversement de déchets chimiques(46).

IV. METHODOLOGIE DE RECHERCHE

IV.1. Type de l'étude :

Il s'agit d'une étude de cohorte à visée évaluative.

IV.2. Cadre de l'étude :

Mopti, cinquième région du Mali est un important pool économique et financier situé à la confluence du fleuve Niger et le Bani. La ville de Mopti et Sévaré comptent onze quartiers qui sont : Komoguel I, Komoguel II, Gangal, Mossinkoré, Bougoufiè, Toguel, Taïkiri, Médina-Coura, Sévaré secteur I, Sévaré secteur II et Sévaré secteur III.

La ville de Mopti a une population composite, comprenant environ tous les échantillons des grands groupes ethniques du Mali et d'une partie de l'Afrique Occidentale (Peulhs, Bozos, Dogons, Banbara, Markas, Songhoïs, Bobos, Mossis, Haoussa,...). Ces populations vivent des systèmes divers de production (agriculture, élevage, pêche, artisanat) et de commerce. Le tourisme joue un rôle majeur au sein de l'économie à l'échelle de la région avant la crise de 2012.

Le climat est de type sahélien. La région compte 2 720 999 habitants en 2018. La population a augmenté de 25 % depuis 2009.

IV.3. Lieu de prélèvement :

Il s'est déroulé dans la région de MOPTI en janvier 2018, et a concerné tous les types d'eaux utilisés comme eau de boisson dans la ville de SEVARE et MOPTI à savoir les onze quartiers qui sont : **Komoguel I, Komoguel II, Gangal, Mossinkoré, Bougoufiè, Toguel, Taïkiri, Médina-Coura, Sévaré secteur I, Sévaré secteur II et Sévaré secteur III.**

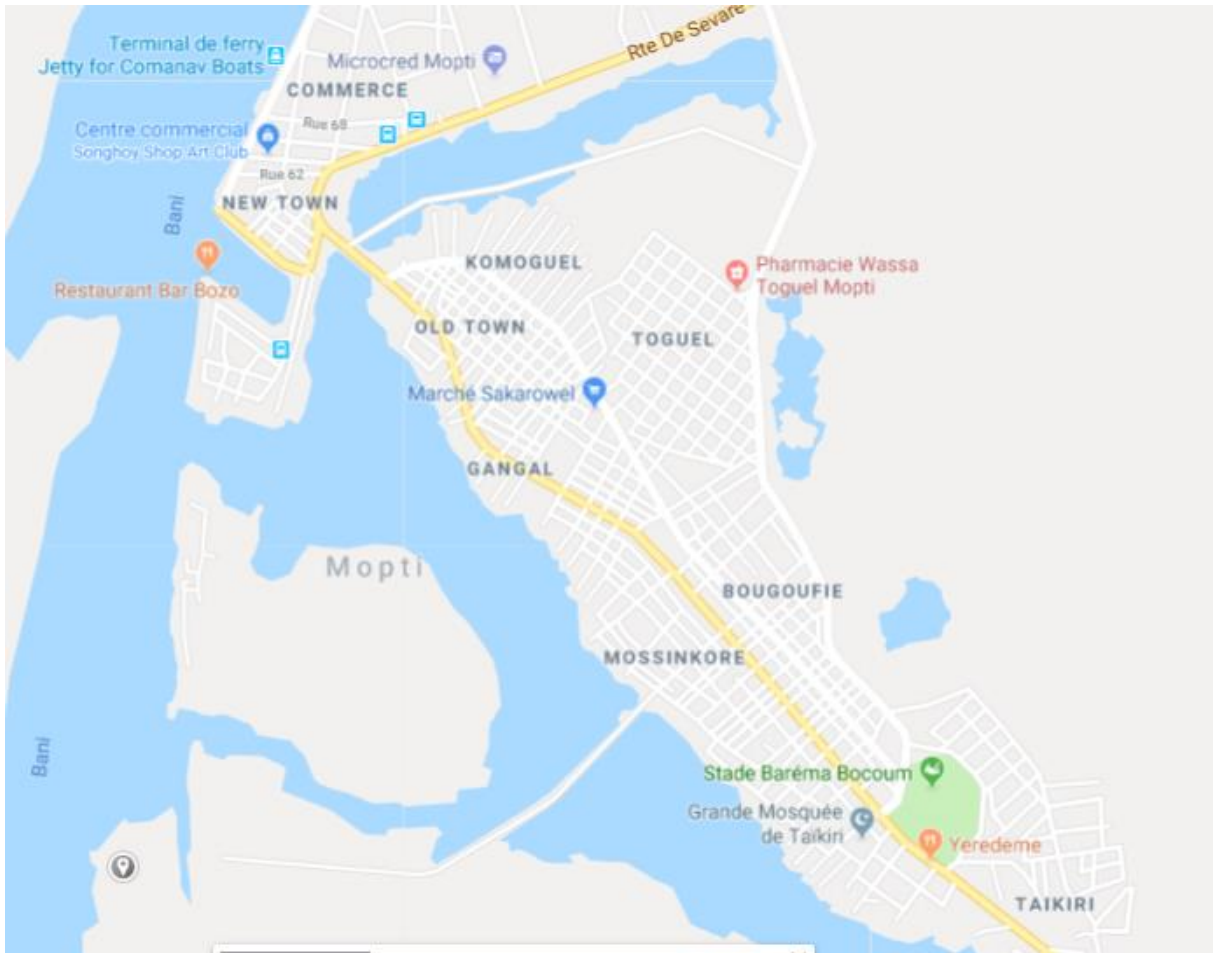


Figure 5 : Carte de la ville de Mopti

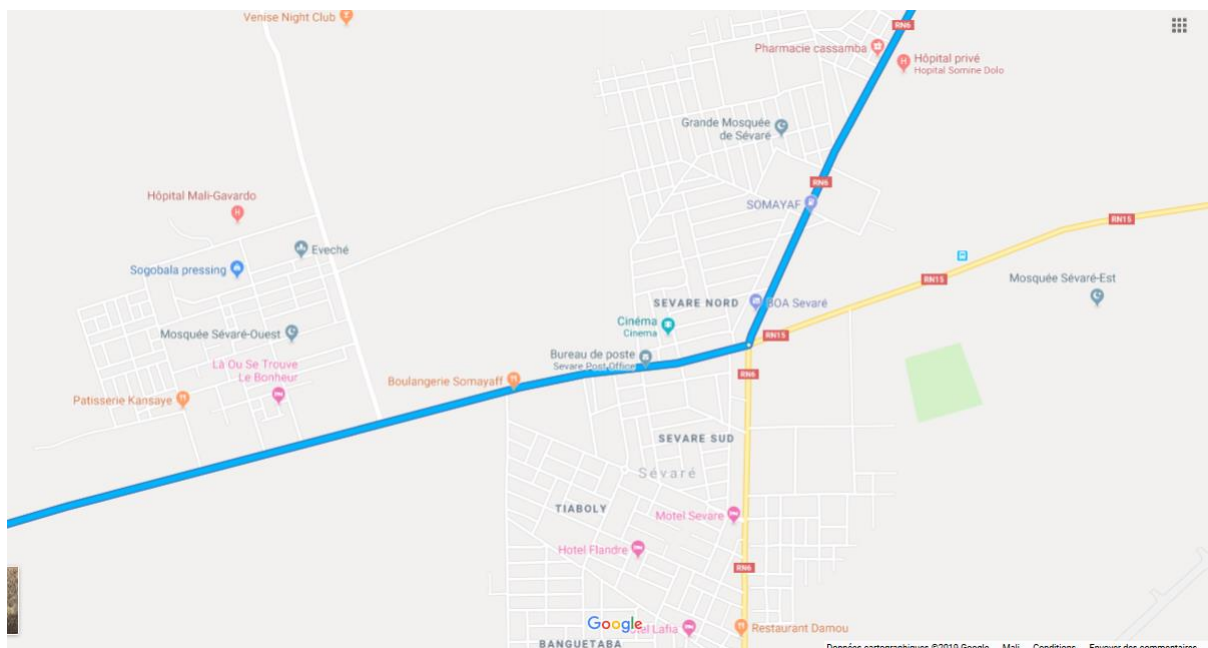


Figure 6 : carte de la ville de Sévaré

IV.4. Lieu d'étude :

Les différentes analyses se sont déroulées au Laboratoire National des Eaux (LNE).

Présentation du Laboratoire National des Eaux (LNE) :

Le LNE a été créé suivant la loi N°08-014/ du 4 juin 2008 ; délibérée et adoptée par l'Assemblée nationale en sa séance du 15 mai 2008.

MISSIONS :

Le Laboratoire National des Eaux a pour mission d'analyser et de contrôler les ressources en eaux :

A cet effet, il est chargé de :

- Faire l'échantillonnage et l'analyse physico-chimique, bactériologique, toxicologique et microbiologique des eaux naturelles (eau de surface, eau souterraine) ;
- Analyser les dépôts sédimentaires ;
- Promouvoir la recherche et la formation en matière de l'eau ;
- Assurer l'information scientifique des populations dans le domaine de la qualité de l'eau ;

- Participer à l'élaboration des normes relatives à la qualité des eaux ;
- Elaborer et mettre en œuvre des plans et programmes d'études hydro chimiques isotopiques et hydrodynamiques sur l'origine de l'évolution des nappes d'eau ;
- Exécuter des études hydro-sédimentologiques dans les cours d'eau, les retenues naturelles et artificielles, dans les canaux d'irrigation, de navigation et dans les réseaux d'adduction d'eau ;
- Assurer un appui conseil aux collectivités dans l'amélioration de la qualité de leurs eaux ;
- Créer une banque de données chimiques en matière de l'eau.

IV.5. Plan d'échantillonnage et protocole de prélèvement:

- L'échantillonnage s'est déroulé en raison de la réalité de la zone de l'étude. Au total trente-cinq (35) échantillons ont été prélevés (eaux de puits, de forages, en sachet et suivant le réseau de la société malienne de gestion de l'eau potable). La ville de Mopti étant ravitaillée par le Bani, des échantillons ont été prélevés au niveau de la station de traitements (2 échantillons) et au moins un (1) échantillon par quartier dans les circuits du réseau des huit quartiers. A sévaré, l'échantillonnage s'est fait au niveau de cinq forages équipés (1 échantillon par forage) ravitaillant ce site et un (1) par quartier dans le circuit du réseau. Des échantillons ont été prélevés au niveau des puits utilisés comme eau de boisson des différents quartiers en raison de deux (2) échantillons par quartier. En fin des échantillons ont été également prélevés chez les vendeurs d'eau en sachet en fonction des marques présentes sur le marché pendant la période de l'étude (en moyenne 5).
- Parmi les trente-cinq (35) points prélevés on dénombre quinze (15) à Mopti et vingt (20) à Sévaré repartit de la façon suivante :
 - Six (06) bornes fontaines sur le réseau SOMAGEP de Mopti ;
 - Trois (03) forages équipés à Mopti ;

- Trois (03) puits traditionnels à Mopti ;
- Quatre (04) bornes fontaines sur le réseau SOMAGEP de Sévaré ;
- Dix (10) forages équipés à Sévaré ;
- Quatre (04) puits traditionnels à Sévaré ;
- Cinq (5) unités de production d'eau en sachet.

Chaque point prélevé compte un échantillon double l'un pour l'analyse des métaux lourds (fixation avec l'acide nitrique HNO₃) et l'autre pour les autres paramètres physico-chimiques à savoir les ions majeurs : Calcium (Ca²⁺), Magnésium (Mg²⁺), Sodium (Na⁺), Potassium (K⁺), Bicarbonate (HCO₃⁻), Ortho phosphate (PO₄³⁻), Sulfate (SO₄²⁻), Chlorure (Cl⁻). Les flacons sont complètement remplis et bouchés de manière à ce qu'il n'y ait pas d'air au-dessus de l'échantillon. Ont été également prélevés, dans des bouteilles préalablement stérilisées avec une méthode de prélèvement appropriée les échantillons nécessitant une analyse bactériologique (eau de puits, de forage ou tout échantillon dépourvu de chlore). Les points de prélèvement sont identifiés à l'aide d'un GPS. Pour les eaux en sachet, l'échantillon est identifié par les coordonnées de l'unité de production et la marque.

IV.6. Transport et stockage :

IV.6.1. Transport :

Après le prélèvement, les flacons sont étiquetés, placés dans des glacières et envoyés sans retard au laboratoire, accompagnés d'une note portant tous les renseignements nécessaires (Date et lieu de prélèvement, type d'échantillon, condition environnementale). La teneur des échantillons en coliformes se modifiant entre le moment du prélèvement et celui de l'examen, il importe donc de procéder à l'analyse le plus rapidement possible après le prélèvement.

IV.6.2. Stockage :

L'analyse des paramètres bactériologiques ainsi que certains paramètres physiques (la température, le pH, la conductivité et le chlore résiduel) sont respectivement effectuées au laboratoire à l'antenne régionale de MOPTI et in

situ. Pour les autres paramètres, les échantillons sont acheminés à Bamako dans un bref délai dans des glacières conditionnées.

IV.7. Critères d'inclusion et de non inclusion :

IV.7.1 Critères d'inclusion :

L'étude était basée sur toutes eaux pouvant être considérées comme eaux de boissons à MOPTI et SEVARE (eau de la société malienne de gestion de l'eau potable SOMAGEP, eau en sachet, eau de puits et de forage) et pouvant être prélevé lors de notre passage.

IV.7.2 Critères de non inclusion :

Etaient exclues de l'étude, les eaux de pluies, eaux usées, eau du fleuve et tout autre eau n'étant pas utilisée comme eau de boisson ou ne pouvant pas être prélevée.

IV.8. Méthodes d'analyse :

IV.8.1 Physico-chimique :

Les méthodes d'analyses physico-chimiques sont les suivantes :

- La spectrophotométrie UV-visible

Principe : A une longueur d'onde fixe, la concentration d'une substance est proportionnelle à sa densité optique selon la relation de Beer Lambert : $DO = \epsilon l C$

Où ϵ : coefficient d'extinction molaire (en l / mole / cm)

l : trajet optique en cm

C : concentration en mol / l

Les paramètres tels que la couleur, l'ammoniac ont été déterminés à l'aide de la spectrophotométrie UV-visible DR 2800 de marque HACH.

Muni d'un faisceau commandé par micro-processeur, il est doté d'une lampe Tungstène avec une gamme de longueur d'onde comprise entre 340-900 nm et une précision de $\pm 1,5$ nm.

Le Fer (Fe^{2+}) a été déterminé par le spectrophotomètre U-5100 HITACHI.

Munie d'une Lampe Xénon flash avec une gamme de longueur d'onde comprise entre 190 à 1100 nm, les signaux sont très stables et donnent des résultats précis. (Mode opératoire cf Annexe 3)

Le Chrome Cr⁶⁺ est déterminé grâce au spectrophotomètre DR 5000 de marque HACH.

Présentant une gamme de longueur d'onde comprise entre 190 à 1100 nm et doté d'une lampe Tungstène rempli de gaz (visible) et deutérium (uv) avec une précision de longueur d'onde ± 1 nm dans la gamme de longueur d'onde 200 à 900 nm.

Le turbidimètre 2100 AN de marque HACH a été utilisé pour mesurer la turbidité.

Utilisant la lumière blanche (575nm) et l'infra-rouge (860nm) il est muni d'un système RATIO réduisant les interférences avec une gamme d'étalonnage simple sur une plage étendue : 0,001-10000 NTU. (Mode opératoire cf. Annexe 4)

L'Arsenic AS⁺ est déterminé par L'Arsenator Digital Arsenic Test Kit PT 981 de marque Palintest utilise également la loi de Beer Lambert. (Mode opératoire cf. Annexe 5)

- La potentiométrie :

Principe : il consiste à appliquer une différence de potentiel entre les électrodes, il en résulte le passage d'un courant électrique : les cations (ions charges positivement) se déplacent vers l'électrode négative (cathode) et les anions (ions de charge négatives) sont attirés vers l'électrode positive (anode). L'intensité du courant, la différence de potentiel appliquée aux électrodes, la concentration du corps électrolysé et le temps de réaction permettent de déterminer la concentration des ions dans la solution de départ. C'est la mesure du potentiel des électrodes à courant constant.

La détermination de certains paramètres physico-chimiques (la température, le pH et la conductivité) se fait in situ à l'aide d'un appareil multi-paramètres portatif de marque WTW 3420.

- **La titrimétrie :**

Principe : Il consiste à ajouter un volume précis d'une solution concentration connue a une solution de concentration inconnue, le choix des solutions utilisées pour les titrages est déterminé par deux conditions : d'une part la réaction doit être totale, et d'autre part la fin de la réaction doit être marquée par un changement brusque d'une propriété physique observable en présence d'un indicateur.

L'alcalinité, les cations Calcium (Ca^{2+}) et Magnésium (Mg^{2+}), la Dureté ainsi que les Bicarbonates (HCO_3^-) par le Titreur automatisé Titrosampler 855 Robotic de marque Metrohm.

