

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR REPUBLIQUE DU MALI**

**Jn Peuple – Un But – Une Foi**

\*\*\*\*\*



\*\*\*\*\*

**UNIVERSITE DES SCIENCES, TECHNIQUES ET TECHNOLOGIES BAMAKO**

**FACULTE DE PHARMACIE**

**ANNEE UNIVERSITAIRE : 2015-2016**

**N°...../**

**THESE DE PHARMACIE**

**ETUDE DE LA QUALITE DES EAUX DE CONSOMMATION  
DANS LE DISTRICT DE  
BAMAKO**

**THESE**

**Présentée et soutenue publiquement le 06/02/ 2016**

Devant la Faculté de Pharmacie.

Par

**Mr. MOUSSADI ALASSANE BENGALY**

Pour obtenir le Grade de Docteur en Pharmacie(DIPLÔME D'ETAT)

**Jury**

**Président : Pr Boubacar S. CISSE**

**Membre : Monsieur Almoustapha FOFANA**

**Co-directeur de thèse : Dr Atimé DJIMDE**

**Directeur de thèse : Pr Benoît Yaranga KOUMARE**

# **DEDICACES ET REMERCIEMENTS**

## DEDICACES

Je dédie cette thèse

Au tout puissant ALLAH, le clément et qui manifeste sa clémence ;

Au prophète MOHAMED que la bénédiction et salut de Dieu soient sur lui ;

A la mémoire de Mr M'bouillé SISSOCKO, Directeur Technique du Laboratoire National des Eaux (LNE).

A mon père

Homme de foi et de sympathie, père, vous avez fait d'énormes sacrifices pour vos enfants et vous n'avez jamais cessé de nous prodiguer des conseils pour le droit chemin. J'ai surtout retenu celui-ci de vos conseils : « Un élève n'a de compagnon que son cahier. ». Que votre simplicité, votre disponibilité, votre rigueur, votre modestie et votre respect pour les autres me servent d'exemples.

A ma mère

Les mots me manquent pour vous qualifier, tout ce que j'aurais à dire ne saurait, exprimer à fond tout le sacrifice et l'endurance que vous avez du subir pour nous élever et surtout, m'élever personnellement.

Je vous demande pardon et vos bénédictions nuits et jours. Je ne saurais jamais vous remercier assez. Seul Dieu peut vous gratifier de tout ce que vous avez fait pour moi, surtout pendant ma toute petite enfance.

Que Dieu le tout puissant vous accorde longue vie, bonne santé et bonheur à nos cotes et qu'il puisse me donner les moyens nécessaires pour affronter les épreuves de la vie et réaliser tes vœux.

A mon grand frère Brama BENGALY

Sans toi je ne pourrais poursuivre mes études au Mali.

A mon grand frère Diakalia BENGALY

Merci pour nous avoir hébergé et veillé sur nous, nous tes frères et sœurs comme un père. Les mots me manquent pour faire ton éloge. Que Dieu puisse te récompenser ici bas et à l'au de là.

A mon oncle Daba SANOGO

Votre aide matérielle et morale ne m'a jamais manqué.

A mes sœurs

Vous n'avez en aucun moment failli à votre devoir. Mon affection pour vous est sans limite.

Ce modeste travail est le symbole d'un profond amour fraternel.

A mes frères, cousins et cousines

Pour remercier les uns pour tout ce qu'ils ont fait pour moi et encourager les autres à travailler. Votre soutien a sans doute été important pour le bon déroulement de mes études.

A tous les collègues et promotionnaires

Soyez toujours guidés par des actions lucides ; courage dans la vie et bonne chance.

## 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 l'état ivoirien

Tu m'a vu naître et m'a donné les bases de mon éducation. Je ne t'oublierai jamais.

Au directeur du Laboratoire National de l'Eau, Mr Almoustapha FOFANA :

Vous avez été intéressé dès le premier jour de notre rencontre par la réalisation de ce travail. Nous gardons un meilleur souvenir de l'accueil qui nous a été réservé dans votre service. Veuillez accepter l'expression de mon profond respect.

A tout le personnel du Laboratoire National de l'Eau

Je n'oublierai pas les instants passés avec vous et vous remercie pour ma formation.

A tout le personnel de la pharmacie Souleymane Koné

Merci pour vos conseils et votre formation.

A tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail :

Trouvez ici ma gratitude et ma constante disponibilité.

A tous mes ami(e)s :

Je me garderai de vous citer, au risque d'omettre involontairement certains.

**HOMMAGES  
AUX  
MEMBRES  
DU JURY**

A notre Maître et Président du jury :

**Professeur Boubacar S. CISSE**

- Professeur honoraire de toxicologie à la faculté de pharmacie (FAPH),
- Ancien Recteur de l'Université du Mali,
- Président du comité national du CODEX du Mali,
- Correspondant membre étranger de l'académie de pharmacie de France,
- Membre associé de l'académie de science et technique du Sénégal,
- Ancien Directeur Général de la fondation Mérieux,
- Chevalier des Palmes Académiques du CAMES,
- Chevalier de l'ordre national du Mali.

**Honorable maître :**

Nous avons eu la chance de figurer parmi vos élèves et de bénéficier de vos remarquables qualités d'enseignant.

Votre grande sagesse, vos qualités humaines, sociales et scientifiques font de vous un éminent homme de science respecté de tous.

Veillez trouver ici l'expression de notre sincère gratitude et de notre profond respect.

A notre Maître et membre du jury :

Monsieur FOFANA Almoustapha

- Directeur Général du Laboratoire National des Eaux (LNE),
- Spécialiste de la chimie des eaux

**Cher maître :**

C'est pour nous un grand privilège de vous avoir comme membre du jury.

Votre disponibilité permanente, vos remarquables connaissances scientifiques et votre simplicité nous ont toujours impressionnés.

Il nous est un réel plaisir de vous présenter nos sincères remerciements.



A notre Maitre et Co-directeur de thèse :

**Docteur Atimé DJIMDE**

- Docteur en Pharmacie,
- Diplômé en stérilisation des médicaments et dispositifs médicaux de l'université René Descartes Paris V,
- Diplômé d'Etude Supérieure, Spécialisée en Toxicologie et Sécurité Sanitaire des Produits destinés à l'Homme, Université René Descartes, Paris V,
- Master 2 en contrôle de qualité des produits de santé et des aliments Université René Descartes, Paris V
- Doctorat (PhD) en toxicologie et Bromatologie, Université Denis Diderot, Paris VII,
- Enseignant vacataire chargé des cours de Bromatologie à la Faculté de Pharmacie

**Cher maitre,**

Nous avons eu le plaisir de vous connaître et d'apprécier l'homme rigoureux et travailleur que vous êtes. Nous sommes très touchés par votre dynamisme, votre courage et votre modestie. Vos critiques, vos suggestions et vos encouragements ont été d'un apport capital pour l'amélioration de la qualité de ce travail. Permettez-nous, cher maître de vous exprimer notre respect et toute notre reconnaissance.

A notre Maitre et Directeur de thèse :

**Pr Benoit Yaranga KOUMARE**

- Maitre de conférences en chimie analytique à la FMPOS.
- Spécialiste en Pharmacologie moléculaire.
- Expert en analyse et en contrôle de qualité des médicaments.
- Directeur général du Laboratoire National de la Santé (LNS).

**Cher maitre**

Votre sens élevé du travail bien fait et votre rigueur scientifique font de vous un Directeur de service compétant et responsable.

Vous avez été intéressé dès le premier jour de notre rencontre par la réalisation de ce travail.

Nous vous prions d'accepter ici l'expression de notre profond respect et de notre profonde gratitude.

## SYMBOLES ET ABREVIATIONS

A.E.P : Alimentation en Eau Potable

ALC : Alcalinité

°C : Degré Celsius

DNH : Direction Nationale de l'Hydraulique

DT : Dureté Totale

EDTA : Ethylène Diamine Tétra acétique

E U P : Eau ultra Pure

F : Forage.

IR : Indice de Ryznar

L D : Limite de Détection

LNE : Laboratoire National des Eaux

mg/L : Milligramme par litre

m<sup>3</sup>/s : Mètre cube par seconde

Na<sup>+</sup> : Ion sodium

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> : Nitrates

NO<sub>2</sub><sup>-</sup> : Nitrites

Nm : Nanomètre

NTU : Néphéломétric Units Turbidity

O.M.S : Organisation Mondiale de la Santé

P : Puits

pH : Potentiel à Hydrogène

ppm : Partie par million

PVG : Pas de Valeur Guide

SOMAGEP : Société Malienne de Gestion de l'Eau Potable

TA : Titre Alcalimétrique simple

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako

TDS : Totale des Solides Dissous

UCV : Unité de Couleur Vraie

$\mu\text{g/L}$  : Microgramme par Litre

$\mu\text{S/cm}$  : Micro-siemens par centimètre

## TABLE DES MATIERES

Introduction.....	1
Objectif.....	5
Généralités.....	7
I- l'eau (H <sub>2</sub> O).....	8
I-1- aperçue sur l'eau.....	8
I-1-1- Teneur en eau de l'organisme.....	8
I-1-2- Besoins en eau de l'organisme.....	8
I-1-3- Les apports d'eau.....	8
I-2- Définition de l'eau (H <sub>2</sub> O) .....	9
I-3- Répartition de l'eau sur terre.....	9
I-4- Cycle de l'eau .....	10
II- Propriétés physique de l'eau.....	11
II-1- Indice de réfraction de l'eau .....	11
II-2 - Tension superficielle .....	12
II-3- Conductivité .....	13
III- Propriétés chimique de l'eau.....	14
III-1- Nature dipolaire de l'eau .....	13
III-2- Equilibre acido-basique de l'eau.....	14
III-3- Une propriété chimique remarquable : l'eau comme solvant.....	16
III-4- Décomposition de l'eau (thermolyse et électrolyse).....	17
IV- Caractéristiques de l'eau potable.....	18

V- Qualités de l'eau de consommation.....	19
V-1- Paramètres organoleptiques .....	19
V-1-1- Couleur .....	20
V-1-2-Turbidité .....	20
V-1-3- Saveur .....	20
V-1-4- Goûts et Odeurs .....	21
V-2- Paramètres physico-chimiques.....	21
V-2-1- La température .....	21
V-2-2- Le pH.....	21
V-2-3- La conductivité électrique (EC) .....	22
V-2-4- Les solides dissous ou TDS (totale des solides dissous) .....	22
V-2-5- La dureté de l'eau (ou titre hydrométrique) .....	23
V-2-6- Les ions majeurs .....	23
V-2-6-1- Les cations .....	23
V-2-6-1-1- Calcium et magnésium .....	23
V-2-6-1-2- Sodium et potassium.....	23
V-2-6-1-3- Le plomb .....	24
V-2-6-2- Les anions.....	24
V-2-6-2-1- Les chlorures .....	24
V-2-6-2-2- Les sulfates .....	24
V-2-6-2-3- Les nitrates.....	25
V-2-6-2-3-1- Définition.....	25
V-2-6-2-3-2- Nitrates et risques sanitaires.....	25
V-2-6-2-3-3- Métabolisme des nitrates chez l'homme.....	26

V-2-6-2-3-4- Origine des nitrates dans les eaux .....	27
V-2-7- Indice de Ryznar .....	27
V-2-8- Autres éléments dissous.....	28
V-2-8-1- Le fer .....	28
V-2-8-2- Le fluor.....	28
V-3- Qualité microbiologique.....	28
V-3-1- Effet sur la santé.....	29
V-3-2- Les contaminants bactériologiques .....	29
V-3-2-1- Les coliformes.....	29
V-3-2-2- Les streptocoques fécaux.....	30
VI- Normes de qualité de l'eau potable.....	31
VI-1-Normes OMS .....	31
VI-1-1- Qualité microbiologique de l'eau de boisson.....	31
VI-1-1-1-Substances chimiques présentant une importance sanitaire.....	32
VI-1-1-2-Paramètres et substances indésirables.....	33
VI-1-1-3- Autres paramètre (calcium et magnésium).....	33
VI-1-1-3- Substances inorganiques.....	34
VI-2- Projet de Norme malienne : MALINORM .....	35
VI-2-1- Eau transportée sous canalisation.....	35
VI-2-1-1- Qualité physico-chimiques.....	35
VI-2-1-1-1- Paramètres organoleptiques.....	35
VI-2-1-1-2- Paramètres de structures (MALINORM).....	36
VI-2-1-1-3- Substances indésirables.....	36
VI-2-1-2- Qualité microbiologique.....	37

VI-2-2- Eau non transportée sous canalisation.....	38
VI-2-2-1- Qualité physico-chimiques.....	38
VI-2-2-1-1- Paramètres organoleptiques.....	38
VI-2-2-1-2- Paramètres de structures.....	38
VI-2-2-1-3- Substances indésirables.....	39
VI-2-2-2- Qualité microbiologique.....	39
Vii- Les polluants et maladies d'origines hydriques.....	40
VII-1-Les polluants biologiques.....	40
VII-1-1- Les organismes libres.....	40
VII-1-2- les agents pathogènes.....	40
VII-1-2-1- Les helminthes.....	40
VII-1-2-2- Les protozoaires.....	41
VII-1-2-3- Les bactéries pathogènes.....	41
VII-1-2-4- Les virus.....	42
VII-2-Les polluants chimiques.....	43
VII-2-1- Les sels minéraux.....	43
VII-2-2- Les composés toxiques.....	44
VII-2-3- Les composés minéraux toxiques.....	44
VII-2-4- Les polluants organiques toxiques.....	44
VII-2-4-1- Les pesticides.....	44
VII-2-4-2- Les détergents.....	45
VII-2-4-3- Les polluants radioactifs.....	45
VIII- Aperçu de la zone d'étude.....	46



VIII-1- Géologie et hydrogéologie.....	46
VIII-2- Aperçu géographique .....	48
VIII-3- Découpage administratif.....	48
VIII-4- Les différents types d'eau de consommation a Bamako.....	49
VIII-4-1- Les eaux souterraines .....	50
VIII-4-2- Les eaux du fleuve.....	50
VIII-5- La pollution des sources d'eaux de consommation a Bamako.....	50
5-1- La pollution des eaux souterraines .....	50
5.2- La pollution de l'eau du fleuve.....	52
Méthodologie.....	53
I- cadre d'étude.....	54
I-1- Lieu de prélèvement .....	54
I-2-Période d'étude .....	54
I-3-Prélèvement des échantillons .....	54
I-3-1- Critères d'inclusion .....	55
I-3-2- Critères d'exclusion.....	55
I-4- Directives utilisées.....	55
II- Présentation du lieu d'étude .....	55
II-1- Le Laboratoire National des Eaux (LNE) .....	55
II-2- Organigramme du Laboratoire National des Eaux (LNE) .....	57
III- Matériels et méthodes.....	58
III-1- Paramètres physico-chimique .....	58
III-1-1- La conductivité et la température.....	58

III-1-1-1- Matériels utilisés.....	58
III-1-1-2- Principe .....	58
III-1-2- La couleur.....	58
III-1-2-1- Matériels utilisés.....	58
III-1-2-2- Principe .....	59
III-1-3- La turbidité.....	59
III-1-3-1- Matériels utilisés.....	59
III-1-3-2-Principe .....	59
III-1-4- Le Ph.....	60
III-1-4-1- Matériels utilisés.....	60
III-1-4-2-Principe .....	60
III-1-5- Analyse des ions.....	60
III-1-5-1- Matériels utilisés.....	60
III-1-5-2- Principe .....	61
III-1-6- L'alcalinité Alc ou TAC, l'acidité et dureté.....	61
III-1-6-1- Matériels utilisés et réactifs.....	61
III-1-6-2- Détermination de l'alcalinité Alc ou TAC .....	62
III-1-6-3- Détermination de l'acidité.....	62
III-1-6-4- Détermination de la dureté Totale ou TH.....	62
III-1-7- Le fer.....	62
III-1-7-1- Matériels utilisés et réactifs.....	62
III-1-7-2- Principe .....	62
III-1-8- Détermination des ions alcalins.....	63
III-1-8-1- Matériels utilisés et réactifs.....	63
III-1-8-2- Mode opératoire.....	63
III-1-9- Les solides Dissous ou TDS.....	64
III-2- Paramètres bactériologiques.....	64
III-2-1- Matériels utilisés.....	64

III-2-2- Principe .....	65
Résultats.....	69
I-Echantillons.....	70
II-Paramètres .....	70
II-1-les paramètres organoleptiques.....	70
II-1-1- Paramètres organoleptiques des eaux de forages .....	71
II-1-1-1- Le taux de turbidité des eaux de forages de Bamako.....	71
II-1-1-2- Taux de couleur des eaux de forages de Bamako.....	72
II-1-2- Paramètres organoleptiques des eaux de puits.....	72
II-1-2-1- La turbidité des eaux de puits de Bamako .....	72
II-1-2-2- Le taux de couleur des eaux de puits de Bamako .....	73
II-1-3- Paramètres organoleptiques des eaux de robinets .....	74
II-1-3-1- Le taux de turbidité des eaux de robinet de Bamako .....	74
II-1-3-2- Le taux de couleurs des eaux de robinet de Bamako .....	75
II-2- Paramètres bactériologiques.....	75
II-2-1- Paramètres relatifs aux forages de la commune I.....	76
II-2-2- Paramètres relatifs aux puits de la commune I.....	76
II-2-3- Paramètres relatifs aux forages de la commune II.....	77
II-2-4- Paramètres relatifs aux forages de la commune V.....	77
II-2-5- Paramètres relatifs aux puits de la commune V.....	78
II-2-6- Paramètres relatifs aux forages de la commune VI.....	78
II-2-7- Paramètres relatifs aux puits de la commune VI.....	79
II-2-8- Paramètres relatifs aux robinets de la commune V.....	79

II-2-9- Paramètres relatifs aux robinets de la commune VI.....	80
II-3- Paramètres physico-chimiques.....	80
II-3-1- Paramètres relatifs aux forages de Bamako .....	80
II-3-1-1- Le taux de calcium des eaux de forages de Bamako.....	80
II-3-1-2- Le taux de magnésium des eaux de forages de Bamako.....	81
II-3-1-3- Le taux de sodium dans les eaux de forages de Bamako.....	82
II-3-1-4- Le taux de potassium des eaux de forages de Bamako.....	82
II-3-1-5- Le taux de fer dans les eaux de forages de Bamako.....	83
II-3-1-6- Le taux de chlorures dans les eaux de forages de Bamako.....	84
II-3-1-7- Le taux de sulfates dans les eaux de forages de Bamako.....	85
II-3-1-8- Le taux de bicarbonates dans les eaux de forages de Bamako.....	85
II-3-1-9- Le taux de nitrates dans les eaux de forages de Bamako.....	86
II-3-1-10- L'alcalinité des eaux de forages de Bamako.....	87
II-3-1-11- Dureté totale des eaux de forages de Bamako.....	87
II-3-1-12- pH des eaux de forages de Bamako.....	88
II-3-1-13- Le taux de conductivité des eaux de forage de Bamako .....	89
II-3-1-14- Le taux de fluorures des eaux de forage de Bamako.....	90
II-3-1-15- Le taux de solides dissous des eaux de forage de Bamako.....	91
II-3-1-16- Le taux d'indice de ryznar des eaux de forage de Bamako.....	91
II-3-2- Paramètres relatifs aux puits de Bamako.....	93
II-3-2-1- Le taux de calcium dans les eaux de puits de Bamako.....	93
II-3-2-2- Le taux de magnésium dans les eaux de puits de Bamako.....	94
II-3-2-3- Le taux de sodium dans les eaux de puits de Bamako.....	94

II-3-2-4- Le taux de potassium dans les eaux de puits de Bamako.....	95
II-3-2-5- Le taux de fer dans les eaux de puits de Bamako.....	96
II-3-2-6- Le taux de chlorures dans les eaux de puits de Bamako.....	96
II-3-2-7- Le taux de sulfates dans les eaux de puits de Bamako.....	97
II-3-2-8- Le taux de bicarbonates dans les eaux de puits de Bamako.....	98
II-3-2-9- Le taux de nitrates dans les eaux de puits de Bamako .....	98
II-3-2-10- L'alcalinité des eaux de puits de Bamako.....	99
II-3-2-11- La dureté totale des eaux de puits de Bamako.....	100
II-3-2-12- pH des eaux de puits de Bamako.....	100
II-3-2-13- La conductivité des eaux de puits de Bamako.....	101
II-3-2-14- Le taux de fluorures des eaux de puits de Bamako.....	102
II-3-2-15- Le taux de solides dissous des eaux de puits de Bamako.....	103
II-3-2-16- Le taux d'indice de Ryznar des eaux de puits de Bamako.....	103
II-3-3- Paramètres relatifs aux robinets de Bamako.....	104
II-3-3-1- Le taux de calcium des eaux de robinet de Bamako.....	104
II-3-3-2- Le taux de magnésium des eaux de robinet de Bamako.....	105
II-3-3-3- Le taux de sodium des eaux de robinet de Bamako.....	105
II-3-3-4- Le taux de potassium des eaux de robinet de Bamako.....	106
II-3-3-5- Le taux de fer des eaux de robinet de Bamako.....	107
II-3-3-6- Le taux de chlorures des eaux de robinet de Bamako.....	107
II-3-3-7- Le taux de sulfates des eaux de robinet de Bamako.....	108
II-3-3-8- Le taux de bicarbonates des eaux de robinet de Bamako.....	109
II-3-3-9- Le taux de nitrates des eaux de robinet de Bamako.....	109

II-3-3-10- L'alcalinité des eaux de robinet de Bamako.....	110
II-3-3-11- La dureté totale des eaux de robinet de Bamako.....	110
II-3-3-12- Le pH des eaux de robinet de Bamako.....	111
II-3-3-13- Le taux de conductivité des eaux de robinet de Bamako.....	111
II-3-3-14- Le taux de fluorures des eaux de robinet de Bamako.....	112
II-3-3-15- Le taux de solides dissous des eaux de robinet de Bamako.....	113
II-3-3-16- L'indice de Ryznar des eaux de robinet de Bamako.....	113
III- Zones préférentielles d'exploitation d'eaux de consommation.....	114
III-1- paramètres bactériologiques.....	114
III-2- Paramètres physico-chimiques.....	115
Commentaires et discussions .....	116
I- Paramètres organoleptiques.....	117
I-1- La turbidité des eaux de Bamako.....	117
I-2- La couleur des eaux de Bamako.....	118
II-Paramètres bactériologiques.....	119
II-1- Bactériologie des eaux de foragede Bamako.....	120
II-2- Bactériologie des eaux de puitsde Bamako.....	120
II-3- Bactériologie des eaux de robinetsde Bamako.....	121
III-Paramètres physico-chimiques.....	121
III-1- Le taux de calcium des eaux de Bamako.....	121
III-2- Le taux de magnésium des eaux de Bamako.....	122
III-3- Le taux de sodium des eaux de Bamako.....	122
III-4- Le taux de potassium des eaux de Bamako .....	123

III-5- Le taux de fer des eaux de Bamako.....	124
III-6- Le taux de chlorures des eaux de Bamako.....	125
III-7- Le taux de sulfates des eaux de Bamako.....	125
III-8- Le taux de bicarbonates des eaux de robinet de Bamako.....	126
III-9- Le taux de nitrates des eaux de robinet de Bamako.....	126
III-10- L'alcalinité des eaux de Bamako.....	127
III-11- La dureté totale des eaux de Bamako.....	127
III-12- Le pH des eaux de Bamako.....	128
III-13- La conductivité des eaux de Bamako.....	128
III-14- Le taux de fluorures des eaux de Bamako.....	129
III-15- Le taux de solides dissous des eaux de Bamako.....	130
III-16- Le taux d'indice de ryznar des eaux de Bamako.....	130
Conclusion et recommandation.....	131
I- Conclusion .....	132
II-Recommandations .....	132
Références bibliographiques.....	134
Annexe.....	136
Fiche signalétique.....	137
Plateau technique du Laboratoire national des Eaux (LNE).....	139
Liste des tableaux.....	142
Liste des images et photos.....	144

# INTRODUCTION



Dans le corps humain l'eau représente en moyenne 65% de la masse corporelle. En ce qui concerne nos organes, elle représente 83% du sang, 83% au niveau du rein, 76% au niveau des muscles, 75% au niveau du cerveau et 22% au niveau des os. Elle est indispensable à la survie de tout être vivant. Se situant au centre de toute activité du quotidien humain, elle est d'une importance socio-sanitaire, économique et politique.

L'approvisionnement en eau et l'assainissement sont deux nécessités fondamentales pour la vie de l'homme et elles contribuent à sa dignité et à sa santé.

Dans le monde, les personnes ayant accès à l'eau potable sont passées de 4.1 milliards en 1990 à 4.9 milliards en 2000. Dans le même temps, le nombre de personnes ayant accès à des moyens d'évacuation des excréta est passé de 2.9 milliards à 3.6 milliards. Nous devons signaler également que 80% de la population mondiale habitent dans les pays en voies de développement avec une croissance qui est estimée 95% en 2100. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) en ce début du 21ème siècle, dénombre 3 millions par an d'enfants de moins de 5ans qui perdent leur vie à cause du manque d'eau potable (1enfant meurt toutes les 1secondes).

Quant à l'eau douce, c'est un bien rare. 73% de sa quantité sont utilisées en agriculture, 21% dans l'industrie et seulement 6% sont destinées à l'eau potable. Par ailleurs, 40% de l'alimentation mondiale sont produites par les surfaces irriguées. **[FORUM MONDIALE DE L'EAU, 2012]**

Le risque des maladies hydriques est un problème de santé publique mondiale. Quant au chlore, il demeure le désinfectant le plus sûr et le plus disponible de par le monde malgré ses sous-produits qui produisent des risques à long terme souvent ignorés par rapport aux bénéfices.

Nous devons, tout de même signaler que des incertitudes sur ces produits demeurent sur le plan toxicologique et en enquêtes épidémiologiques.

Plus d'un milliard d'habitants de la planète boiraient une eau nuisible à la santé car, près de deux milliards ne disposeraient pas de toilettes. La mortalité liée aux épidémies et aux contagions dues à la pollution des eaux s'élève, selon l'OMS à trente millions (30.000.000) de personnes par an et dont quatre millions (4.000.000) d'enfants soit plus de 13%. Les couches les plus vulnérables sont : les femmes, les enfants de moins de cinq ans et les personnes âgées. **[FORUM MONDIALE DE L'EAU, 2012].**

Les contaminations hydriques de nos aliments par les bactéries, les virus, les parasites et l'utilisation de l'eau pour les toilettes et cuisines sont des risques très importants. Les produits chimiques de traitement des eaux sont généralement éliminés par la coagulation, la floculation et la filtration biologiques. Mais quant aux bactéries, le traitement classique par chloration, ozonation ou irradiation par l'ultra-violet apportent une solution importante sans oublier que les toxines de ces bactéries peuvent également devenir pathogènes.

Au Mali, le nombre de cas de maladies hydriques survenues à Bamako selon les statistiques les plus récentes (2008 et 2006) sont :

- ✓ Diarrhées sans choléra : 32411 cas en 2008 dont 599 cas chez les enfants de moins cinq (5) ans ;

Schistosomiasés urinaires : 3848 cas en 2006. **[AEP numéro : P-ML-E00-008]**

La démographie en Afrique augmente de façon fulgurante. Celle de Bamako en particulier a doublée dans la dernière décennie **[RGPH, 1998 et 2009]**. Cette explosion démographique n'est pas sans conséquence sur la qualité des eaux. En effet, elle contribue à augmenter la pollution des eaux et particulièrement des eaux souterraines via les réseaux d'égouts, les fosses septiques, les eaux usées des usines et les déchets solides.

En tenant compte de ces cas précédemment signalés, et avec une démographie galopante, l'utilisation de l'eau de Bamako doit être soumise à de sérieux contrôles pour le bien-être de la population.

Par ailleurs les travaux d'études de thèses menées sur la qualité des eaux à Bamako durant cette dernière décennie par **H. SAMAKE (2000, 2001)**,

**K.COULIBALY (2004, 2005) et Y. YOUKANABA(2011)** ont montré que la qualité des eaux de surfaces dans la ville de Bamako était acceptable mais ne répondait pas toutes fois au projet de normes maliennes.

Par contre toutes les eaux souterraines superficielles (puits traditionnels) étaient polluées et certaines eaux profondes (forages) ne répondaient pas au projet de normes maliennes.

A la suite de la création du laboratoire national des eaux du Mali en 2008, des résultats et suggestions des études antérieures ; notre démarche ne permettrait-elle pas d'apporter des propositions de mesures correctives afin de rehausser la qualité des eaux consommées à Bamako ?

# OBJECTIFS

## **OBJECTIFS**

### **OBJECTIF GENERAL :**

Evaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation alimentant le District de Bamako.

### **OBJECTIFS SPECIFIQUES :**

- ✓ Inventorier les sources d'approvisionnement des eaux de consommations le Districtde Bamako
- ✓ Déterminer les contaminants des eaux de consommation dans le Districtde Bamako.
- ✓ Situer des zones préférentielles d'exploitation d'eaux de consommation dans le District.

# GENERALITES

# I-L'EAU (H<sub>2</sub>O)

## I-1- aperçu sur l'eau

L'eau représente le constituant le plus abondant de notre organisme : 55 à 70% du poids du corps. Elle participe par ses molécules autant que par ses ions OH<sup>-</sup> et H<sup>+</sup> à tous les échanges et à de très nombreux réactions. Il est aussipossible de l'utiliser dans sa dynamique comme source d'énergie.

### I-1-1- Teneur en eau de l'organisme

Elle varie :

- ✓ Suivant l'âge (nourrisson 75%, vieillard 60%) ;
- ✓ Suivant l'adiposité, le tissu adipeux étant très pauvre en eaux ;
- ✓ Suivant les tissus, les tissus mous et les muscles en particulier étant, bien sûr, beaucoup plus riches que les tissus osseux.

En moyenne l'eau représente 55 à 60% du poids du corps chez l'adulte.

### I-1-2- Besoins en eau de l'organisme

L'apport quotidien d'une certaine quantité d'eau est indispensable à la vie. Les besoins sont évalués en fonction de l'élimination qui elle-même varie en fonction des conditions extérieurs ou des conditions pathologiques.

Le besoin moyen d'eau chez l'adulte est de 2 litres/24heures, soit 30ml/kg environ.

Il est beaucoup plus élevé chez l'enfant :

- ✓ 180 ml/kg pour le nouveau-né ;
- ✓ 125 ml/kg à 6 mois ;
- ✓ 100 ml/kg à 1 an.

### I-1-3- Les apports d'eau

Ils sont endogènes et exogènes.

L'apport endogène naît de réactions métaboliques de déshydratation de substrats divers et surtout des réactions d'oxydations au cours de la respiration cellulaire. Ainsi environ 300 ml d'eau sont fournis/24h.

L'apport exogène est obligatoire (environ 2000ml/24h) sous forme d'eau de boisson (500 à 1000 ml) et sous forme d'aliments solides (800 à 1200 ml). [VALDIGUIE P., 2000]

## **I-2- Définition de l'eau (H<sub>2</sub>O)**

Le liquide que l'on appelle eau, du simple point de vue de la composition chimique, possède une multitude de natures différentes, autant par les isotopes d'hydrogènes et d'oxygènes qui la composent, que des substances dissoutes. A la pression ambiante (environ un bar), l'eau est gazeuse au-dessus de 100°C, solide en dessous de 0°C, et liquide dans les conditions normales de température et de pression(CNTP). C'est une particularité essentielle : les autres composés proches ou apparentés, (sulfure d'hydrogène, ammoniac et méthane par exemple), sont tous gazeux à des températures bien plus basses.