- **La photométrie à flamme :**

Principe : Une partie des ions soumis à la chaleur de la flamme passent dans un état excité. Le retour à l'état fondamental des électrons de la couche externe s'effectue avec émission caractéristique de l'ion en présence.

La photométrie de flamme repose sur le fait que l'intensité de l'émission est proportionnelle au nombre d'atomes retournés à l'état initial. La lumière émise est donc proportionnelle à la concentration de l'échantillon.

La loi de Maxwell – Boltzmann permet de déterminer les rapports des populations dans un état fondamental et un état excité en fonction de la température.

$$N_1/N_0 = g \cdot \exp[-\Delta E/kT]$$

Avec :

G le rapport statistiques de l'état 1 et 0

K constante des Boltzmann = $1.38 \times 10^{-23} \text{J /K}$

ΔE : écart énergétique en Joule

T : la température en K

Le sodium (Na⁺) et le potassium (K⁺) par le Photomètre à flamme PFP7 de marque JENWAY. (Mode opératoire cf. Annexe 6)

C'est un spectromètre à flamme à émission unique et à basse température conçus pour la détermination du sodium (Na⁺), potassium (K⁺) et du lithium (Li).

- **La spectrophotométrie a absorption atomique :**

Le principe de cette méthode consiste à doser essentiellement les métaux en solution et impose que la mesure soit faite à partir d'un analyte (élément à doser) transformé à l'état d'atome libre.

Principe : Lorsque les atomes d'un élément ont été excités, leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission de photons de fréquence F bien définie et propre à cet élément. L'utilisation de ce phénomène constitue la base de la spectrométrie d'émission. Le même élément dispersé à l'état de vapeur dans une flamme de façon à ce que les atomes y soient dissociés, possède également la propriété d'absorber tout rayonnement de même fréquence F. Il en résulte une absorption du rayonnement incident liée à la concentration de l'élément considéré par une relation de la forme :

$$\text{Log } I_0/I = K.L.C$$

I_0 = intensité de la radiation incidente

I = intensité de la radiation après la traversée de la flamme

L = longueur du chemin optique

C = concentration dans la solution de l'élément considéré.

L'analyse des métaux lourds (Manganèse Mn, le Plomb Pb) fut réalisée par le spectrophotomètre à absorption atomique de marque AGILENT 240B FS

- **Chromatographie ionique :**

Principe : Il est fondé sur les propriétés des résines échangeuses d'ions qui permettent une fixation sélective des anions ou des cations présents dans une solution. Sur la résine échangeuse d'ions conditionnée sous forme d'une colonne chromatographique, circule en permanence un éluant. On injecte une très faible quantité de la solution à analyser (20µl) et les ions sont fixés sélectivement sur

la colonne chromatographique. L'éluant circulant en permanence sur la colonne, les ions sont ensuite progressivement décrochés en fonction de leur taille, leur charge et leur degré d'hydratation. Chaque espèce ionique est ainsi séparée et détectée par conductimétrie à la sortie de la colonne. La quantification s'effectue grâce à la réalisation d'une gamme d'étalonnage, chaque espèce étant détectée sous la forme d'un pic sensiblement gaussien dont l'aire est proportionnelle à la quantité injectée. L'utilisation de détecteur spécifique permet d'accéder au domaine de l'analyse des traces.

Les sulfates (SO_4^{2-}), les chlorures (Cl^-), les Nitrites, les Nitrates, les Fluorures (F^-) et les ortho-phosphates (PO_4^{3-}) par le chromatographe ionique de marque Metrohm 881 Compact IC pro.

- **La conductimétrie :**

Principe : Il consiste à mesurer la résistance d'une solution située entre deux plaques recouvertes de noir de platine. En fonction de la concentration des ions en présence, la solution aura une plus ou moins grande conductivité.

Le conductimètre LF 197 de marque WTW pour la mesure de la conductivité. (Mode opératoire cf. Annexe 7)

- **Détermination de la Dureté :**

Principe : La dureté d'une eau se détermine par le dosage des ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+} . Les dosages séparés permettent d'apprécier la dureté calcique et celle magnésienne.

Le distillateur Wasserlab Ecomatic type II a été utilisé pour produire l'eau distillée. Pour éviter toute réaction ionique entre avec les échantillons, de l'eau totalement desionisée a été utilisée pour mener les analyses.

IV.8.2 Analyse bactériologique:

Les paramètres microbiologiques recherchés sont coliformes totaux, coliformes fécaux et *Escherichia coli* pour les eaux brutes, de puits et de forage et le teste du chlore résiduel libre pour les eaux traitées.

Les indicateurs bactériens de contamination fécale (coliformes totaux, coliformes fécaux et *Escherichia coli*) seront dénombrés par la méthode colorimétrique après filtration sur membrane à partir des milieux de culture gélosés spécifiques.

Principe : C'est une méthode colorimétrique des coliformes présents dans l'eau qui consiste à la filtration d'un volume déterminé (100 ml d'échantillon d'eau) à travers le papier filtre.

Les bactéries présentes dans l'échantillon à analyser sont retenues sur le filtre dont les pores sont inférieure à leur taille (0,45µm de diamètre). Le filtre est ensuite déposé sur un milieu de culture approprié où les bactéries puisent les éléments nécessaires à leur croissance et leur développement (milieu gélosé). Après incubation les colonies sont comptées pour évaluer la qualité microbiologique de l'eau. (**Mode opératoire cf. Annexe 8**)

Normes utilisées : Pour notre étude nous nous référons aux normes maliennes en vigueur pour la qualité de l'eau de boisson :

MALINORM MN 03-02 /011 :2011.

Analyse et traitement des données : Les données ont été recueillies, saisies sur Microsoft Word et analysées sur EPI INFO™ version 7.2.1.0 français.

V. RESULTATS :

Nous avons mené des analyses physico-chimique et bactériologique des eaux de boisson de la ville de Mopti et sévaré afin d'apprécier leur qualité (les eaux du réseau SOMAGEP, de puits et forages).

Eau de robinet: les paramètres sont : le chlore libre, les paramètres physico-chimiques, les métaux lourds.

Eau de puits et forages : les paramètres sont : Physico-chimiques y compris les métaux lourds ainsi que bactériologiques (coliformes fécaux et totaux et Escherichia coli).

Les tableaux (13 à 19) représentent l'aspect des abords, les activités à proximité, les coordonnées géographiques (longitude et latitude) des points de prélèvement.

Tableau XIV: points de prélèvement des eaux du réseau à Mopti

No	Lieu de prélèvement	Aspects des abords et activités à proximité du point	Coordonnées		Type de point d'eau
			Longitude	Latitude	
01	BF1	Alentours sales; présence de flaques d'eau	14,477687 N	- 4,180230 W	BF
02	BF2	Rien à signaler (RAS)	14,480852 N	- 4,201338 W	BF
03	BF3	RAS	14,480852 N	- 4,201338 W	BF
04	BF4	Environnement insalubre; présence d'ordures ménagers et de sites de lessives non aménagés.	14,503180 N	- 4,195388 W	BF
05	BF5	Environnement sale; dépôt d'ordures; système d'évacuation d'eaux usées défaillant	14,492230 N	- 4,200020 W	BF
06	BF6	Alentour salubre	14,493868 N	- 4,197130 W	BF

Tableau XV: points de prélèvement des eaux de forages à Mopti

No	Lieu de prélèvement	Aspects des abords et activités à proximité du point	Coordonnées		Type de point d'eau
			Longitude	Latitude	
01	F1	Forage à moins de 10 mètres de la fosse et des toilettes	14,45033 15N	- 4,194373W	Forage équipé
02	F2	Aucune mesure d'hygiène; présence d'animaux en divagation; présence de détritrus ménagers, des tas d'ordures et de sites de lessives non aménagés. Absence de système d'évacuation des eaux résiduaires.	14,48433 2N	- 4,185775W	PMH
03	F3	Abords salubres; bonne évacuation des eaux usées.	14,48875 5N	- 4,188095W	PMH

Tableau XVI: points de prélèvement des eaux de puits traditionnels à Mopti

No	Lieu de prélèvement	Aspects des abords et activités à proximité du point	Coordonnées		Type de point d'eau
			Longitude	Latitude	
01	P1	Non protégé; conditions d'hygiène et d'assainissement défailtantes ; présence d'ordures ménagers; enclos et toilette à moins de 10 mètres du puits; pas de suspensoir pour les puisettes	14,460847 N	- 4,159875W	Puits traditionnel
02	P2	Puits à ciel ouvert; milieu insalubre; présence de déchets domestiques, toilettes à moins de 10 mètres du puits; pas de suspensoir pour les puisettes	14,493868 N	- 4,197130W	Puits traditionnel
03	P3	Puits protégé; milieu propre; présence de suspensoir pour les puisettes	14,483455 N	- 4,182919W	Puits traditionnel

Tableau XVII: point de prélèvement des eaux en sachet à Mopti et à Sévaré

No	Lieu de prélèvement	Aspects des abords et activités à proximité du point	Coordonnées		Type de point d'eau
			Longitude	Latitude	
01	ES1	Salle de production propre, entrepôt bien aménagé alentour propre; aucune activité à côté	14,460938 N	- 4,160252W	Eau en sachet
02	ES2	Environnement salubre	14,485910 N	- 4,189300W	Eau en sachet
03	ES3	producteur inconnu	14,492230 N	- 4,200020W	Eau en sachet
04	ES4	Salle de production propre, entrepôt bien aménagé	14,540018 N	- 4,085962W	Eau en sachet
05	ES5	Salle de production propre, entrepôt bien aménagé	14,518842 N	-4,090318 W	Eau en sachet

Tableau XVIII: point de prélèvement des eaux du réseau à Sévaré

No	Lieu de prélèvement	Aspects des abords et activités à proximité du point	Coordonnées		Type de point d'eau
			Longitude	Latitude	
01	BF7	Abords sales, absence d'aire de récupération des eaux usées	14,534119 N	-4,081907 W	BF
02	BF8	Environnement salubre mais présence de toilettes à moins de 10 mètres	14,527822 N	-4,085297 W	BF
03	BF9	Abords sales et présence de flaques d'eau et d'ordures ménagés	14,526960 N	-4,094380 W	BF
04	BF10	RAS	14,528565 N	-4,102477 W	BF

Tableau XIX: point de prélèvement des eaux de puits traditionnels à Sévaré

No	Lieu de prélèvement	Aspects des abords et activités à proximité du point	Coordonnées		Type de point d'eau
			Longitude	Latitude	
01	P4	Alentour propre, évacuation correcte des eaux usées présence de suspensoir pour les puisettes	14,541594 N	-4,094260 W	Puits traditionnel
02	P5	Puits fermé, conditions environnementales appropriées, présence de toilettes à moins de 10 mètres	14,515330 N	-4,099662 W	Puits traditionnel
03	P6	Puits à ciel ouvert; présence de débris ménagers, lessive à côté; absence de système d'évacuation des eaux usées	14,519150 N	-4,100658 W	Puits traditionnel
04	P7	Puits ouvert, conditions environnementales acceptables	14,519140 N	-4,100658 W	Puits traditionnel

Tableau XX: point de prélèvement des eaux de forages à Sévaré

No	Lieu de prélèvement	Aspects des abords et activités à proximité du point	Coordonnées		Type de point d'eau
			Longitude	Latitude	
01	F4	Abords salubres; mauvaise évacuation des eaux usées. Présence de sites de lessives non aménagés et de tas d'ordures ménagers.	14,540702 N	- 4,083642 W	PMH
02	F5	conditions environnementales satisfaisantes	14,539975 N	- 4,090798 W	PMH
03	F6	Rien à signaler (RAS)	14,541594 N	- 4,094260 W	PMH
04	F7	Alentours salubres conditions hygiéniques satisfaisantes	14,527822 N	-4,085297 W	Forage équipé
05	F8	Environnement insalubre. Présence de flaques d'eau	14,529411 N	-4,118193 W	PMH
06	SOMAGEP forage III F9	RAS	14,521600 N	-4,126330 W	Forage équipé
07	SOMAGEP forage V F10	RAS	14,521773 N	-4,128787 W	Forage équipé
08	SOMAGEP forage IV F11	RAS	14,520595 N	-4,130840 W	Forage équipé
09	SOMAGEP forage VI F12	RAS	14,520205 N	-4,132812 W	Forage équipé
10	SOMAGEP forage II F13	RAS	14,522173 N	-4,124496 W	Forage équipé

Les paramètres mesurés et ou analysés au cours de cette campagne ont été comparés aux normes maliennes afin de déterminer la qualité de l'eau. Les valeurs limites ici définies sont celles, relatives aux eaux destinées à la consommation humaine.

➤ **Analyses in situ :**

Tableau XXI: résultats des analyses obtenues sur le terrain des eaux du réseau à Mopti

Lieu de prélèvement	pH	Cond μS/cm	Cl ₂ mg/L	T°C
BF1	7,46	80	>2,20	21,8
BF2 (Station de pompage Eau brute)	7,88	64	-	22,9
BF3 (Station de pompage Eau traitée)	7,67	82	>2,20	21,8
BF4	6,74	77	1,40	25,1
BF5	6,51	79	>2,20	22,2
BF6	6,44	80	1,49	21,6
Normes maliennes	6,5 – 8	1500	≥ 0,20 (réseau) ≥ 1 (station)	

Le potentiel d'hydrogène mesuré a varié entre 6,44 et 7,88 avec une moyenne de 7,12. Les valeurs obtenues sont celles d'une eau destinée à la consommation humaine.

Les valeurs de la conductivité ont évolué entre 64μS/cm et 82μS/cm avec une moyenne de 77 contre la norme malienne fixée 1500 μS/cm. Ces eaux sont très faiblement minéralisées.

Le chlore résiduel libre à concentration optimale a été perceptible dans le réseau.

Selon la norme malienne le taux de chlore résiduel libre dans le réseau doit être supérieur ou égal à 0,2 mg/L et 1mg/L au départ du château et à la station de pompage.

Tableau XXII: résultats des analyses obtenues sur le terrain des eaux en sachet

Lieu de prélèvement	pH	Cond μS/cm	Cl ₂ mg/L	T°C
ES1	7,81	82	0,17	25,1
ES2	7,71	82	1,01	23,4
ES3	7,64	77	0,17	23,5
ES4	8,47	403	0,53	26,2
ES5	8,26	405	0,21	26,7
Normes maliennes	6,5 – 8	1500	≥ 0,20	

Le potentiel d'hydrogène mesuré a varié entre 7,64 et 8,47 avec une moyenne de 7,98. **Deux des points prélevés ont un pH légèrement supérieur l'intervalle des valeurs guides nationales 6,5 – 8 (ES3 et ES4) soit exactement 40% des échantillons.**

La minéralisation a varié entre 77μS/cm et 405μS/cm avec une moyenne de 209,8 .Ces eaux sont faiblement à moyennement minéralisées.

Le taux de chlore résiduel est inférieur à la norme dans 40% des échantillons à savoir ES3 et ES1, il se situe dans les normes dans les autres sachets.

Tableau XXIII: résultats des analyses obtenues sur le terrain des eaux de forages à Mopti

Lieu de prélèvement	pH	Cond $\mu\text{S}/\text{cm}$	T°C
F1	7,65	326	26,7
F2	6,58	238	29,5
F3	6,91	1114	29,6
Normes maliennes	5,5 – 9	1500	

Les valeurs du potentiel d'hydrogène ont varié entre 6,58 et 7,65 avec une moyenne de 6,98. Les valeurs obtenues sont celles d'une eau destinée à la consommation humaine.

Les valeurs de la conductivité ont évolué entre 238 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1114 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces eaux sont moyennement minéralisées excepté l'eau du F3. Les minéralisations obtenues sont celles d'une eau destinée à la consommation humaine.

Tableau XXIV: résultats des analyses obtenues sur le terrain des eaux de puits traditionnels à Mopti

Lieu de prélèvement	pH	Cond $\mu\text{S}/\text{cm}$	T°C
P1	7,26	182	28,3
P2	6,54	135	28,8
P3	5,79	655	27,9
Normes maliennes	5,5 – 9	1500	

Les valeurs du potentiel d'hydrogène ont varié de 5,79 à 7,26 et se situent dans l'intervalle recommandé (5,5-9).

La conductivité des eaux des puits traditionnels répond aux normes maliennes de potabilité, elle a varié entre 135 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 655 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tableau XXV: résultats des analyses obtenues sur le terrain des eaux du réseau à Sévaré

Lieu de prélèvement	pH	Cond μS/cm	Cl ₂ mg/L	T°C
BF7	8,36	406	1,79	29,9
BF8	7,92	409	1,59	24,7
BF9	6,23	405	>2,20	30,7
BF10	8,09	408	1,94	28,6
Normes maliennes	6,5 – 8	1500	≥ 0,20 (réseau) ≥ 1 (station)	

Le potentiel d'hydrogène mesuré a varié entre 6,23 et 8,36 avec une moyenne de 7,65. La plus faible valeur a été enregistrée au BF9 et la plus forte au BF7 avec respectivement une légèreté acide et basique. Les valeurs obtenues ne présentent aucun risque sanitaire;

Les valeurs de la conductivité ont tourné autour de 400 μS/cm. Ces eaux sont moyennement minéralisées.

Dans le réseau le taux du chlore résiduel libre mesuré est conforme à la norme malienne.

Tableau XXVI: résultats des analyses obtenues sur le terrain des eaux de forages à Sévaré

Lieu de prélèvement	pH	Cond μS/cm	T° C
F4	8,09	1153	30, 9
F5	7,41	800	29, 6
F6	7,42	521	31, 6
F7	8,01	2400	25, 5
F8	8,12	553	31, 8
F9	7,98	514	31, 3
F10	8,20	413	30, 8
F11	8,18	394	30, 4
F12	8,25	257	30, 2
F13	8,08	446	31, 5
Normes maliennes	5,5 – 9	1500	

Le pH a varié entre 7,41 et 8,25 avec une prédominance basique. Les valeurs se situent dans l'intervalle recommandé.

La conductivité a oscillé entre 257 et 2400 μS/cm. **La conductivité au niveau du F7 est largement supérieure à la norme Malienne de l'eau potable.**

Tableau XXVII: résultats des analyses obtenues sur le terrain des eaux de puits traditionnels à Sévaré

Lieu de prélèvement	pH	Cond $\mu\text{S}/\text{cm}$	T°C
P4	7,55	368	30,7
P5	6,89	219	29,7
P6	7,26	223	29,9
P7	7,22	292	30,5
Normes maliennes	5,5 – 9	1500	

Le potentiel d'hydrogène mesuré a varié entre 6,89 et 7,55 avec une moyenne de 7,23. Les valeurs obtenues ne présagent aucun risque.

Les valeurs de la conductivité ont évolué entre 219 et 368 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces eaux sont moyennement minéralisées.

➤ **Analyses effectuées au laboratoire :**

Cette série d'analyses a concerné les analyses bactériologiques, physicochimiques y compris les métaux lourds.

Tableau XXVIII: résultats des analyses bactériologiques des eaux de forages à Mopti

Lieu de prélèvement	CT	CF	E.coli
F1	00	00	00
F2	01	00	00
F3	45	00	00
Normes maliennes	10/100m 1	00/100ml	00/100ml

Des coliformes totaux ont été trouvés dans les forages F2 et F3..Le plus grand nombre a été dénombré au F3. **Exactement 66,66% des échantillons sont contaminés par les CT.**

Aucun germe de coliformes fécaux et d'Escherichia colis n'ont été détectés.

Tableau XXIX: résultats des analyses bactériologiques des eaux de puits traditionnels à Mopti

Lieu de prélèvement	CT	CF	E.coli
P1	18	00	00
P2	50	00	00
P3	00	00	00
Normes maliennes	10/100ml	00/100ml	00/100m 1

Les germes indices de contamination bactériologique qui ont été identifiés au cours des analyses sont les coliformes totaux. **Ces germes sont présents dans l'eau du P1 et du P2 soit environ une contamination de 66,66% des échantillons.**

Aucun germe de coliformes fécaux et d'Escherichia colis n'ont été détectés.

Tableau XXX: résultats des analyses bactériologiques des eaux de forages à Sévaré

Lieu de prélèvement	CT	CF	E.coli
F4	02	00	00
F5	07	00	00
F6	00	00	00
F7	12	00	00
F8	00	00	00
F9	00	00	00
F10	00	00	00
F11	00	00	00
F12	00	00	00
F13	00	00	00
Normes maliennes	10/100m 1	00/100m 1	00/100ml

Des coliformes totaux en nombre ont été trouvés dans l'eau des forages F4, F5 et F7. Le forage F7 a enregistré le plus grand nombre, 30% des échantillons sont contaminés par les CT.

Aucune trace de coliformes fécaux et d'Escherichia colis n'a été détectée.

Tableau XXXI: résultats des analyses bactériologiques des eaux de puits traditionnels à Sévaré

Lieu de prélèvement	CT	CF	E.coli
P4	08	00	00
P5	20	00	00
P6	10	00	00
P7	02	00	00
Normes maliennes	10/100ml 1	00/100m 1	00/100 ml

Des coliformes totaux sont présents en nombre significatif dans toutes les eaux de puits traditionnels.

Aucune trace de coliformes fécaux et d'Escherichia colis n'a été trouvée.

Tableau XXXII: récapitulatif des mesures des paramètres physicochimiques obtenus au laboratoire des eaux du réseau à Mopti

Lieu de prélèvement	Paramètres physico-chimies														
	Ca ²⁺ mg / L CaC O ₃	Mg ²⁺ mg / L CaC O ₃	Na ⁺ mg / L	K ⁺ mg / L	Cl ⁻ mg / L	SO ₄ ²⁻ mg / L	HC O ₃ ⁻ mg / L	NO ₃ ⁻ mg / L	NH ₄ ⁺ mg/ L	NO ₂ ⁻ mg/ L	PO ₄ ⁻³ mg/ L	DT mg/ L CaC O ₃	Alc mg / L CaC O ₃	Co ul U C V	Tur b NT U
BF2 (Station de pompage Eau brute)	32,73	1,02	3,33	3,4	35,21 8	2,437	46,24	1,898	0,000	0,00 0	0,00 0	85,92	37,9 0	19 1	44
BF3 (Station de pompage Eau traitée)	49,99	1,06	3,73	3,2	68,10 8	6,661	38,31	1,69	0,000	0,00 0	0,00 0	129,0 9	31,4 0	10 2	20
Normes maliennes	400	100	400	100	250	500		50	0,5	0,02	0,00 5	500	<150	25	5

Les valeurs de la couleur ont varié entre 102 UCV et 191UCV. Ces eaux sont colorées peu turbide.

Les ammoniums, les nitrites et les ortho phosphates sont inexistantes dans ces eaux.

La concentration en calcium a varié entre 32,73mg/L au BF2 et 49,99mg/L au BF3. Ces concentrations sont conformes à la valeur guide nationale.

Toutes les concentrations obtenues en magnésium, en sodium, en potassium et en sulfate sont dans les normes maliennes.

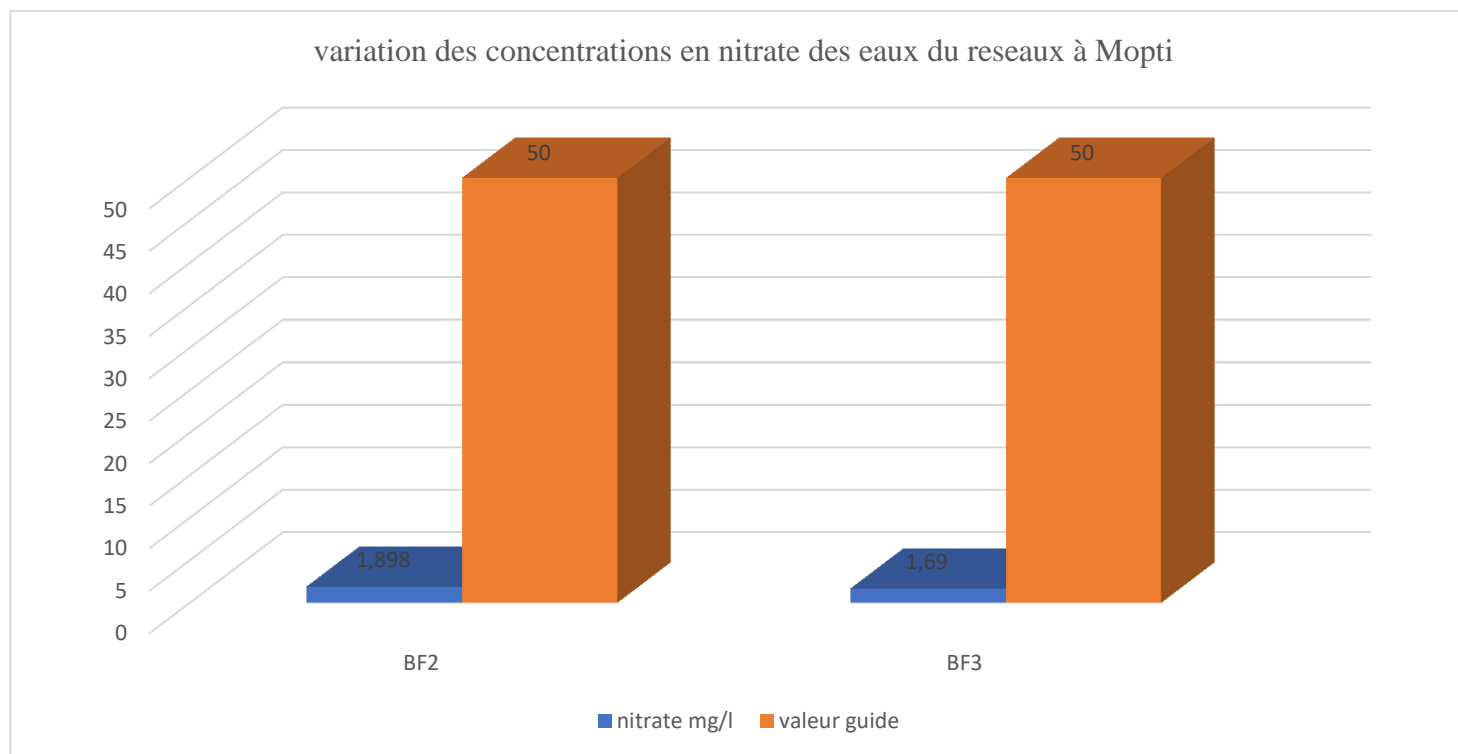


Figure 7 : variation des nitrates dans les eaux du réseau à Mopti

La teneur en nitrate à osciller entre 1,898 et 1,69. La concentration des nitrates est dans les normes et largement inférieur à la valeur guide.

Tableau XXXIII : récapitulatif des mesures des paramètres physicochimiques obtenus au laboratoire des eaux en sachet

Lieu de prélèvement	Paramètres physico-chimies														
	Ca ²⁺ mg/L CaCO ₃	Mg ²⁺ mg/L CaCO ₃	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HC O ₃ ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	PO ₄ ⁻³ mg/L	DT mg/L CaCO ₃	Alc mg/L CaCO ₃	Co ul UCV	Tu rb NTU
ES1	45,9 1	1,11	3,73	3,2	62,2 16	7,00 7	38,6 7	1,60 2	0,00 0	0,00 0	0,00 0	119, 20	31,7 0	10	2
ES2	33,7 8	0,88	3,93	3,2	57,6 46	7,98 2	36,9 7	1,81 1	0,00 0	0,00 0	0,00 0	87,9 7	30,3 0	10	1
ES3	34,8 3	27,9 9	3,53	2,8	65,2 03	9,19 8	130, 78	1,57 7	0,00 0	0,00 0	0,00 0	202, 09	107, 19	2	0
ES4	30,8 7	8,79	120, 89	1,3	88,1 53	6,45 9	238, 88	14,8 85	0,00 0	0,00 0	0,00 0	113, 27	212, 20	0	0

Evaluation de la qualité de l'eau de boisson a Mopti et Sévaré

ES5	63,1 9	19,1	17,7 9	6,1	62,8 15	6,61 4	168, 06	14,0 79	0,00 0	0,00 0	0,00 0	236, 43	137, 75	0	0
Normes maliennes	400	100	400	100	250	500		50	0,5	0,02	0,00 5	500	<15 0	25	5

Les eaux en sachet prélevées ne sont ni colorées ni turbides. La plus grande valeur de la couleur est 10UCV quant à la turbidité la valeur la plus élevée est 2 NTU.

Les teneurs en potassium obtenues sont très faibles et conformes aux valeurs guides.

Les concentrations en sodium ont variées entre 3,53 mg/L et 120,89 mg/L. Elles sont également conformes aux valeurs guides nationales.

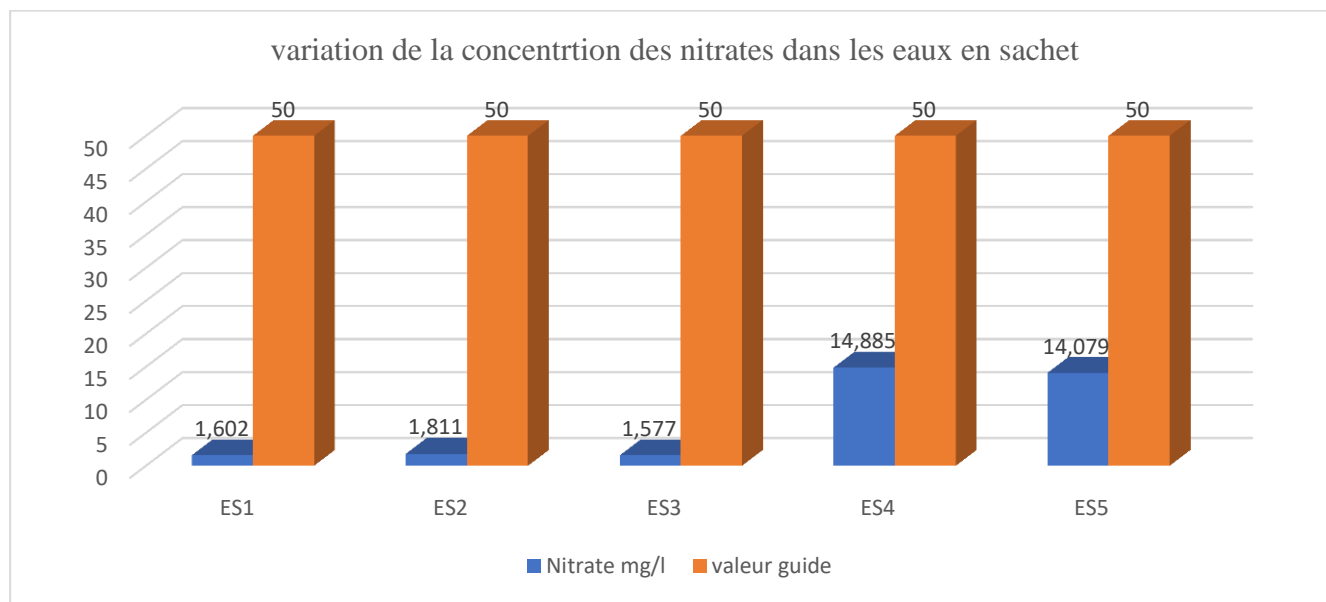


Figure 8 : variation des nitrates dans les eaux en sachet

Les concentrations des nitrites, des ammoniums et des ortho phosphates sont nulles.

Les concentrations en nitrate obtenues ont variées entre 1,577 mg/L et 14,885 mg/L. Elles sont conformes et largement inférieures à la valeur guide nationale.

Tableau XXXIV: récapitulatif des mesures des paramètres physicochimiques des eaux de forages à Mopti

Lieu de prélèvement	Paramètres physico-chimies														
	Ca ²⁺ mg / L CaC O ₃	Mg ²⁺ mg / L CaC O ₃	Na ⁺ mg / L	K ⁺ mg / L	Cl ⁻ mg / L	SO ₄ ²⁻ mg / L	HC O ₃ ⁻ mg / L	NO ₃ ⁻ mg / L	NH ⁺ 4 mg / L	NO ₂ ⁻ mg / L	PO ₄ ⁻³ mg / L	DT mg / L CaC O ₃	Alc mg / L Ca CO ₃	Co ul U C V	Tu rb N T U
F1	88,67	1,64	16,38	4,7	96,26 7	13,30 7	144, 61	1,933	0,00 0	0,000	0,000	227,9 8	118, 53	2	0
F2	48,79	2,4	24,72	4,6	110,9 48	5,579	29,5 2	1,731	0,00 0	0,000	0,000	131,6 0	24,2 0	24	52
F3	80,68	3,13	137,2 5	24,00	219,6 36	1,006	282, 43	1,220	0,00 0	0,000	45,93 2	214,1 9	231, 50	6	2
Normes maliennes	400	100	400	100	250	500		50	0,5	0,02	0,005	500	<15 0	25	5

Hormis la couleur du F1, toutes les eaux de forages ne sont ni colorées ni turbides.

Les eaux de forages prélevées contiennent des teneurs très faibles en nitrate. Les valeurs de ce paramètre ont oscillé autour de 1 mg/L. La norme nationale est : 50 mg/L.

Les teneurs en calcium respectent les valeurs guides.

La concentration en magnésium a varié entre 1,64 mg/L au F1 et 3,13 mg/L au F3. Toutes les concentrations obtenues sont conformes à la norme malienne de l'eau potable.