Une molécule d'eau est constituée d'un atome d'oxygène (qui a tendance à attirer deux électrons pour se charger négativement) et de deux atomes d'hydrogène (qui peuvent facilement céder leur électron pour se charger positivement).

Ces trois atomes ne sont pas alignés, mais se disposent suivant un angle de 105° pour constituer un dipôle électrique, qui occupe l'espace d'un tétraèdre (une pyramide), centré sur l'oxygène avec deux sommets à charge négative. [COULIBALY K., 2014]

## **I-3- Répartition de l'eau sur terre**

La masse d'eau totale de l'hydrosphère ne varie pas au cours des années. L'eau change d'état au cours de son cycle mais sa quantité globale reste inchangée depuis 3 milliards d'années, date de son apparition sur Terre. C'est l'énergie solaire qui est le moteur du cycle de l'eau en entraînant ses changements d'état (Maurel, 2006).

La quantité d'eau sur Terre est gigantesque : environ 1,4 milliards de km<sup>3</sup>, d'après les estimations de Shiklomanov et Rodda, 2003 (cité dans UNESCO, 2006).



Cependant, 97,5 % de cette quantité se trouvent sous forme d'eau salée et 2.5 % sous forme d'eau douce, soit environ 35 millions de km<sup>3</sup>.

69,5 % de l'eau douce se présente sous forme de glace et de neige permanente, 30,1 % sous forme d'eau souterraine, 0,27 % sous forme d'eau dans les lacs et rivières, 0,13 % sous une autre forme (atmosphère, humidité dans le sol, marais, etc.). [BOISELVE B. J., 2010]

## I-4- Cycle de l'eau

L'eau, élément sous trois formes (liquide à l'état normal, gazeuse en vapeur, solide en glace), parcourt un cycle éternel. L'eau en évaporation lente et incessante des fleuves, des lacs et des mers par condensation se transforme en pluie. Une fraction des eaux de pluie ruisselle à la surface de la terre et va grossir les cours d'eaux et les lacs d'où elle est sujette d'une part à l'évaporation, d'autre part à l'infiltration à travers le sol. Les eaux d'infiltration sont reprises en partie par la végétation, qu'elles alimentent avant d'être rejetées dans l'atmosphère et en partie s'accumulent dans le sous-sol pour former des nappes souterraines qui, à leur tour, en s'écoulant, donnent naissance aux sources qui émergent à la surface du sol et le cycle continue.

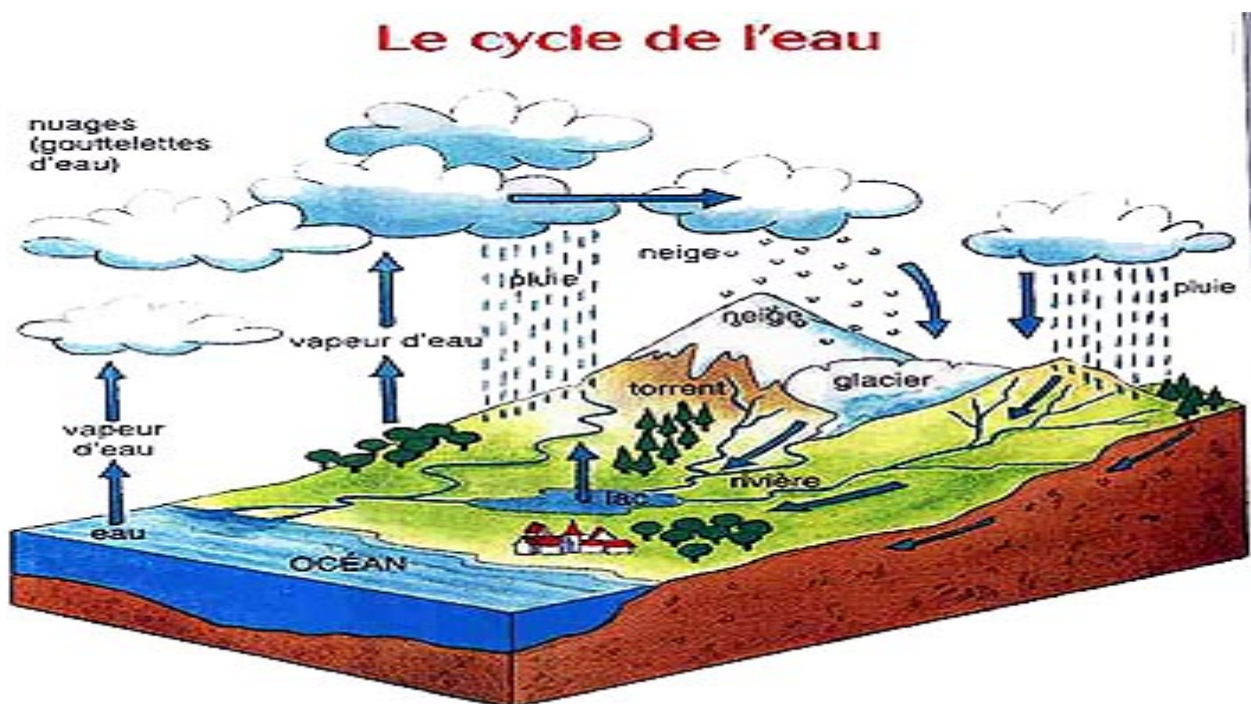
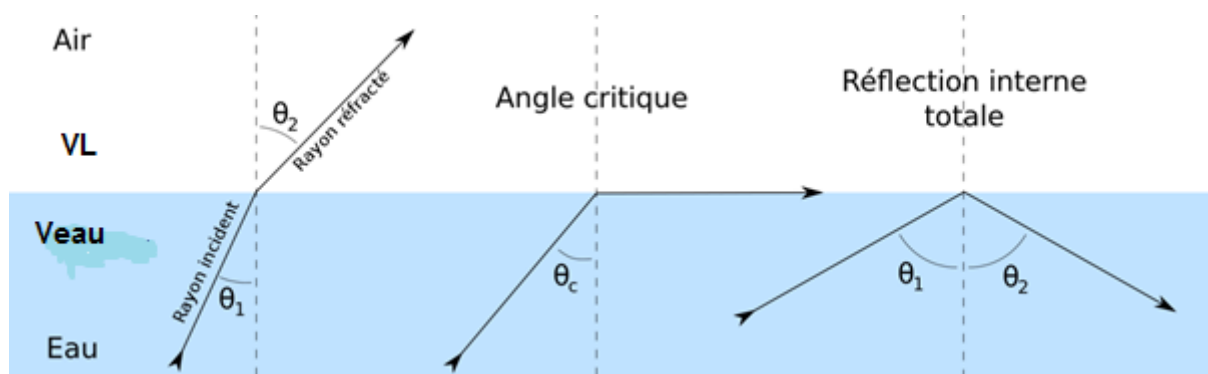


Image1 : cours d'hydrogéologie EM1 ENI-ABT, 2013.

## II- PROPRIETES PHYSIQUES DE L'EAU

### II-1- Indice de réfraction de l'eau :

L'indice de réfraction  $n$  ou  $I_{ref}$ , d'un milieu transparent est la mesure de sa capacité de changer la direction de la propagation d'un rayon lumineux qui lui pénètre. Si la lumière devait voyager dans l'espace vide puis pénétrer dans l'eau, on pourrait faire le rapport des sinus des angles d'incidence et de réfraction (mesurés à partir de la perpendiculaire à la surface de l'eau) selon la loi de Snell-Descartes pour 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).



$$I_{ref} = \frac{V_L}{V_{eau}}$$

$V_L$  → Vitesse de la lumière dans le vide  
 $V_{eau}$  → Vitesse de la lumière dans l'eau

Généralement pour l'eau cette valeur est de 1.3300 soit une vitesse de 225407km/s

L'indice de réfraction rend compte de la turbidité. La turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée (diffraction) ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite. [APHA 1998]

## II-2 - Tension superficielle :

Les ponts hydrogènes 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 dans le transport vertical de l'eau chez les végétaux et est nuisible avec la remontée d'humidité dans les murs de maisons. La tension superficielle se mesure par une méthode dite « par arrachement ». Elle se fait grâce à un appareil du même nom (appareil de mesure par arrachement), composé d'une manche télescopique, au bout duquel se trouve un petit rectangle de métal, de base à longueur connue et de largeur très petite (donc négligeable), ainsi qu'un panneau gradué noté en dynes (unité de force dans un système utilisant les g et les cm, ainsi  $1 \text{ dyne} = 10^{-5} \text{ N}$ ). L'appareil émet une petite lumière sur le panneau.

On procède alors à un étalonnage à l'aide de la valeur du poids à vide : 0, puis à celui d'un objet de masse connue attaché au manche. Quand l'étalonnage est effectué, il ne reste qu'à mesurer la force de tension superficielle en trempant l'objet de métal dans le liquide que l'on désire mesurer, à descendre le support élévateur sur lequel le récipient contenant le liquide est placé jusqu'à ce que le rectangle de métal ne soit plus retenu par le liquide x.

La dernière valeur obtenue sur le panneau est donc la valeur de la force de tension superficielle à retenir. Mais, pour nos expériences, c'est l'indice de tension superficielle qui nous intéresse. Nous pouvons alors l'obtenir grâce à cette formule :  $F=2 L$  avec  $F=$  la valeur de la force mesurée en Newton, et  $L$  la longueur en mètre de l'objet.

Le facteur 2 apparaît parce que l'eau touche l'objet des deux côtés. Étant donné que  $L$ , est connu ( $L=2,05\text{cm}$ ) et que  $F$  a été mesurée, on peut alors connaître la valeur de

l'indice de tension superficielle :  $= \frac{F}{2L}$ . Ainsi, on a :

- pour l'eau normale :  $F=268\text{dyn} \Rightarrow =0,065\text{N.m}^{-1}$
- pour l'eau savonneuse :  $F=110\text{dyn} \Rightarrow =0,027\text{N.m}^{-1}$

### II-3- Conductivité :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1\text{cm}^2$  de surface et séparée l'une de l'autre de  $1\text{cm}$ . Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

Mais par définition, la conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Un ion est un atome (constituant de base de la matière) ou un groupe d'atomes qui possède une charge électrique positive ou négative. Ainsi, plus l'eau contient des ions comme le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le sodium ( $\text{Na}^+$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ), le bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ), le sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et le chlorure ( $\text{Cl}^-$ ), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée sera élevée.

On mesure la conductivité de l'eau à l'aide d'une sonde. L'utilisation d'une sonde permet de mesurer d'autres variables (si elle est équipée des capteurs appropriés) tels que la température, l'oxygène dissous, le pH et la profondeur. L'appareil servant à évaluer la conductivité spécifique de l'eau s'appelle un conductimètre. Le courant électrique mesuré est proportionnel à la concentration d'ions dans l'eau. Plus il est élevé, plus il y a d'ions dans l'eau. Le résultat se traduit en micro-Siemens par centimètre ( $\mu\text{S/cm}$ ) à une température normalisée de  $25^\circ\text{C}$ . La conductivité ( $\mu\text{S/cm}$ ), capacité de l'eau à permettre le passage d'un courant électrique, est l'inverse de la résistivité ( $\text{ohm} \cdot \text{cm}$ ), capacité de l'eau à s'opposer à la circulation d'un courant électrique. [HADE, 2002].

## III- PROPRIETES CHIMIQUES DE L'EAU

### III-1- 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'hydrogènes. 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'un autre. Un tel lien électrique entre deux molécules s'appelle *un pont hydrogène* ou *liaison hydrogène*. 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 molécule d'eau, c'est la solvation.

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.

A cause des ponts hydrogènes également, 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 et autres êtres vivants d'y survivre. L'eau atteint sa plus haute densité à la température de  $4^\circ C$ , qui est ainsi la température qu'on trouve typiquement au fond d'un étang gelé. Une autre conséquence est que la glace fond quand suffisamment de pression lui est appliquée. [TECHNO-SCIENCES, 2014]

### III-2- Equilibre acido-basique de l'eau

Chaque molécule est en équilibre constant avec les éléments qui la constituent. L'eau qui représente plus de 50 % du volume du corps humain n'échappe pas à la règle.

Sa réaction de dissociation s'écrit :



La proportion des trois produits de cette réaction ne varie guère dans des conditions de pression et de température habituelles : elle est définie par une "constante de dissociation"

$$K_w = \frac{[\text{OH}^-][\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{O}]} = \frac{1}{10^{15}} = 10^{-15}$$

En d'autres termes une seule molécule d'eau sur  $10^{15}$  (mille millions de millions) est présente sous forme dissociée, en temps normal. Pour éviter de manipuler des chiffres énormes, on a pris l'habitude de noter uniquement les exposants de 10, les logarithmes. Comme il s'agit le plus souvent de fractions extrêmement petites, on note ces logarithmes affectés du signe moins. On les appelle alors "puissance". Ainsi :

$$K_w' = [\text{OH}^-][\text{H}^+] = 10^{-14} = 10^{-7} \cdot 10^{-7} \text{ et}$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-7} = [\text{OH}^-]$$

**On énonce que la "puissance Hydrogène" égale 7 et est égale à la "puissance hydroxyle" de l'eau. Dans cette situation la solution est dite "neutre".**

$$\text{On écrit } \log \frac{1}{[\text{H}^+]} = \text{pH}(\text{H}_2\text{O}) = 7 = \text{pOH}(\text{H}_2\text{O}) = \frac{1}{[\text{OH}^-]}$$

Les pH s'expriment en "unités de pH", ce sont des nombres purs.

Un acide est une molécule qui donne un ion  $\text{H}^+$  (encore appelé proton), quand elle se dissocie :



La constante de dissociation de cette réaction s'écrit :

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{Base}^-]}{[\text{Acide}]}$$
 et on appelle  $\text{pKa} = -\log K_a$

Si un acide est fort (par exemple HCl, l'acide chlorhydrique), il se dissocie fort dans de l'eau, son  $K_a$  est grand et son  $\text{pKa}$  est petit.

Si on ajoute un acide dans de l'eau la concentration  $[H^+]$  augmentera au delà de  $10^{-7}$  et le pH de la solution deviendra plus petit que 7.

Contrairement aux autres ions positifs ( $K^+$ ,  $Na^+$ ), l'ion  $H^+$  est très réactif et sa petite taille lui permet une grande mobilité. Il se combine très facilement aux molécules porteuses de charges négatives comme le sont beaucoup de protéines constituant la structure de nos cellules, y compris les sites actifs de nombreux enzymes.

La liaison d'ions  $H^+$  à ces endroits peut en modifier la conformation ou interférer avec l'activité de ces enzymes. Un ion  $H^+$  en liberté est donc un hôte particulièrement indésirable dans notre organisme et même de très faibles concentrations en sont dangereuses.

Chez l'homme à  $37^\circ$ ,

- le pH des cellules =  $pH_i = 6,8$  et  $[H^+]_i = 160$  nM/L (nanomôles par litre) ;

- le pH du liquide extracellulaire =  $pH_o = 7,4$  et  $[H^+]_o = 40$  nM/L

Le gradient de concentration en ions  $H^+$  entre les cellules et le milieu qui les environne provient de l'activité métabolique des cellules, et favorise l'expulsion des ions  $H^+$  vers le liquide extracellulaire.

**Le pH du sang artériel est normalement de  $7,4 + 0,05$  unités.**

On appelle **ALCALEMIE** un pH sanguin  $> 7,45$  elle est sévère si  $pH > 7,6$  ;

**ACIDEMIE** un pH sanguin  $< 7,35$  elle est sévère si  $pH < 7,2$  ;

**ALCALOSE** toute condition qui provoque une alcalémie ;

**ACIDOSE** toute condition qui provoque une acidémie. ; **[BAELE P., 1996]**

### **III-3- Une propriété chimique remarquable : 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. En général les substances ioniques et polaires comme les acides, les 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 d'eau l'eau car il est énergiquement 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 des molécules non-polaires. Un exemple de soluté ionique est le sel de cuisine alias chlorure de sodium, NaCl, qui se sépare des cations  $\text{Na}^+$  et anions  $\text{Cl}^-$ , chacun entouré de molécules d'eau. Un exemple de soluté non ionique est le sucre. 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, parce que certaines réactions biochimiques n'ont lieu qu'en solution (par exemple, réaction dans le cytoplasme ou le sang.). C'est pourquoi pour le moment, 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-une lune de Jupiter. [TECHNO-SCIENCES 2014]

### III-4- Décomposition de l'eau (thermolyse et électrolyse)

La première décomposition de l'eau fut faite par Lavoisier, en faisant passer de la vapeur d'eau sur du fer 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  $750^\circ\text{C}$ , et elle est totale vers  $3000^\circ\text{C}$ . 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, l'eau peut être divisée en dioxygène et dihydrogène. Les molécules d'eau se dissocient naturellement en ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$ , qui sont attirés par la cathode et l'anode respectivement mais comme cette dissociation est faible dans la pratique on a recours à des catalyseurs comme l'acide sulfurique ou hydroxyde de sodium. A l'anode, quatre ions  $\text{OH}^-$  se combinent pour former des molécules de dioxygène  $\text{O}_2$ ,



deux molécules d'eaux et libérer quatre électrons. Les molécules de dioxygène ainsi produites s'échappent sous forme de bulles de gaz 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<sub>2</sub> avec utilisation de quatre électrons. [TECHNO-SCIENES, 2014]



## IV- CARACTERISTIQUES DE L'EAU POTABLE

La connaissance des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau permet de déterminer son degré de potabilité ou de pollution pour prévenir les risques de contamination et de santé publique.

La législation française a défini les caractéristiques d'une eau potable. Elle doit répondre à une série de critères définis par le décret du 3 janvier 1989. Les paramètres retenus sont les paramètres organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques.

Une eau potable est une eau propre à l'alimentation, donc dépourvue de tous éléments nocifs. Elle doit être :

- ✓ Limpide, incolore, inodore, fraîche (7-12°C). Ces qualités sont facilement décelées par nos sens. Nous rejetons d'instinct une eau trouble (matières ou microbes en suspension), colorée, mal odorante (fermentation).
- ✓ Aérée (30 cm<sup>3</sup> de gaz par litre). L'eau bouillie est indigeste.
- ✓ Pourvue d'une faible proportion de sels minéraux (carbonates, sulfates, chlorures) qui lui donnent une saveur faible mais agréable et une certaine valeur nutritive. L'eau ne doit pas contenir plus de 0,50 g/l de sels minéraux. Une eau trop salée est purgative. Trop riche en calcaire (eau dure) ou en sulfate de chaux (eau séléniteuse), elle cuit mal les légumes et dissout mal le savon.
- ✓ Dépourvue de matières organiques, dont la présence est un indice de souillure. On tolère 5 mg/l au maximum. (Ces matières décolorent le permanganate de potassium à l'ébullition). Favorables au développement des

microbes, ces matières en se putréfiant, donnent une odeur désagréable et des produits toxiques.

- ✓ Dépourvue de germes, de vers, de parasites (kystes d'amibes, œufs d'ascaris, d'oxyures), ni microbes pathogènes (bacilles typhiques, vibron cholérique, bacille dysentérique, virus de la poliomyélite). La présence de colibacilles, hôte habituel du gros intestin ou colon (d'où son nom) indique une souillure par des excréments. On doit rejeter toute eau renfermant des colibacilles. Toutes fois, on tolère jusqu'à 50 colibacilles par litre, soit 0,05 / cm<sup>3</sup>. **[KONE O., 2014]**

## V- QUALITES DE L'EAU DE CONSOMMATION

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. **[N'DIAYE A., 2008]**

### V-1- Paramètres organoleptiques

Les propriétés organoleptiques sont celles que possèdent les corps qui font directement impression sur les organes de sens.

Ces paramètres concernent la couleur, la turbidité, la saveur, goûts et odeurs de l'eau. Une eau peut être trouble, colorée ou avoir une odeur particulière et néanmoins être consommable.

Considérés longtemps comme subjectifs, ces paramètres sont jugés aujourd'hui essentiels car ils permettent aux consommateurs d'avoir une idée sur la qualité de l'eau délivrée.

### **V-1-1- Couleur :**

La couleur de l'eau peut provenir de substances minérales comme le fer, le manganèse et/ou de substances organiques. Les substances organiques comprennent généralement des algues, des protozoaires et des produits naturels provenant 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 eau distillée). Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV.

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelle et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité.

Il ne faut pas confondre couleur et turbidité. La couleur est très préjudiciable pour l'esthétique. [RODIER J. 2000]

### **V-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 le trouble de l'eau. L'un des buts primordiaux du traitement de l'eau est de réduire la turbidité. Les eaux convenablement filtrées et désinfectées ont des turbidités inférieures à 0,5 NTU. (NéphélométricTurbidityUnits).

### **V-1-3- Saveur :**

La saveur de l'eau est due à de nombreuses molécules et ne révèle pas si l'eau est polluée ou non mais c'est l'une des principales préoccupations formulées par les utilisateurs à l'égard de l'eau qui leur est fournie.

### **V-1-4- Goûts et Odeurs :**

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur « non désagréables ». 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. [BA IBRAHIMA, 2014]

## **V-2- Paramètres physico-chimiques**

### **V-2-1- La température :**

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

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.

### **V-2-2- Le pH :**

C'est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions hydrogène ( $H^+$ ). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très

alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre de à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 14 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 une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons.

### **V-2-3- La conductivité électrique (EC) :**

C'est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bon conducteurs. La conductivité électrique (EC) standard s'exprime généralement en micro-siemens par mètre ( $\mu\text{S}/\text{m}$ ) à 20°C.

La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Tableau I :** relation entre minéralisation et conductivité selon la réglementation française.

<b>Conductivité</b>	<b>Minéralisation</b>
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 moyenne accentuée
333 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -666 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation accentuée
666 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation importante
Supérieur à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation élevée

### **V-2-4- Les solides dissous ou TDS (totale des solides dissous) :**

La matière dissoute est la somme de la minéralisation, c'est-à-dire la quantité de l'ensemble des cations et anions se trouvant dans l'eau.

Elle est en fonction de la conductivité .

-

### **V-2-5- La dureté de l'eau (ou titre hydrométrique) :**

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et  $\text{H}^+$ . Elle est souvent due aux ions  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ . La présence de ces deux cations tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en  $\text{CaCO}_3$  par litre.

### **V-2-6- Les ions majeurs :**

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par huit (8) ions, appelés couramment les ions majeurs. On distingue les cations : calcium, magnésium, sodium et potassium, et les anions : chlorure, sulfate, nitrate, et bicarbonate.

#### **V-2-6-1- Les cations**

##### **V-2-6-1-1- Calcium et magnésium :**

Le calcium  $\text{Ca}^{2+}$  et le magnésium  $\text{Mg}^{2+}$  sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentés dans la plupart des eaux. L'altération des roches cristallines libère du calcium et du magnésium, mais en quantité moindre que certaines roches sédimentaires carbonatées, dont les principales sont la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), la dolomie ( $\text{CaMgCO}_3$ ), la magnésite ( $\text{MgCO}_3$ ), le gypse ( $\text{CaSO}_4$ ), l'apatite ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$ ) ou la fluorine ( $\text{CaF}$ ).

##### **V-2-6-1-2- Sodium et potassium :**

Le cation sodium ( $\text{Na}^+$ ) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites). La roche halite (évaporite  $\text{NaCl}$ ) 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 ( $\text{K}^+$ ) est assez abondant sur terre, mais peut être fréquent dans les eaux. En effet il est facilement adsorbé et recombinaison dans les sols (sur les argiles notamment). Les sources principales de potassium sont les roches cristallines (mais dans les minéraux moins altérables que ceux contenant du sodium), et les argiles.

### **V-2-6-1-3- Le plomb :**

Le plomb est un toxique dangereux pouvant avoir des conséquences sur la santé humaine. L'intoxication chronique par le plomb, même à faible dose peut retentir sur les développements physiques, intellectuels et psychomoteurs de l'enfant. Des imprégnations importantes sont à l'origine de troubles psycho-neurologiques avec des conséquences graves. Les enfants représentent une population particulièrement exposées pour des raisons physiologiques mais aussi pour des raisons tenant au comportement d'exploration orale de l'environnement dans leur jeune âge.

Les contaminations au plomb présent dans l'eau potable proviennent essentiellement de deux sources :

- A titre principal : les canalisations d'eau (réseau public, raccordements des habitations au réseau public et tuyauteries intérieures des immeubles ou des maisons individuelles) ;
- A titre secondaire : les raccords, les robinets et les brasures (soudures des canalisations et tuyauteries).

### **V-2-6-2- Les anions**

#### **V-2-6-2-1- Les chlorures**

L'ion Cl<sup>-</sup> est présent en petite quantité sur la terre. La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites. L'invasion d'eau de mer (où le Cl<sup>-</sup> est très présent) ainsi que les phénomènes d'évaporation dans les bassins endoréiques sont également des sources de chlorures possibles. L'apport par les précipitations est d'autant plus important que la distance à la mer est faible. Les apports anthropiques sont mineurs dans les mineurs dans les zones d'intervention humanitaire.

#### **V-2-6-2-2- Les sulfates**

Les origines des sulfates dans les eaux sont variées. Les origines naturelles sont l'eau de pluie (évaporation d'eau de mer :  $1 < c < 20$  mg /l), et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse (CaSO<sub>4</sub>), mais également la pyrite (FeS) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite).

Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures (qu'on retrouve dans les pluies), et l'utilisation d'engrais chimiques et de lessive.

D'une façon générale, la présence de sulfate dans eaux naturelles « non polluées » invoque la présence de gypse ou de pyrite.

### **V-2-6-2-3- Les nitrates**

#### **V-2-6-2-3-1- Définition**

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) sont des composés chimiques constitués et d'azotes et d'oxygène. Ils résultent du cycle de l'azote qui est une substance nutritive indispensable à la vie végétale. Celui-ci peut être amené à se retrouver dans le sol via différentes voies. L'oxydation par les microorganismes des plantes, du sol ou de l'eau rend l'azote assimilable par les plantes sous forme de nitrates. Ainsi toutes les sources d'azote sont potentiellement capables de se retrouver sous forme de nitrate. Dans d'autres conditions, notamment en milieu acides, des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) sont naturellement formés à partir de nitrates. A leur tour les nitrites, peuvent se combiner aux amines et aux amides pour former ce que l'on appelle les nitrosamines ou des nitrosamides.

#### **V-2-6-2-3-2- Nitrates et risques sanitaires**

Les nitrates ne sont pas toxiques en eux-mêmes. C'est leur transformation en nitrites et composés nitrosés (nitrosamines et nitrosamides) qui peuvent provoquer des troubles caractéristiques.

L'alimentation et la boisson sont les principales sources de nitrates et de nitrites pour l'homme. Les légumes (carottes, épinards, betteraves, radis, courgettes, pommes de terre, ...), les aliments carnés, les charcuteries présentent des concentrations importantes en nitrates. En fait, l'eau du robinet entre pour 20 % des apports journaliers, sauf chez l'enfant où elle peut représenter jusqu'à la moitié de la dose ingérée.

La présence de nitrates à des teneurs excessives dans les eaux peut provoquer chez le consommateur, des risques de natures différentes, dont l'origine est liée à la faculté de l'organisme humain de transformer les nitrates en nitrites. C'est pourquoi



les nourrissons, dont la faible acidité de l'estomac favorise cette transformation, constituent une population particulièrement sensible. Les nitrites ainsi formés, par combinaison avec l'hémoglobine du sang, réduisent les capacités de transport de l'oxygène : la méthémoglobinémie (maladie bleue des nourrissons) peut provoquer des troubles plus ou moins graves : cyanose, asphyxie musculaire...

Chez l'adulte les taux courants de nitrates et de nitrites dans l'eau ne semblent pas présenter de toxicité aiguë. A long terme, en revanche, les composés N-nitrosés (nitrosamines et nitrosamides) issu de la combinaison des nitrites avec les composés de base des protéines, sont suspectés de provoquer des cancers.

### **V-2-6-2-3-3- Métabolisme des nitrates chez l'homme**

Les nitrates ingérés sont soit excrétés par l'organisme, soit transformés en nitrites (dans l'estomac ou dans la salive), soit absorbés. Les nitrites peuvent alors entraîner la formation de méthémoglobines ou de composés N-nitrosés.

#### **✓ Méthémoglobinémie**

Les nitrites résultants de la réduction des nitrates oxydent les ions ferreux de l'hémoglobine en ions ferriques. L'hémoglobine se transforme alors en méthémoglobine, incapable de céder l'oxygène aux tissus. Au-delà d'un certain taux de méthémoglobine, différents symptômes apparaissent, d'une cyanose légère à des troubles de conscience pouvant évoluer vers la mort par anoxie cellulaire.

Les nourrissons sont plus sensibles :

- Contrairement à l'adulte, leur estomac faiblement acide contient une flore bactérienne capable de transformer les nitrates en nitrites ;
- Ils présentent une déficience en enzyme transformant la méthémoglobine en hémoglobine ;
- L'hémoglobine fœtale se transforme assez facilement en méthémoglobine ;
- Ils boivent, relativement à leur poids, plus d'eau que les adultes.

Des conditions de prédisposition à la méthémoglobine ou cyanose du nourrisson semblent exister pour les nourrissons dont la mère a consommé régulièrement des eaux à fortes teneurs en nitrates. Il semble que dans leur majorité, les cas de

méthémoglobinémie surviennent quand les taux de nitrates dans l'eau de consommation dépassent 100 mg/l.

✓ **Nitrosamines-nitrosamides :**

Les nitrosamines peuvent se former in vivo par réaction de nitrites à pH inférieur à 3 (et donc de leur précurseurs, les nitrates) sur les amines secondaires ou tertiaires présentes dans les denrées alimentaires et dans divers médicaments. On possède peu de renseignements sur le métabolisme des nitrosamines chez l'homme. Il a été établi chez toute une gamme d'espèces animales que les composés nitrosés sont cancérigènes.

Chez l'homme de nombreuses études ont recherché d'éventuelles corrélations entre le taux de nitrates dans l'eau de boisson et la survenue de cancers, digestifs essentiellement. Leurs résultats ne permettent pas de conclusions définitives.

**V-2-6-2-3-4- Origine des nitrates dans les eaux :**

Les nitrates existent dans les eaux à l'état naturel en absence de pollution. Leur concentration, n'excèdent pas en général 3 mg/l à 5 mg/l dans les eaux superficielles et quelques mg/l dans les eaux souterraines. Les teneurs en nitrates sont en augmentation ces dernières années. La progression dans les eaux souterraines est couramment de 0,5 à 1 mg/l/an et peut atteindre 2 mg voire plus. Une situation voisine se rencontre dans les eaux superficielles. La présence de nitrate dans l'eau de consommation est principalement attribuable aux activités humaines. L'utilisation de fertilisants synthétiques et de fumiers, associée aux cultures et à l'élevage intensifs, favorise l'apparition de nitrates dans l'eau. Le risque de contamination est plus important si le sol recouvrant la nappe d'eau est vulnérable (ex : sablonneux) et si la nappe est peu profonde (puits de surface). [BA IBRAHIMA, 2014]

**V-2-7- Indice de Ryznar**

L'indice de ryznar (I R) permet de définir la tendance agressive ou entartrant d'une eau aérée. IL est déterminé par la formule suivante :  $IR=2pHs-pH$ .

Le  $pH = (9,3+A+B) - (C+D)$

$A = \log_{10} (\text{salinité en mg/L}) - 1/10$

$B = -13,12 \times \log (\text{température en } ^\circ\text{C} + 273) + 34,55$

$C = \log_{10}(\text{dureté cacique en mg/L}) - 0,4$

$D = \log(\text{TAC en mg/L})$ .