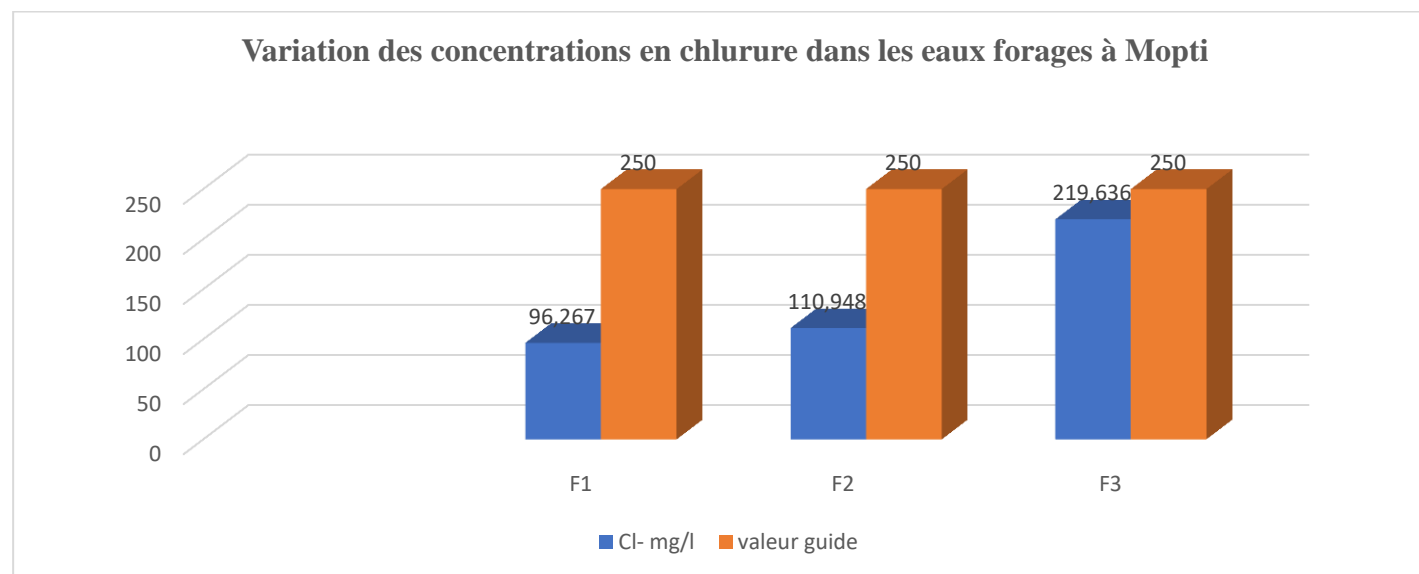


Figure 9 : variation des chlorures dans les eaux de forages à Mopti

De fortes concentrations en chlorure ont été obtenues dans les eaux de tous ces forages. Ces concentrations ont varié entre 96,267 mg/L et 219,636mg/L contre la norme nationale fixée à 250 mg/L. Ces eaux contiennent du chlorure mais respectent la valeur guide malienne.

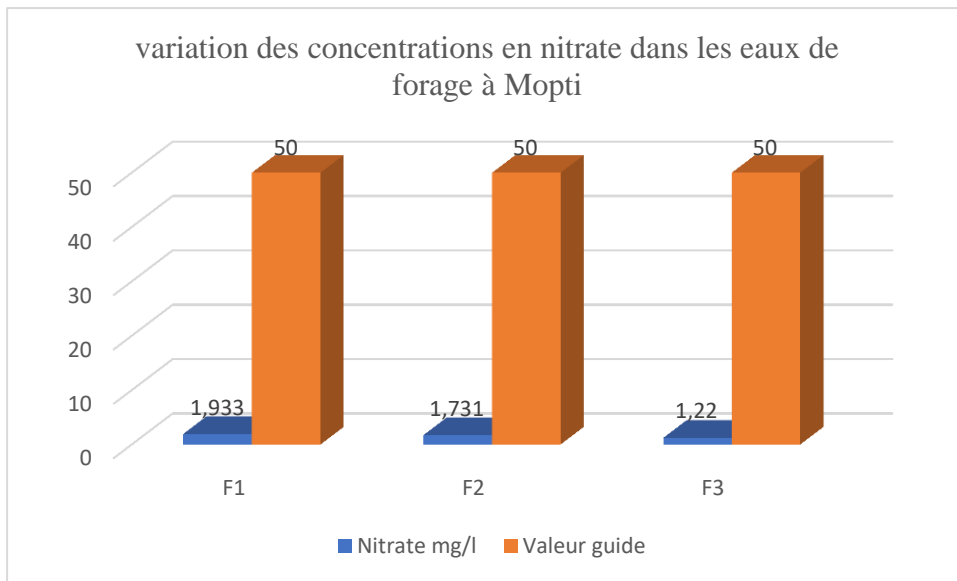


Figure 10: variation des nitrates dans les eaux de forages à Mopti

L'histogramme des teneurs en nitrates ne montre pas de variation marquée. Les concentrations obtenues oscillent entre 1,22 mg/L (F3) et 1,933 mg/L (F1). Les teneurs en nitrate ainsi enregistrées dans les eaux de forages de Mopti sont largement inférieures à la teneur admise par la norme malienne (50 mg/L).

Tableau XXXV: récapitulatif des mesures des paramètres physicochimiques de puits traditionnels à Mopti

Lieu de prélèvement	Paramètres physico-chimies														
	Ca ²⁺ mg /L Ca CO ₃	Mg ²⁺ mg /L Ca CO ₃	Na ⁺ mg /L	K ⁺ mg /L	Cl ⁻ mg /L	SO ₄ ²⁻ mg /L	HC O ₃ ⁻ mg /L	NO ₃ ⁻ mg /L	NH ⁺ ₄ mg /L	NO ₂ ⁻ mg /L	PO ₄ ⁻³ mg /L	DT mg /L CaC O ₃	Alc mg /L Ca CO ₃	Co ul UC V	Tur b NT U
P1	58,4	6,08	11,9 6	3,7	92,222	4,102	49,1 7	7,671	0,00 0	0,000	0,00 0	170,7 3	40,3 0	12	3
P2	53,3 3	2,34	29,7 0	2,7	95,743	3,810	22,8 1	15,267	0,00 0	0,000	0,00 0	142,6 9	18,7 0	10	3
P3	69,8 6	5,74	95,5 8	12,0	150,95 5	18,049	17,2	50,511	0,00 0	0,000	0,00 0	197,9 3	17,2 0	2	0

Normes maliennes	400	100	400	100	250	500		50	0,5	0,02	0,00	500	<15	25	5
											5		0		

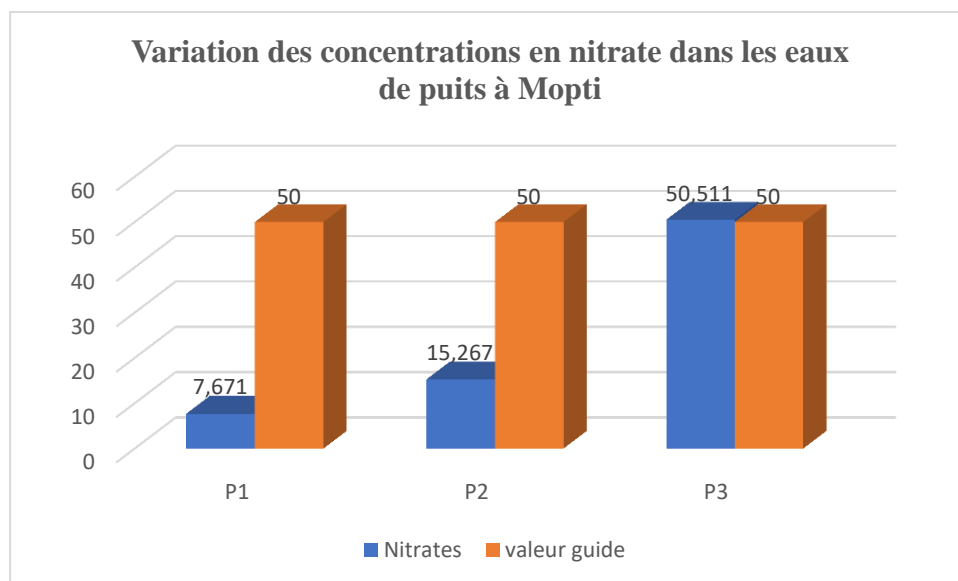


Figure 11 : variation des nitrates dans les eaux de puits à Mopti

Les concentrations en calcium, en magnésium, en sodium et en potassium se situent dans les normes maliennes de potabilité. Les concentrations sont nulles pour le nitrite, l'ammonium et l'ortho phosphate. Quant aux nitrates, les teneurs sont conformes à la valeur guide (50mg/L) pour tous les points de prélèvement sauf P3 comme l'indique la figure 9.

Tableau XXXVI: récapitulatif des mesures des paramètres physicochimiques des eaux de forages à Sévaré

Lieu de prélèvement	Paramètres physico-chimies															
	Ca ²⁺ mg / L CaC O ₃	Mg ²⁺ mg /L Ca CO ₃	Na ⁺ mg / L	K ⁺ mg /L	Cl ⁻ mg / L	SO ₄ ²⁻ mg /L	HC O ₃ ⁻ mg /L	NO ₃ ⁻ mg /L	NH ⁺ ₄ mg /L	NO ₂ ⁻ mg /L	PO ₄ ⁻³ mg /L	DT mg /L Ca CO ₃	Alc mg /L Ca CO ₃	Co ul C V	Tu rb N T U	
F4	120,3 1	28,7 8	251,7	0,30	328,6 33	92,5 61	361, 81	29, 508	0,00 0	0,00 0	0,00 0	433, 57	296, 56	4	0	
F5	107,2 6	21,7 6	105,6 2	4,2	170,4	4,79 7	160, 1	60, 8	0,00 0	0,00 0	0,00 0	357, 16	131, 22	2	0	
F6	85,27	13,4 2	51,3	4,1	133,2 19	6,52 1	100, 64	30, 5	0,00 0	0,00 0	0,00 0	267, 98	82,4 9	0	0	
F7	247,9	63,0 2	193,7 5	0,9	606,1 84	37,0 95	445, 46	15, 401	0,00 0	0,00 0	0,00 0	877, 44	365, 13	7	1	
F8	102,0	26,7	18,79	1,2	150,0	4,84	138,	21,	0,00	0,00	0,00	364,	113,	0	0	

Evaluation de la qualité de l'eau de boisson a Mopti et Sévaré

	6	8			2	2	55	768	0	0	0	86	56		
F9 SOMAGEP forage III	84,82	1,62	24,32	1,3	71,70	9,69	150,	10,	0,00	0,00	0,00	218,	123,	0	0
					4	3	81	723	0	0	0	29	61		
F10 SOMAGEP forage V	79,42	16,5	11,36	1,3	1,523	15,8	267,	17,	0,00	0,00	0,00	266,	218,	0	0
						47	06	128	0	0	0	25	90		
F11 SOMAGEP forage IV	85,22	19,3	16,35	1,3	48,81	5,78	278,	8,5	0,00	0,00	0,00	292,	228,	0	0
		9			2		43	12	0	0	0	43	20		
F12 SOMAGEP forage VI	69,06	8,16	9,35	0,9	43,83	3,65	164,	7,6	0,00	0,00	0,00	206,	134,	0	0
					6	6	58	17	0	0	0	04	90		
F13 SOMAGEP forage II	45,8	15,8	17,38	1,10	13,34	4,22	187,	12,	0,00	0,00	0,00	301,	153,	0	0
					3	4	68	131	0	0	0	58	83		
Normes maliennes	400	100	400	100	250	500		50	0,5	0,02	0,00	500	<15	25	5
											5		0		

Ces eaux contiennent une forte concentration en bicarbonate, Les teneurs en calcium s'échelonnent entre 45,8 mg/L et 247,9 mg/L pour une moyenne de 103,01mg/L. Les valeurs de la dureté ont oscillé entre 206,04 et 877,44 mg /L CaCO₃ au F7 contre la norme malienne fixée à 500 mg /L CaCO₃ et 50% des échantillons ont une Alcalinité supérieur à la norme malienne (150 mg /L CaCO₃).

Les teneurs en potassium sont faibles, elles sont en dessous du seuil limite. Les valeurs obtenues sont celle d'une eau destinée à la consommation humaine.

Quant aux chlorures ils révèlent en revanche des valeurs non conformes au niveau de certains points comme F4 et F7 avec respectivement 328,633 et 606,184mg /L.

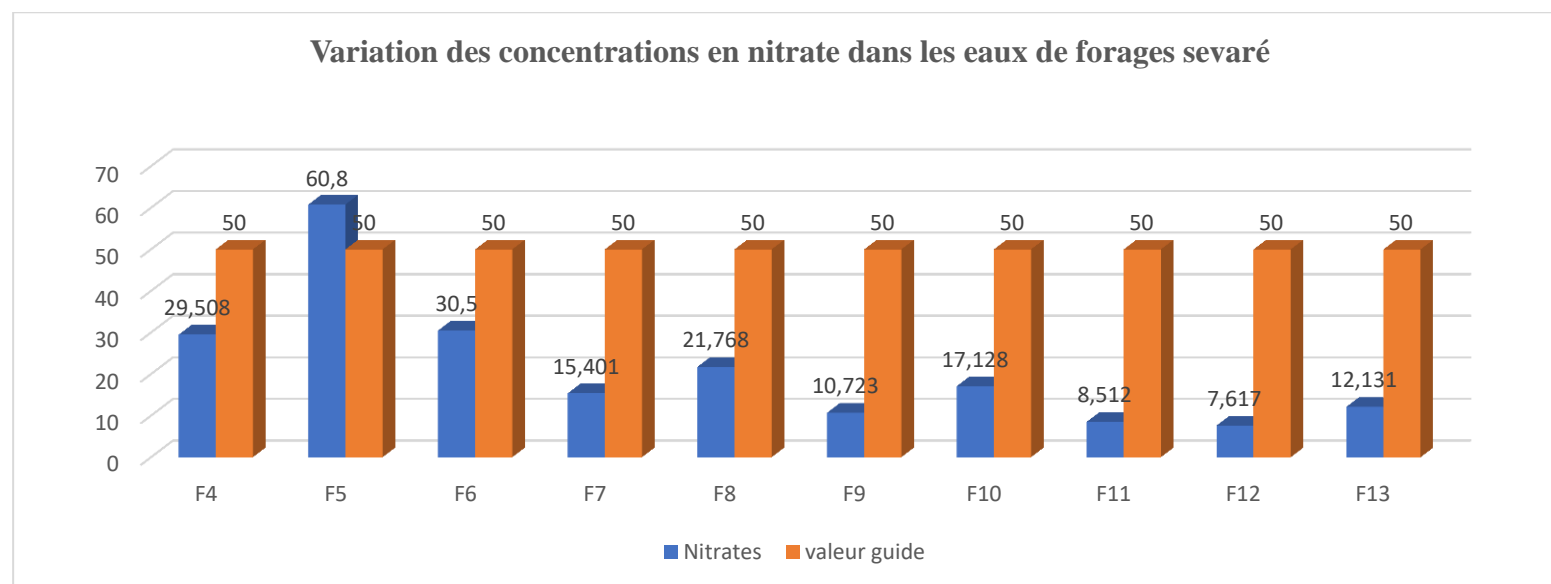


Figure 12 : variation des nitrates dans les eaux de forage à sevaré

La concentration en nitrate est conforme excepté celle du forage du F5. La concentration obtenue au niveau dudit point dépasse légèrement la valeur guide (50 mg/L).

Tableau XXXVII: récapitulatif des mesures des paramètres physicochimiques des eaux de puits traditionnels à Sévaré

Lieu de prélèvement	Paramètres physico-chimies														
	Ca ²⁺ mg / L CaC O ₃	Mg ²⁺ mg / L CaC O ₃	Na+ mg / L	K + m g / L	Cl ⁻ mg /L	SO ₄ ²⁻ mg / L	HC O ₃ ⁻ mg / L	NO ₃ ⁻ mg / L	NH ₄ ⁺ mg / L	NO ₂ ⁻ mg / L	PO ₄ ⁻³ mg / L	DT mg / L CaC O ₃	Alc mg / L CaC O ₃	Co ul UC V	Tur b NT U
P4	80,64	10,46	18,79	3,7	90,028	3,138	130,6 2	15,80 1	0,000	0,000	0,000	244,2 5	107,0 6	1	0
P5	57,47	4,92	16,38	1,2	75,449	4,913	78,57	7,013	0,000	0,000	0,000	163,6 3	64,40	58	7
P6	63,94	6,38	13,97	8,2	72,891	2,849	131,8 8	3,964	0,000	0,000	0,000	185,8 0	108,1 0	28	3
P7	63,86	7,11	22,32	6,0	65,613	3,413	110,1 7	16,48 6	0,000	0,000	0,000	188,6 1	90,30	51	6
Normes maliennes	400	100	400	10 0	250	500		50	0,5	0,02	0,005	500	<150	25	5

Les concentrations en calcium, en magnésium, en sodium et en sulfate sont conformes.

Les valeurs de la dureté obtenues ont varié entre 163,63 et 244,25 par conséquent, ces eaux sont moyennement dures.

Le plus faible taux de sulfate (2,849mg/L) a été trouvé au P6 et le plus grand taux (4,913mg/L) au P5. Les résultats obtenus respectent la valeur guide nationale. Les concentrations en ammonium, en nitrite et en ortho phosphate sont nulles.