Alors si I R est :

- ✓ Inférieur ou égal à 6,5 : pas de tendance corrosive,
- ✓ Supérieur 6,5 et inférieur ou égal 7,2 : corrosion légère,
- ✓ Supérieur 7,8 et inférieur ou égal 8,5 : corrosion sévère,
- ✓ Supérieur à 8,5 : corrosion très importante.

## **V-2-8- Autres éléments dissous**

### **V-2-8-1- Le fer :**

La présence de fer dans les eaux souterraines est d'origine multiple : le fer sous forme de pyrite (FeS) est couramment associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes, argiles) et aux roches métamorphiques. Le fer se trouve à de fortes concentrations dans les eaux de cuirasses d'altération de socle. Présent sous forme réduite ( $\text{Fe}^{2+}$ ), le fer s'oxyde et précipite lorsque l'eau est pompée. Les dalles de forages ou puits sont alors colorés en brun/rouille et les populations se désintéressent parfois de la ressource : une eau chargée en fer utilisée pour la lessive colore le linge et consommée directement ou sous forme d'infusion (thé) elle peut avoir un goût prononcé.

### **V-2-8-2- Le fluor**

Les sources principales de fluor dans les eaux souterraines sont l'apatite présente dans les bassins phosphatés ( $8 < \text{fluorine} < 5 \text{ mg/l}$  au Sénégal) et la fluorine présente dans les roches magmatiques et dans les filons ( $0,3 < \text{fluorine} < 0,5 \text{ mg/l}$ ) les zones de thermalismes sont également fréquemment concernées.

C'est essentiellement le temps de contact entre la roche et les eaux souterraines, ainsi que les contrôles chimiques qui sont la cause principale des concentrations élevées en iode.

Le fluor est reconnu comme essentiel dans la prévention des caries dentaires (dentifrices fluorés). Cependant, une indigestion régulière d'eau dont la concentration en fluor est supérieure à 2 mg/l (OMS) peut entraîner des problèmes de fluorose des

os et dentaire (décoloration des dents pouvant évoluer jusqu'à leur perte). Les enfants en croissance sont particulièrement vulnérables. [BA IBRAHIMA, 2014]

### **V-3- Qualité microbiologique**

La qualité bactériologique de l'eau est évaluée lors des contrôles analytiques réglementaires, par la recherche des bactéries, principalement des germes témoins de contamination fécale. La présence de ces bactéries dans l'eau peut avoir pour origine une pollution de source, un dysfonctionnement du traitement de potabilisation ou un entretien insuffisant des équipements de distribution.

#### **V-3-1- 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, des diarrhées des vomissements. Pour autant les risques microbiologiques ne doivent pas être sous-estimés.

#### **V-3-2- Les contaminants bactériologiques :**

Les contaminants bactériologiques sont nombreux et 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 lesquels *Escherichia coli* est un indicateur ;
- ✓ Les streptocoques fécaux avec *Entérocooccus faecalis* ;
- ✓ Les espèces anaérobies telles que *Clostridium perfringens*.

##### **V-3-2-1- Les coliformes**

Les coliformes fécaux sont des indicateurs classiques faciles à détecter et à dénombrer.

Ce sont : *Escherichia coli*, *Citrobactersp*, *Enterobactersp*, *Serratiasp*.

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 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 coliforme 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. 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 *Salmonella* ou *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.

### **V-3-2-2- Les 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 *Entérocooccus* et *Streptococcus*. Ils se caractérisent par certaines propriétés biochimiques communes et une large tolérance à des conditions de croissances défavorables. Ils sont résistants du fait de leur constitution. **[N'DIAYE A., 2008]**

## VI- NORMES DE QUALITE DE L'EAU POTABLE

### VI-1-Normes OMS

Les normes de qualité présentées dans les tableaux suivants font référence aux notions de « substances dont la présence dans l'eau revêt une importance sanitaire » et « substances et paramètres pouvant donner lieux à des plaintes des utilisateurs » issues des directives de l'OMS pour l'eau potable. Les valeurs indiquées doivent être utilisées en tenant compte du contexte local : structures des terrains (géologie), niveau de service local (qualité moyenne de l'eau distribuée, normes locales, couverture en eau potable). Les tableaux suivants ont été construits à partir de la nomenclature de l'OMS. Les valeurs guides sont données d'après les « Directives pour la qualité de l'eau de boisson », 3<sup>ème</sup> édition parue en 2011, et correspondant aux principaux paramètres retenus dans les normes de qualité d'eau de boisson. Les paramètres difficiles à mesurer et qui ne présentent pas de problèmes fréquents ne sont pas mentionnés.

#### VI-1-1- Qualité microbiologique de l'eau de boisson

**Tableau II** : paramètres bactériologiques de l'eau de boisson

Paramètres	Valeurs guide OMS	Interprétation
Coliformes thermotolérants	0 /100 ml d'échantillon	Indicateurs de pollution fécale
Streptocoques fécaux	0 /100 ml d'échantillon	Indicateurs de pollution fécale
Coliformes totaux	0/100 ml dans 95 % des échantillons d'eaux traitées	Indicateurs d'efficacité de traitement (désinfection) ; Ne sont pas indicateurs d'une pollution fécale.

### VI-1-1-1-Substances chimiques présentant une importance sanitaire

**Tableau III** : quelques paramètres physico-chimiques de l'eau de boisson

Paramètres	Valeurs guide OMS	Interprétation
Arsenic (As)	0,01 mg/l	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine : roches, rejets industriels (sidérurgie) ;</li> <li>• Santé : effet cancérigène prouvé (cancers cutanés)</li> </ul>
Fluorures (F)	1,5 mg/l	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine : roches, engrais, aliments (poisson, thé), pollution industrielle (fabrication d'aluminium) ;</li> <li>• Santé : fluorose dentaire et du squelette.</li> </ul>
Manganèse (Mn)	0,5 mg/l	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine : roches (souvent associé au fer) ;</li> <li>• Santé : effet toxique sur le système nerveux si <math>C &gt; 20</math> mg/jour. Problème de turbidité et de goût si <math>C &gt; 0,3</math> mg/l.</li> </ul>
Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )	3 mg/l	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine : matières organiques ;</li> <li>• Santé : méthémoglobinémie du nourrisson</li> </ul>
Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )	50 mg/l	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine : matières organiques, lessivage des sols, engrais, eaux résiduaires.</li> <li>• Santé : méthémoglobinémie du nourrisson (les nitrates réduits en nitrites dans l'intestin se fixent sur l'hémoglobine et diminue le transfert d'oxygène).</li> </ul>
Chlore (Cl)	5 mg/l	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine : produit de désinfection de l'eau ;</li> <li>• Santé : pas de problème prouvé.</li> </ul>

**VI-1-1-2-Paramètres et substances indésirables**

- **Paramètre organoleptiques**

**Tableau IV** : paramètres organoleptiques de l'eau de boisson

Paramètres	Valeurs guide OMS
Couleurs	15 UC
Goûts et odeurs	Acceptable
Turbidité	5 NTU 1 NTU pour la désinfection

**VI-1-1-3- Autres paramètre (calcium et magnésium)**

**Tableau V** : Autres paramètre (calcium et magnésium)

Paramètres	Valeurs guide	Valeurs maxi.	Interprétation
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	100 mg/l		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine : roches</li> <li>• Santé : pas de problème direct.</li> </ul>
Magnésium (Mg <sup>2+</sup> )	30 mg/l	50 g/l	



### VI-1-1-3- Substances inorganiques

**Tableau VI** : Quelques substances inorganiques

Paramètres	Valeurs guides	Interprétation
Ammoniaque (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	1,5 mg /l	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine : matières organiques azotées (déjection, eaux usées, végétaux...)</li> <li>• Santé : pas de problème.</li> <li>• Problème de goûts et d'odeurs.</li> </ul>
Sodium (Na <sup>+</sup> )	Pas de norme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Santé : pas de problème.</li> <li>• Goût lorsque C<sub>Cl<sup>-</sup></sub> &gt; 200 mg/l</li> </ul>
Dureté (Ca + Mg)	200 mg /l	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine : dureté = concentration en calcium et magnésium</li> <li>• Santé : pas de problème. Goûts et entartrage si C &gt; 200 mg/l</li> </ul>
Phosphate (PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	Pas de norme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine: matière organique (1 à 2 g/per/jour dans les sels), lessive et engrais.</li> <li>• Santé : pas de problème.</li> </ul>
Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	250 mg/l	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine : roches, industrie.</li> <li>• Santé : effet purgatif, irritation gastro-intestinale. Si C &gt; 250 mg/l, problème de goût et eau agressive pour le béton</li> </ul>
Fer (Fe)	0,3 mg/l	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine : roche, coagulants (Sulfate d'Al.)</li> <li>• Santé: pas de problème. Besoins nutritionnels : de 10 à 50 mg/jour/personne. Problème de goût et de couleur.</li> </ul>
pH	6,5-9,5 Valeur guide	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origines : ion Hydrogène</li> <li>• Santé: pas de problème. Paramètre important pour le traitement et « paramètre caractéristique » de base.</li> </ul>
Conductivité	1500	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine: matières en solution dans l'eau</li> <li>• Santé: pas de problème direct.</li> </ul>
Potassium (K <sup>+</sup> )	Pas de norme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origine: engrais</li> <li>• Santé: pas de problème</li> </ul>

## **VI-2- Projet de Norme malienne : MALINORM**

Dans ce projet de norme, on entend par :

Eau potable : une eau que l'on peut consommer sans risque pour la santé et conforme à la présente norme.

Le fait qu'une eau soit conforme à la présente norme, c'est-à-dire potable, ne signifie pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur.

### **VI-2-1- Eau transportée sous canalisation**

#### **VI-2-1-1- Qualité physico-chimiques**

##### **VI-2-1-1-1- Paramètres organoleptiques**

**Tableau VII : Paramètres organoleptiques (MALINORM)**

<b>Paramètres</b>	<b>Unités</b>	<b>Valeur maxi. admissibles</b>
Couleur	Platino-cobalt	25
Turbidité	NTU	5
Goût, saveur et odeur	Non déplaisant pour la majorité des consommateurs	

**VI-2-1-1-2- Paramètres de structures (MALINORM)**

**Tableau VIII : Paramètres de structures (MALINORM)**

Paramètres	Unités	Valeur maxi. admissibles
pH	-	$6,5 \leq \text{pH} \leq 8$
Chlorures	mg/l	250
Sulfates	mg/l	500
Duretés totale	mg/l (CaCO <sub>3</sub> )	500
Calcium	mg/l (CaCO <sub>3</sub> )	400
Magnésium	mg/l (CaCO <sub>3</sub> )	100
Sodium	mg/l	400
Potassium	mg/l	100
Conductivité	μS /cm	1500

**VI-2-1-1-3- Substances indésirables**

**Tableau IX : Substances indésirables**

Paramètres	Unités	Valeur maxi. admissibles
Nitrates	mg/l de (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	50
Nitrites	mg/l de (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,02
Ammonium	mg/l de (NH <sub>4</sub> )	0,5
Aluminium	mg/l	0,2
Fer	mg/l	0,3
Manganèse	mg/l	0,5
Cuivre	mg/l	1
Zinc	mg/l	3
Fluorures	mg/l	0,5

**VI-2-1-2- Qualité microbiologique**

**Tableau X:** Paramètres microbiologiques (MALINORM).

<b>Désignations</b>	<b>Microorganismes</b>	<b>Unités</b>	<b>Valeur admissibles</b>
Eau distribuée prélevée à l'entrée du réseau.	Coliformes totaux	N/100 ml	0
	Coliformes fécaux (avec recherche de E.coli)	N/100 ml	0
	Streptocoques fécaux	N/100 ml	0
	Clostridium perfringens	N/100 ml	0
Eau distribuée prélevée dans le réseau.	Coliformes totaux	N/100 ml	0
	Coliformes fécaux (avec recherche de E.coli)	N/100 ml	0
	Streptocoques fécaux	N/100 ml	0
	Clostridium perfringens	N/100 ml	0

## VI-2-2- Eau non transportée sous canalisation

### VI-2-2-1- Qualité physico-chimiques

#### VI-2-2-1-1- Paramètres organoleptiques

**Tableau XI:** Paramètres organoleptiques (MALINORM).

Paramètres	Unités	Valeur maxi. admissibles
Couleur	Platino-cobalt	25
Turbidité	NTU	10
Goût, saveur et odeur	Non déplaisant pour la majorité des consommateurs	

#### VI-2-2-1-2- Paramètres de structures

**Tableau XII:** Paramètres de structures (MALINORM).

Paramètres	Unités	Valeur maxi. admissibles
pH	-	$5,5 \leq \text{pH} \leq 9$
Chlorures	mg/l	600
Sulfates	mg/l	500
Duretés totale	mg/l (CaCO <sub>3</sub> )	500
Calcium	mg/l	400
Magnésium	mg/l	200
Sodium	mg/l	400
Potassium	mg/l	100
Conductivité	μS /cm	1500

**VI-2-2-1-3- Substances indésirables**

**Tableau XIII** : Substances indésirables (MALINORM).

Paramètres	Unités	Valeur mai. admissibles
Nitrates	mg/l de (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	50
Nitrites	mg/l de (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,02
Ammonium	mg/l de (NH <sub>4</sub> )	0,5
Aluminium	mg/l	0,2
Fer	mg/l	0,3
Manganèse	mg/l	0,5
Cuivre	mg/l	1
Zinc	mg/l	3
Fluorures	mg/l	0,5

**VI-2-2-2- Qualité microbiologique**

**Tableau XIV** : Paramètres microbiologiques (MALINORM).

Désignations	Microorganismes	N/100 ml	Valeur maxi. admissibles
Puits a grand diamètre, Puits-sternes et Forages équipés de Pompe à Motricité Humaine (PMH).	Coliformes totaux	N/100 ml	100
	Coliformes fécaux (avec recherche de E.coli)	N/100 ml	0
	Streptocoques fécaux	N/100 ml	0
	Clostridium perfringens	N/100 ml	0

## **VII- LES POLLUANTS ET MALADIES**

### **D'ORIGINES HYDRIQUES**

La pollution des eaux est définie comme « tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologique ou physico-chimique) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines ».

Les différents risques de l'eau sont : le risque d'ingestion d'eau d'alimentation contaminé ou risques directs et les risques indirects par le biais d'aliments contaminés ou souillés.

Selon leur origine les polluants des eaux se divisent en trois (3) groupes : les polluants biologiques, les polluants chimiques et les polluants radioactifs.

#### **VII-1-Les polluants biologiques**

Ils comprennent les organismes libres et les agents pathogènes.

##### **VII-1-1- Les organismes libres**

Les principaux organismes libres présents dans l'eau sont : le plancton, les micro-invertébrés et les micro-organismes.

Ces derniers se subdivisent en :

- ✓ Micro-organismes observés sur les parois des réservoirs ;
- ✓ Micro-organismes des eaux de surfaces ;
- ✓ Micro-organismes des eaux propres ;
- ✓ Micro-organismes responsables de certains goûts et odeurs ;
- ✓ Micro-organismes du colmatage des filtres

##### **VII-1-2- les agents pathogènes**

Ce sont les helminthes, les protozoaires, les bactéries pathogènes, les virus.

###### **VII-1-2-1- Les helminthes**

Les helminthes les plus rencontrés sont : ascaris, oxyures trichocéphales etc.

### **VII-1-2-2- Les protozoaires**

L'espèce pathogène la plus fréquente en Afrique subtropicale, *Entamoebahistolytica*, provoque la dysenterie amibienne.

### **VII-1-2-3- Les bactéries pathogènes**

Passer l'eau à travers un tissu ne la rend pas potable. La filtration élimine seulement les matières dont les diamètres sont supérieurs aux mailles du filtre.

Les matières fécales d'une personne en bonne santé contiennent un très grand nombre de genres et d'espèces bactériennes : un gramme de fèces humides contient en moyenne entre  $10^{11}$  et  $10^{12}$  cellules bactériennes vivantes. Certaines de ces bactéries de par leur nombre et leur omniprésence dans les matières fécales humaines, sont souvent utilisées comme des indicateurs de pollution fécale.

Certaines espèces bactériennes normalement absentes dans l'intestin d'une personne en bonne santé, peuvent être sécrétées de façon intermittente et en quantité variable selon le lieu et l'état de santé de la dite population. Ces bactéries pathogènes, ou potentiellement pathogènes, sont responsables de la plupart des maladies infectieuses qui sévissent en Afrique subtropicale : choléra, fièvre typhoïde, dysenterie, gastro-entérites, maladies diarrhéiques etc.

Généralement transmises par voie digestive par consommation d'eau ou d'aliments contaminés, les bactéries pathogènes jouent un rôle déterminant dans la pollution biologique de la nappe phréatique à partir d'une latrine.

Les bactéries pathogènes ne sont pas toujours omniprésentes dans les matières fécales contrairement aux bactéries indicatrices de pollution fécale.



**Tableau XV** : principaux agents bactériens pathogènes présents dans les fèces et les maladies transmises

Famille	Genre	Espèce	Maladie
Entérobactériaceae	Salmonéla	Typhi Paratyphi	Fièvre Typhoïde Fièvre Paratyphoïde
Entérobactériaceae	Shigella	Dysenteria Autres Sigella	Dysenterie bacillaire Gastro-entérite, diarrhée
Vibrionaceae	Vibrio	Cholerae Autres Vibrios	Choléra Gastro-entérite, diarrhée
Entérobactériaceae	Escherichia	Coli (types pathogènes)	Gastro-entérite, diarrhée
Entérobactériaceae	Yersinia	Entérocolitica	Diarrhée, septicémie

#### VII-1-2-4- Les virus

De nombreux virus peuvent infecter une personne et être transmis à de nouveaux hôtes à travers les fèces par voie digestive. Un gramme de fèces peut contenir jusqu'à  $10^9$  particules virales infectieuses.

Cinq groupes de virus pathogènes sont particulièrement important sur le plan sanitaire et sont responsables de maladies telles que la poliomyélite, la méningite, l'hépatite infectieuse. Etc. **[SAMAKE H., 2002]**

**Tableau XVI** : principaux groupes de virus pathogènes excrétés dans les fèces et les maladies transmises

<b>Famille</b>	<b>Genre</b>	<b>Virus</b>	<b>Maladie</b>
Adenoviridae	Mastadenovirus	Adenovirus (42types) Virus de l'hépatite	Affections respiratoires, Infections oculaires
Picornaviridae	Enterovirus	Poliovirus 1, 2,3 Coxsackie A (23) Coxsackie B (23)	Poliomyélite Méningite, fièvre, maladies respiratoire, myocardites hépatite infectieuse
Reoviridae	Rotavirus	Rotavirus humains	Vomissements et diarrhées
	Réovirus		Diarrhées

## VII-2-Les polluants chimiques

Certains éléments chimiques qui se trouvent dans l'eau sont utiles et mêmes indispensable à la santé de l'homme à faibles concentrations mais peuvent devenir toxiques lorsqu'ils sont consommés en grande quantité.

Ils comprennent les sels minéraux et composés toxiques. Ce sont les composants majeurs des cours d'eaux par abondance et leurs effets biologiques.

### VII-2-1- Les sels minéraux

Les plus couramment rencontrés dans la pollution des eaux sont : les nitrates, les phosphates, les sulfates, les nitrites, les bicarbonates, les fluorures, etc.

Les principales sources mises en causes sont :

- ✓ Les effluents industriels et urbains ;
- ✓ Le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais ;

- ✓ La nature des terrains traversés ;
- ✓ La mauvaise conservation des produits chimiques.

### **VII-2-2- Les composés toxiques**

Ils sont soit minéraux, soit organiques.

### **VII-2-3- Les composés minéraux toxiques**

Ce sont essentiellement :

- ✓ Les métaux lourds ou certains métalloïdes ;
- ✓ Les minéraux d'origine agricole ;
- ✓ Les minéraux d'origine industrielle ;
- ✓ Certains composés naturels.

### **VII-2-4- Les polluants organiques toxiques**

Ce sont principalement les pesticides et les détergents. Ces derniers ne sont pas toxiques mais ils favorisent l'assimilation des substances toxiques.

#### **VII-2-4-1- Les pesticides**

On désigne généralement les pesticides, comme des produits utilisés pour lutter contre les organismes portant atteinte à la santé publique ou s'attaquant à tous les stades et de toutes les manières aux ressources végétales ou animales nécessaires à l'alimentation humaine, à l'industrie ou encore à la conservation de l'environnement.

D'après leurs usages, les pesticides sont classés de la manière suivante : les insecticides, les fongicides, les nématocides, rodenticides, les herbicides, les acaricides etc.

Les sources de pollution sont :

- ✓ Les industries fabricant les pesticides ;
- ✓ L'utilisation des pesticides en agriculture et en santé publique ;
- ✓ Le lessivage des terrains traités par les eaux de pluies.

Les conséquences néfastes dues aux pesticides sont liées aux caractères suivants :

- ✓ Permanence et stabilité chimique conduisant à une accumulation dans les chaînes alimentaires ;
- ✓ Rupture de l'équilibre naturel.

En plus de la toxicité aiguë, il faut tenir compte à long terme des actions cancérigènes, mutagènes et tératogènes de certains pesticides.

#### **VII-2-4-2- Les détergents**

On désigne par détergent (du latin « detergere » : nettoyer) les produits susceptibles de permettre des opérations de nettoyage.

Les détergents sont des composés tensioactifs synthétiques dont la présence dans les eaux est due aux rejets d'effluents urbains et industriels.

Les nuisances engendrées par l'utilisation des détergents sont :

- ✓ L'apparition de goût de savon ;
- ✓ La formation de mousse qui freine le processus d'épuration naturelle ou artificielle ;
- ✓ Le ralentissement du transfert et de la dissolution de l'oxygène dans l'eau, même en l'absence de mousse, par création d'un film interfacial.

#### **VII-2-4-3- Les polluants radioactifs**

La pollution des eaux de surfaces par des substances radioactives pose un problème de plus en plus grave, imputable au fonctionnement des réacteurs, à l'utilisation des isotopes radioactifs en médecine, dans l'industrie et dans divers autres branches d'activités civiles et aux « retombées » provenant des essais d'armes nucléaires. On s'efforce actuellement par tous les moyens de prévenir la pénétration de déchets concentrés dans les eaux de surfaces, mais les eaux de refroidissement des réacteurs entraînent de faibles quantités de matières radioactives. [SAMAKE H., 2002]

## VIII- APERCU DE LA ZONE D'ETUDE

### VIII-1- Géologie et hydrogéologie

La géologie de Bamako a fait l'objet de plusieurs études, dont les travaux de R. DARS (1961), J.M Carrère (1972), TRAVI Y. (1980), GIORGI L.et al. (1995 et d'autres auteurs ; et ceux du département de géologie de l'ENI à travers des stages, des campagnes de mesures piézométriques réalisées dans la localité de Bamako et environs et les différents Projets de fin d'étude des élèves ingénieurs.

Bamako est à cheval sur une limite géologique de terrains sédimentaires-terrains cristallins et / ou cristallophyllien. On a un socle granito gneissique et schisteux (au Sud de l'agglomération) recouvert par une couverture sédimentaire de grès à intercalation pélitique (au Nord de l'agglomération). Le fleuve Niger a entaillé plus ou moins profondément les terrains sédimentaires tabulaires (grès de l'Infra cambrien) ainsi que les schistes et granitoïdes du bâti (socle) précambrien. Des alluvions d'âge encore controversé, occupe le lit majeur du fleuve. Des dépôts récents comblent des dépressions du lit mineur du fleuve après chaque crue. La stratification locale est connu grâce aux affleurements, aux forages hydrauliques, aux carottages et aux différents sondages géotechniques, effectués par le Centre National de Recherche et d'Expérimentation en Bâtiment, et Travaux Publiques (C.N.REX) pour des études de fondation des ouvrages comme le second pont, le siège de la B.C.E.A.O, et le Palais de Congrès.

Les eaux souterraines de Bamako se repartissent dans deux types de systèmes aquifères :

- Un aquifère supérieur dans les formations de recouvrement (aquifères superficiel) ;
  - Un aquifère inférieur (profond) à perméabilité de fissure, dans les grès du précambrien.
- Aquifère de recouvrement : l'aquifère des formations quaternaire se rencontrent à deux niveaux topographiques distincts : au niveau des latérites

du plateau supérieur (Koulouba-Point G) et au niveau de la vallée du fleuve Niger.

- ✓ Latérite du plateau supérieur : par son importante épaisseur (20m) et le fait qu'elle soit fissurée en surface et à structure feuilletée en dessous, la latérite du plateau supérieur constitue un bon réservoir captant les eaux de pluie. Cependant sa position topographique, la fissuration et la fracturation des formations gréseuses sous-jacentes font que le rôle hydrogéologique du plateau supérieur se limite à l'alimentation de l'aquifère de grès sous-jacents ainsi que des cônes d'éboulis en bordure du plateau. Quelques sources sont liées à cet aquifère, les plus importantes par leurs débits sont : Sikoroni, Lido, Hamdallaye, Lafiabougou, Kondiambougou, Lassa, N'gomi, Omnisports, Samé, N'tomikorobougou
- ✓ Aquifère de la vallée du Niger : cet aquifère est continue et s'étend de part et d'autre du lit du fleuve Niger. Sa limite est marquée au Nord par les escarpements rocheux des plateaux et au Sud par des formations gréseuses. Cet aquifère est accessible par les méthodes traditionnelles de creusement et exploité par la population par puits et puisards. Il fluctue de façon importante dans le temps et est directement influencé par la quantité des précipitations annuelles.

L'aquifère de grès fracturé : les formations gréseuses des séries hétéro granulaires de Bamako, ont une perméabilité matricielle très faible, voire même nulle à l'état sain. Cependant l'intense fracturation ayant affecté ces grès, leur confère une perméabilité secondaire de fissure qui favorise la circulation et l'accumulation des eaux souterraines en leur sein. Cet aquifère est reconnu par de nombreux forages dans l'approvisionnement en eau potable surtout dans les quartiers périphériques. Il est à noter l'exécution en 1999 d'une vingtaine de forages de reconnaissance profonds de 150 à 200 m au compte de la Société Energie Du Mali (EDM). Dans les formations de Koulouba il n'existe pas généralement d'accumulation importante d'eau souterraine du fait de leurs positions géomorphologiques. Les grès de Sotuba ainsi que le contact couverture/socle cristallin au Sud constituent le principal aquifère de Bamako. Il est reconnu par de nombreux forages. **[ABOUBACRINE A., 1991]**

## VIII-2- Aperçu géographique

Bamako, capitale de la République du Mali depuis 1960, est situé dans la partie Sud Ouest du pays, de coordonnées géographiques 08°00'00" O et 12°40'00" N. La ville est à cheval sur le fleuve Niger qui la traverse suivant une direction SO-NE à partir du coude de Sébénikoro.

L'agglomération de Bamako s'est développée sur les deux rives du fleuve Niger au pied d'un escarpement rocheux marquant la limite des plateaux mandingues en zone climatique soudano-sahélienne.

Le fleuve Niger est le seul cours d'eau permanent dans la zone. A la station de la COMANAV situé à 0,5 Km en amont du Pont des Martyrs, le débit de crue atteint 5400 m<sup>3</sup>/s (septembre), puis décroît jusqu'à 90m<sup>3</sup>/s en période d'étiage (mars-avril).

- **Le fleuve Niger**

Son cours est orienté SSO-NNE en amont de la ville et OSO-ENE en aval avec des amorces de méandres liés aux plateaux Mandingues. La largeur de son lit majeur varie de 0,5 à 1,5 avec une largeur moyenne d'environ 1 Km avec une largeur moyenne d'environ 1 Km. Sa pente longitudinale est très faible, de l'ordre de 0,02%. Son lit est entrecoupé de seuil rocheux où affleurent les grès infracambriens qui provoquent des augmentations localisées des pentes hydrauliques.

Les fluctuations saisonnières du niveau du fleuve ont des amplitudes variant entre 2,2 m à 5,0 m selon les hydraulicités annuelles, avec une valeur moyenne de 3,45 m (période de 1960 à 1999). Son régime naturel est influencé par le barrage et le fonctionnement de la centrale de Sélingué installée sur un de ses affluents en rives droite. [ABOUBACRINE A., 1991]

## VIII-3- Découpage administratif

D'après l'ordonnance numéro N°78-32 /CMLN du 18 /08/1978, le district de Bamako est divisé en six communes comprenant des quartiers.

### **Commune I**

Djélibougou, Banconi, Korofina, Fadjiguila, boukassoumboubou, Titibougou, Sotuba, Sikoroni.

### **Commune II**

Bagadadji, Bozola, Hippodrome, Medina-coura, Missira, Niarela, Quizambougou,

T.S.F, Zone industrielle, Niarela-N'golomina

### **Commune III**

Badialan, Bamako-coura, Bolibana, Centre commercial, Darsalam, Dravéla, N'tomikorobougou, Oulofobougou, Point-G, Samé, Sogonanfin, Koulouba, Minkougo, Kodabougou, Niomirambougou.

### **Commune IV**

Lafiabougou, Hamdallaye, Sébénikoro, Djikoroni-Para, Lassa, Dogodouma, Taliko

### **Commune V**

Baco-djicoroni, Torokorobougou, Sabalibougou, Quartier-Mali, Daoudabougou, Kalaban-Coura, Badalabougou.

### **Commune VI**

Sogoniko, Magnambougou, Faladiè, Banankabougou, Sénou, Niamakoro, Dianeguéla, Missabougou, Sokorodji, Yirimadio. [SAMAKE H., 2002]

## **VIII-4- Les différents types d'eau de consommation a Bamako**

Les différents types d'eau de boisson à Bamako sont : eau de puits, eau de forage, eau de source et eau du réseau.

Pour les besoin domestiques on distingue :

- Les branchements particuliers ;



- Les bornes fontaines qui engendrent une demande moyenne de 20 litres/jour/habitant ;
- Les autres points d'eau (puits, fleuves...)

#### **VIII-4-1- Les eaux souterraines**

Les eaux souterraines sont de trois ordres :

- La nappe phréatique : qui alimente les sources ;
- La nappe peu profonde 80 à 100 m ;

La nappe profonde au-delà de 100 m de profondeur.

Les eaux de puits sont constituées par les eaux de la nappe phréatique et / ou celle de la nappe profonde.

Les eaux de source sont des nappes aquifères captives, contenues entre deux formations imperméables ; appelées aussi nappes « artésiennes ».

Les eaux de forages sont constituées par les eaux de la nappe peu profonde et profonde comprises entre deux formations imperméables.

#### **VIII-4-2- Les eaux du fleuve**

Les eaux du fleuve ou eaux de surface, proviennent surtout des pluies et sont constituées d'un mélange d'eaux de ruissellement et d'eaux souterraines. [SAMAKE H., 2002]

### **VIII-5- La pollution des sources d'eaux de consommation dans le District de Bamako**

#### **VIII-5-1- La pollution des eaux souterraines**

Les eaux de la nappe phréatique qui alimentent les puits sont généralement polluées par :

- le rejet des déchets domestiques, artisanaux et industriels ;
- l'usage des pesticides et leur rejet sur terre ou dans les puisards sans traitement ;

- la teinturerie : le rejet des eaux de lavage contenant des produits tels que la soude caustique et d'autres produits ;
- le non respect de la distance de sécurité entre puits et latrines dans les concessions ;
- la propagation des bactéries à partir des latrines, des fosses de filtration ou par les activités menées autour du puits. La pollution bactériologique de la nappe phréatique à partir d'une latrine suppose la survie des germes pathogènes ainsi que leur migration dans le sol. Ces deux phénomènes dépendent de nombreux facteurs abiotiques (climat, nature du sol) et biotiques (natures des micro-organismes).