Toutes ces eaux sont colorées excepté celle du P4, 75% des échantillons présentent une coloration supérieure à la norme.

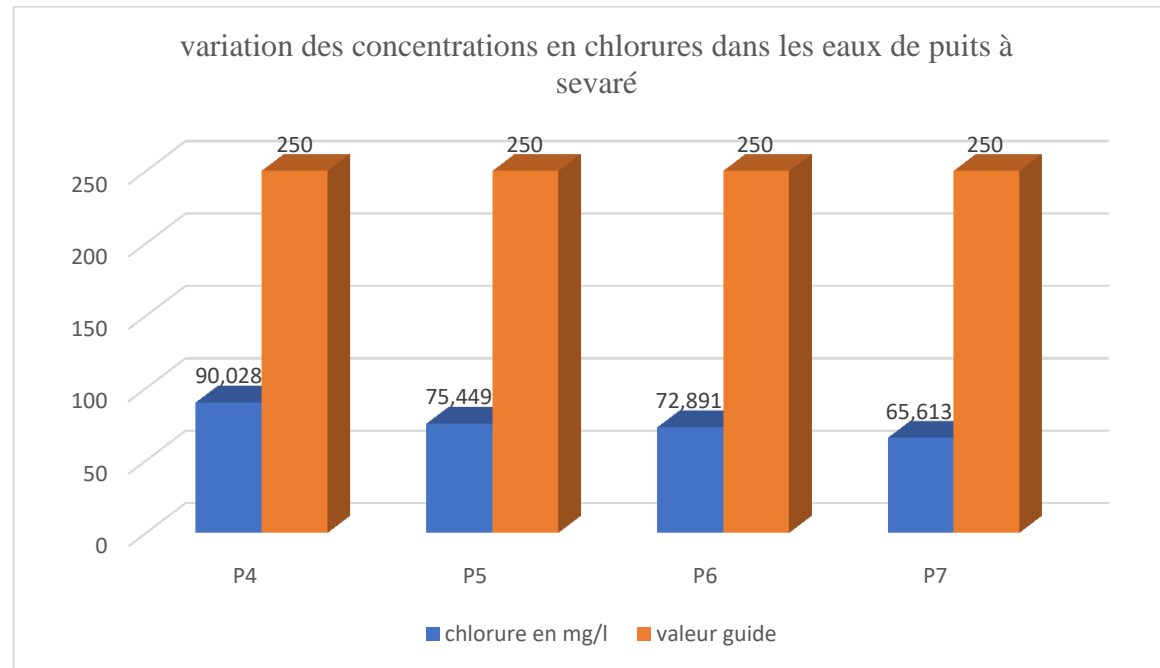


Figure 13 : variation des chlorures dans les eaux de puits traditionnels à sévaré

Les concentrations en chlorure ont oscillé 65,613 à 90,028mg /l. Elle ne présage aucun risque pour la santé car elles sont conformes à norme malienne fixée à 250mg/l.

Tableau XXXVIII: résultats d'analyses des oligo-éléments et des métaux lourds des eaux en sachet

Lieu de prélèvement	F ⁻ mg/L	F _e ⁺² mg/L	Cr ⁶⁺ mg/L	As mg/L	Mn mg/L	Pb mg/L
ES1	0,000	0,173	0,000	0,000	0,595	0,595
ES2	0,000	0,122	0,000	0,000	0,025	0,025
ES3	0,000	0,112	0,000	0,000	0,246	0,03
ES4	0,000	0,071	0,000	0,000	0,214	0,05
ES5	0,000	0,002	0,000	0,000	0,065	0,16
Normes maliennes	0,5	0,3	0,05	0,01	0,5	0,01

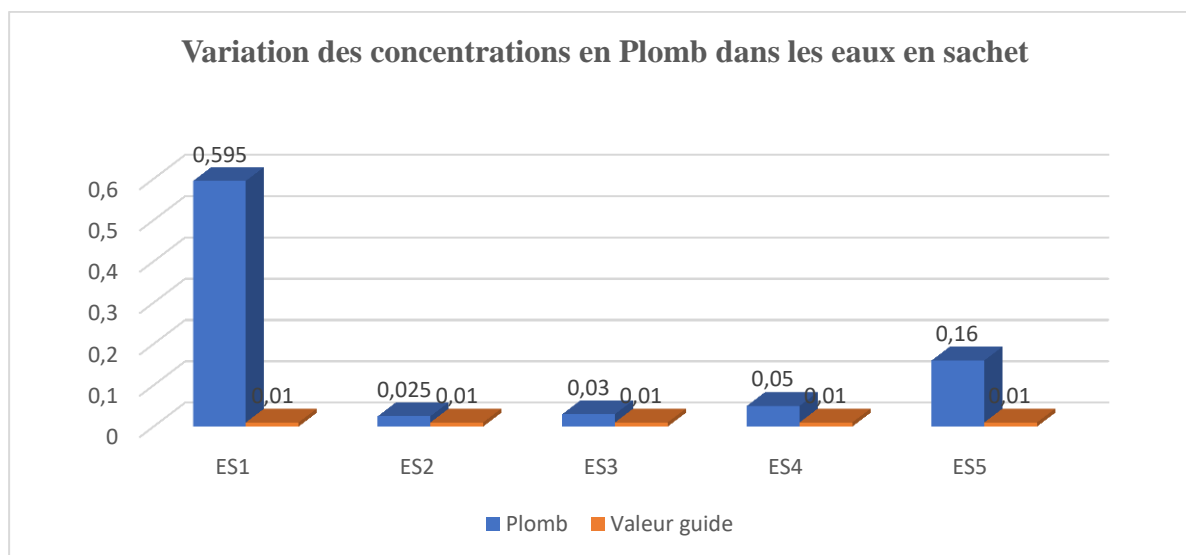


Figure 14 : variation en plomb dans les eaux en sachets

La teneur en fer des eaux en sachet sont largement inférieures à la valeur guide ce qui montre que le fer n'est pas en abondance dans les eaux en sachet prélevées.

Les analyses chimiques ont révélé que les eaux en sachet sont dépourvues de chrome, d'arsenic et de fluorures, **cependant les teneurs en plomb dépassent largement la norme malienne soit près de soixante (60) fois supérieures pour ES1. La totalité des échantillons présente du Plomb avec un taux supérieur à la valeur guide (figure 12).**

Tableau XXXIX: résultats d'analyses des oligo-éléments et des métaux lourds des eaux de forages à Mopti

Lieu de prélèvement	F ⁻ mg/L	F _e ⁺² mg/L	Cr ⁶⁺ mg/L	As mg/L	Mn mg/L	Pb mg/L
F1	0,000	0,092	0,000	0,066	0,406	0,01
F2	0,000	14,33	0,000	0,004	0,654	0,01
F3	0,196	0,128	0,000	0,01	0,862	0,20
Normes maliennes	0,5	0,3	0,05	0,01	0,5	0,01

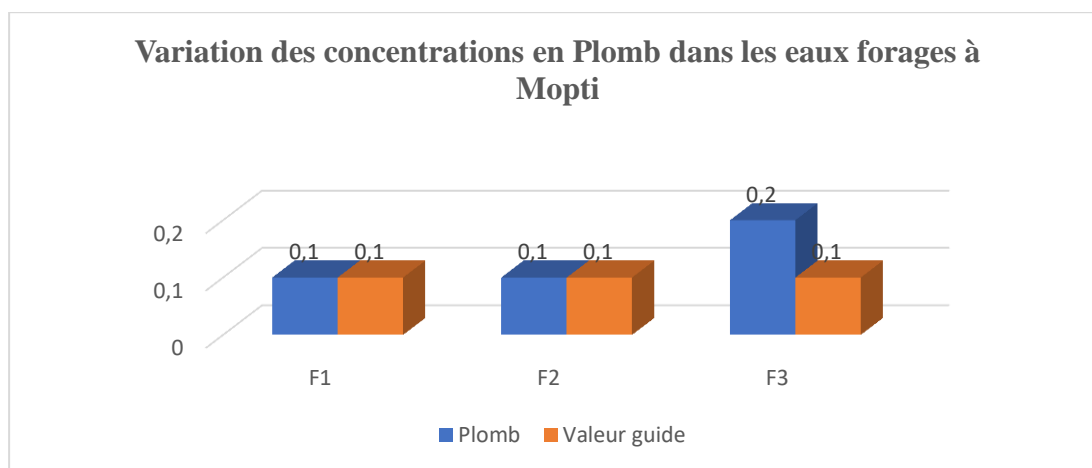


Figure 15 : variation en plomb dans les eaux de forages à Mopti

Les analyses chimiques ont révélé que les eaux de forages sont exemptes de chrome.

L'arsenic a été trouvé en quantité dépassant largement la valeur guide au niveau du F1.

Le fer a été trouvé en concentration extrêmement élevée dans l'eau du F2. Pour les autres points la concentration en fer est inférieure à la limite admise.

Les concentrations en fluorure sont conformes.

F2 et F3 ont un taux de Mn supérieur à la norme malienne.

La totalité des échantillons sont contaminés par le plomb (100%) mais le forage F3 à un taux supérieur à la norme (figure 13).

Tableau XL: résultats d'analyses des oligo-éléments et des métaux lourds des eaux de puits traditionnels à Mopti

Lieu de prélèvement	F ⁻ mg/L	F _e ⁺² mg/ L	Cr ⁶⁺ mg/L	As mg/L	Mn mg/L	Pb m/L
P1	0,000	0,116	0,004	0,066	0,157	0,18
P2	0,000	0,109	0,000	0,000	0,545	0,00
P3	0,132	0,090	0,000	0,007	1,637	0,22
Normes maliennes	0,5	0,3	0,05	0,01	0,5	0,01

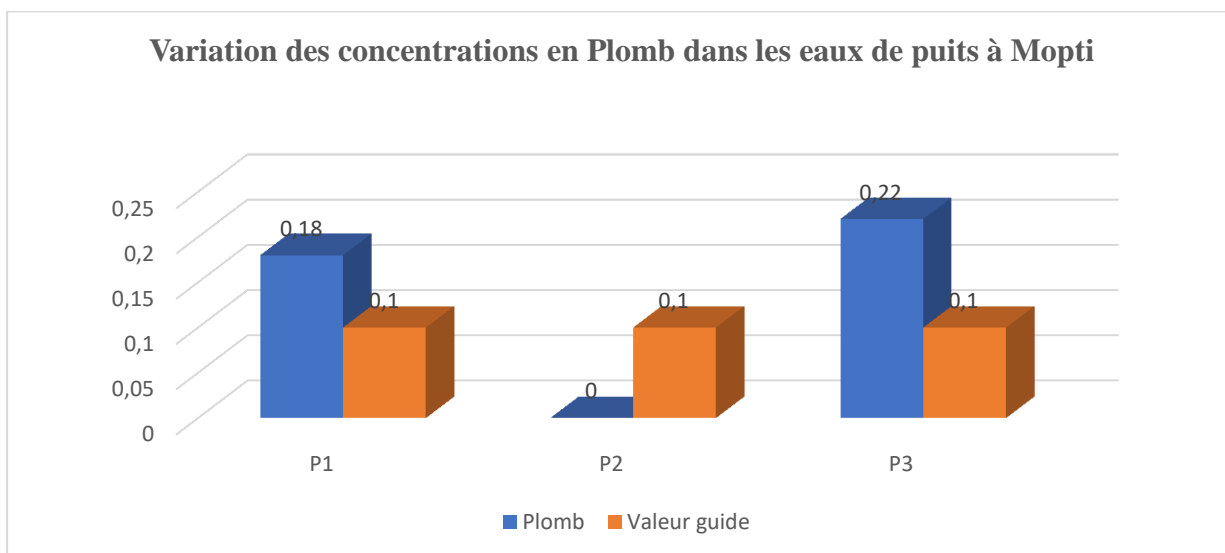


Figure 16 : variation en plomb dans les eaux de puits à Mopti

Les concentrations en fer, en chrome et en fluore sont conformes à la norme malienne.

L'arsenic et le plomb du P1 sont largement au-dessus de la valeur recommandée. On note également une teneur élevée en plomb au niveau du P3. Les concentrations en Manganèse ont oscillé entre 0,157 et 1,637 mg/L. Deux des puits ont une teneur supérieur à la norme malienne (P2 et P3).

Tableau XLI: résultats d'analyses des oligo-éléments et métaux lourds des eaux de forages à Sévaré.

Lieu de prélèvement	F ⁻ mg/L	F _e ⁺² mg/L	Cr ⁶⁺ mg/L	As mg/L	Mn mg/L	Pb mg/L
F4	0,000	0,148	0,000	0,000	0,190	0,12
F5	0,000	0,077	0,000	0,000	0,178	0,12
F6	0,000	0,080	0,000	0,000	0,286	0,25
F7	0,000	0,039	0,000	0,017	0,166	0,14
F8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,274	0,21
F9 SOMAGEP forage III	0,000	0,000	0,000	0,000	0,216	0,25
F10 SOMAGEP forage V	0,000	0,000	0,000	0,016	0,289	0,25
F11 SOMAGEP forage IV	0,000	0,000	0,000	0,007	0,176	0,13
F12 SOMAGEP forage VI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,267	0,25
F13 SOMAGEP forage II	0,564	0,004	0,000	0,005	0,292	0,24
Normes maliennes	0,5	0,3	0,05	0,01	0,5	0,01

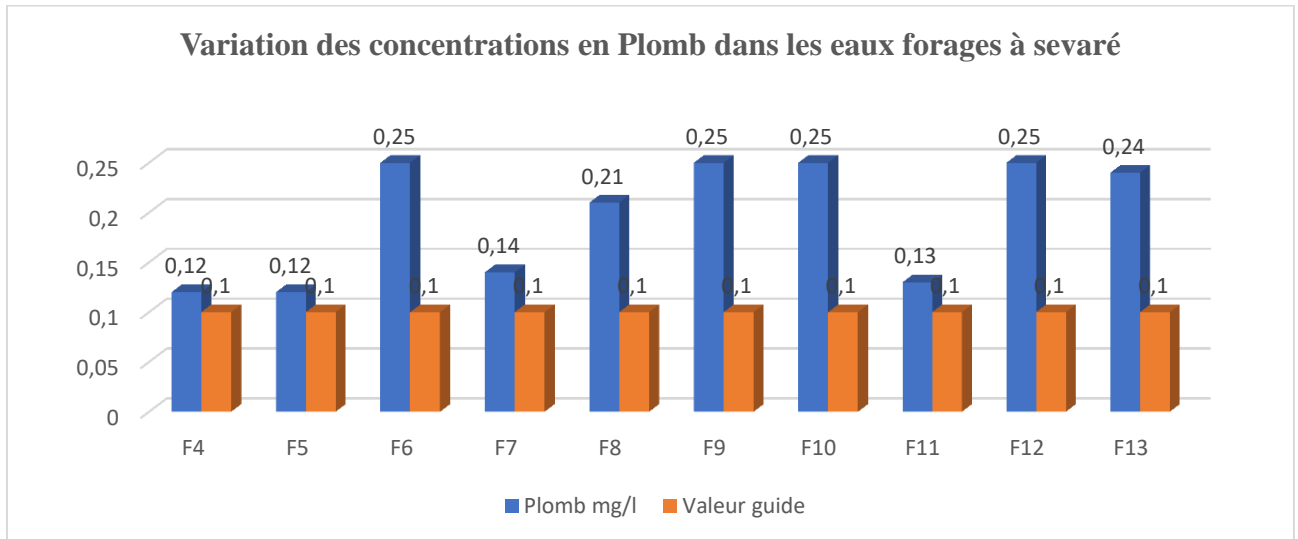


Figure 17 : variation en plomb dans les eaux forage à sévaré

Les analyses chimiques ont révélé que les eaux de forages contiennent du plomb en grande quantité. Les autres paramètres analysés sont conformes à la norme malienne.