La surface libre d'une nappe souterraine, connue sous le nom de surface libre, est sujette à des fluctuations de niveau.

La surface libre atteint son niveau le plus bas pendant les périodes de grande sécheresse, et s'élève avec les grandes pluies. Il a été démontré que les bactéries fécales pouvaient être entraînées dans le sol par les eaux d'infiltrations jusqu'à trois mètres de profondeur et que, une fois la surface libre de la nappe atteinte, elles pouvaient parcourir jusqu'à 15 m environ dans le sens de l'écoulement de l'eau souterraine. Une source d'eau souterraine dont le niveau le plus haut de la surface libre peut se trouver très près de la surface est donc exposée à la pollution fécale lorsqu'il existe dans les environs immédiats des foyers d'une telle pollution. La pollution peut encore atteindre une eau souterraine éloignée des sources de contamination lorsque le sol est formé de roches fissurées. Dans ce cas, il est impossible de prévoir jusqu'où l'écoulement de l'eau peut entraîner les germes de pollution, tant horizontalement qu'en profondeur.

La propagation des bactéries dans le sol est essentiellement liée au mouvement de l'eau servant de véhicule.

Le régime d'écoulement d'eau étant différent selon qu'on se trouve dans la zone saturée ou non saturée, il est nécessaire de considérer séparément ces deux milieux, dans l'étude du mouvement des bactéries dans le sol. La propagation de la pollution bactériologique dans le sol se fait en deux phases :

- l'infiltration verticale dans la zone non saturée ;

- l'écoulement horizontal dès que la pollution atteint la zone saturée, après percolation. **[SAMAKE H., 2002]**

**Tableau XVII** : facteurs influençant la survie des bactéries dans le sol

Facteurs	Effets
Humidité	La durée de vie est plus longue dans les sols humides et durant la saison des pluies
Capacité de rétention en eau	La durée de vie est moins longue dans les sols sablonneux que dans les sols à forte capacité de rétention en eau
Température	La durée de vie augmente à des basses températures
pH	La durée de vie est plus courte dans les sols acides pH (3-5) que dans les sols alcalines.
Rayons solaires	La durée de vie est plus courte à la surface du sol
Matières organiques	La durée de vie est plus longue avec possibilité de reprise de croissance des bactéries quand les matières organiques sont disponibles en quantité suffisante.
Antagonisme de la microflore du sol	La durée de vie est plus longue dans un sol stérile.
Remarque : oxygène dissous	La plupart des bactéries présentes dans les matières fécales sont anaérobies facultatives, de sorte que l'oxygène dissous, généralement en faible concentration dans l'eau souterraine (2 à 8 mg/l) influence très peu leur survie dans le sol.

### VIII-5-2- La pollution de l'eau du fleuve

Certaines activités contribuent à la pollution de l'eau du fleuve :

- la pêche : utilisation par les pêcheurs de produits toxiques pour faciliter la capture des poissons.
- le maraichage : l'utilisation de d'engrais phosphatés et de déchets ménagers ;
- la teinturerie artisanale : utilisation de produits très toxiques (soude caustique, sulfure de sodium, colorants etc.) ;
- les plantations et les vergers : utilisation de produits phytosanitaires ;
- les déchets urbains solides et liquides. **[SAMAKE H., 2002]**

# METHODOLOGIE

# **I- CADRE D'ETUDE**

## **I-1- Lieu de prélèvement**

Les prélèvements ont été effectués dans les différentes communes du District de Bamako. Ce sont : les eaux souterraines (puits et forages des particuliers) et les eaux de robinet de la SOMAGEP dans le cadre des analyses de routine.

## **I-2-Période d'étude**

Ce travail comprend une étude rétrospective et une étude prospective:

- l'étude rétrospective s'étend sur une période de 38 mois soit de janvier 2011 à février 2014 ;
- l'étude prospective s'est déroulée sur une période de 6 mois soit de mars 2014 à septembre 2014.

## **I-3-Prélèvement des échantillons**

Les prélèvements ont concerné les eaux de puits, les eaux de forages, les eaux de robinet (eaux traitées des stations de SOMAGEP).

Pour les eaux de puits, le prélèvement est effectué à l'aide d'une puisette munie d'une corde puis recueillies dans un flacon en plastique propre pour les échantillons d'analyses physico-chimiques ou dans un flacon stérile en verre pour les échantillons destinés à l'analyse bactériologique.

En pratique le prélèvement des échantillons destinés à l'analyse physico-chimique demandé par les particuliers est réalisé par le particulier lui-même après que le laboratoire lui ait expliqué la procédure. Quand aux analyses de routines tant physico-chimiques que bactériologique, le prélèvement est effectué par les techniciens ou stagiaires du LNE.

Pour les eaux du réseau, le prélèvement et l'analyse sont effectués in situ par les techniciens du laboratoire.

### **I-3-1- Critères d'inclusion**

Sont incluses dans notre étude les eaux de surface (eaux du fleuve Niger) et les eaux souterraines (eaux de puits et forages).

### **I-3-2- Critères d'exclusion**

Sont exclues de notre étude les eaux de pluies, les eaux usées et les eaux de rivière.

### **I-4- Directives utilisées**

Dans notre étude nous nous sommes référés à la directive OMS des eaux de boisson.

### **I-5- Collecte, saisie et analyse des données**

Les données ont été recueillies, enregistrées, saisies sur Microsoft Word et analysées sur Excel.

## **II- PRESENTATION DU LIEU D'ETUDE**

### **II-1- Le Laboratoire National des Eaux (LNE) :**

Le Laboratoire National des Eaux ou LNE a été créé en 2008 par la loi N° 08 014/ du 4 Juin 2008 et est situé à Magnambougou-wérda dans la commune VI du District de Bamako.

#### **Les missions du Laboratoire National des Eaux (LNE)**

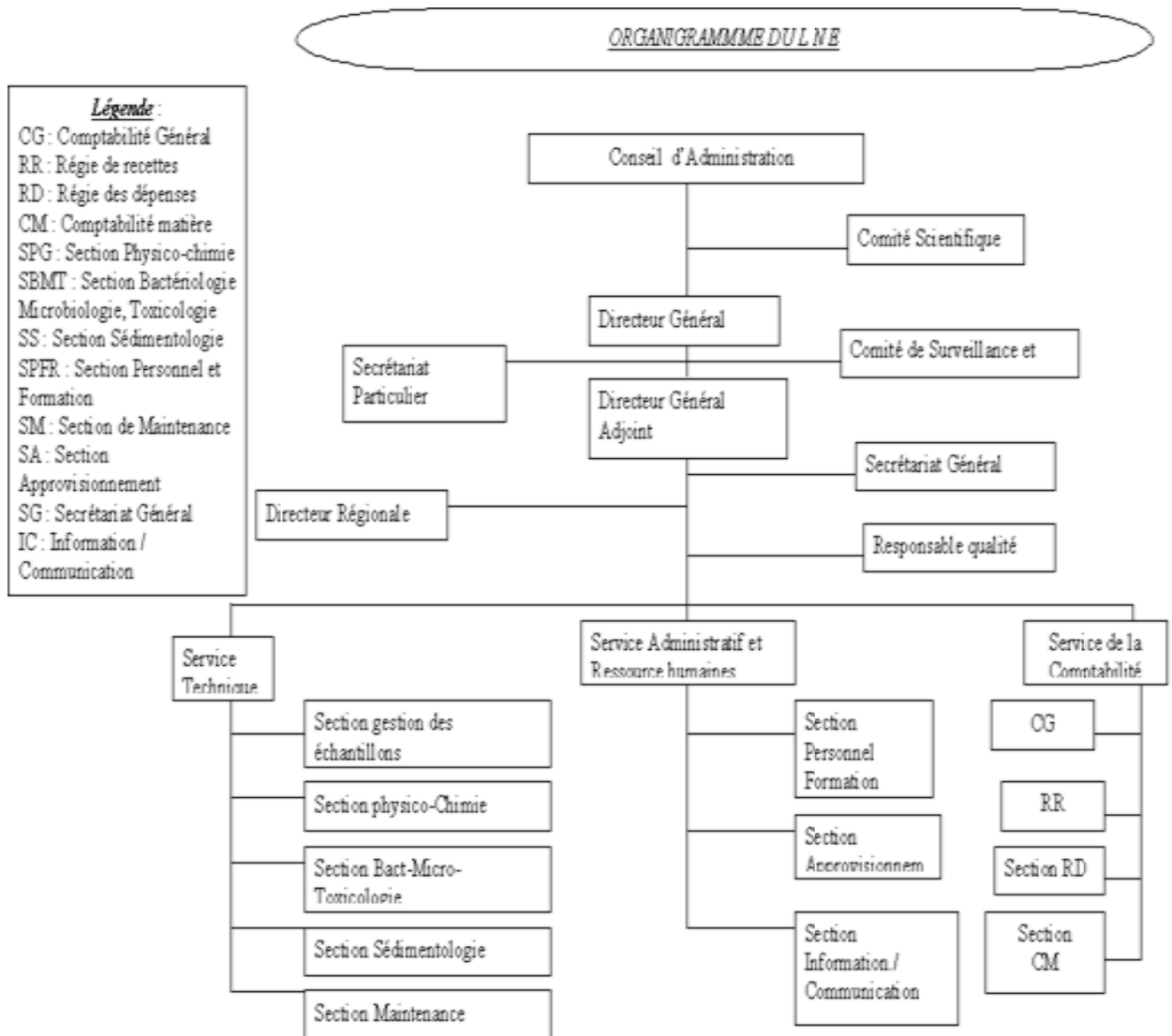
Les principales missions qui lui sont assignées sont

- ✓ Echantillonnage hebdomadaire des eaux de consommation de Bamako et de Kati,
- ✓ Echantillonnage trimestriel des eaux de consommation des différentes régions,

## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako

- ✓ Effectuer des analyses physico-chimiques, microbiologiques et toxicologiques de ces échantillons,
- ✓ Analyser le dépôt sédimentaire et exécuter des études hydro sédimentaires des cours d'eau, les retenues naturelles, les canaux d'irrigation et le réseau d'adduction d'eau.
- ✓ Promouvoir la recherche et la formation en matière d'eau ;
- ✓ Elaborer et mettre en œuvre des plans et programmes d'étude hydro chimique sur l'origine et l'évolution des nappes d'eau.
- ✓ Assurer un appui conseil aux collectivités dans l'amélioration de la qualité de leurs eaux.
- ✓ Participer à l'élaboration des normes relatives à la qualité des eaux.

## II-2- Organigramme du Laboratoire National des Eaux (LNE) :





## III- MATERIELS ET METHODES

### III-1- Paramètres physico-chimiques

#### III-1-1- La conductivité et la température

##### III-1-1-1- Matériels utilisés

Conductimètre LF197 ;

Bécher ;

Papier filtre ;

Echantillon d'eau ;

Eau distillée.

##### III-1-1-2- Principe

Mettre l'appareil en marche, rincer l'électrode avec de l'eau distillée et essuyer avec le papier filtre. Agiter l'échantillon avant de plonger l'électrode dans un bécher contenant 100 mL d'échantillon d'eau. L'appareil affiche directement sur l'écran la valeur de la conductivité. Elle s'exprime en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ou en  $\text{mS}/\text{cm}$ . Le conductimètre LF197 permet également d'obtenir les valeurs de la température des échantillons d'eaux. **[PROTOCOLE LNE 2008]**



Photo 1 : Conductimètre LF197

##### III-1-2- La couleur

##### III-1-2-1- Matériels utilisés

Spectrophotomètre de type DR 2800 ;

Echantillon d'eau ;

Cuve de 25 ml.

### **III-1-2-2- Principe**

Démarrer le spectrophotomètre ; rentrer le numéro de programme correspondant à la couleur. Après l'installation du programme, remplir une cuve de 25 mL d'eau distillée pour le témoin. Placer la cuve dans le spectrophotomètre et fermer le capot puis appuyer sur la touche zéro, elle affiche la valeur 0.00. Enlever le témoin et rincer la cuve avec l'échantillon à analyser, remplir la cuve avec ce dernier, essuyer la cuve avec un papier filtre. Placer la cuve dans le spectrophotomètre DR2800 de sorte que la lumière puisse la traversée, fermer le capot et appuyer sur la touche READ. Une simple lecture permet de lire sur l'écran la valeur de la couleur. Elle s'exprime en Platino-cobalt. **[PROTOCOLE LNE 2008]**

### **III-1-3- La turbidité**

#### **III-1-3-1- Matériels utilisés**

Turbidimètre HACH 2100-Q/Is ;

Cuve de 25 ml ;

Echantillon d'eau ;

Papier filtre.

#### **III-1-3-2-Principe**

Faire passer un faisceau lumineux à travers une cuve contenant 10 mL d'échantillon d'eau. La méthode de détermination consiste à mettre en marche le turbidimètre, le laissé se stabilisé. Rincer la cuve adaptée au turbidimètre plusieurs fois avec de l'eau distillée ; rincer la cuve en fin avec l'eau à analyser.

Remplir la cuve jusqu'au trait de jauge (10 mL), fermer la cuve et bien l'essuyer avec un papier filtre ; l'introduire dans le turbidimètre et appuyer la touche mesure. La valeur numérique s'affiche sur l'écran elle est exprimée en NTU.

N.B : Il arrive que ces deux appareils derniers ne parviennent à donner une valeur aux échantillons d'eaux, ils affichent un (++) alors il faut diluer l'eau au 1/10ème ;

1/5<sup>ème</sup> etc ; et tenir compte du facteur de dilution dans les calculs. **[PROTOCOLE LNE 2008]**

### **III-1-4- Le pH**

#### **III-1-4-1- Matériels utilisés**

pH-mètre crison GLP21 ;

Bécher de 100ml ;

Echantillon d'eau ;

Solution tampon.

#### **III-1-4-2-Principe**

Etalonner le pH-mètre crison GLP21 en plongeant l'électrode de référence dans la solution tampon. Dans un bécher de 100ml rempli d'eau de l'échantillon, plonger l'électrode puis passer à la lecture sur l'écran pH-mètre.



**Photo 2** : pH-mètre crison GLP21

### **III-1-5- Analyse des ions**

Il s'agit de déterminer les anions majeurs (les nitrates, les sulfates, les ortho phosphates, les fluorures, les chlorures, les bromures et les nitrites). Cette détermination se fait par échange d'ion.

#### **III-1-5-1- Matériels utilisés**

Chromatographe ionique 881COMPACT IC PRO-METROHM;

Echantillon d'eau ;

Eau Ultra Pure ;

Becher ;

Fiole ;

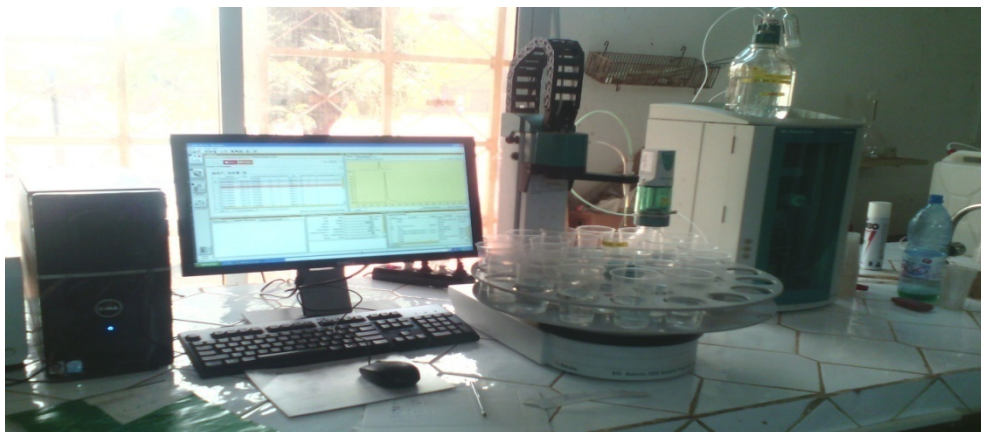
Eprouvette graduée ;

Papier filtre.

### III-1-5-2- Principe

La colonne sépare les anions cités ci-dessus grâce à la différentielle de leur temps de rétention et le détecteur identifie chaque élément sous forme d'un chromatogramme ou pic sur l'écran. Le Logiciel intelligent magiC Net enregistre les résultats dans sa base de données.

N B : Les échantillons turbides sont filtrés et si l'échantillon a une conductivité supérieure à  $500\mu\text{S}/\text{cm}$  ;  $1000\mu\text{S}/\text{cm}$  et  $2000\mu\text{S}/\text{cm}$  alors on dilue respectivement 2 fois ; 4 fois ou 10 fois. Les échantillons nécessitant d'être dilués doivent être avec de l'eau Ultra Pure. L'eau utilisée en chromatographie ionique doit toujours être de l'eau Ultra Pure de résistivité 18Mohms. La verrerie utilisée pour la chromatographie ionique ne doit être utilisée que pour cette technique (bêchers fioles éprouvettes papier filtres). L'unité de mesure est mg/L ou ppm. **[PROTOCOLE LNE 2008]**



**Photo 3:** Chromatographe ionique 881COMPACT IC PRO-METROHM

### III-1-6- L'alcalinité Alc ou TAC, l'acidité et dureté

L'alcalinité complète, la dureté totale et les ions (Magnésiums, calciums, bicarbonates, carbonates et hydroxydes) sont déterminés par un même appareil : le TitrosamplerMetrohm855Robotic par titrage automatisé d'un échantillon d'eau.

### **III-1-6-1- Matériels utilisés et réactifs**

TitrosamplerMetrohm855Robotic

Echantillon d'eau

Éprouvette graduée

Acide sulfurique à 0,02N

Soude à 0,02N

Solution du Tampon

Solution d'EDTA

### **III-1-6-2- Détermination de l'alcalinité Alc ou TAC**

Elle se fait avec l'acide sulfurique à 0,02N. Prélèver 50 mL d'échantillon d'eau dans une éprouvette graduée.

Le dosage s'effectue en fonction du pH.

-Si le pH est supérieur à 4,50 ; doser avec l'acide sulfurique à 0,02N, le résultat s'exprime en mg/L de  $\text{CaCO}_3$  contenue dans l'eau.

### **III-1-6-3- Détermination de l'acidité**

Utiliser la solution d'hydroxyde de sodium 0,02 N ;

Titre l'échantillon jusqu'à un pH de 8,3.

### **III-1-6-4- Détermination de la dureté Totale ou TH**

Après avoir déterminé l'alcalinité, la machine passe automatiquement à déterminer la dureté totale. Doser l'échantillon d'eau de 50mL avec 15mL de la solution du Tampon tris et la solution d'EDTA. Le résultat s'exprime en mg/L de  $\text{CaCO}_3$  et en mg/L pour les ions calcium et magnésium contenue dans l'eau. **[PROTOCOLE LNE 2008]**

### **III-1-7- Le fer**

#### **III-1-7-1- Matériels utilisés et réactifs**

Spectrophotomètre U-V/Visible Lambda25 de la firme Perking Elmer.

Echantillon d'eau

Erlenmeyer

Solution d'acide chlorhydrique

Pipette jaugée

Cuve en quartz

#### **III-1-7-2- Principe**

- ✓ **Acidification de l'échantillon d'eau pendant 24h**

Acidifier l'échantillon pour éviter la formation de l'hydroxyde de fer. Prélever 50mL d'échantillon a analysé dans un erlenmeyer propre. Ajouter 0.5mL de la solution d'acide chlorhydrique au moyen d'une pipette jaugée et placé l'erlenmeyer à l'abri de l'air pendant 24h.

✓ **Détermination de la concentration de Fe<sup>++</sup> par le Spectromètre**

Faire traverser une cuve en quartz contenant l'échantillon d'eau d'un rayonnement lumineux de longueur d'onde et d'intensité  $I_0$  d'où la loi de Beer Lambert.  $A : \log I_0/I$ . La lecture se fait à la longueur d'onde de 510 nm et s'exprime mg/L.

**[PROTOCOLE LNE 2008]**

**III-1-8- Détermination des ions alcalins**

**III-1-8-1- Matériels utilisés et réactifs**

Spectrophotomètre à flamme ;

Béchers de 50 ml ;

Echantillon d'eau ;

Solutions d'étalons.

**III-1-8-2- Mode opératoire**

✓ **Sodium Na<sup>+</sup>**

Brancher le spectrophotomètre à flamme pendant 15 minutes avant de commencer la détermination des concentrations de différents étalons

On étalonne d'abord avec : 0 ppm → 0  
20 ppm → 100

Continuer à vérifier les autres étalons lorsqu'il y a stabilité

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

Commencer alors l'analyse des échantillons. Si la valeur dépasse 75 il faut diluer.

✓ **Potassium K<sup>+</sup>**

Après analyse du sodium, on ferme le gaz

- Si la flamme s'éteint, fermer l'appareil pendant 15mn.

- Après refroidissement changer de gamme

Passer du sodium au potassium

- Après 15mn, lorsque l'appareil se refroidit
- Rallumer l'appareil, attendre 15mns et commencer la détermination des concentrations de différents étalons

Etalonner d'abord avec 0ppm → 0

10ppm → 100 on étalonne jusqu'à 4fois

Continuer à vérifier les autres étalons lorsqu'il y a stabilité

2 ppm → 20

4 ppm → 40

6 ppm → 60

8 ppm → 80

10 ppm → 100

Et ensuite commencer l'analyse des échantillons. Si la valeur dépasse 80 il faut diluer.

### III-1-9- Les solides Dissous ou TDS

La matière Dissoute est la somme de la minéralisation c'est-à-dire la quantité de l'ensemble des cations et anions se trouvant dans l'eau. Elle est fonction de la conductivité.

Si la conductivité < 50 alors ; TDS : 1,365\*conductivité.

Si la conductivité est comprise entre 50 et 166 alors ; TDS : 0,948\*conductivité.

Si la conductivité est comprise entre 166 et 333 alors ; TDS : 0,770\*conductivité.

Si la conductivité est comprise entre 333 et 833 alors ; TDS : 0,716\*conductivité.

Si la conductivité est comprise entre 833 et 10000 alors ; TDS : 0,759\*conductivité.

Si la conductivité >10000 ; alors TDS : 0,850\*conductivité. Un logiciel (ACESS) leurs permettent de calculer automatiquement le TDS. [PROTOCOLE LNE 2008]

### III-2- Paramètres bactériologiques

L'étude bactériologique à concerné les germes indicateurs de contamination fécale : les coliformes totaux et fécaux.

### III-2-1- Matériels utilisés

Echantillon d'eau ;  
Rampe de filtration ;  
Autoclave ;  
Etuve ;  
Compteur de colonies ;  
Turbidimètre ;  
pH-mètre ;  
Chromatographe (metrohm) ;  
Glacière ;  
Papier filtre millipore ;  
Bec benzène ;  
Pince stérile ;  
Boite de pétri ;  
Incubateurs.

### III-2-2- Principe

#### ✓ Filtration

Prélever 100 ml d'échantillon d'eau puis filtrées à travers d'une membrane de filtration (papier filtre millipore) à l'aide d'une rampe de filtration (Photo 4) préalablement flambé avec le bec benzène.

Retirer ensuite le papier filtre millipore de la rampe de filtration à l'aide d'une pince stérile et l'ensemencer.





**Photo 4:** rampe de filtration.

✓ **culture et ensemencement**

Après la séance de filtration les papiers filtre millipore contenant les résidus d'eau sont placés dans 2 boîtes de pétri contenant les milieux de cultures prêts à l'emploi (m- endo total coliformBroth et m- FC Broth Ampoule ; voir tableau XVIII).

Placer ensuite boîtes de Pétri dans des incubateurs où les températures ont été réglées de la façon suivante (à 37°C pour les *coliformes totaux*, à 44°C pour les *coliformes fécaux* et à 39°C pour les *E. Coli*) pendant une durée de 24 heures.

Cette technique permet le développement des microorganismes en surface

**Tableau XVIII** : Composition des milieux de culture

m-Endocoliforme total en bouillon	m-Fc ( <i>coliforme fécal</i> ) avec Acide rosolique
Tryptose1	Biostate peptone
Fuchsine basique	Lactose
Chloride de sodium	Aniline Blue
Di potassium de phosphate	Acide rosolique
Mono potassium de phosphate	Chloride de sodium
Desoxycholate de sodium	Levure extrait
Ethanol 95°	Hydroxyde de sodium
Sulfite de sodium	Poly peptone de peptone
Lauryl sulfate de sodium	Bile salée
Lactose	-
Pectine digestif de tissu animal	-
Caséine de digestion pancréatique	-
Poly pectine de peptone	-

✓ **Dénombrement**

Après la période d'incubation, chacun des germes montre des manifestations différentes (voir tableau 4) en surface et qui sont en suite dénombré à l'aide d'un compteur de colonie (voir photo 2).



**Photo 5** : photo de compteur de colonie

**Tableau XIX** : la culture des germes indicateurs de contamination

<b>Germes</b>	<b>Temps d'incubation</b>	<b>Manifestations</b>	<b>Milieux de culture</b>
Coliformes totaux	37°C/24h	Colonies rouge	m-Endo total coliform Broth
Coliformes fécaux	44°C/24h	Colonies jaune	m-FCBroth Ampoules

# RESULTATS

## I-Echantillons

Pour évaluer la qualité des eaux de consommation de Bamako, nous avons analysé neuf cent échantillons (forages, puits et robinets) dont : 699 en eaux de forages soit 77.7 % ; 131 échantillons en eaux de puits soit 14.5% et 70 échantillons eaux de robinets soit 7.8%.

**Tableau XX** : répartition des échantillons en fonction de leur provenance :

TYPES D'EAU	FORAGES	PUITS	ROBINETS	TOTAL
COMMUNE I	198	9	5	212
COMMUNE II	26	4	7	37
COMMUNE III	18	0	0	18
COMMUNE IV	72	16	11	99
COMMUNE V	99	44	10	153
COMMUNE V	286	58	37	381
<b>TOTAL</b>	<b>699 / 77.7%</b>	<b>131 / 14.5%</b>	<b>70 / 7.8%</b>	<b>900/ 100%</b>

## II-PARAMETRES

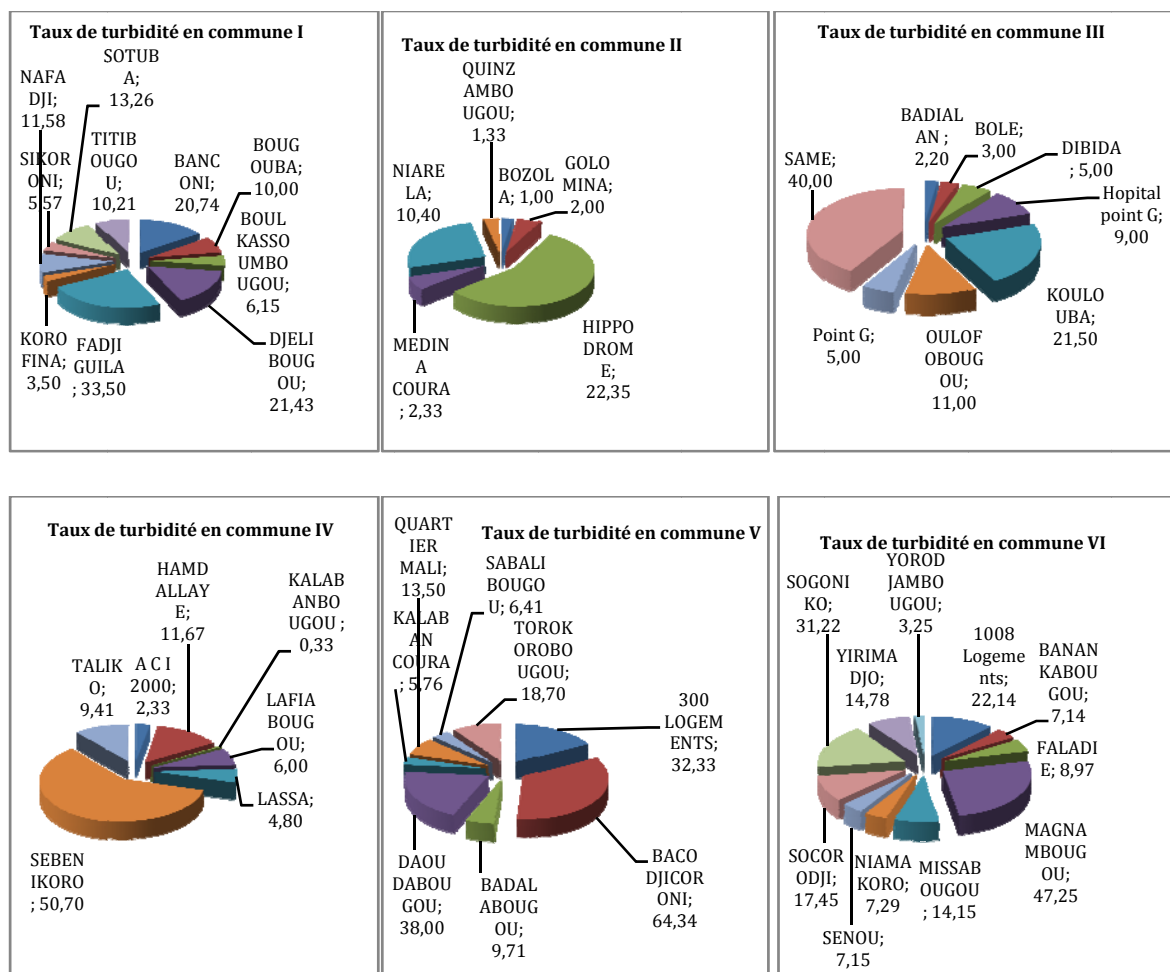
Les paramètres étudiés sont : les paramètres organoleptiques, bactériologiques et physicochimiques.

### II-1-les paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques sont : la couleur, la turbidité, l'odeur et la saveur. Mais les deux derniers caractères relevant de l'appréciation individuelle, seules la couleur et la turbidité ont été prises en compte au Laboratoire National des Eaux.

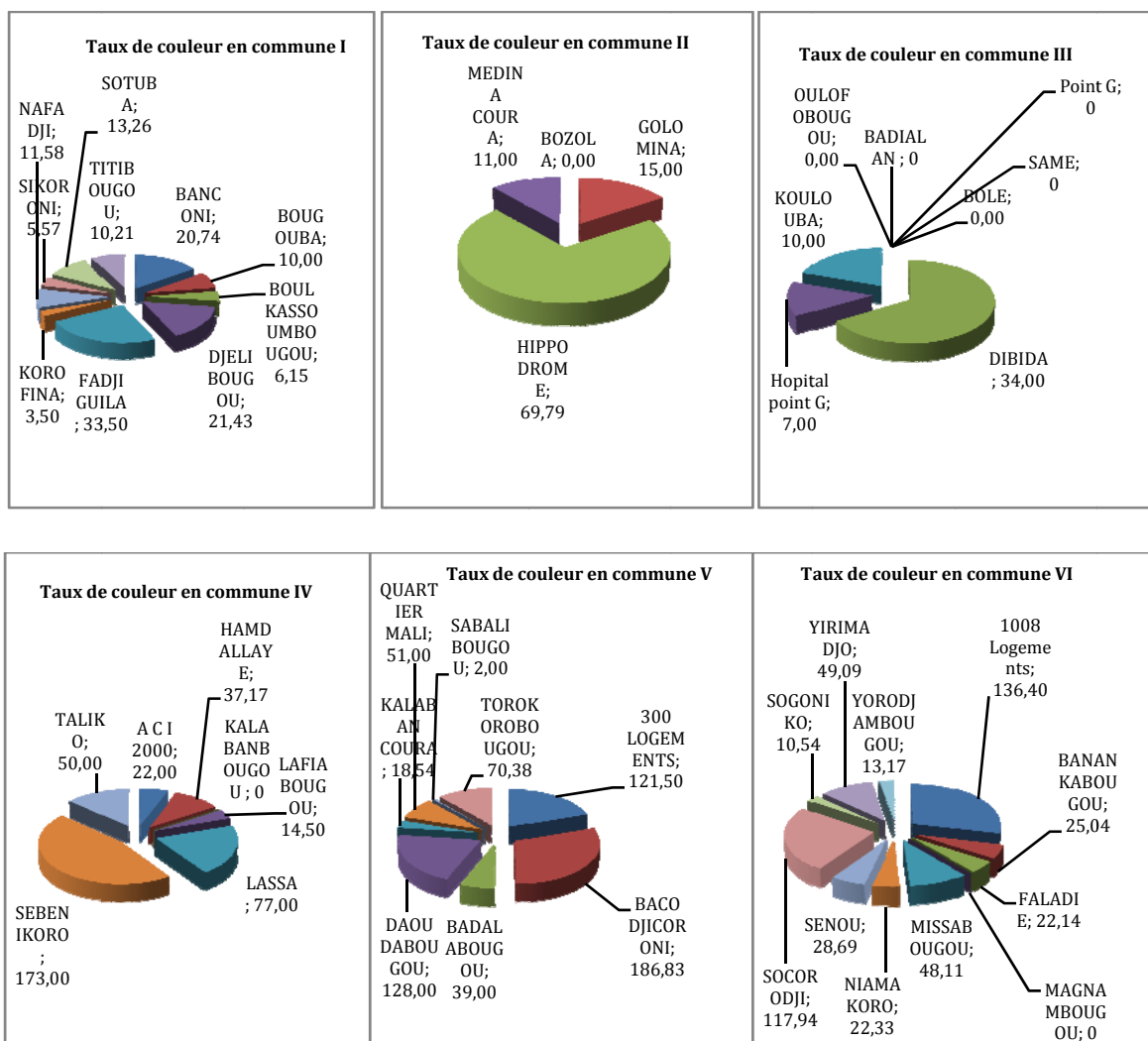
## II-1-1- Paramètres organoleptiques des eaux de forages

### II-1-1-1- Le taux de turbidité des eaux de forages dans le District de Bamako



Dans nos résultats des eaux de forages, celles qui répondent aux exigences de l'OMS sont : les eaux de Korofina, de Bozola, de N'Golonina, de Medina Coura, de Badialan, de Bolé, Point G, Dibida, de l'ACI 2000, de Kalabanbougou, de Lassa et de Yorodjambougou.

## II-1-1-2- Taux de couleur des eaux de forages dans le District de Bamako

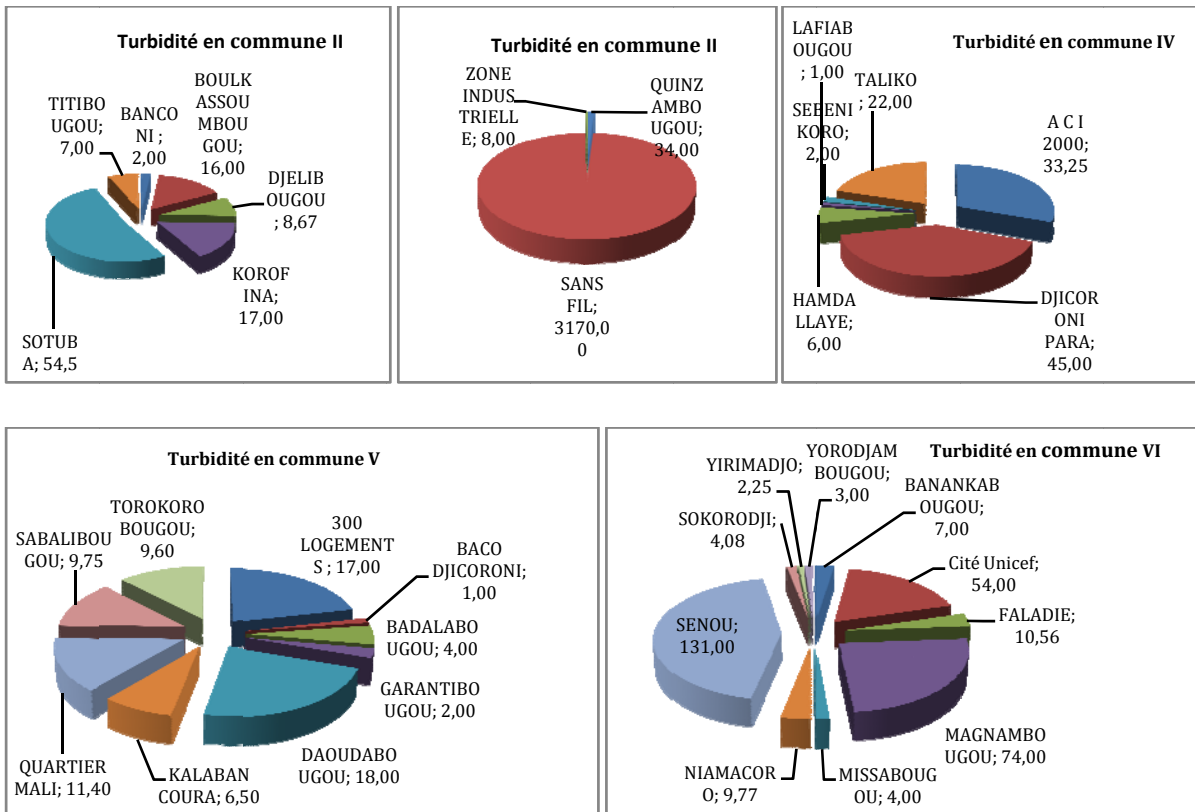


Les eaux de notre étude qui répondent aux exigences OMS sont : les eaux de Nafadji, Sotuba, Titibougou, Boukassoumbougou, Bougouba, Korofina, Sikoroni, Médina Coura, Bozola, Golomina, Point G, Koulouba, Oulofobougou, Badialan, Samé, Bolé, Kalabanougou, Lafiabougou, Sabalibougou, Sogoniko, Yorodjambougou, Sogoniko et Magnambougou.

## II-1-2- Paramètres organoleptiques des eaux de puits

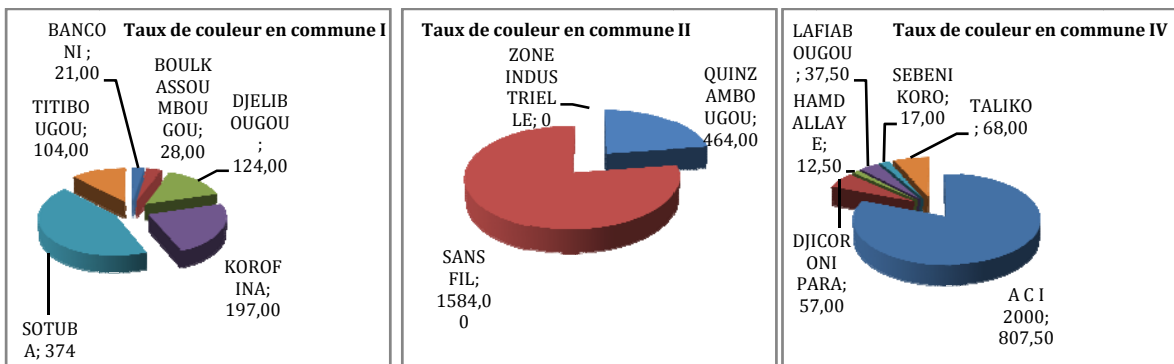
NB : durant notre étude, en commune III, nous n'avons eu aucun échantillon de puits.

**II-1-2-1- La turbidité des eaux de puits dans le District de Bamako**



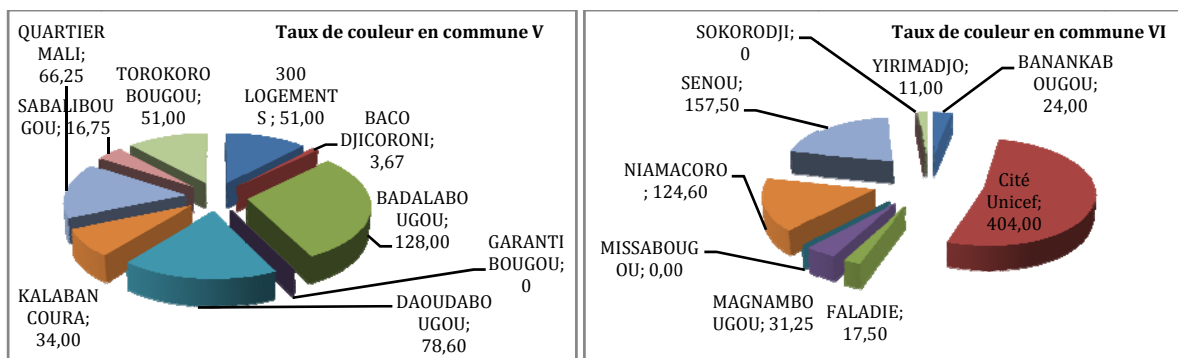
De nos résultats, sont conformes à la directive OMS, les eaux de puits de Banconi, Sans fil, Lafiabougou, Sébénikoro, Bacodjicoroni, Badalabougou, Garantibougou, Sokorodji, Yirimadjo et Yorodjambougou.

**II-1-2-2- Le taux de couleur des eaux de puits dans le District de Bamako.**





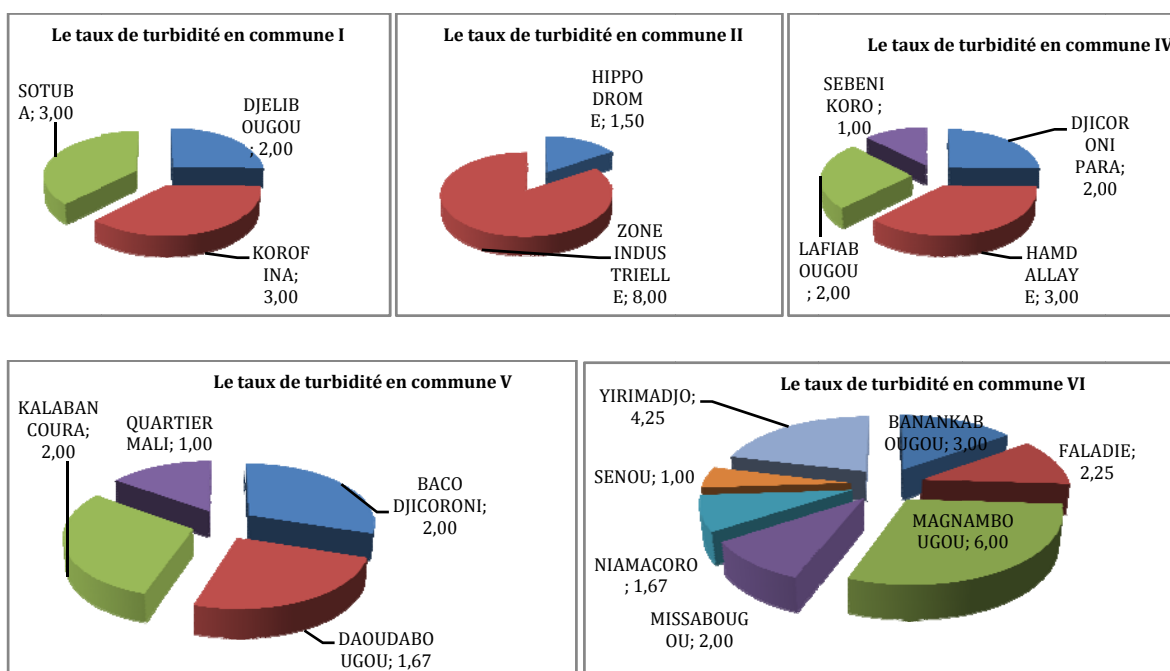
## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako



Les eaux de notre étude qui répondent aux directives de l'OMS, de 15 UCV sont : celles de la Zone industrielle, Sans fil, Hamdallaye, Bacodjicoroni, Garantibougou, Yirimadjo, Sokorodji et Missabougou.

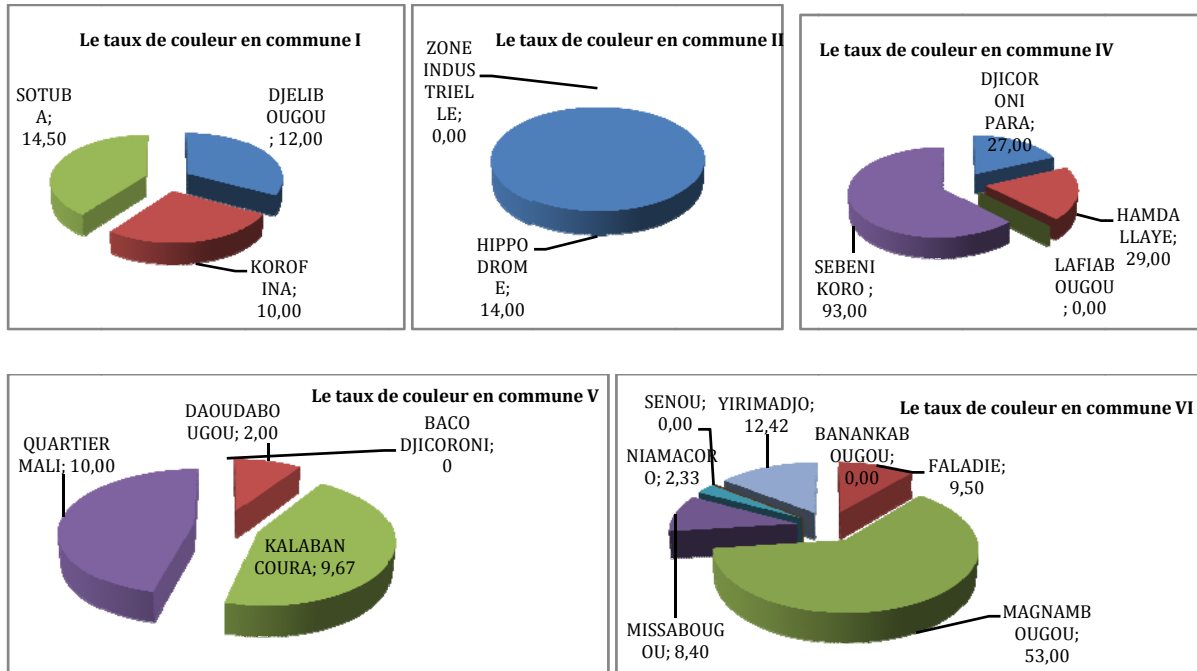
### II-1-3- Paramètres organoleptiques des eaux de robinets :

#### II-1-3-1- Le taux de turbidité des eaux de robinet dans le District de Bamako.



Le projet de norme malienne fixe une valeur admissible de turbidité de 5NTU pour les eaux de robinet. Toutes les eaux de robinet de notre étude répondent aux exigences OMS de 5NTU excepté celles de la Zone industrielle et de Magnambougou.

### II-1-3-2- Le taux de couleurs des eaux de robinet dans le District de Bamako.



Toutes les eaux de robinet de notre étude répondent aux exigences OMS de 15UCV excepté celles de Djicoroni para, Sébénikoro, Hamdallaye et Magnambougou.

## II-2-Paramètres bactériologiques

Dans notre étude, les paramètres bactériologiques ont été moins pris en compte par rapport aux paramètres physico-chimiques. Cependant quelques échantillons en provenance des différentes communes ont été analysés :

- commune I ont été analysés: 8 échantillons de forage, 6 échantillons de puits et un seul échantillon de robinet,
- commune II : 4 échantillons de forage, 3 échantillons de puits,
- aucun échantillon des communes III et IV,
- commune V : 6 échantillons de forages, 5 échantillons de puits et 4 échantillons de robinets
- puis en commune VI : 17 échantillons de forages, 4 échantillons de puits et 16 échantillons de robinets.

## II-2-1- Bactériologie des eaux de forages de la commune I

Tableau XXI : qualité bactériologique des eaux de forages de la commune I

LIEU DE PRELEVEMENT	COLIFORMES TOTAUX /100ml	COLIFORMES FECAUX /100ml
BOULKASSOUMBOUGOU	101	0
DJELIBOUGOU	0	0
KOROFINA	101	101
SOTUBA	101	49
TITIBOUGOU	100	0
<b>MOYENNE</b>	<b>81</b>	<b>30</b>

Les directives OMS fixent pour les coliformes totaux une valeur guide de 0 UFC/100 ml donc il va s'en dire que les coliformes fécaux et les entérocoques ne sont pas admissibles. Le projet de norme malienne admettait une valeur de 10 UFC/100 ml pour les coliformes totaux et 0 UFC/100 ml pour les coliformes fécaux.

## II-2-2-Bactériologie des eaux de puits de la commune I

Tableau XXII : qualité bactériologique des eaux de puits de la commune I

LIEU DE PRELEVEMENT	COLIFORMESTOTAUX /100ml	COLIFORMES FECAUX /100ml
<b>BANCONI</b>	70	0,00
<b>BOULKASSOUBOUGOU</b>	100	100
<b>DJELIBOUGOU</b>	100	0
<b>NAFADJI</b>	100	0
<b>SOTUBA</b>	101	101
<b>TITIBOUGOU</b>	100	1
<b>MOYENNE</b>	<b>100</b>	<b>41</b>

Aucune des eaux de puits de la commune I de notre étude n'est conforme à la directive OMS.

## II-2-3- Bactériologie des eaux de forages de la commune II

Tableau XXIII : qualité bactériologique des eaux de forages de la commune II

LIEU DEPRELEVEMENT	COLIFORMESTOTAUX /100ml	COLIFORMES FECAUX /100ml
CITE DU NIGER	101	0
HIPPODROME	15	3
Quinzambougou	101	101
<b>MOYENNE</b>	<b>72</b>	<b>34</b>

En commune II, aucun échantillon des eaux de forages n'est conforme à la directive OMS.

## II-2-4-Bactériologie des eaux de forages de la commune V

Tableau XXIV : qualité bactériologique des eaux de forages de la commune V

LIEU DE PRELEVEMENT	COLIFORMES TOTAUX /100ml	COLIFORMES FECAUX /100ml
Bacodjicoroni	101	2
BANANKABOUGOU	101	0
KALABAN COURA	35	0
TOROKOROBOUGOU	101	101
<b>MOYENNE</b>	<b>85</b>	<b>26</b>

En commune V, aucune des eaux de forages de notre étude n'est conforme à la directive OMS.

## II-2-5- Bactériologie des eaux de puits de la commune V

Tableau XXV : qualité bactériologique des eaux de puits de la commune V

LIEU DE PRELEVEMENT	COLIFORMES TOTAUX /100ml	COLIFORMES FECAUX /100ml
BADALABOUGOU	101	101
GARANTIBOUGOU	101	58
KALABAN COURA	101	76
<b>MOYENNE</b>	<b>101</b>	<b>78</b>

Aucun échantillon des eaux de puits de la commune V de notre étude n'est conforme à directive OMS.

## II-2-6- Paramètres relatifs aux forages de la commune VI

Tableau XXVII : qualité bactériologique des eaux de forages de la commune VI

LIEU DE PRELEVEMENT	COLIFORMES TOTAUX /100ml	COLIFORMES FECAUX /100ml
BANANKABOUGOU	101	29
FALADIE	5	0
Magnambougou	28	0
SOGONIKO	101	0
SOKORODJI	0	2
YIRIMADIO	50	1
YORODJAMBOUGOU	101	3
<b>MOYENNE</b>	<b>55</b>	<b>5</b>

En commune VI, seules les eaux de forage de Sokorodji sont conformes à la directive de l'OMS.

## II-2-7- Bactériologie des eaux de puits de la commune VI

Tableau XXVIII : qualité bactériologique des eaux de puits de la commune VI

LIEU DE PRELEVEMENT	COLIFORMESTOTAUX /100ml	COLIFORMESFECAUX /100ml
FALADIE	25	3
MAGNAMBOUGOU	27	0
YIRIMADJO	100	4
YORODJANBOUGOU	100	100
<b>MOYENNE</b>	<b>63</b>	<b>27</b>

En commune VI, aucune des eaux de puits de notre étude n'est conforme à la directive OMS. .

## II-2-8- Bactériologie des eaux de robinets de la commune V

Tableau XXVI : qualité bactériologique des eaux de robinets de la commune V

LIEU DE PRELEVEMENT	COLIFORMESTOTAUX /100ml	COLIFORMES FECAUX /100ml
DAOUDABOUGOU	0	0
KALABAN COURA	37	0
<b>MOYENNE</b>	<b>19</b>	<b>0</b>

En commune V, les eaux de robinet de Daoudabougou contrairement à celle de Kalabancoura, sont conformes à la directive OMS.

## II-2-9- Bactériologie des eaux de robinets de la commune VI

Tableau XXIX : qualité bactériologique des eaux de robinets de la commune VI

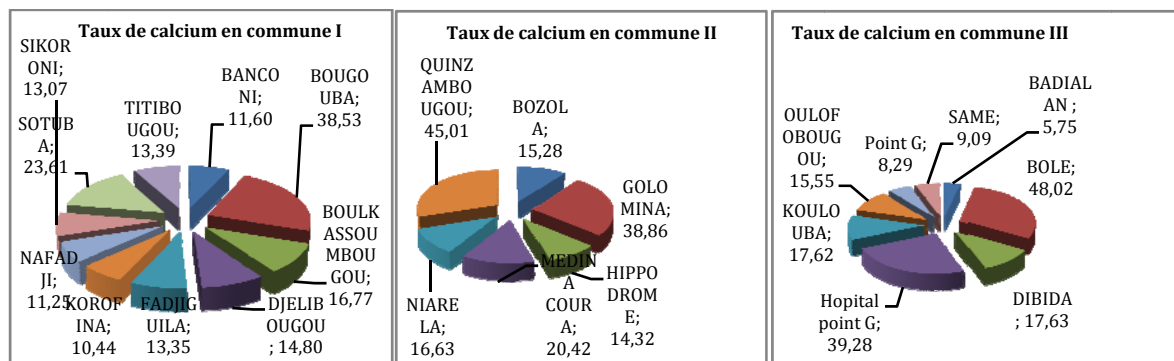
LIEU DE PRELEVEMENT	COLIFORMES TOTAUX /100ml	COLIFORMES FECAUX /100ml
FALADIE	0	0
MISSABOUGOU	0	0
NIAMACORO	6	0
YIRIMADJO	8	7
<b>MOYENNE</b>	<b>4</b>	<b>2</b>

Les eaux de robinet de Faladiè et de Missabougou sont conformes à la directive OMS. Mais le cas de Yirimadjo mérite une surveillance avec la présence des coliformes fécaux.

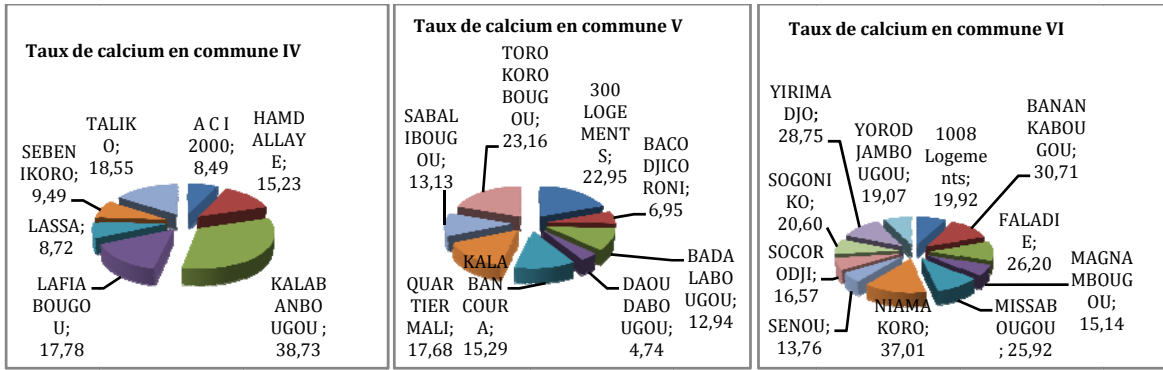
## II-3-Paramètres physico-chimiques

### II-3-1- Paramètres relatifs aux forages dans le District de Bamako.

#### II-3-1-1- Le taux de calcium des eaux de forages dans le District de Bamako

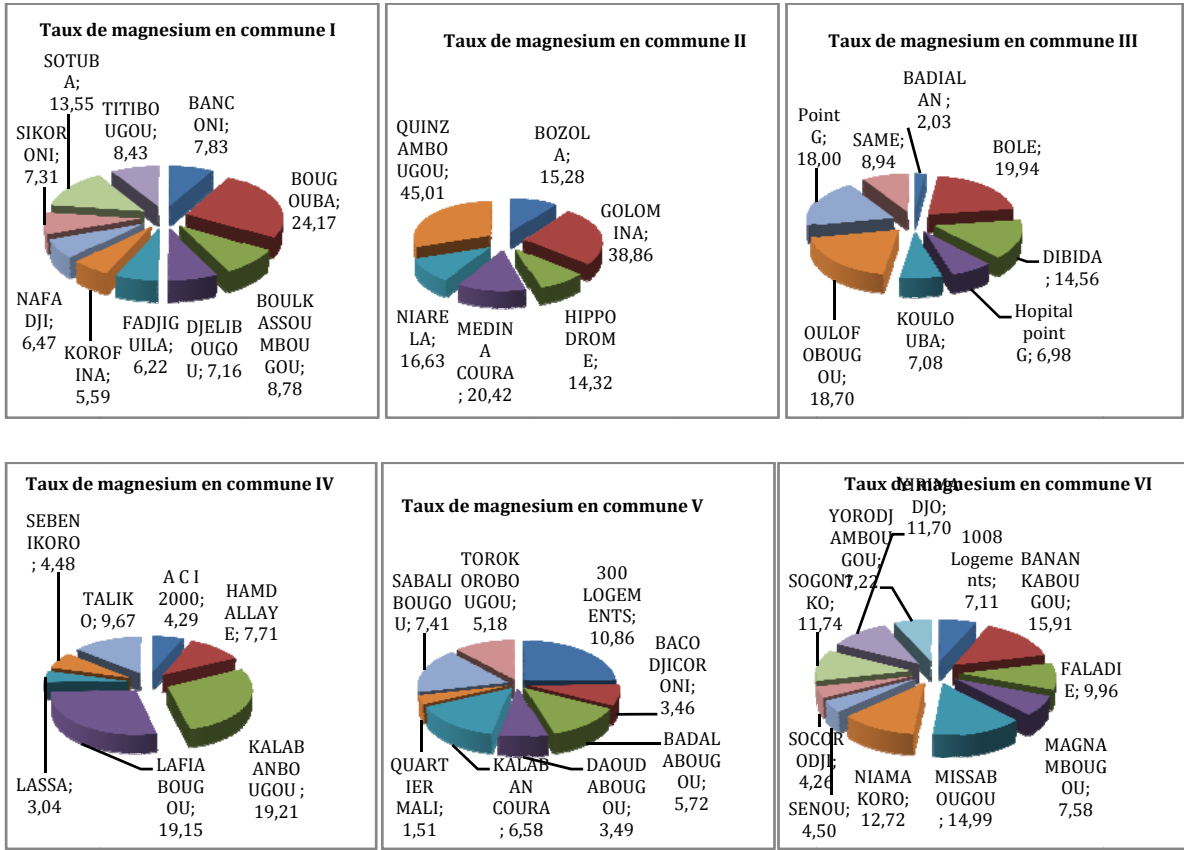


## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako



La teneur en calcium de toutes les eaux de forages de notre étude est conforme à la directive OMS.

### II-3-1-2-Le taux de magnésium des eaux de forages dans le District de Bamako

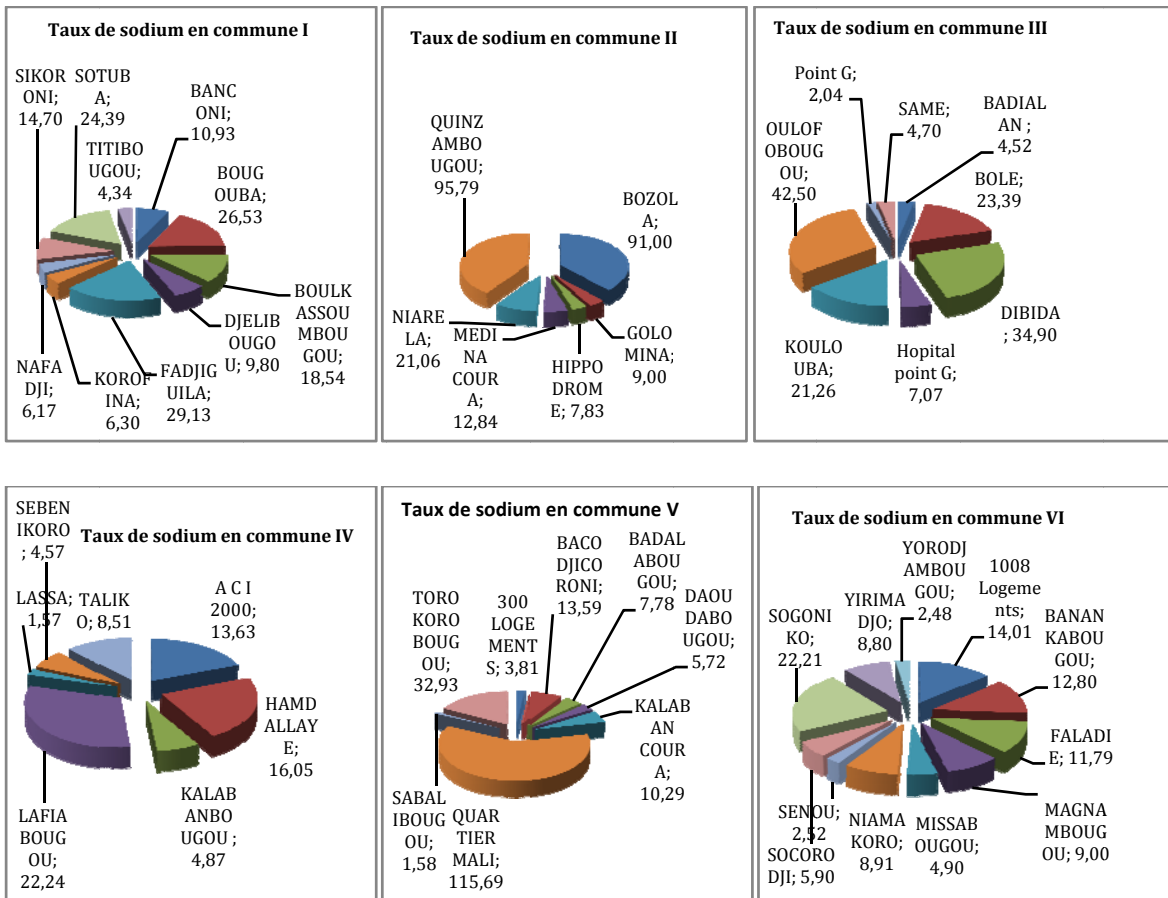


Les directives OMS fixent une valeur admissible maximale de 50 mg/l d'eau alors que le projet de norme malienne prévoit 200mg/l d'eau comme valeur admissible maximale.