Tableau XLII: résultats d'analyses des oligo-éléments et des métaux lourds des eaux de puits traditionnels à Sévaré

Lieu de prélèvement	F ⁻ mg/L	F _e ⁺² mg/L	Cr ⁶⁺ mg/L	As mg/L	Mn mg/L	Pb mg/L
P4	0,000	0,151	0,000	0,011	0,278	0,16
P5	0,000	0,45	0,000	0,000	0,056	0,20
P6	0,405	0,039	0,000	0,000	0,132	0,08
P7	0,000	0,021	0,000	0,010	0,233	0,17
Normes maliennes	0,5	0,3	0,05	0,01	0,5	0,01

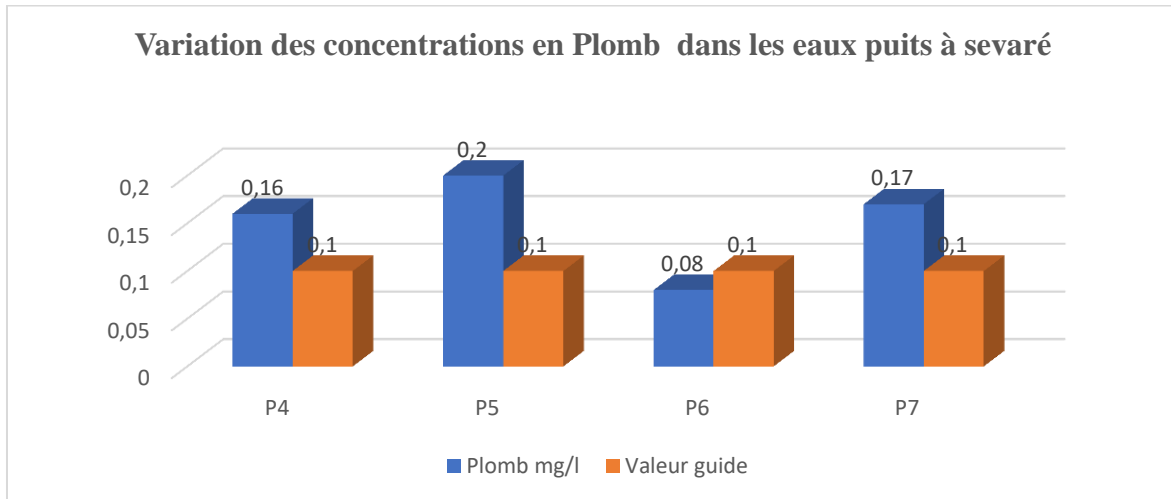


Figure 18 : variation en plomb dans les eaux de puits à sévaré

Tous les échantillons contiennent du plomb avec une teneur supérieure à la norme. A l'exception du plomb, les paramètres analysés sont conformes à la norme malienne de l'eau potable.

VI. Commentaires et Discussions :

Nous avons mené une étude évaluative portant sur la qualité de toutes les eaux pouvant servir de boisson à Mopti et Sévaré. Elle s'est donc déroulée en fonction de la disponibilité des différents échantillons pouvant faire l'objet de prélèvements lors des passages de l'équipe. Elle a porté sur les eaux du réseau SOMAGEP, les forages, les puits et les eaux conditionnées en sachet. Etaient également pris en compte l'aspect des abords et les activités à proximité ainsi que les coordonnées géographiques (longitude et latitude) du point de prélèvement (Tableau IVX, XV, XVI, XVII, XVIII, IXX, XX)

A. Mopti

Pour ce qui concerne les Forages et Puits, hormis la couleur du F2, ces eaux ne sont ni colorées ni turbides. Elles contiennent de fortes concentrations en chlorure mais respectent (Tableau XXXIV et XXXV) la norme malienne de l'eau potable. Les autres paramètres font de même. Ces résultats se rapprochent de ceux d'une étude menée dans la région de Meknes (Maroc) où toutes les concentrations en chlorure étaient inférieures à 200mg/l contre la norme marocaine fixée à 300mg/l (47).

On note une teneur élevée des nitrates dans un puits traditionnel notamment celui du P3.

Exactement 2/3 soit 66,66% des échantillons sont contaminés par les coliformes totaux et 50% ont un taux supérieur à la normale. Ceci pourrait s'expliquer par l'aspect des abords : manque d'hygiène, absence d'aire de récupération des eaux usées et présence de fosses septiques à moins de 15m des points d'eau.

Tous les échantillons étaient exempts de coliformes fécaux et d'*Escherichia coli*.

L'arsenic a été trouvé en quantité dépassant largement la valeur guide au niveau du F1 et du P1.

Le fer a été trouvé en concentration extrêmement élevée dans l'eau du F2.

Le manganèse est aussi abondant dans ces eaux, sa concentration allant de 1,637 au P3 à 0,157mg/l au P1, 66,66% des échantillons ont un taux supérieur à la norme malienne.

Quant au Plomb, toutes les eaux souterraines contiennent du plomb excepté le P2. Il a été trouvé dans 83,33% des échantillons et 50% avaient un taux supérieur à la norme. Ces résultats sont loin d'une étude menée par le LNE sur les eaux de puits de l'office du Niger ou seulement 27,27% (48) des échantillons avaient une teneur dépassant légèrement la norme malienne.

Pour les Eau du réseau SOMAGEP, elles sont très faiblement minéralisées. Le chlore résiduel libre à concentration optimale a été perceptible dans le réseau (Tableau XXI). Les valeurs de la couleur et de la turbidité ont varié respectivement entre 102 à 191 UCV et 20 à 44 NTU. Elles sont donc turbides et colorées. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les échantillons ont directement été prélevés à la SOMAGEP (eau brute et eau traitée) avant et tout juste après le traitement et contenaient donc des produits non encore dissous mais aussi dû au fait que c'est une eau de surface exposée à toutes sortes de pollutions.

Hormis la couleur et la turbidité les autres paramètres physicochimiques respectent les normes maliennes de potabilité.

B. sévaré :

Pour ce qui concerne les Puits et forages, des coliformes totaux sont présents en nombre significatif dans toutes les eaux de puits traditionnels (Tableau XXXI) ceci pourrait s'expliquer par le fait que ces puits ne subissaient pas de traitement adéquat. Les conditions hygiéniques mal saines aux abords peuvent aussi être à l'origine. Ces résultats sont similaires à celle d'une étude réalisée par Coulibaly et al à Bamako où tous les puits étaient contaminés par des CT a concentrations nettement plus élevées(49).

Quant aux forages, seulement 30% des échantillons étaient contaminés par des coliformes totaux. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que tous les points contaminés étaient dans des zones urbaines avec une grande densité de la population. Les conditions environnementales déplorables (Tableau XXIX et XXX) peuvent avoir joué un rôle également. Comme à Mopti aucun germe de coliformes fécaux ni d'*Escherichia coli* n'a été dénombré.

Le pH des différents forages a varié entre 7,41 et 8,25 avec une prédominance basique. Cette prédominance basique justifie une alcalinité assez élevée et supérieure à la norme pour 50% des forages. Ces eaux sont moyennement minéralisées excepté F7 qui a aussi enregistré un taux de chlorure élevé supérieur à la norme avec F4. On note ici une légère différence avec les résultats obtenus à Mopti où tous les échantillons avaient une concentration inférieure à 200mg/l. Ceci pourrait s'expliquer par la nature des terrains traversés.

Les eaux de tous les puits sont colorées excepté celle de P4 contrairement aux forages qui ne sont ni turbides ni colorés tout comme à Mopti. La profondeur ainsi que l'équipement des forages pourraient être à l'origine de cette différence de coloration.

Comme à Mopti, le plomb a été trouvé dans tous les échantillons à des concentrations dépassant largement la norme. Ces résultats diffèrent avec ceux d'une étude menée par le LNE-FST à Bamako où tous les échantillons étaient exempts de plomb (50). Cette élévation anarchique du plomb pourrait s'expliquer par la nature géologique du sol qui est du quaternaire fluvio-lacustre récent (grès non consolidé, dépôt de sable perméable) pouvant permettre une infiltration facile d'après une carte géologique de Mopti datant de 1955 réalisée par la Direction Nationale de la Géologie et des Mines (DNGM)(51).

Dans le du réseau SOMAGEP, le taux de chlore tout au long du réseau respectait la norme. Ceci identique aux résultats obtenus à Mopti.

Contrairement à l'eau de la station de traitement SOMAGEP Mopti, l'eau du réseau de Sévaré n'est ni turbide ni coloré. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le réseau est alimenté par des forages qui ne subissent pas la pollution urbaine et par conséquent garde les caractéristiques de la nappe phréatique et ceci est en accord avec les résultats obtenus au niveau des différents forages à Sévaré.

C. Eau en sachet :

Excepté ES3 et ES1, le taux du chlore résiduel libre est satisfaisant dans les autres usines. Ceci pourrait être dû au temps de conservation de ces eaux chez le fabricant sachant que la teneur du chlore diminue proportionnellement avec le temps. Ces eaux sont faiblement ou moyennement minéralisées.

Les analyses ont révélé une teneur en plomb élevée dans les échantillons largement supérieure à la norme. Ceci confirme les résultats précédents obtenu à Mopti mais aussi ceux de Sévaré qui ont tous une teneur assez élevée en plomb sachant que toutes les unités de production sont alimentées par la SOMAGEP excepté ES3 prélevé hors du site de production. Ces résultats ne reflètent pas ceux obtenus par YOUKANABA Y. et al(52) lors d'une étude menée à Bamako ou tous les échantillons étaient exempts de plomb.

VII. Conclusion :

Nous avons mené une étude évaluative portant sur la qualité des eaux de boisson à Mopti et Sévaré. Elle a donc porté sur les eaux de Puits traditionnels, de Forages, d'eaux conditionnées en sachet ainsi que l'eau du réseau SOMAGEP chacun de ces points étant geolocalisés à l'aide d'un GPS (coordonnés longitude et latitude).

Au total, trente-cinq (35) points ont été prélevés à chaque passage (eaux de puits, de forages, en sachet et suivant le réseau de la SOMAGEP) dont quinze (15) à Mopti et vingt (20) à Sévaré. Au terme de notre étude, les analyses des échantillons ont révélé des non conformités

- **La qualité des eaux de puits et forages**

- **PHYSICOCHEMIE :**

Couleur : F2, P5, P6 et P7 présentent une coloration supérieure à la normale soit 20% des eaux souterraines, 7,96% des forages et 42,85% des puits.

Nitrate : Seul P3 à un taux de Nitrate supérieur à la norme malienne ce qui représente 5% des échantillons d'eaux souterraines et 14,29% des puits.

Chlorures : Tous les puits présentent un taux inférieur à la norme malienne, seul F7 et F4 ont un taux supérieur à la norme malienne, ce qui représente 10% des échantillons d'eaux souterraines et 15,38% des forages.

Fer : Seul F2 présente un taux supérieur à la norme malienne, soit 5% des eaux souterraines et 7,69% des forages.

Arsenic : F1 et P1 ont une teneur supérieure à la norme, ce qui représente 10% des eaux souterraines, 14,28% des eaux de puits et 5% des forages échantillonnés.

Manganèse : Il est présent uniquement à Mopti où 66,66% des échantillons ont un taux supérieur à la norme.

Plomb : Présent dans 83,33% des échantillons à Mopti avec un taux supérieur à la norme pour 50% des échantillons, il est également présent dans tous les échantillons d'eaux de Sévaré.

 **BACTERIOLOGIQUES:**

50% des échantillons d'eaux de Mopti contiennent des CT en concentration supérieure à la norme. Dans tous les échantillons de puits ainsi que dans 30% des forages de Sévaré on note une présence de CT, ce qui représente une présence à hauteur de 65,83% des eaux souterraines. Ce taux se ramène 40% dans les deux les localités pour ce qui concerne les échantillons dont le taux de CT est supérieur à la norme malienne.

Tous les échantillons étaient exempts de coliformes fécaux et d'*Escherichia coli*.

- **Qualité des eaux du réseau SOMAGEP :**

Hormis la couleur et la turbidité des eaux de la station de traitement de Mopti, les eaux du réseau SOMAGEP sont de bonne qualité physicochimique et bactériologique.

- **Qualité des Eaux en sachet :**

ES1 et ES3 ont un taux de chlore inférieur à la norme, 40% des échantillons.

Une concentration en plomb largement supérieur a été trouvée dans tous les échantillons.

Les autres paramètres analysés respectent la norme malienne.

Au terme de notre travail, nous pouvons conclure que la contamination des puits est presque générale du point de vu bactériologique. Cette contamination se manifeste par la seule présence de CT. Le plomb est également présent dans la quasi-totalité des échantillons aussi bien dans les eaux de surfaces que souterraines. Cette pollution se manifeste par des teneurs dépassant les directives de la norme malienne.

Face à tous ces taux de non-conformité constatés, il est souhaitable de mener périodiquement un contrôle de de l'eau de boisson à Mopti et Sévaré pour confirmer ou infirmer ces premiers résultats. Le cas échéant, il faut envisager des mesures correctives.

Au vu de ces résultats il nous semble nécessaire de formuler quelques recommandations.

VIII. Recommandations :

Nous recommandons dans l'avenir le respect des mesures suivantes :

- A la municipalité de Mopti et sévaré :
 - ❖ Multiplier les campagnes de sensibilisation à l' endroit de la population sur les mesures d'hygiène au voisinage des points d'eau et au respect d'une distance minimum de quinze (15) mètres entre puits et latrines.
 - ❖ Aider à la mise en place d'un système d'évacuation correcte des eaux usées au niveau des bornes fontaines publiques.
 - ❖ Mettre en place un système de traitement des eaux usées avant leur déversement dans le Bani.
- A la population de Mopti et sévaré :
 - ❖ Veillez au traitement régulier des eaux de puits et de forages et faire appel aux autorités compétentes avant tout aménagement.
 - ❖ Améliorer les conditions d'hygiène aux abords des points d'eau.
- Au LNE :
 - ❖ Multiplier les études similaires dans de bref délai dans notre zone d'étude pour pouvoir mieux apprécier la qualité de l'eau de boisson.
 - ❖ Entreprendre d'autres études sur la qualité de l'eau de boisson dans toutes les zones urbaines n'ayant pas un accès facile au réseau de la SOMAGEP.

- ❖ Avoir un accès aux différentes mis à jour de la carte géologique du Mali afin d'avoir une idée net sur la nature des terrains traversés par l'eau.
- **Il est nécessaire d'attiré une attention particulière du grand public sur les risques possible de saturnisme (plomb) et de la méthémoglobinémie chez les enfants (nitrates).**

REFRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. N'DIAYE A. Etude bacteriologique des eaux de boissons vendues en sachet dans quatre commune d'Abidjan. [Bamko/Mali]: FMPOS/Thèse Pharmacie; 2008.
2. OMS. OMS/EAU [Internet]. 2017 nov [cité 8 nov 2017]. Disponible sur: <https://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/fr/>
3. DAOU D. Eau et Santé de l'homme au Mali [Thèse]. [Bamko/Mali]: FMPOS; 2004.
4. Le cholera en Haiti: Une crise humanitaire silencieuse [Internet]. 2017 oct. Disponible sur: <https://www.reliefweb.int-report-le-cholera>
5. Unicef. Eau source de vie [Internet]. Disponible sur: <https://www.un.org/org/waterorlifedecade/pdf/waterforlifebklt-pdf>
6. Konate I. Epidemies de cholera en Afrique de l'Ouest de 1995 à 2004. [Bamko/Mali]: FMPOS; 2006.
7. Techno-science. Eau: Definition et explication [Internet]. 2017 avr. Disponible sur: www.techno-science.net//glossaireetdefinition/eau
8. Dacosta Y. Effet comparé des différents modes de conditionnement sur la croissance des bactéries pathogènes responsables des intoxications alimentaires. Paris Yv Es Dacosta. 1995;142.
9. Colloque international. Session de perfectionnement de distribution de produits alimentaires à Abidjan. Limoge Fond L'eau 1986. 15 Fevrier 1986;58-61.
10. Fondation de l'eau. Eau-Fondation-Developpement, compte rendu, conclusion, recommandations.
11. Bourre P. et al. Cycle parasitaire première édition. Paris. 1996;40.
12. OMS (2). Directives de qualité pour l'eau de boisson : Contrôle de qualité de l'eau de boisson destinée à l'approvisionnement des petites collectivités. Genève; 1986 p. 121. Volume 3.