La teneur en magnésium de toutes les eaux de forage de notre étude est conforme à la directive OMS.

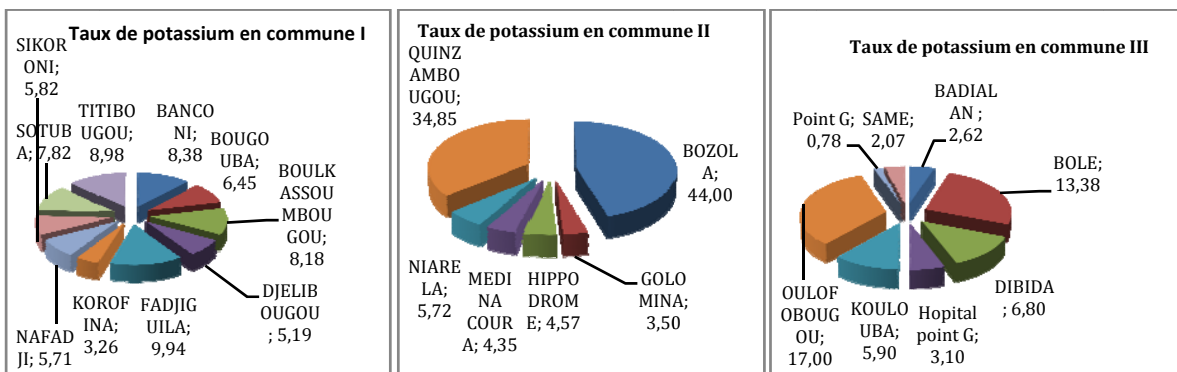


**II-3-1-3- Le taux de sodium des eaux de forages dans le District de Bamako**

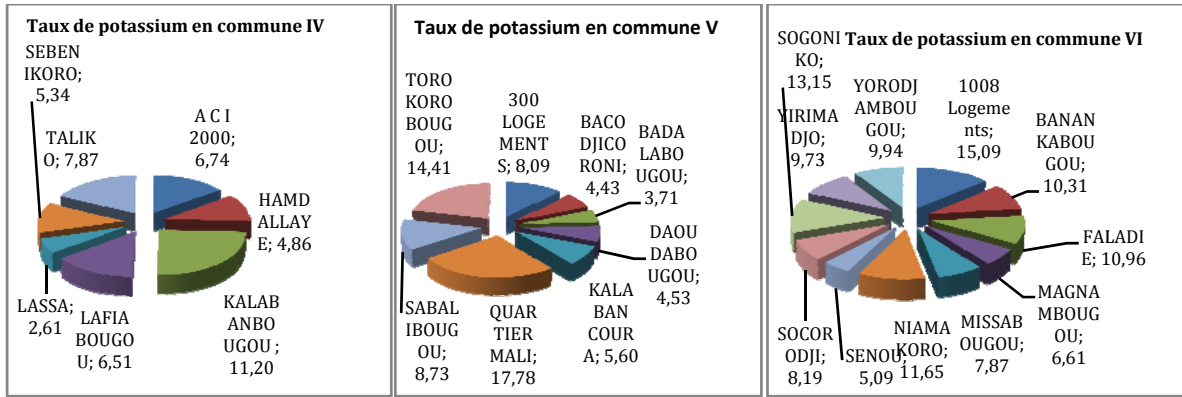


Le projet de norme malienne prévoyait une concentration maximale admissible de 400mg/l d'eau. La plus forte concentration en sodium dans notre étude a été trouvée au Quartier Mali en commune V avec un taux de 115,69mg/l.

**II-3-1-4- Le taux de potassium des eaux de forages dans le District de Bamako**

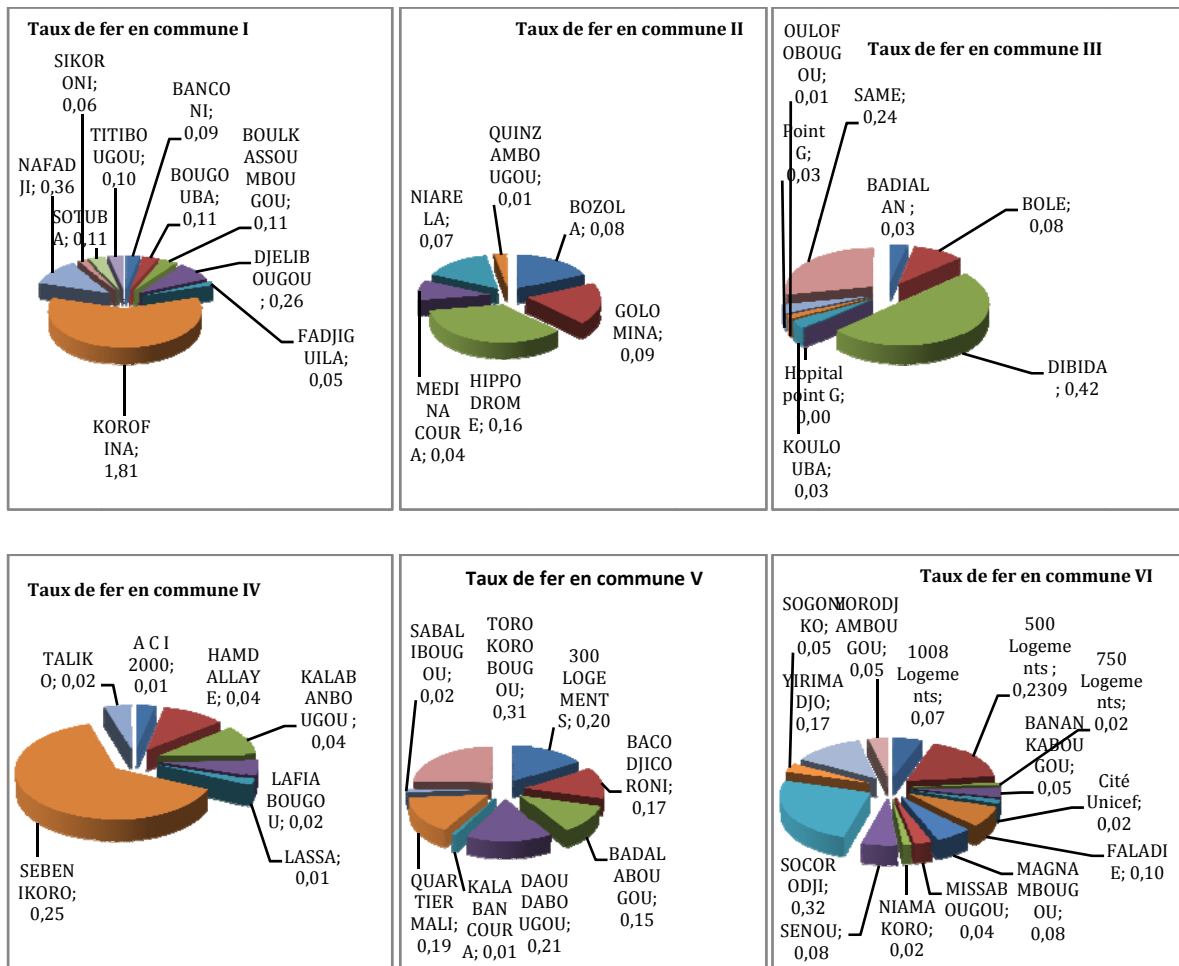


## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako



Le projet de norme malienne prévoit une concentration maximale admissible de 100 mg/l d'eau. Dans notre étude la plus forte concentration en potassium a été enregistrée à Bozola avec 44 mg/l d'eau.

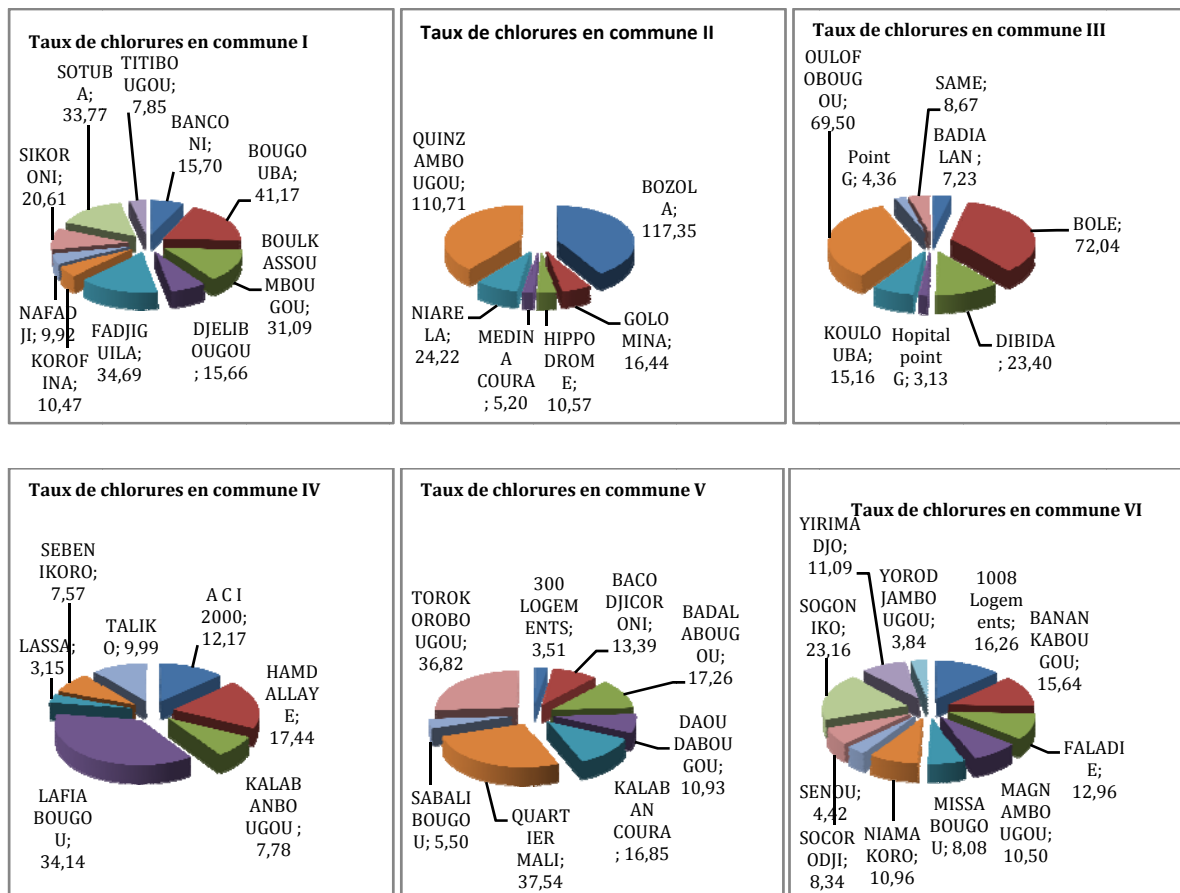
### II-3-1-5- Le taux de fer des eaux de forages dans le District de Bamako



L'OMS dans ses directives fixe une valeur guide de 0,3 mg/l d'eau. Le projet de norme malienne prévoit aussi cette même valeur. Toutes les eaux de forages de

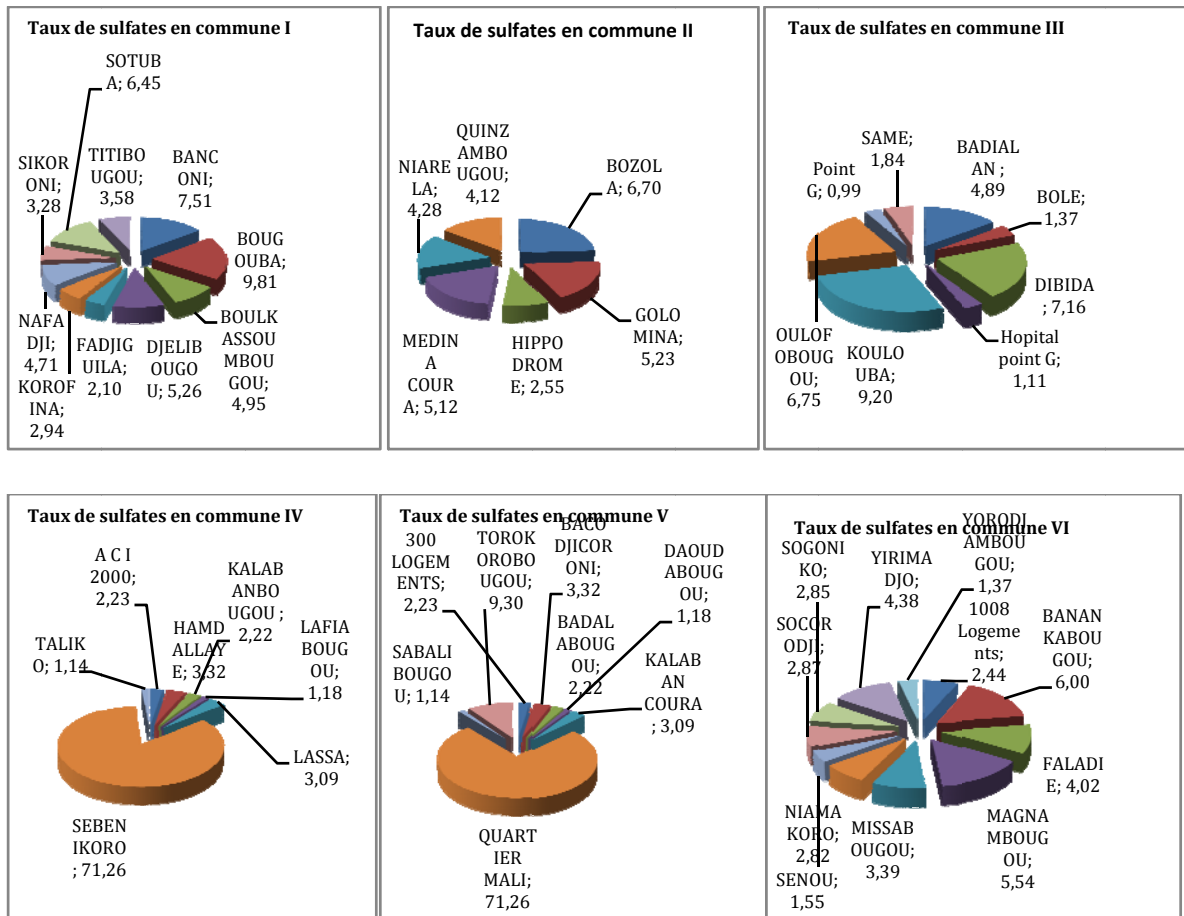
notre étude sont conformes à la directive de l'OMS exceptées celles de Korofina et Dibida.

### II-3-1-6- Le taux de chlorures des eaux de forages dans le District de Bamako



Le projet de norme malienne prévoit une concentration maximale admissible de 600 mg/l d'eau. La plus forte concentration est alors enregistrée dans la cité du Niger (142 mg/l d'eau).

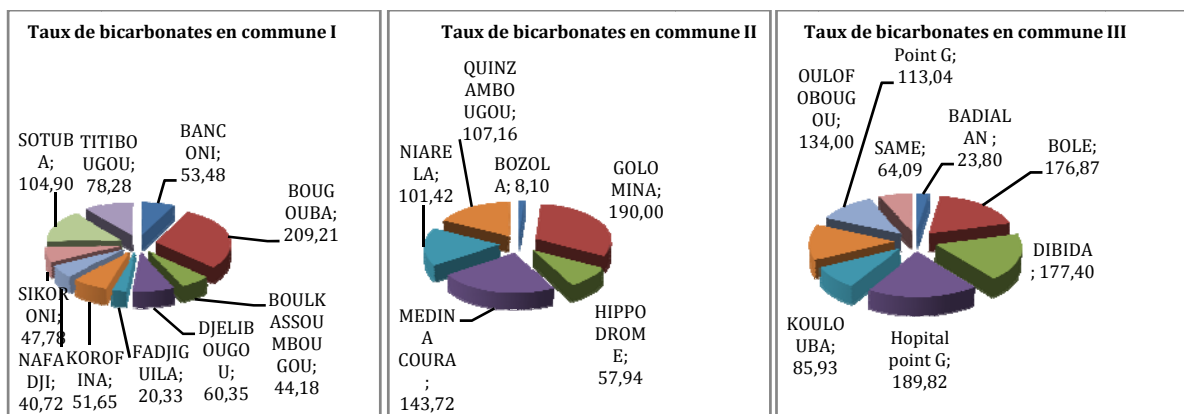
**II-3-1-7- Le taux de sulfates des eaux de forages dans le District de Bamako**



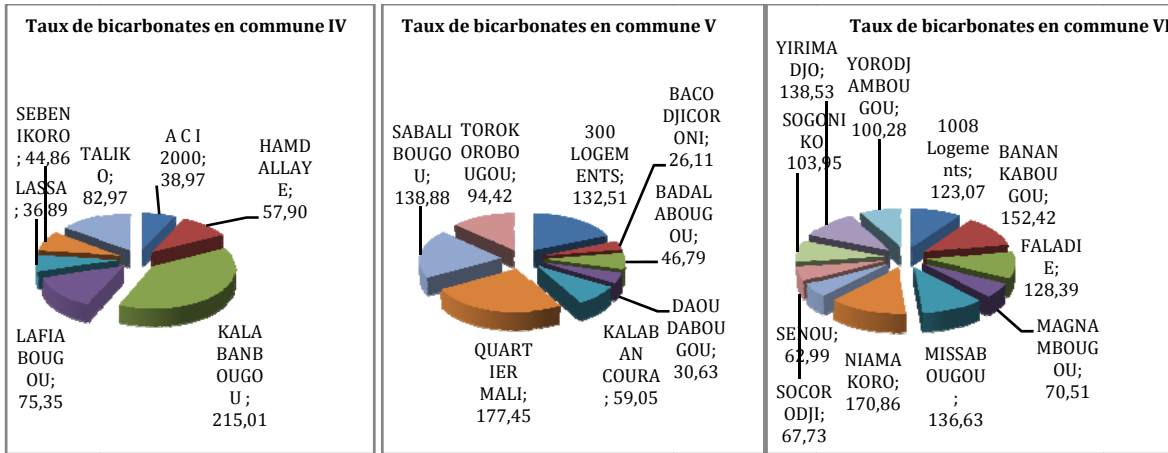
L'OMS dans ses directives fixe une valeur guide de 250 mg/l d'eau. Le projet de norme malienne prévoit une valeur maximale admissible de 500 mg /l d'eau.

Toutes les eaux de forage de notre sont conformes à la directive OMS.

**II-3-1-8- Le taux de bicarbonates des eaux de forages dans le District de Bamako**

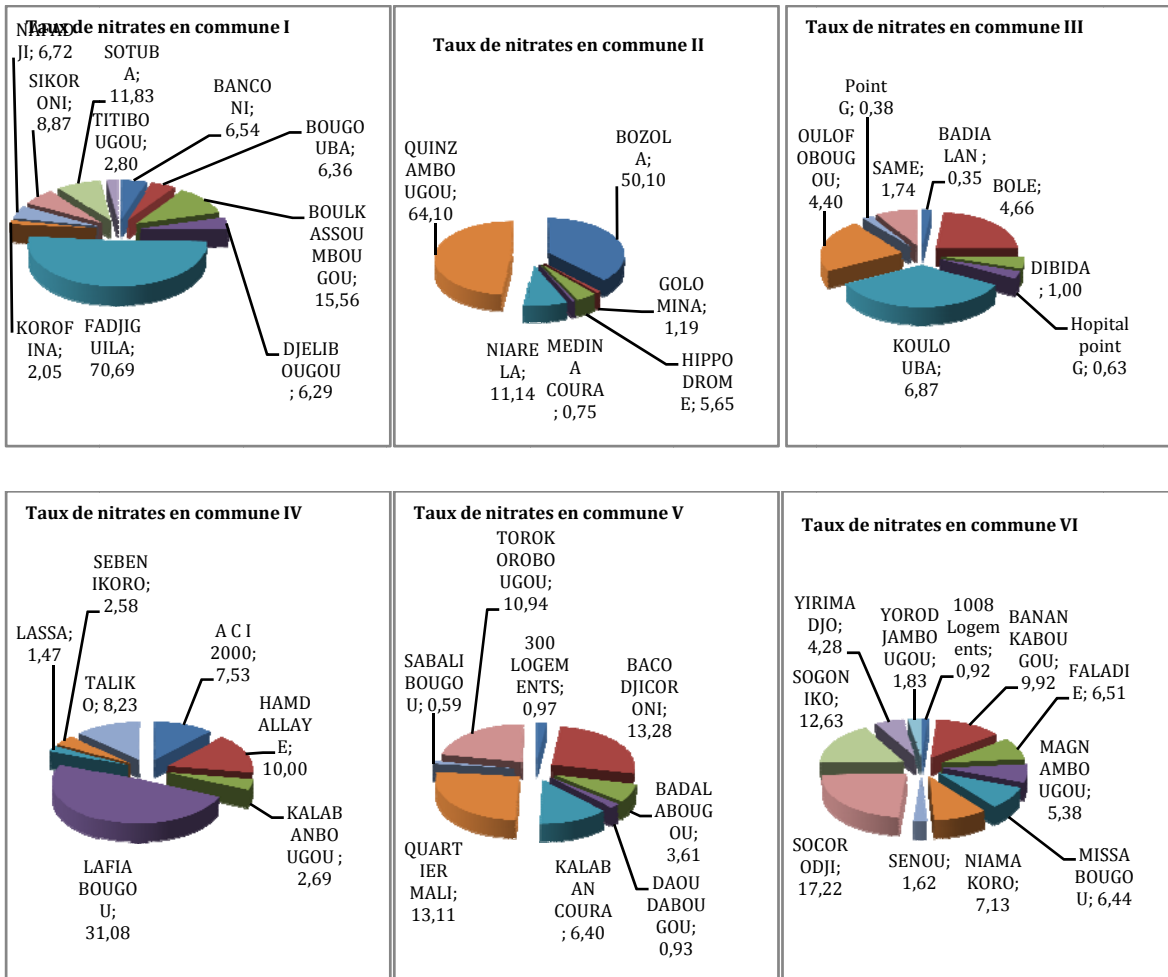


## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako



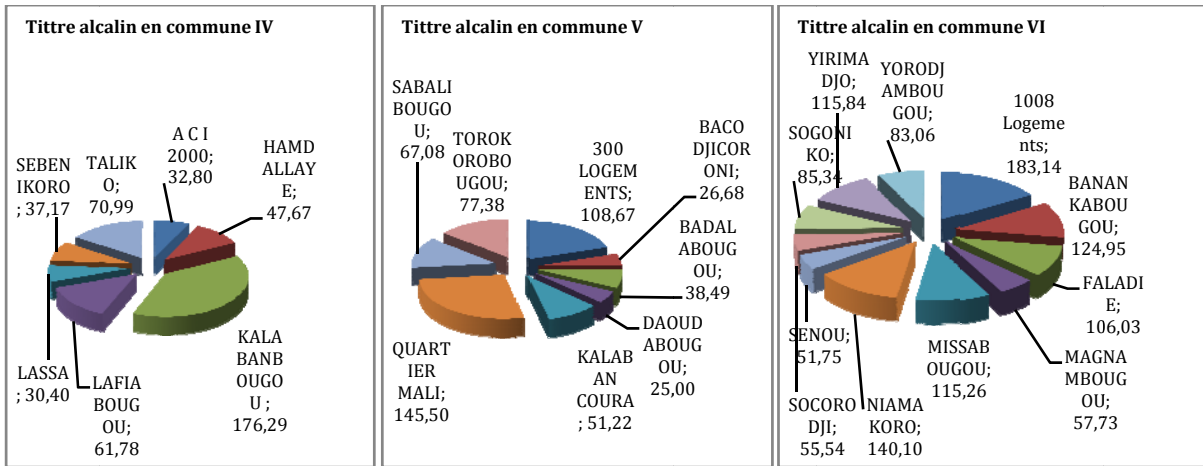
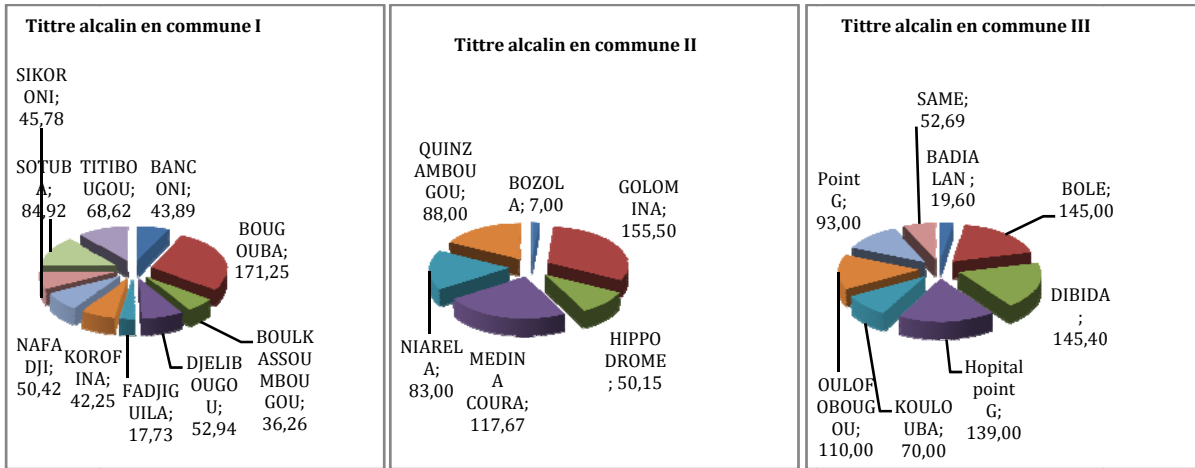
Ni l’OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe de valeur maximale admissible.

### II-3-1-9-Le taux de nitrates des eaux de forages dans le District de Bamako



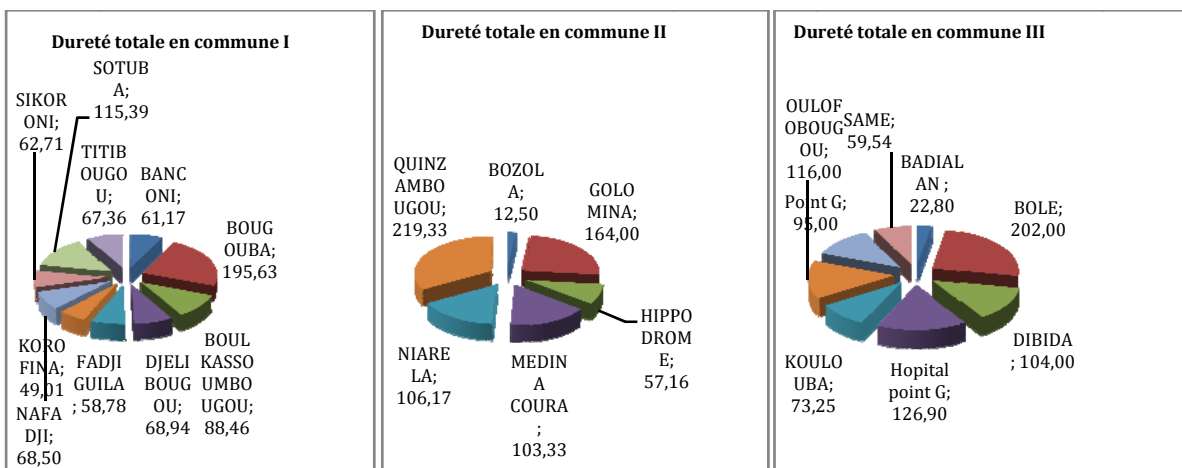
L’OMS et le projet de norme malienne fixe tous les deux une valeur maximale admissible de 50,0 mg / l d’eau. Toutes les eaux de forage de notre étude répondent à cette valeur exceptée celles de Quinzambougou et Fadjiguilla.

**II-3-1-10-L'alcalinité des eaux de forages dans le District de Bamako**

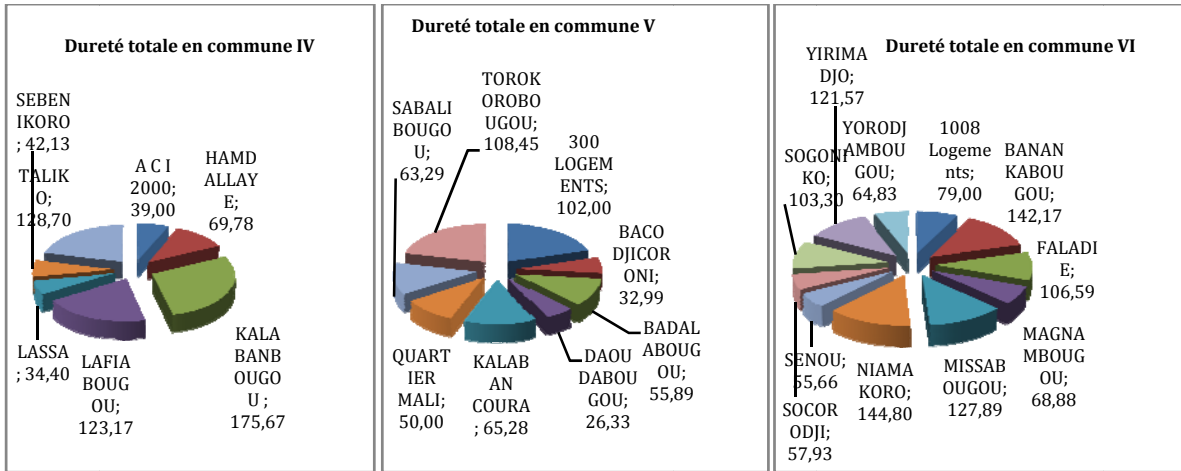


Ni l'OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe de valeur maximale admissible pour l'alcalinité dans les eaux de consommation.

**II-3-1-11-Dureté totale des eaux de forages dans le District de Bamako**

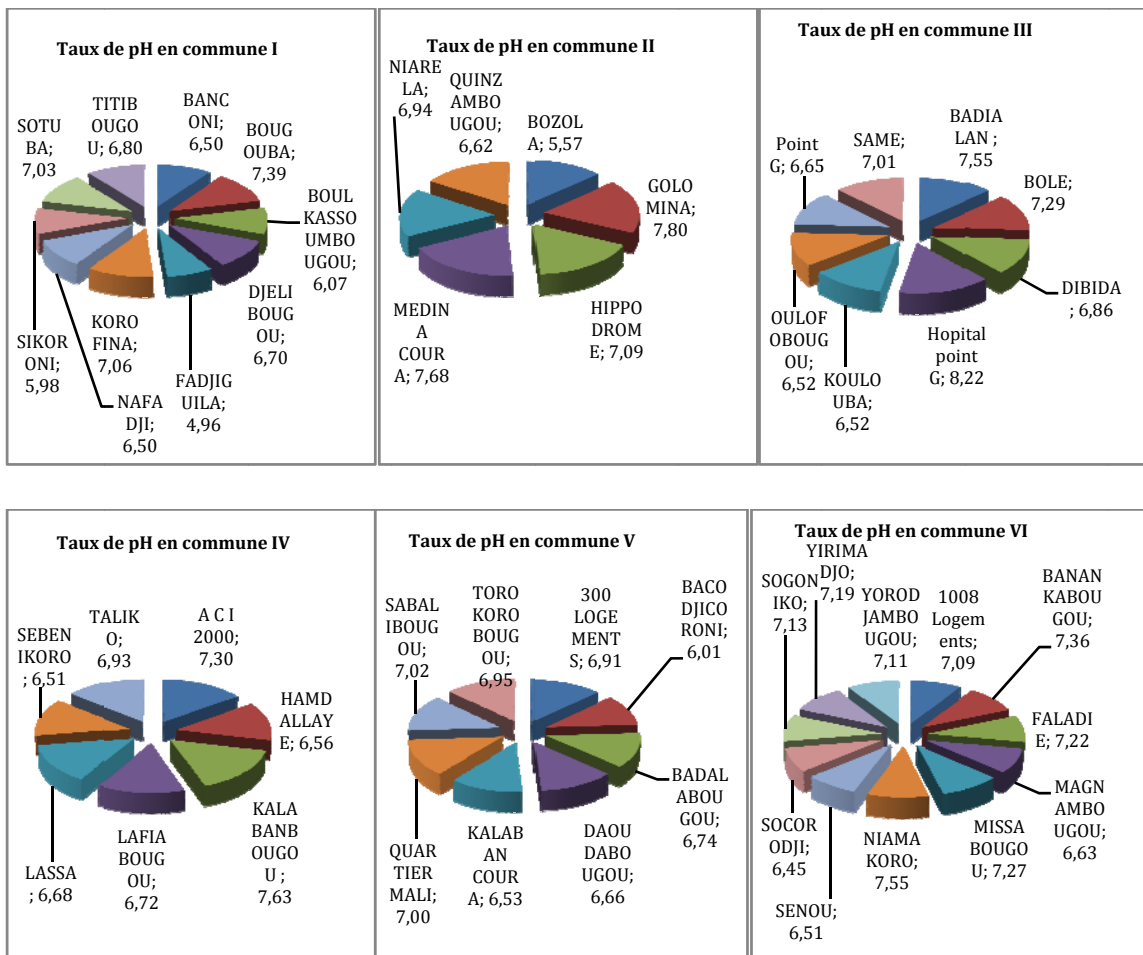


## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako



Les eaux de forage de notre étude qui excèdent la valeur OMS de 200 mg/l d'eau sont celles de Quinzambougou et Bolé.

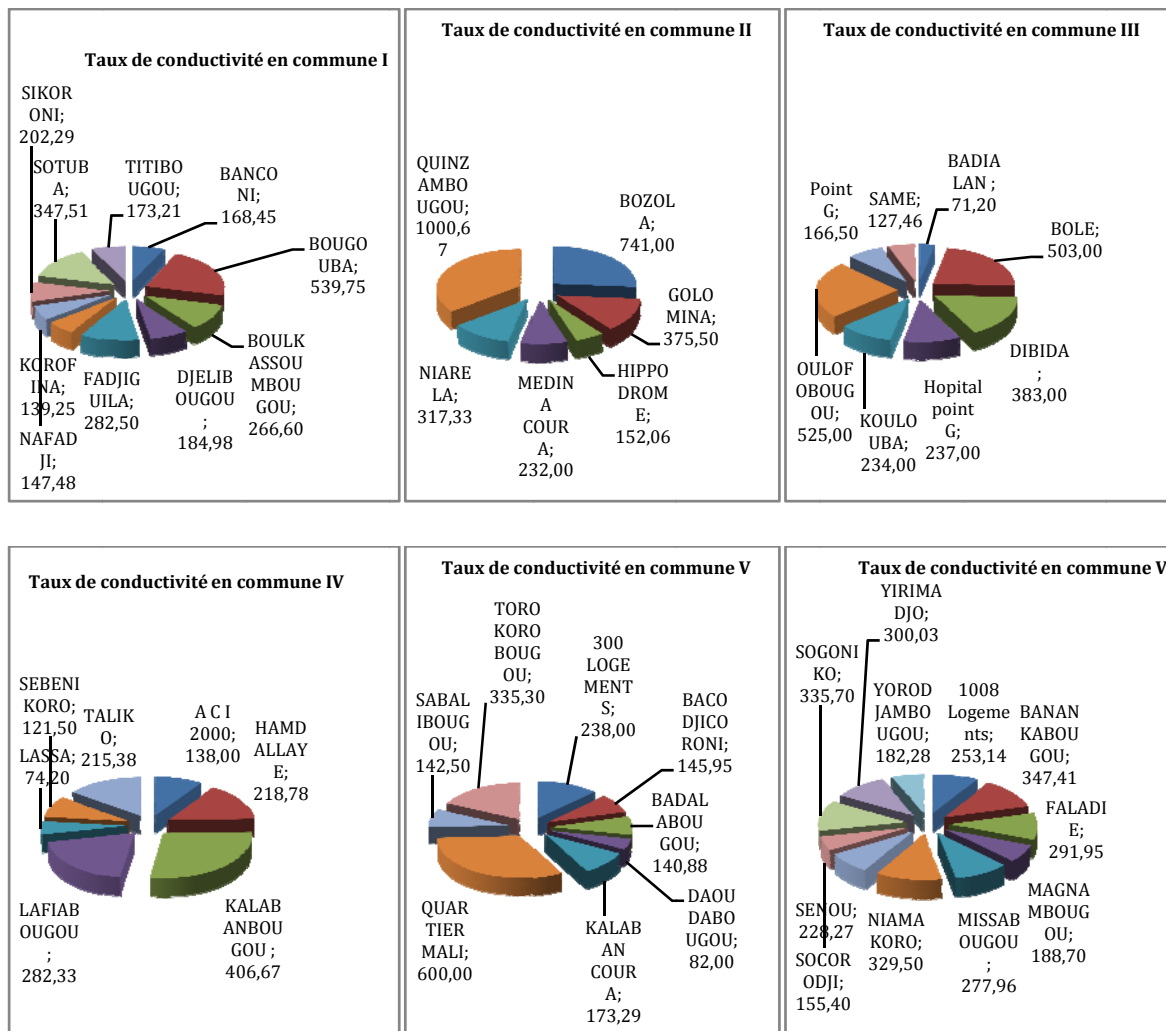
### II-3-1-12-pH des eaux de forages dans le District de Bamako



L'OMS dans ses directives accepte une valeur guide de pH compris entre 6,5-9,5. Le projet de norme malienne prévoit une valeur maximale admissible compris entre

5,5-9. Seules les eaux de forages de Sikoroni, de Fadjiguila et de Bozola ne répondent pas aux directives de l'OMS.

**II-3-1-13-Le taux de conductivité des eaux de forage dans le District de Bamako.**

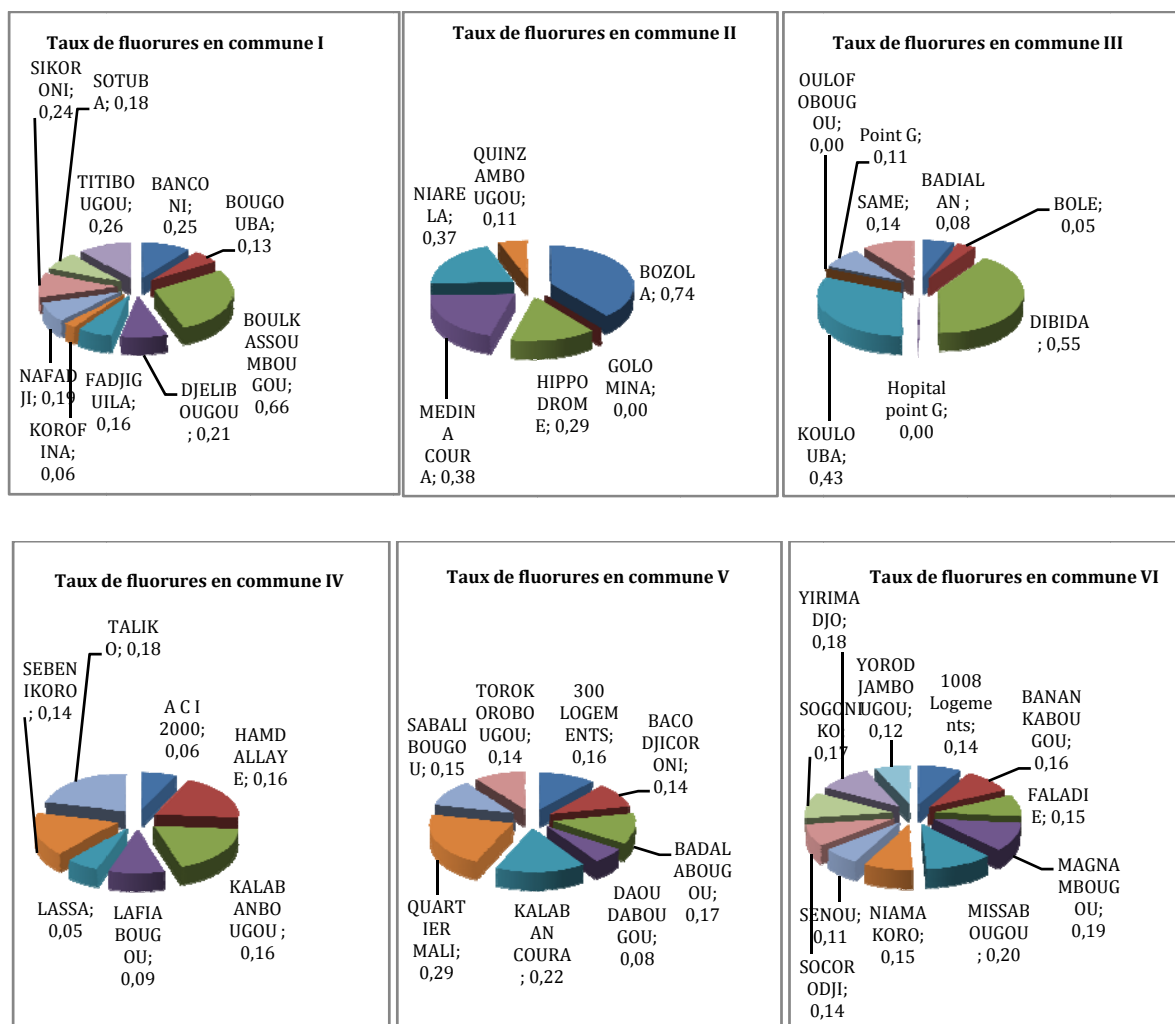


Les directives OMS ainsi que le projet de norme malienne fixent tous les deux une valeur admissible de 1500µs/cm d'eau.

Toutes les eaux de forage de notre étude ont une conductivité normale c'est-à-dire inférieure à 1500 µs/cm d'eau.

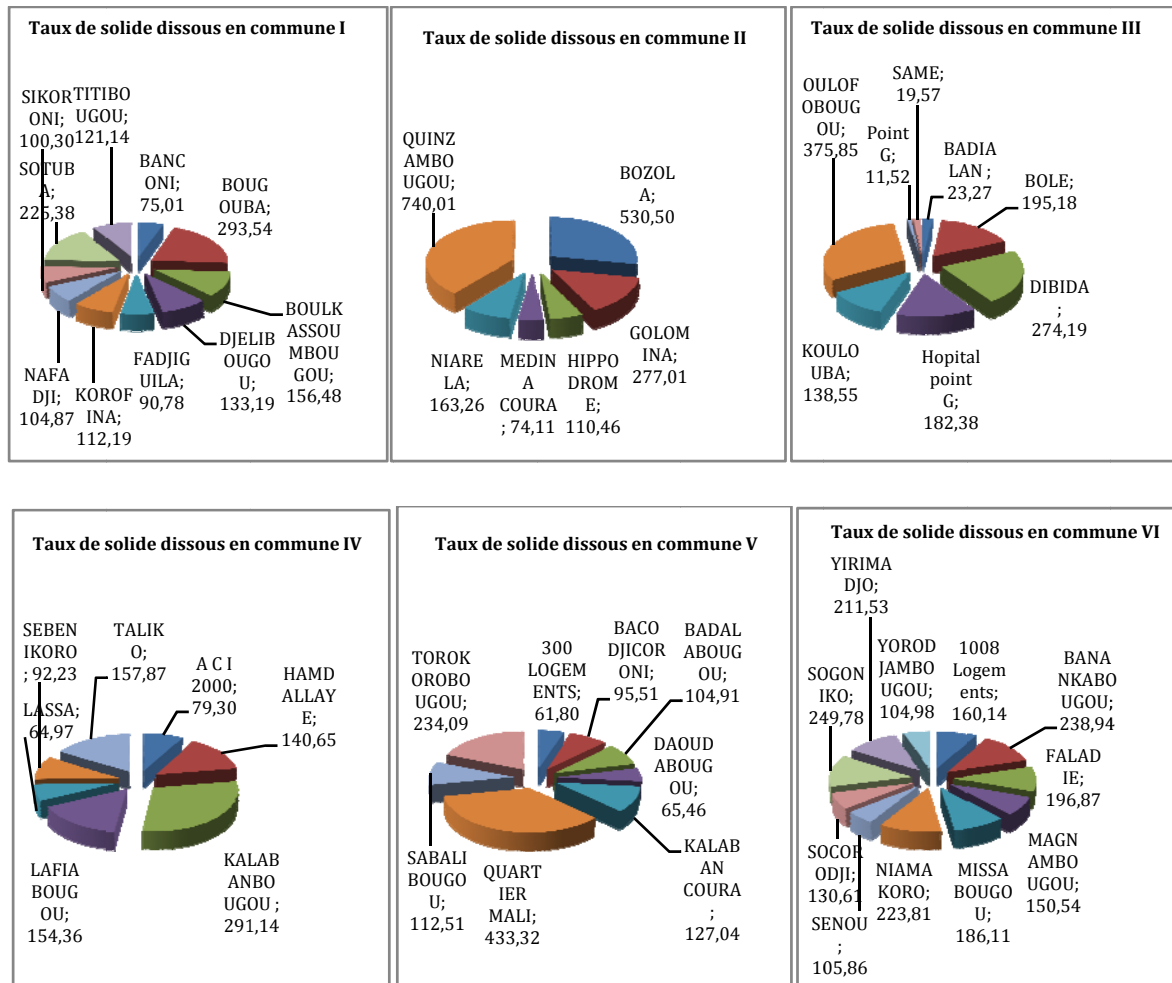


**II-3-1-14-Le taux de fluorures des eaux de forage dans le District de Bamako.**



Les directives OMS fixent une valeur maximale admissible de 1,5 mg/l et le projet de norme malienne prévoit une valeur maximale admissible de 0,5 mg/l. Toutes les eaux de forage de notre étude sont conformes à la directive OMS.

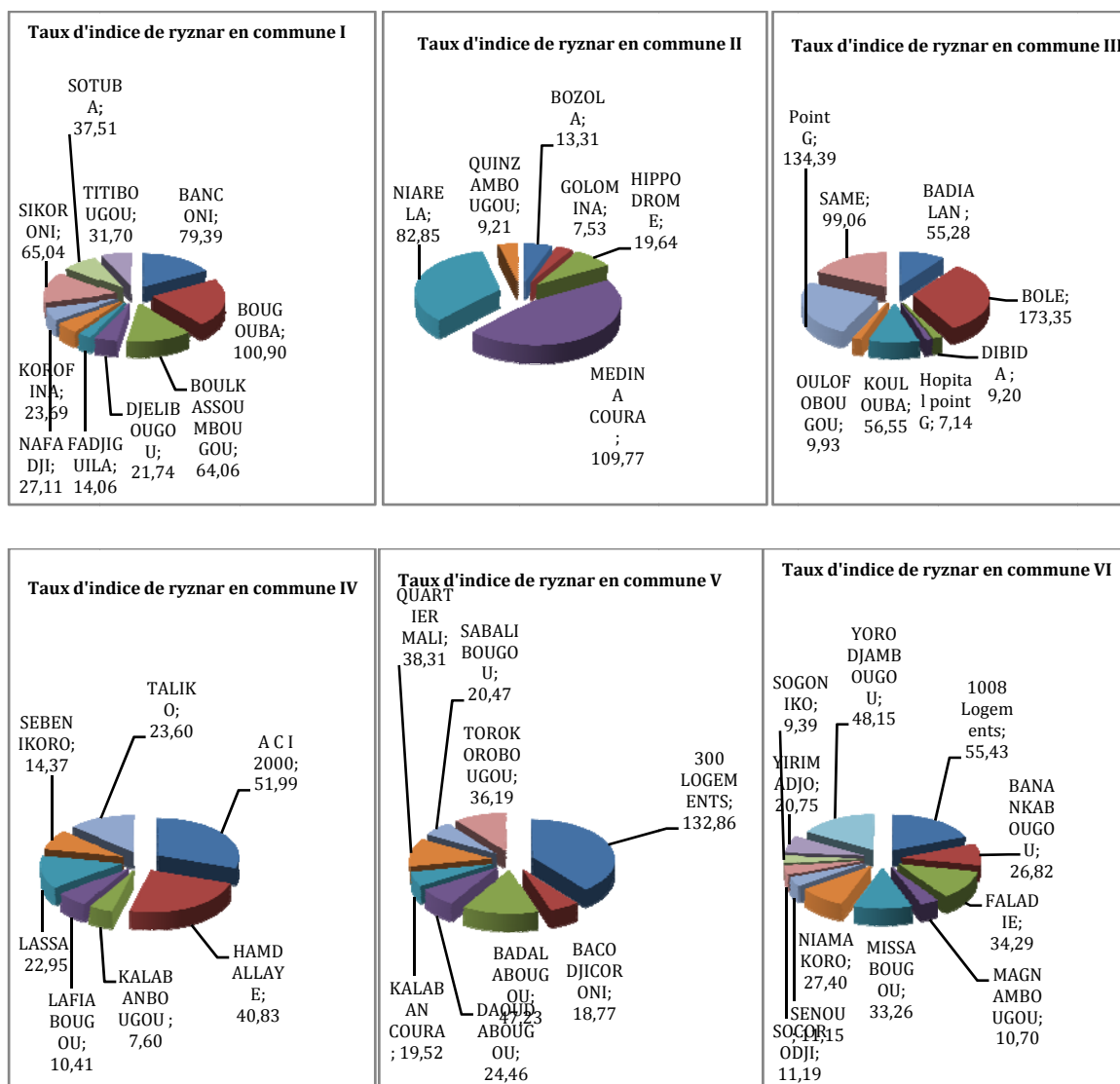
**II-3-1-15-Le taux de solides dissous des eaux de forage dans le District de Bamako.**



La matière dissoute est la somme de la minéralisation, c'est-à-dire la quantité de l'ensemble des cations et anions se trouvant dans l'eau. Elle est en fonction de la conductivité .

Ni l'OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe de valeur maximale admissible pour les solides dissous

**II-3-1-16-Le taux d'indice de ryznar des eaux de forage dans le District de Bamako.**



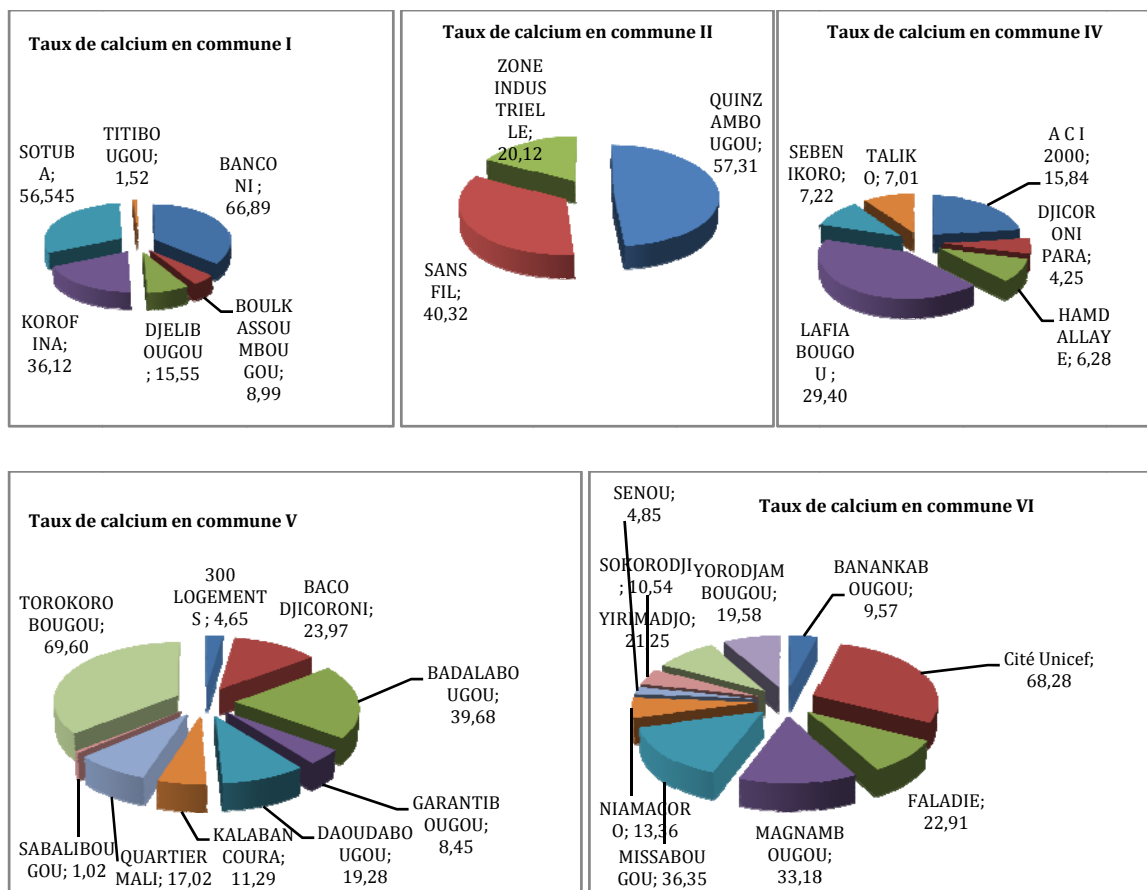
L'indice de ryznar (I R) permet de définir la tendance agressive ou entartrant d'une eau aérée.

Ni l'OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe de valeur maximale admissible pour l'indice de ryznar.

## II-3-2- Paramètres relatifs aux puits dans le District de Bamako.

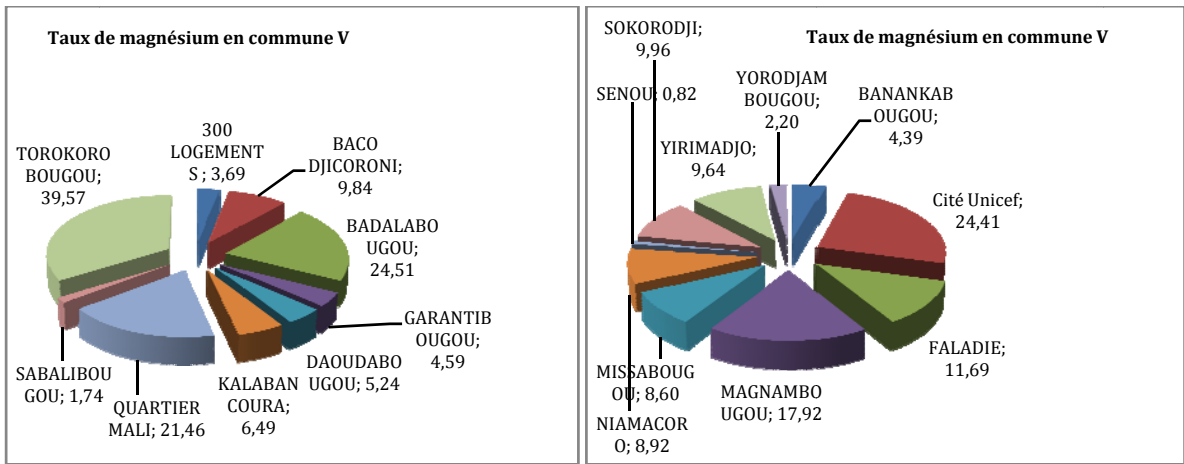
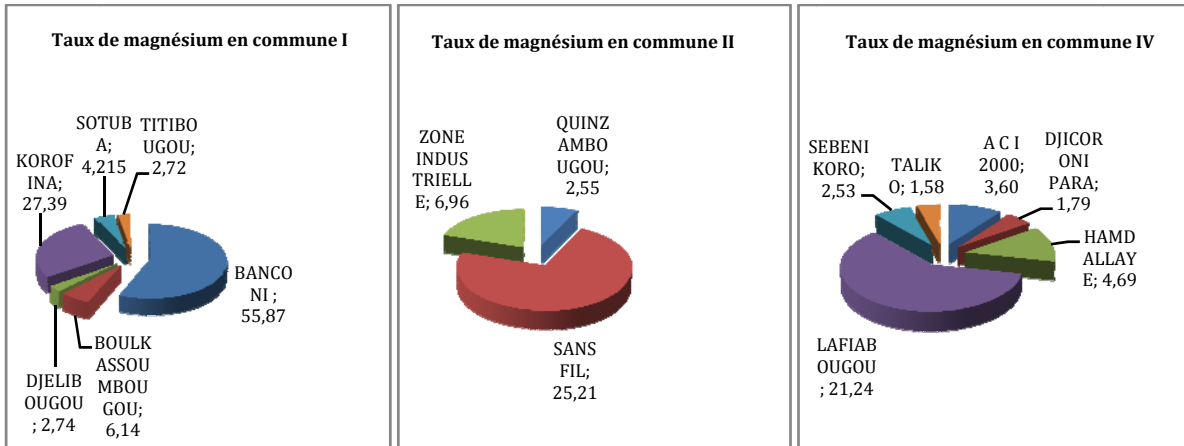
NB : durant notre étude, en commune III, nous n'avons eu aucun échantillon de puits.

### II-3-2-1-Le taux de calcium des eaux de puits dans le District de Bamako



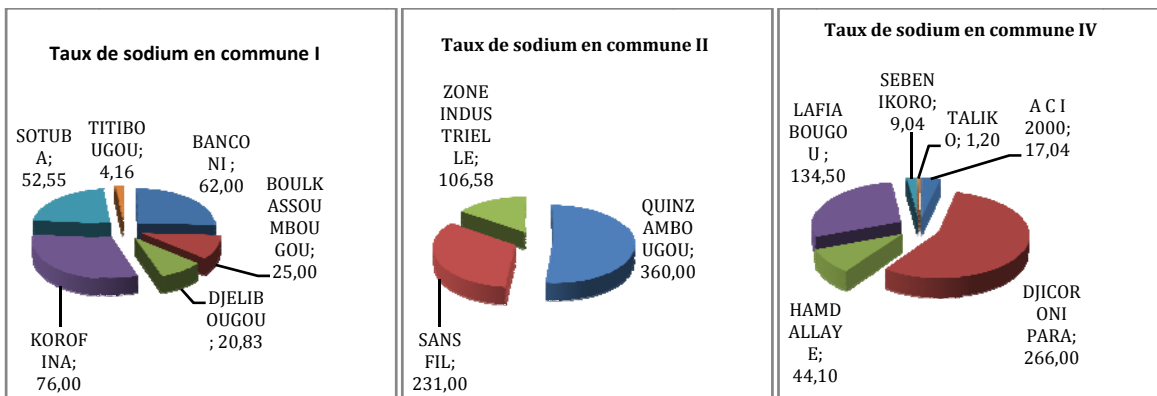
Le taux de calcium de toutes les eaux de puits de notre étude est conforme à la directive OMS de 400 mg/l.

**II-3-2-Le taux de magnésium des eaux de puits dans le District de Bamako**

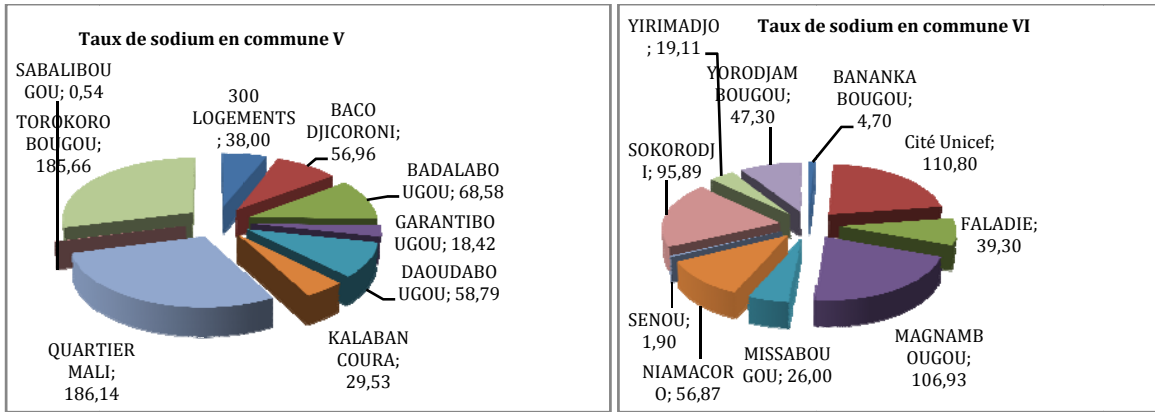


La teneur en magnésium de toutes les eaux de puits de notre étude a une valeur inférieure à la valeur maximale admissible par la directive OMS de 50 mg/l.