13. Rapport OMS 1985. Directives de qualité pour l'eau de boisson : Contrôle de qualité pour l'eau de boisson. Recommandations. Genève OMS; 1985 p. 87-192. Volume 1.
14. PNUD 1990. Programme des Nations Unies pour le Développement « Déclaration de New Delhi » In consultation mondial sur l'eau potable et l'assainissement pour les années 1990. New Delhi (inde); 1990 p. 8.
15. Théodore Kouadio. Vente d'eau dans les emballages plastiques : les entreprises prospèrent, quotidien Frat-Mat. fevrier , Abidjan (RCI 2006)
16. BAH I. Etude de la qualité physico-chimique des eaux de consommation à Gavinané. [Bamko/Mali]: FMPOS/Thèse Pharmacie; 2014.
17. Jonathan D. Cycle de l'eau. 29 oct 2017 [cité 29 oct 2017]; Disponible sur: <http://www.lesagencesdeleau.fr/francais/cycle/histoire>
18. Schéma du cycle de l'eau - The Water Cycle, in French, from USGS Water-Science School [Internet]. [cité 16 janv 2019]. Disponible sur: <https://water.usgs.gov/edu/watercyclefrenchhi.html>
19. AFNOR. Qualité physique et chimique de l'eau. Vol. Tome 4. France; 1999.
20. MAIGA AS. Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako:Evaluation saisonnière. [Bamko/Mali]: /Thèse Pharmacie; 2005.
21. SAMAKE H. Analyse physico-chimique et bacteriologique au LNS des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la periode 2000 et 2001 [Thèse pharmacie]. [Bamko/Mali]: FMPOS; 2002.
22. Rapport OMS 1980. Nitrates, Nitrites et composés N-nitro. Genève; 1980. Serie critères d'hygiène de l'environnement.
23. 3 - Les différents types de maladies liées à l'eau / Eau et maladies / L'eau, source de vie / Eau et santé / Tout sur l'eau / Sololiya - WWF Sololiya [Internet]. [cité 7 févr 2019]. Disponible sur:

http://www.sololiya.fr/tout_sur_l_eau/eau_et_sante/l_eau_source_de_vie/eau_et_maladies/3_les_differeents_types_de_maladies_liees_a_l_eau

24. Saturnisme : une intoxication par le plomb | ameli.fr | Assuré [Internet]. [cité 19 janv 2019]. Disponible sur:
<https://www.ameli.fr/assure/sante/themes/saturnisme/definition-exposition-plomb>
25. Reitler R. et al. Pseudomonas aeruginosa in drinking water. *Jornal of applied Bacteriology*. 1957;20:145-50.
26. Momoec n 27. La microbiologie de l'eau destine a la consommation humaine. 2004;1-2.
27. Rapport OMS 1994 (3). Directives de qualité de l'eau de boisson deuxième édition. Genève. OMS; 1994 p. 8-30. vol1. Recommandation.
28. CLARK J, EL-SHARRAWI A. Evaluation of commercial presence-absence test kits for detection of total coliform, Escherichia coli and other indicator bacteria. *Appli. Environ.microbiol.*,. 1993.
29. BOUCAUD Y, THIOINET S, FURHMAN C, CORONEL B, FRENEY J. Evaluation des performances et de la particularité de l'automate de cytobactériologie symex UF-100 pour la prédiction de l'infection urinaire. Abstract de la 21 em Réunion interdisciplinaire de chimiothérapie Anti- Infectieuse. France/Paris; 2001 déc p. 289.
30. Graun, G.F, Berger, PS., et Calderon, R. L. Coliform bacteria and waterborn disease out breaks. *JAm Water Work Assoc*. 89(3):96-104.
31. GELINAPS. Répertoire des micro-organismes pathogènes transmit par les aliments. Saint Hyacinthe. 1995 p. 211.
32. OMS (9). Eau assainissement et santé (WSH). Directives de qualité pour l'eau de boisson. 2004. troisième édition, volume 1.

33. Bourgeois C.M., Mescle J.F., Zucca J. Microbiologie alimentaire. Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaire. Paris Lavoisier. 1990;2ed, tome1:422.
34. OMS (1). Directives de qualité pour l'eau de boisson : critères d'hygiène et documentation à l'appui ; Genève OMS; 1986 p. 102-106.volume 2,
35. OMS (6). Genève Normes internationales pour l'eau de boisson Genève. Genève OMS; 1972 p. 74.
36. S. Aka Akely. Aspects microbiologiques qualitatifs et quantitatifs d'une eau minérale naturelle africaine : le cas de l'eau minérale AWA. [Thèse de pharmacie]. [Abidjan/Cote D'ivoire]; 1994.
37. Geldreich E. et al. Concept of faecal streptococci instream pollution Jormal of the water pollution control federation. 1969;41; 33.
38. Paterson DL, Mulazimoglu L,Casellas JM., Kowc, Goosseins H,, Vongottberg A et al. Epidemiologie of ciprofloxacin resistance and its relation ship to extended-spectrum bêtalactamase production in Klebsiella pneumonia isolatescausing bactenemia. Clin Infect 2000. 30:473-8.
39. Hamon J. L. Nouvelles normes européennes relatives aux eaux alimentaires potables. T.S.M L'eau,. 77 (6):301-10.
40. Kool H. Treatment Processes applied in public water for the removae of micro organisms In: Proceeding of symposium on biological indicators of water quality. Vol.2.
41. Samaké A. Analyse physico-chimique et bactériologique au Laboratoire Nationale de Santé des eaux de consommation de la ville de Bamako (Mali) de 2000 à 2001 [Thèse de pharmacie]. [Bamko/Mali]: FMPOS; 2002.
42. Henri Leclerc. Microbiologic agents associated with waterbornes diseases-critical revew in microbiology. audition de M.P.Baudeau, Institut de veille sanitaire; 2002 p. 5-21.

43. OMS | L'OMS publie des directives révisées pour l'eau de boisson afin de prévenir les flambées de maladies hydriques [Internet]. [cité 16 janv 2019]. Disponible sur:
<https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2004/pr67/fr/>
44. Maladies hydriques - Lenntech [Internet]. [cité 16 janv 2019]. Disponible sur: <https://www.lenntech.fr/bibliotheque/maladies/maladie-hydrique/maladie-hydrique.htm>
45. Livre bleu de Belgaqua (1998). 1ere édition. 2001. 27-48 p.
46. J. B . LEROY. ingénieur à la compagnie generale des eaux : la pollution des eaux. Presse Univ Fr. juin 1986;1ère edition.
47. BELGHITI M.L.1, CHAHLAOUIA., BENGOU MID., EL MOUSTAINE R. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de lanappe Plio-Quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14. juin 2013;21-36.
48. Rapport LNE: Dr. Drissa SAMAKE et al (LNE). L'impact des activités agricoles sur la qualité des eaux souterraines et de surface à N'Débougou en zone Office du Niger. Bamko/Mali; 2015 oct p. 29.
49. Coulibaly K. Etude de la qualité physico-chimique et bacteriologique de l'eau des puits de certains quartiers du District de Bamako. [Bamko/Mali]: FMPOS/Thèse Pharmacie; 2005.
50. Rapport LNE: Diop Babacar et al. Evaluation de la qualité des eaux souterraines dans le district de Bamako. Bamko/Mali; p. 64.
51. Direction nationale de la geologie et des mines, dirigée par Guy Palausi- Ingenieur geologue. Carte geologique de reconnaissance à l'échelle du 500.000, Notice explicative feuille Mopti-est. Bamko/Mali; 1950 1955.
52. YOKANABA Y. Usages de l'eau et leurs conséquences dans le district de Bamako et environs. Quantification des caractéristiques physico-chimiques, biologiques et microbiologiques des eaux de robinets, de puits et

forages du district de Bamako et environs. [Thèse pharmacie].

[Bamko/Mali]: FMPOS; 2011.

ANNEXES

Annexe 1

PRESENTATION DU LABORATOIRE NATIONAL DES EAUX (LNE) :

Le LNE a été créé suivant la loi N°08-014/ du 4 juin 2008 ; délibéré et adopté par l'Assemblée nationale en sa séance du 15 mai 2008.

MISSIONS :

Le Laboratoire Nationale des Eaux a pour mission d'analyser et de contrôler les ressources en eaux :

A cet effet, il est chargé de :

- Faire l'échantillonnage et l'analyse physico-chimique, bactériologique, toxicologique et microbiologique des eaux naturelles (eau de surface, eau souterraine) ;
- Analyser les dépôts sédimentaires ;
- Promouvoir la recherche et la formation en matière de l'eau ;
- Assurer l'information scientifique des populations dans le domaine de la qualité de l'eau ;
- Participer à l'élaboration des normes relatives à la qualité des eaux ;
- Elaborer et mettre en œuvre des plans et programmes d'études hydro chimiques isotopiques et hydrodynamiques sur l'origine de l'évolution des nappes d'eau ;
- Exécuter des études hydro sédimentologiques dans les cours d'eau, les retenues naturelles et artificielles, dans les canaux d'irrigation, de navigation et dans les réseaux d'adduction d'eau ;
- Assurer un appui conseil aux collectivités dans l'amélioration de la qualité de leurs eaux ;
- Créer une banque de données chimiques en matière de l'eau.

LA DOTATION INITIALE ET DES RESSOURCES :

La dotation initiale est constituée par les biens meubles et immeubles de l'ancien Laboratoire Nationale des Eaux.

LES RESSOURCES :

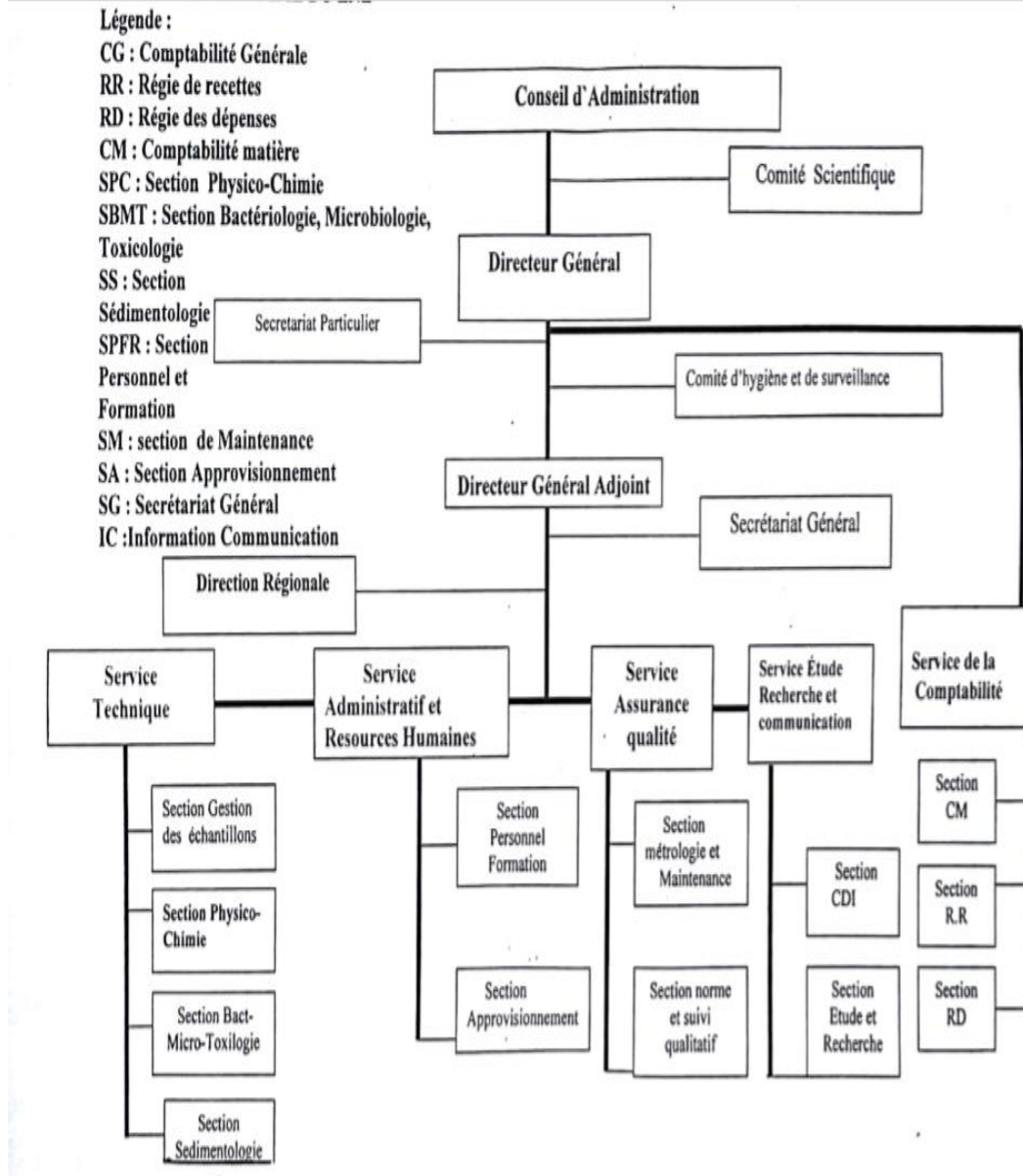
Les ressources du Laboratoire Nationale des Eaux sont constituées par :

- Les revenus provenant des prestations de services ;
- Les produits d'aliénation des biens meubles et immeubles ;
- Les revenus du patrimoine ;
- Les subventions de l'état ;
- Les dons, legs, subvention autres que celles de l'état ;
- Les fonds d'aide extérieure ;
- Les recettes diverses.

LES ORGANES D'AMINISTRATION ET DE GESTION :

Les organes d'administration et de gestion du Laboratoire Nationale des Eaux sont :

- **Le conseil d'Administration ;**
- **La Direction Générale ;**
- **Le comité scientifique et Technique.**



Annexe 2

Protocole d'échantillonnage de la qualité de l'eau

Modes de prélèvement

Echantillons destinés aux analyses physico-chimiques :

- Utiliser des récipients propres ;
- Utiliser des robinets dédiés à l'échantillonnage ;
- Ouvrir le robinet et laisser l'eau couler pendant au 2 minutes avant de prélever ;

- Rincer le flacon au moins trois fois avec l'eau à analyser ;
- Remplir le flacon sans laisser de bulles d'air puis fermer hermétiquement ;
- S'assurer que l'eau prélevée est représentative de celle circulant dans le système de distribution ;
- A l'aide d'un marqueur, inscrivez sur le flacon le numéro d'identification de l'échantillon ;
- Placez le flacon marqué dans la glacière avec les blocs réfrigérants ;
- Conserver les échantillons au froid avant que le laboratoire les prenne en charge.

Echantillon destinés aux analyses microbiologiques :

- Utiliser des flacons Utiliser des robinets dédiés à l'échantillonnage ;
- Ouvrir le robinet et laisser l'eau couler pendant au 2 minutes avant de prélever ;
- Rincer le flacon au moins trois fois avec l'eau à analyser ;
- Remplir le flacon sans laisser de bulles d'air puis fermer hermétiquement ;
- stérilisés ;
- Flamber le bec du robinet ;
- Ouvrir le robinet et laisser l'eau couler pendant au moins 2 minutes avant de prélever ;
- Remplir le flacon en laissant un espace d'air d'au moins 2cm entre la surface du liquide et le bouchon ;
- Vissez hermétiquement le bouchon ;
- A l'aide d'un marqueur, inscrivez sur le flacon le numéro d'identification de l'échantillon ;
- Placez le flacon marqué dans la glacière avec les blocs réfrigérants ;

- Conserver les échantillons au froid avant que le laboratoire les prenne en charge ;
- Faire les analyses le plus tôt possible.

Annexe 3 : Détermination du Fe²⁺

- Prélever 25 ml d'échantillon d'eau dans un bécher ;
- Ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique;
- Placer la solution au noir pendant 24h ;
- Ajouter 1 ml d'hydroxy ammonium chlorure, 2 ml de solution tampon, 2 ml de phénanthroline ;
- Après 15 minutes, la lecture est faite par le spectrophotomètre U-5100 HITACHI.

NB : Faire l'eau distillée comme blanc avant l'analyse.

Annexe 4 : Détermination de la Turbidité

- Mettre l'appareil sous tension ;
- Appuyer sur la touche « ON » pour allumer ;
- Remplir la cuve d'eau distillée jusqu'au trait de jauge et faire le « Zéro » de l'appareil ;
- Agiter l'échantillon, rincer la cuve avec et remplir jusqu'au trait de jauge ;
- Placer dans le puits, fermer le couvercle puis appuyer sur la touche « Mesurer »
- La valeur de la turbidité apparait en NTU.

Annexe 5:

Détermination de la teneur en Arsenic :

- Prélever 50ml de l'échantillon dans un erlenmeyer ;
- Ajouter le réactif A1 (acide sulfamique) ;
- Agiter le mélange jusqu'à dissolution totale ;
- Allumer l'appareil et faire le zéro avec le filtre blanc et lancer la minuterie : 20 minutes ;

- Insérer un filtre dans la tête de lecture du bouchon de l'erenmeyer ;
- Ajouter un comprimé de Borohydrate de sodium (NaBH_4)
- Fixation du bouchon de l'erenmeyer le plus vite possible afin de recueillir l'arsenic qui s'évapore (il doit s'écouler un temps très court entre le début de la réaction et la fixation de la tête de l'erenmeyer : inférieur a 2 secondes).
- A la fin de la minuterie, retirer le filtre de la tête de l'eren et procéder à la lecture ;
- L'appareil donne directement la concentration en Arsenic dans l'échantillon en $\mu\text{g/l}$.

Annexes 6 : Sodium et Potassium

L'analyse se fait à l'aide d'un Spectrophotomètre à flamme qui contient une lame indiquant l'élément à analyser.

1-Le sodium Na^+

- Allumer la hotte
- Allumer le climatiseur
- Ouvrir le robinet
- Brancher le spectromètre a flamme
- Appuyer sur le bouton noir du résistor pour que le courant passe ;
- Attendre pendant 15 minutes ;
- Mettre le moteur en marche ;
- Ouvrir le gaz tout en réglant la flamme à l'orange (rouge) ;
- Placer la lame sur la plaque Sodium, puis attendre que l'appareil s'échauffe ;
- Après échauffement, appuyé sur le bouton Power, la flamme s'allume.

Les étalons (solution Tampon) sont classés suivant l'ordre croissant : 0ppm ; 5ppm ; 10ppm ; 15ppm et 20ppm :

- On étalonne l'appareil avec les Tampons : 0ppm
0
20ppm 100

Lorsque jusqu'à 4 fois s'il y a stabilité, alors on continue à vérifier avec les autres étalons

5ppm	31
10ppm	61
15ppm	81
20ppm	100

Et alors commencer l'analyse sodium des échantillons. Si la valeur de l'échantillon dépasse 100 on procède à une dilution.

2- Le potassium K^+ :

Après l'analyse su sodium, on ferme le gaz

- Si la flamme s'éteint, on éteint l'appareil pendant 15 minutes.
- Après refroidissement, on change de gamme : on passe du sodium au potassium.
- Après 15 minutes lorsque l'appareil se refroidit on ouvre le gaz
- On allume le gaz
- Lorsque la flamme s'allume, on commence l'analyse.

Le potassium est étalonné avec les étalons (solution tampon) dans l'ordre de 0ppm ; 2ppm ; 4ppm ; 6ppm ; 8ppm et 10ppm.

- On étalonne d'abord avec 0ppm 0
10ppm 100 on étalonne jusqu'à 4 fois.

Lorsqu'il y a stabilité : c'est-à-dire l'étalon 0ppm doit donner la valeur 0 et l'étalon 10ppm doit donner 100 (jusqu'à 4 fois)

Alors on continu à vérifier en étalonnant avec

2ppm	20
------	----

4ppm	40
6ppm	60
8ppm	80
10ppm	100

On procède à l'analyse du potassium dans les échantillons et si la valeur du potassium est supérieure à 80, il faut diluer.

Calcul du Sodium et Potassium

EXCELL

Disque C

Fenêtre Sodium-Potassium s'affiche

Double clic sur la fenêtre sodium

La page EXCELL apparait

On saisit les valeurs des concentrations des étalons puis les absorbances.

0	0
5	31
10	60
15	80
20	100

On va à la fonction f(x)

- Insérer, une fonction apparait
- Cliquer sur prévention puis ok

Les arguments de la fonction sortent

X

Y connus (B23 :B29)

X connus (C23 :C29)

On introduit les valeurs de concentrations obtenues au niveau de X.

Remarques : Si l'on trouve des valeurs excessives =, on change les valeurs de X connus par Y connus.

Préparation des solutions Tampons pour Sodium-Potassium

- La solution mère du Na⁺ est concentrée a 1000ml/l
- Prélever dans un erlen de 100ml, 10ml de la solution tampon qui a pour nom fi
- Compléter le volume à 100ml avec de l'eau distillée ;
- Pour 20ppm (Na⁺) on prélève 10ml que l'on verse dans un erlen de 50ml et on complète le volume a 50ml avec de l'eau distillée ;
- Pour 15ppm (Na⁺) on prélève 7,5ml que l'on verse dans un erlen de 50ml et on complète le volume a 50ml avec de l'eau distillée ;
- Pour 5ppm (Na⁺) on prélève 2,5ml que l'on verse dans un erlen de 50ml et on complète le volume à 50ml avec de l'eau distillée ;
- Pour 10ppm (Na⁺) on prélève 5ml que l'on verse dans un erlen de 50ml et on complète le volume à 50ml avec de l'eau distillée ;
- Pour 0ppm (Na⁺) on ne prend que l'eau distillée dans un erlen de 50ml.

Annexe 7 : Conductivité

Mode opératoire : Apres la mise de l'appareil sous tension :

- Retirer l'électrode de son étui de protection
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée
- Plonger la cellule dans l'échantillon à analyser et passer à la lecture
- Enfin retirer l'électrode de la solution à mesurer, le rincer à l'eau distillée et le remettre dans son étui de protection. L'unité de mesure de la conductivité est le siemens. Dans les solutions aqueuses on utilise fréquemment le milli siemens/centimètre ou le micro siemens/centimètre.

Annexe 8 :

La Bactériologie :

Matériel : Gaz butane, lampes filtrantes, pompe à vide, moteur, pince, les boites de pétrie et les milieux de culture (les totaux sont rouges et les fécaux sont bleues), les étiquettes, 2 étuves.

Principe :

- Stériliser les lampes à filtre avec la flamme ;
- Déposer la flamme à droite de la lame ;
- Apres refroidissement, placé sur la lame les papiers filtres à l'aide de pinces que l'on stérilise avec la flamme ;
- Y verser 100ml d'échantillon ;
- Mettre le moteur en marche pour absorber l'eau ;
- Les microbes restent sur le papier filtre ;
- Stériliser la pince avec la flamme et prendre le papier filtre avec ;
- Poser ce papier, toujours à l'aide de pinces stérilisées, dans les boites à pétrie étiquetées contenant déjà le milieu de culture et un papier filtre plus lourd ;
- Remuer la boite ;
- Mettre la boite contenant le milieu et le papier filtre dans l'étuve pendant 24 heures.

NB :

- ❖ La bactériologie se fait dans les 24 heures qui suivent le prélèvement ;
- ❖ Les totaux se font à 35°C ;
- ❖ Les fécaux à 45°C ;
- ❖ *E. coli* à 45°C ;
- ❖ Les solutions des coliformes totaux sont rouges et celles des coliformes fécaux sont bleues.


Annexe 9 : Détermination de la couleur

- Mettre l'appareil sous tension ;
- Entrer le numéro 120 du programme mémorisé pour la couleur à la longueur d'onde de 455nm
- Remplir une cuvette de 20ml d'eau distillée, appuyer « zéro » pour faire la mise au point de l'appareil ;

- Agiter l'échantillon à analyser, prélever 10ml avec la cuvette et placer dans le puits de mesure ;

Appuyer sur la touche « Mesurer ». Le résultat s'affiche en UCV

Annexe 10: certificat d'analyse du LNE avec la norme malienne (eau non transportée sous canalisation)

MINISTERE DE L'ENERGIE ET DE L'EAU			REPUBLIQUE DU MALI Un Peuple - Un But - Une Foi								
LABORATOIRE NATIONAL DES EAUX											
	BP : E4161		CERTIFICAT D'ANALYSE D'EAU								
	Tel : 20 20 38 24 Magnambougo u wéréda rue 126 Bamako										
Email : lneaux@yahoo.fr		Quantité reçue :		Code du Point d'eau		N° Laboratoire :					
<i>Lieu de prélèvement</i>			<i>Type de point d'eau</i>			<i>Date de prélèvement</i>		<i>Date de réception</i>			
<i>Longitude</i>		<i>Latitude</i>		<i>Demandeur</i>			<i>Date d'analyse</i>				
<i>Région</i>		<i>Cercle</i>		<i>Commune</i>			<i>Préleveur</i>				
<i>Paramètres</i>		<i>Nor mes MAL I</i>	<i>Résult at</i>	<i>Paramètres</i>		<i>Normes MALI maxi</i>	<i>Résulta t</i>	<i>Paramètres</i>		<i>Nor mes MAL I</i>	<i>Résult at</i>

	<i>maxi</i>						<i>maxi</i>	
			pH	$5,5 \leq \text{pH} \leq 9$		Mat Sol Totales (105° C) mg/l	1200	
Couleur UCV	25		Cond (25°) $\mu\text{s} / \text{cm}$	1500				
Turbidité UNT	10		Dureté mg/l CaCO_3	500				
			Alcalinité mg/l CaCO_3	<150				
Calcium mg/l Ca^{2+}	400					Nitrates mg/l NO_3^-	50	
Magnésium mg/l Mg^{2+}	100		Bicarbonates mg/l HCO_3^-	PVG		Fluorures mg/l F^-	0,5	
sodium mg/l Na^+	400		Sulfates mg/l SO_4^{2-}	500				
Potassium mg/l K^+	100		Chlorures mg/l Cl^-	600				
Fer mg/l Fe^{+2}	0,3		Manganèse mg/l Mn	0,5				
Fer Total			Cuivre mg/l Cu^{2+}	1	<0,009	Zinc mg/l Zn	3	
Plomb mg/l Pb	0,01	<0,016	Azotes ammoniacal mg/l NH_4	0,5	0,00	Ortho phosphates mg/l	0.005	0,001
DBO5 mg/l	<50		Nitrites mg/l NO_2	0,02	0,001			
DCO mg/l	<150		Cyanures mg/l CN^-	0,07	0,005			
Oxygène dissous mg/l O_2	0,7		Arsenic mg/l As	0,01	0,003			
% Saturation O_2 dissous	70%		Nickel mg/l Ni	0,02	0,024			

			Cadmium mg/l Cd	0,003	<0,0023			
			Chrome mg/l Cr ⁶⁺	0,05	0,01	Indice de Ryznar		
						MESURES SUR LE TERRAIN		
				Température		30,9		
				PH		7,28		
				Conductivité		470		
ANALYSES								
BACTERIOLOGIQUES								
Coliformes Totaux col/100 ml			10					
Coliformes Fécaux /100 ml								
E-Coli								
Streptocoques								
Observations						Interprété par : Le		Approuvé
						Chef Service		par : le
						Technique		Directeur
								Général
<i>Œuvrons pour une Meilleure Qualité de nos Ressources en Eau</i>								

Annexe 11 : certificat d'analyse du LNE avec la norme malienne (eau transportée sous canalisation)

MINISTRE DE L'ENERGIE ET DE L'EAU		REPUBLIQUE DU MALI Un Peuple - Un But - Une Foi	
LABORATOIRE NATIONAL DES EAUX			
	BP : E4161	CERTIFICAT D'ANALYSE D'EAU	
	Tel : 20 20 38		
	24		

		Magnambougo u wéréda rue 126 Bamako							
Email : lneaux@yahoo.fr		Quantité reçue :		Code du Point d'eau		N° Laboratoire :			
<i>Lieu de prélèvement</i>			<i>Type de point d'eau</i>			<i>Date de prélèvement</i>		<i>Date de réception</i>	
<i>Longitude</i>		<i>Latitude</i>		<i>Demandeur</i>		<i>Date d'analyse</i>			
<i>Région</i>		<i>Cercle</i>		<i>Commune</i>		<i>Préleveur</i>			
<i>Paramètres</i>		<i>Nor mes MAL I maxi</i>	<i>Résult at</i>	<i>Paramètres</i>	<i>Normes MALI maxi</i>	<i>Résulta t</i>	<i>Paramètres</i>	<i>Nor mes MAL I maxi</i>	<i>Résult at</i>
				pH	6,5≤pH ≤8		Mat Sol Totales (105° C) mg/l	1200	
Couleur UCV		25		Cond (25°) µs /cm	1500				
Turbidité UNT		10		Dureté mg/l Caco ₃	500				
				Alcalinité mg/l Caco ₃	<150				
Calcium mg/l Ca ²⁺		400					Nitrates mg/l NO ₃ ⁻	50	

Magnésium mg/l Mg ²⁺	100		Bicarbonates mg/l HCO ₃ ⁻	PVG		Fluorures mg/l F ⁻	0,5	
sodium mg/l Na ⁺	400		Sulfates mg/l SO ₄ ²⁻	500				
Potassium mg/l K ⁺	100		Chlorures mg/l Cl ⁻	600				
Fer mg/l Fe ⁺²	0,3		Manganèse mg/l Mn	0,5				
Fer Total			Cuivre mg/l Cu ²⁺	1	<0,009	Zinc mg/l Zn	3	
Plomb mg/l Pb	0,01	<0,016	Azotes ammoniacal mg/l NH ₄	0,5	0,00	Ortho phosphates mg/l	0.005	0,001
DBO5 mg/l	<50		Nitrites mg/l NO ₂	0,02	0,001			
DCO mg/l	<150		Cyanures mg/l CN ⁻	0,07	0,005			
Oxygène dissous mg/l O ₂	0,7		Arsenic mg/l As	0,01	0,003			
% Saturation O ₂ dissous	70%		Nickel mg/l Ni	0,02	0,024			
			Cadmium mg/l Cd	0,003	<0,0023			
			Chrome mg/l Cr ⁶⁺	0,05	0,01	Indice de Ryznar		
MESURES SUR LE TERRAIN								
				Température		30,9		
				PH		7,28		
				Conductivité		470		
ANALYSES								
BACTERIOLOGIQUES								
Coliformes Totaux col/100 ml								

Coliformes Fécaux /100 ml		
E-Coli		
Streptocoques		
Observations		Interprété par : Le Chef Service Technique
		Approuvé par : le Directeur Général
<i>Œuvrons pour une Meilleure Qualité de nos Ressources en Eau</i>		



FICHE SIGNALETIQUE

NOM : KANOUTE

PRENOM : Yamadou

TELEPHONE: +223 76 59 02 90

EMAIL:

yamadou.kanoute25@gmail.com

TITRE : Evaluation de la qualité de l'eau de boisson à Mopti et Sévaré.

ANNEE : 2018-2019

VILLE DE SOUTENANCE :

Bamako

LIEU DE DEPOT : Bibliothèque de la faculté de pharmacie (FAPH) et Médecine (FMOS).

SECTEUR D'INTERET : SANTE PUBLIQUE

Résumé :

Mopti, cinquième région du Mali est un important pool économique et financier situé à la confluence du fleuve Niger et le Bani. La ville de Mopti et Sévaré comptent onze quartiers qui sont : Komoguel I, Komoguel II, Gangal, Mossinkoré, Bougoufiè, Toguel, Taikiri, Médina-Coura, Sévaré secteur I, Sévaré secteur II et Sévaré secteur III. La ville de Mopti a une population composite, comprenant environ tous les échantillons des grands groupes ethniques du Mali et d'une partie de l'Afrique Occidentale Peulhs, Bozos, Dogons, Bambaras, Sarakolés, Songhoïs, Boas, Mossis, Haoussas,...). Ces populations vivent des systèmes divers de productions (agriculture, élevage, pêche, artisanat) et de commerce. Le tourisme joue un rôle majeur au sein de l'économie à l'échelle de la région avant la crise de 2012.

Le climat est de type sahélien. La région compte 2 720 999 habitants en 2018. La population a augmenté de 25 % depuis 2009.

La qualité de l'eau est indéniablement liée à son environnement. En milieu urbain, la qualité de l'eau peut être dégradée par le déversement d'eaux usées sans traitement dans les sources. De plus, cette dégradation peut être accélérée par les changements globaux comme les changements climatiques et l'accroissement de la population. Enfin, l'intensification des précipitations, prévue par plusieurs études, peut mener à l'augmentation des événements de contamination fécale.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de boisson à Mopti et Sévaré. Elle a porté sur les eaux du réseau SOMAGEP, les puits, les forages et les eaux conditionnées en sachet. Chaque point de prélèvement est géolocalisé à l'aide d'un GPS. Au total 35 échantillons ont été prélevés à chaque passage et les paramètres étudiés sont les suivants :

Physicochimiques (pH, température, conductivité, chlore libre, calcium, magnésium, potassium, nitrites, nitrates, chlorures, sulfates, orthophosphates, alcalinité, dureté,) Bactériologiques (coliformes fécaux, coliformes totaux, *escherichia coli*) Métaux lourds (fer, arsenic, plomb, chrome et le manganèse) à l'aide de la spectrophotométrie UV visible, de la potentiométrie, de la titrimétrie, de la photométrie à flamme, de la spectrophotométrie à absorption atomique, de la chromatographie ionique et de la conductimétrie pour les analyses physicochimiques et toxicologiques et de la colorimétrie après filtration sur membrane à partir des milieux de culture gélosés spécifiques pour les analyses bactériologiques.

Cette méthodologie nous a permis d'aboutir aux résultats suivants :

- Exactement 2/3 soit 66,66% des échantillons sont contaminés par les coliformes totaux et 50% ont un taux supérieur à la normale et toutes les eaux souterraines contiennent du plomb excepté le P2 soit 83,33% des

échantillons et 50% avaient un taux supérieur à la norme pour ce qui concerne la ville de Mopti.

- A sévaré, les coliformes totaux sont présents en nombre significatif dans toutes les eaux de puits traditionnels, quant aux forages, seulement 30% des échantillons étaient contaminés par des coliformes totaux. Le plomb a été trouvé dans tous les échantillons à des concentrations dépassant largement la norme.
- Dans le réseau SOMAGEP, le taux de chlore tout au long du réseau respectait la norme aussi bien à Mopti qu'à Sévaré.
- Les analyses ont révélé une teneur en plomb élevée dans les échantillons d'eau en sachet largement supérieure à la norme.

Au terme de notre travail, nous pouvons conclure que la contamination des puits est presque générale du point de vue bactériologique. Cette contamination se manifeste par la seule présence de CT. Le plomb est également présent dans la quasi-totalité des échantillons aussi bien dans les eaux de surfaces que souterraines. Cette pollution se manifeste par des teneurs dépassant les directives de la norme malienne et elle serait probablement due à la nature géologique du terrain. Il est donc souhaitable d'entreprendre une 2^{ème}, voir 3^{ème} campagne de contrôle de la qualité de l'eau de boisson à Mopti et Sévaré pour confirmer ou infirmer ces premiers résultats obtenus. Le cas échéant, il faut envisager des mesures correctives.

MOTS CLES : Eau de boisson, Qualité, Mopti et Sévaré.

SERMENT DE GALIEN

Je jure, en présence des maîtres de la faculté, des conseillers de l'ordre des pharmaciens et de mes condisciples :

D'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement ;

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement ;

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine.

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

Je le jure !!!