**II-3-2-3-Le taux de sodium des eaux de puits dans le District de Bamako**

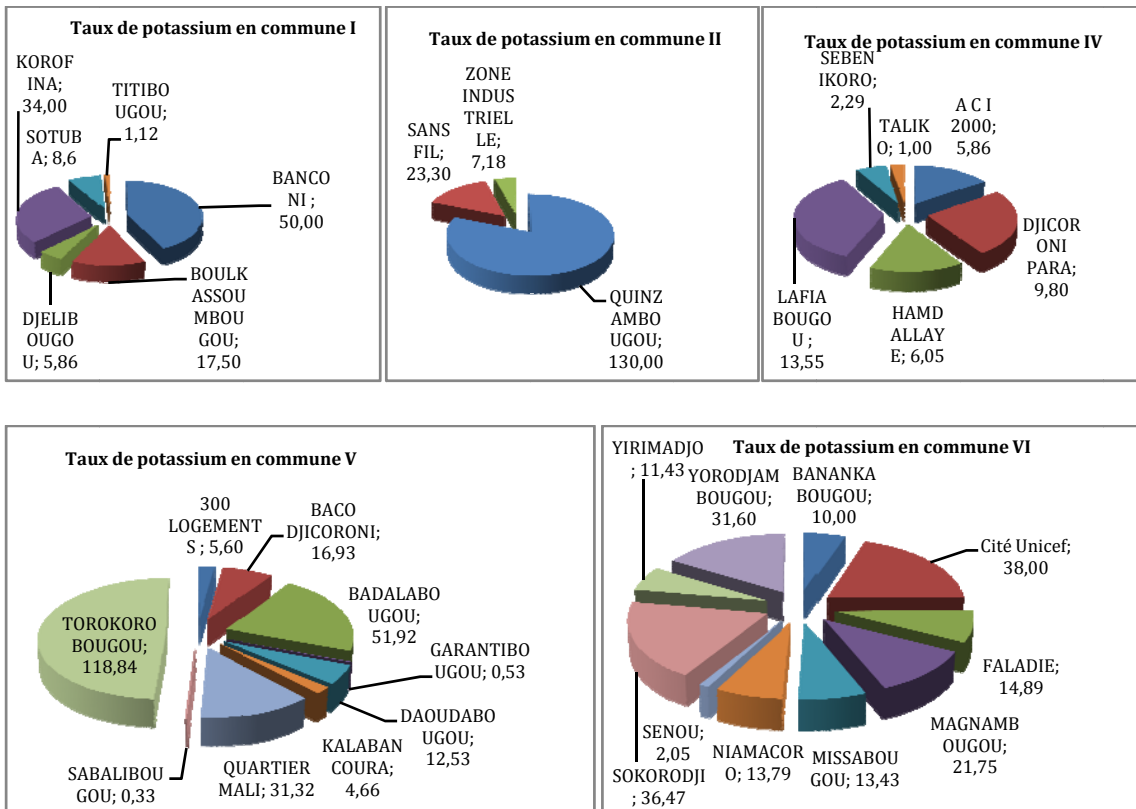


## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako



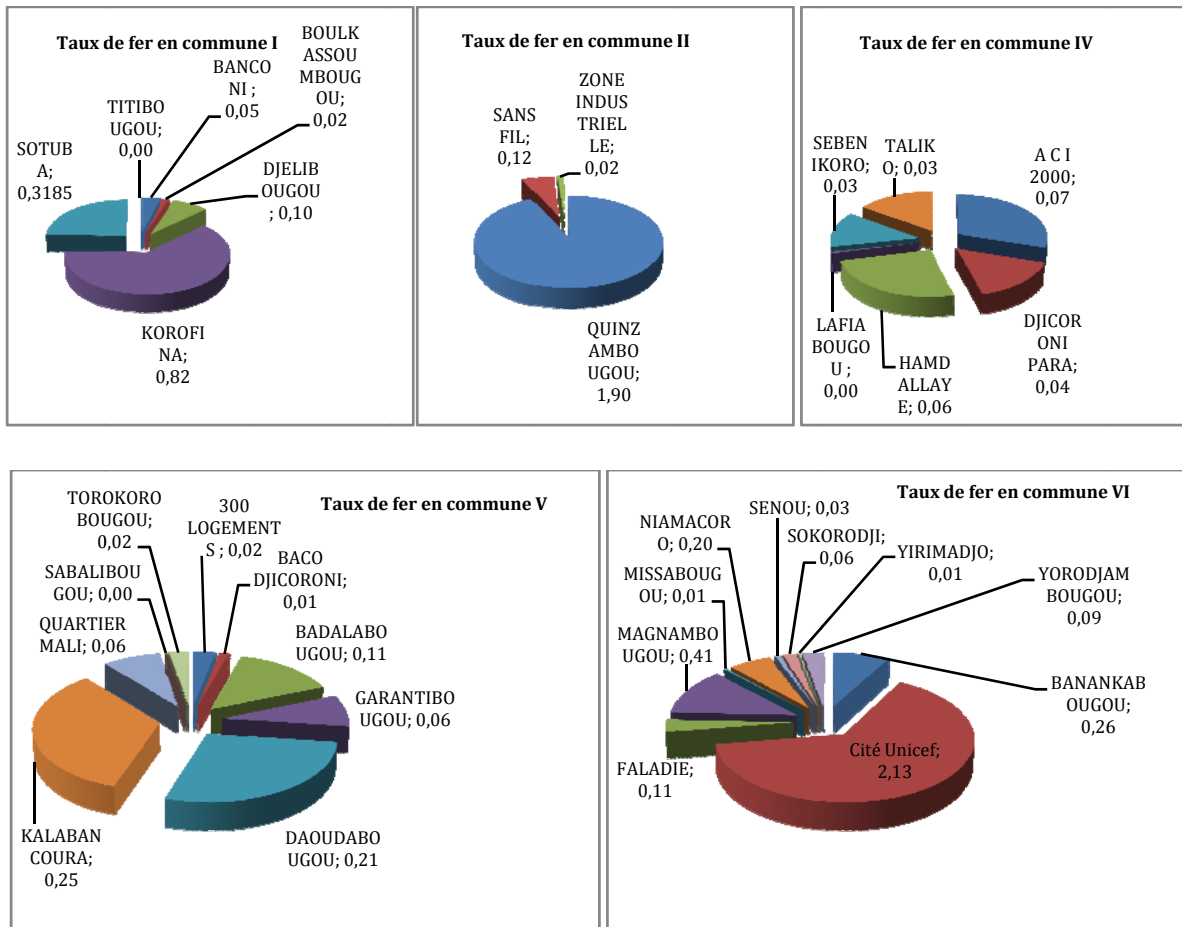
Les directives OMS ne fixent pas de valeur guide pour la teneur en sodium. Le projet de norme malienne prévoit une valeur maximale admissible de 400 mg/l d'eau. Cependant la plus forte concentration en sodium est enregistrée au Quartier mali (186,14 mg/l).

### II-3-2-4-Le taux de potassium des eaux de puits dans le District de Bamako



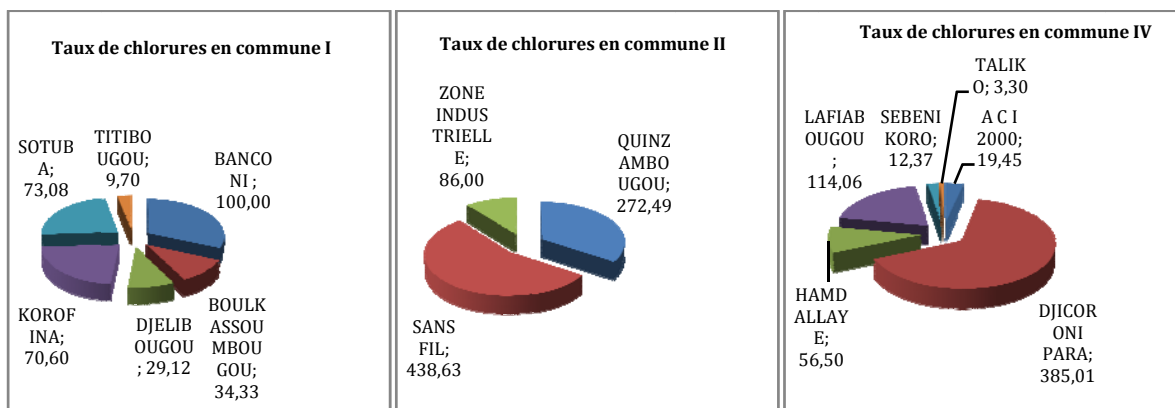
Les directives OMS ne fixent pas aussi de valeur guide pour la teneur en potassium. Le projet de norme malienne prévoit une valeur maximale de 100 mg/l. La plus forte concentration est alors enregistrée à Quinzambougou (130 mg/l d'eau).

**II-3-2-5-Le taux de fer des eaux de puits dans le District de Bamako**

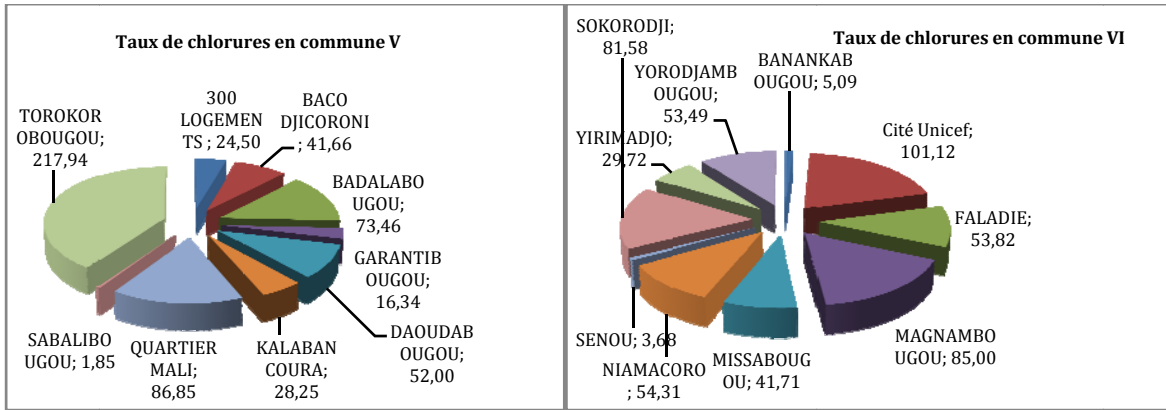


Les directives de l’OMS ainsi que le projet de norme malienne fixent tous deux une maximale admissible de 0,3 mg/l d’eau pour le fer. Toutes les eaux de puits de notre étude répondent à l’exigence OMS de 0,3 mg/l d’eau exceptée celles de Quinzambougou, Cité Unicef et Magnambougou.

**II-3-2-6-Le taux de chlorures des eaux de puits dans le District de Bamako**

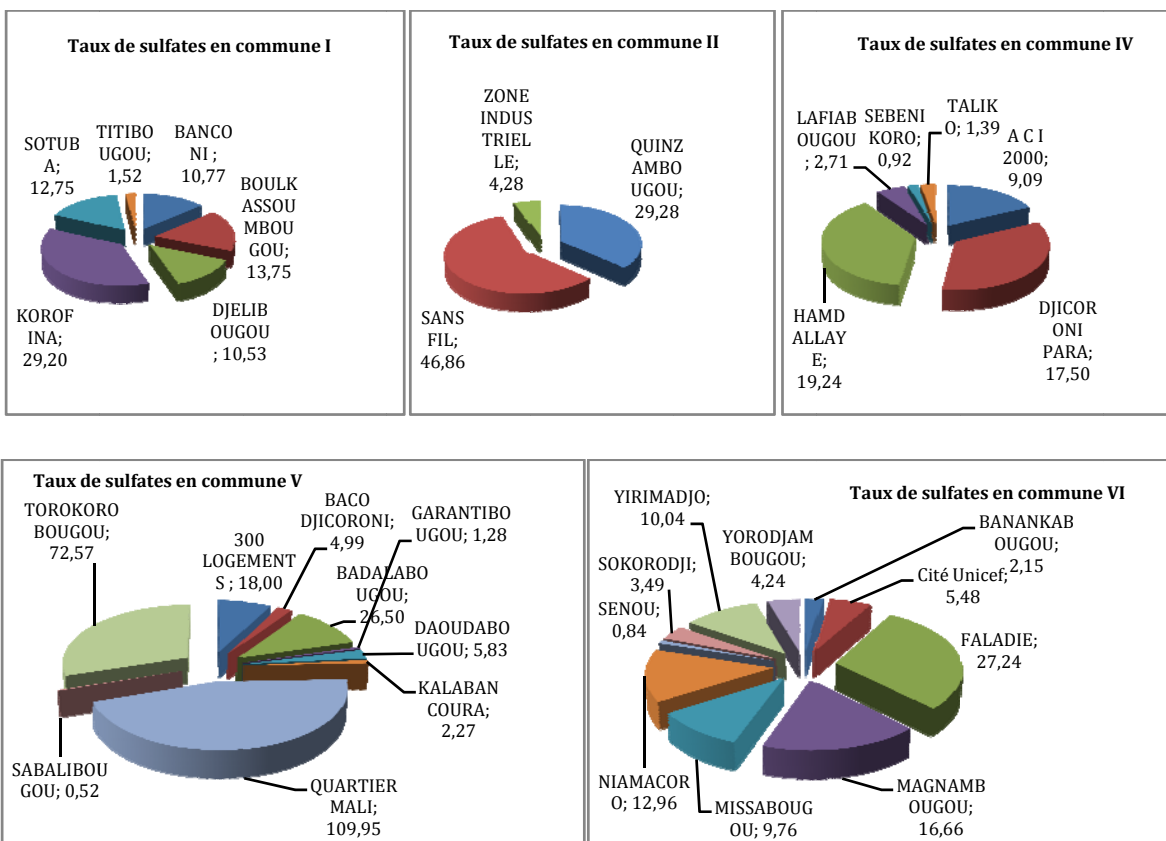


## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako



Les directives OMS ne fixent pas de valeur guide pour le chlorure. Le projet de norme malienne prévoit une valeur maximale admissible par les normes maliennes de 600 mg/l d'eau. Aucune de nos eaux de puits excède cette valeur.

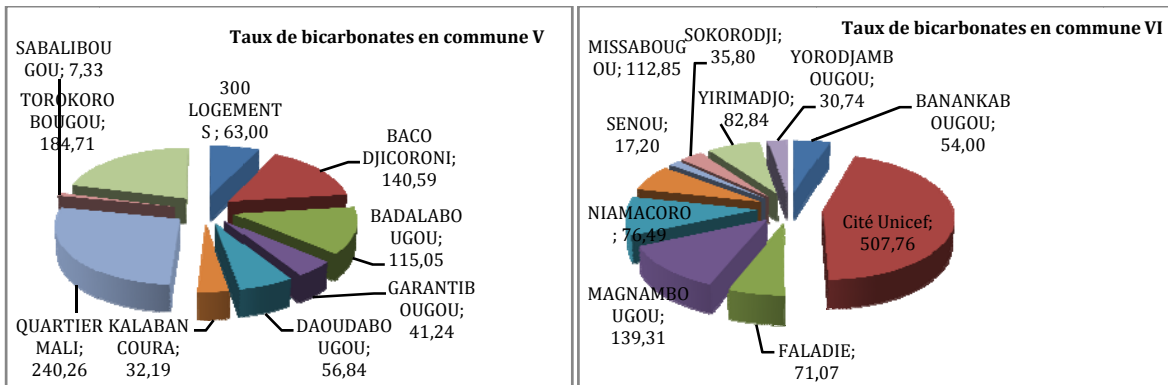
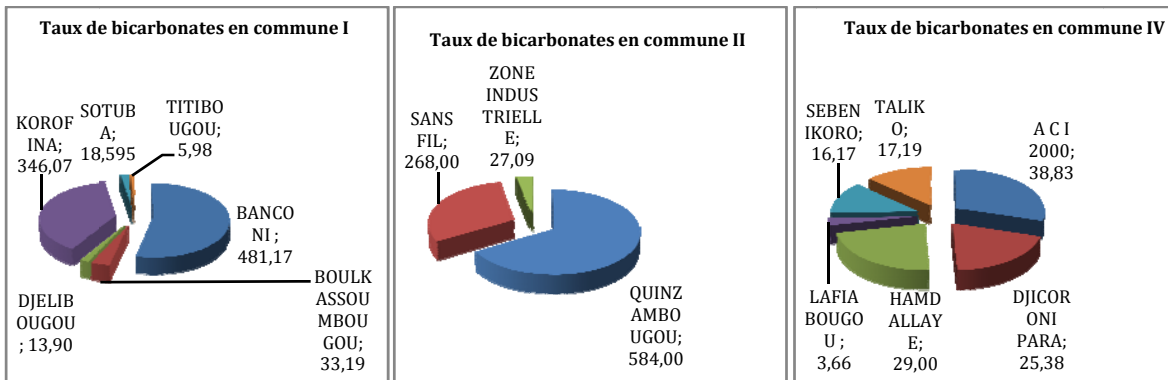
### II-3-2-7-Le taux de sulfates des eaux de puits dans le District de Bamako



Les directives OMS fixent une valeur de 250 mg/l d'eau pour les sulfates. Le projet de norme malienne prévoit valeur maximale admissible de 500 mg/l d'eau. Aucune des eaux de puits de notre étude n'excède la valeur guide OMS.

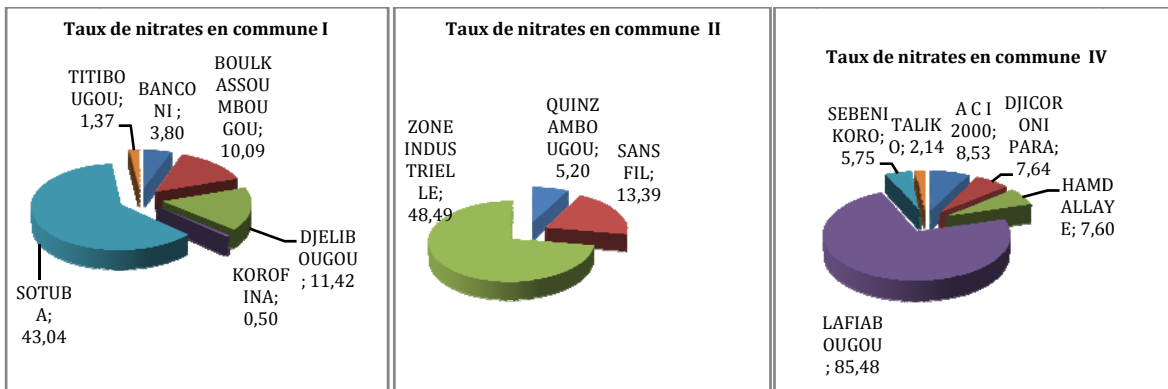


**II-3-2-8-Le taux de bicarbonates des eaux de puits dans le District de Bamako.**

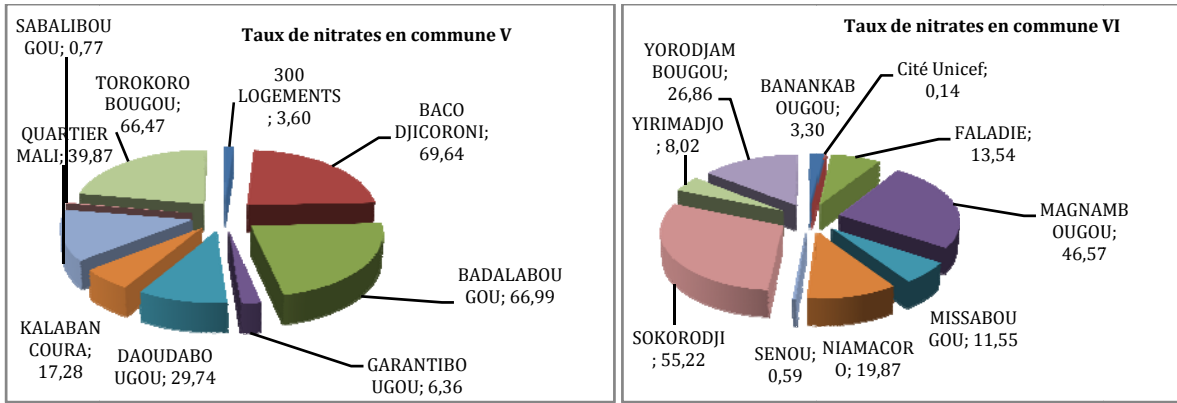


Ni l'OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe pas de valeur guide pour les bicarbonates.

**II-3-2-9-Le taux de nitrates des eaux de puits dans le District de Bamako.**

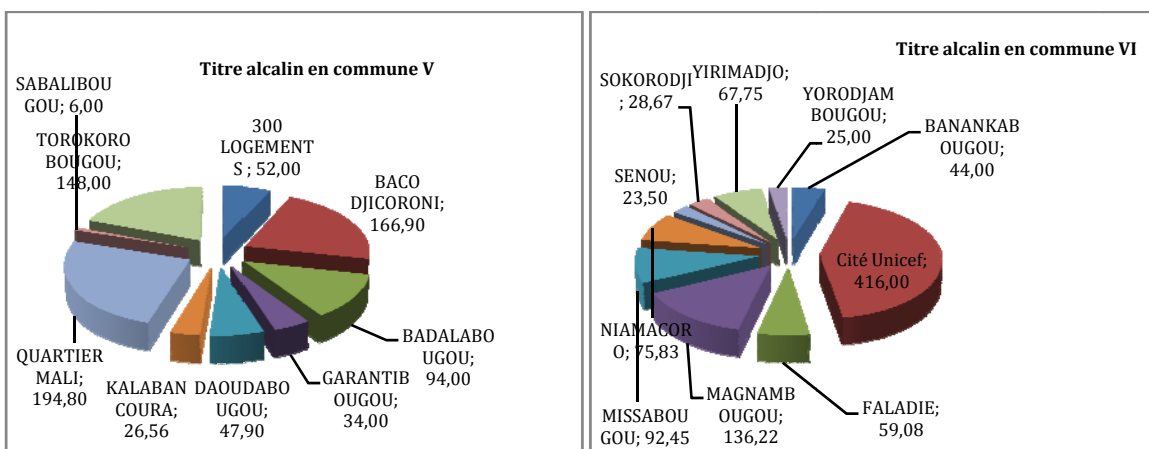
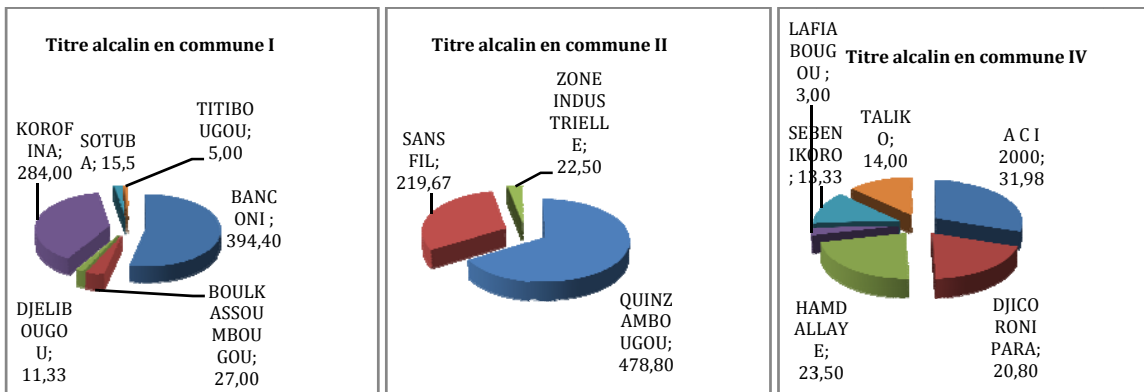


## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako



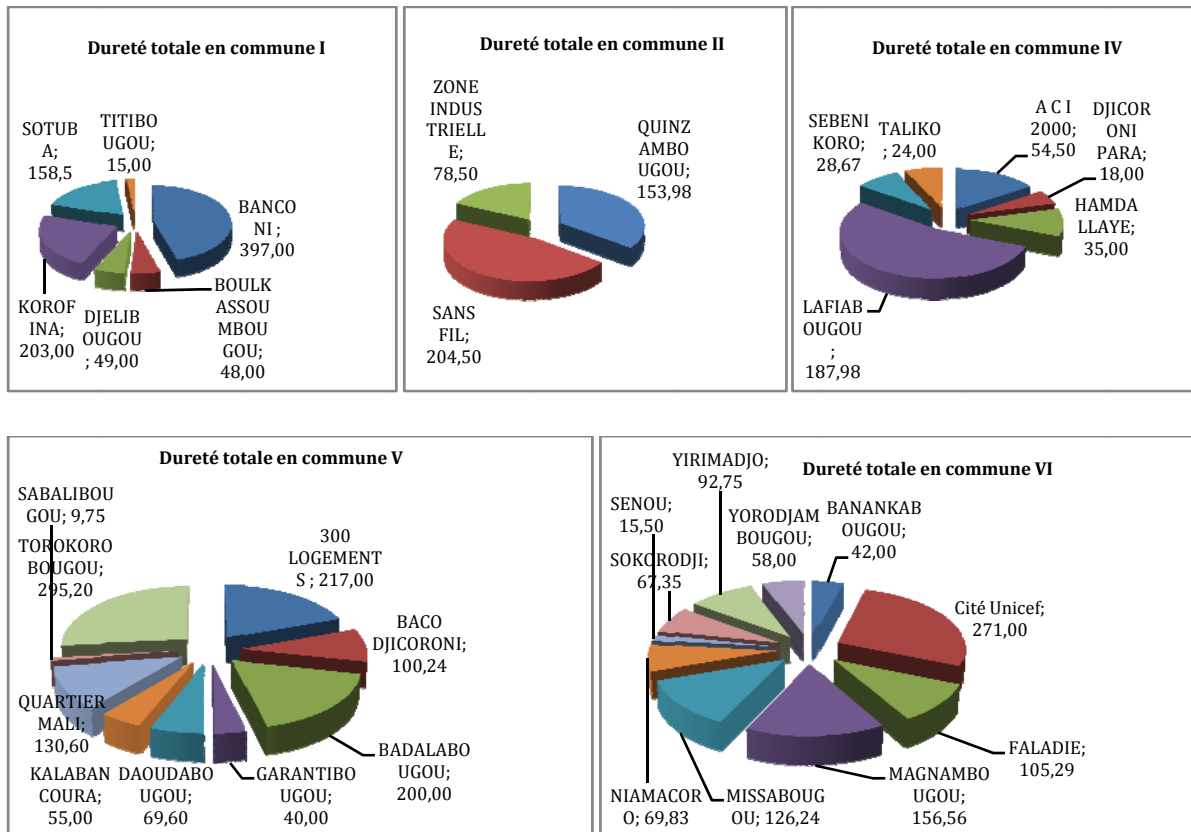
L'OMS dans ses directives ainsi que le projet de norme malienne fixent une valeur maximale admissible de 50 mg/l d'eau pour les nitrates. Le taux de nitrates des eaux de puits excède la valeur maximale admissible par les directives OMS de 50 mg/l d'eau à Lafiabougou, à Bacodjicoroni; à Badalabougou et à Torokorobougou.

### II-3-2-10-L'alcalinité des eaux de puits dans le District de Bamako.



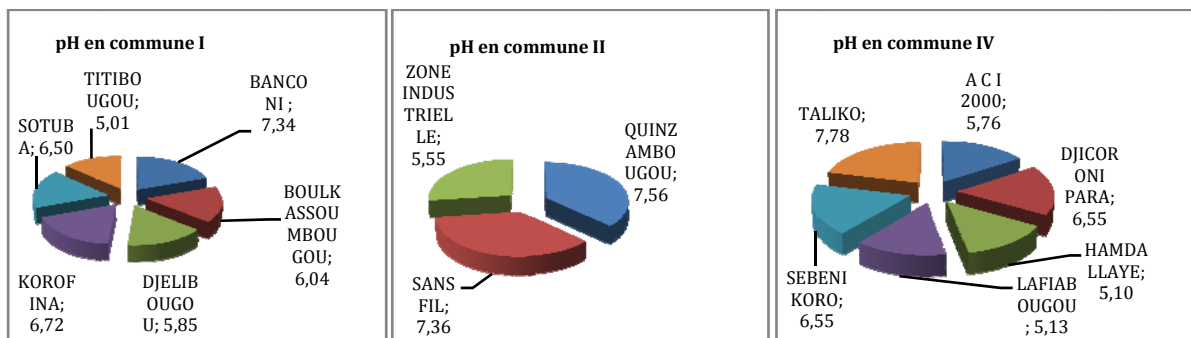
Ni l'OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe pas de valeur guide pour l'alcalinité.

**II-3-2-11-La dureté totale des eaux de puits dans le District de Bamako.**

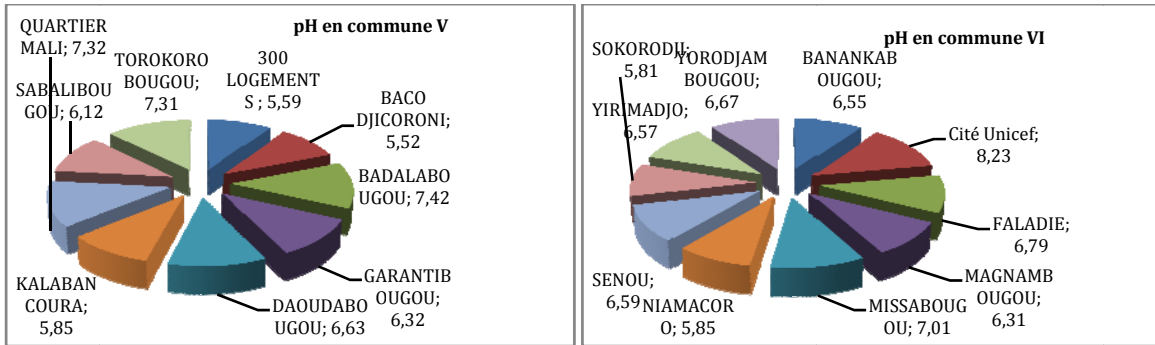


L'OMS dans ses directives fixe une valeur guide de 200 mg/l d'eau. Le projet de norme malienne prévoit une valeur une valeur maximale admissible de 500 mg/l. Les eaux de puits de Korofina, Sans fil, Torokorobougou, 300 Logement et cité Unicef excèdent la valeur maximale admissible par les directives OMS.

**II-3-2-12-pH des eaux de puits dans le District de Bamako**

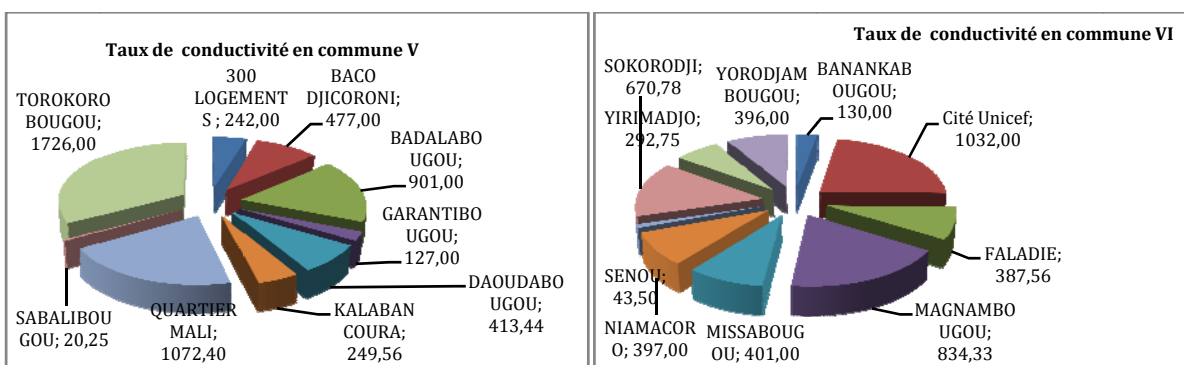
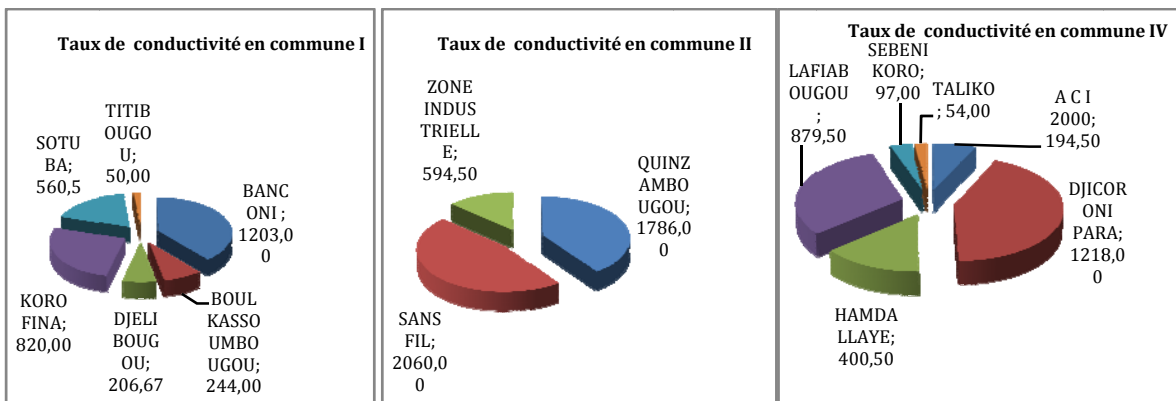


## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako



L'OMS dans ses directives accepte une valeur guide de pH compris entre 6,5-9,5. Le projet de norme malienne prévoit une valeur maximale admissible compris entre 5,5-9. Par conséquent les eaux de puits de Titibougou, Djélibougou, Boulkassoumbougou, Zone industrielle, ACI 2000, Lafiabougou, Hamdallaye, Sabalibougou, Kalabancoura, Bacodjicoroni, Garantibougou, Sokorodji, Niamakoro et Magnambougou sont acides comparées à la directive OMS.

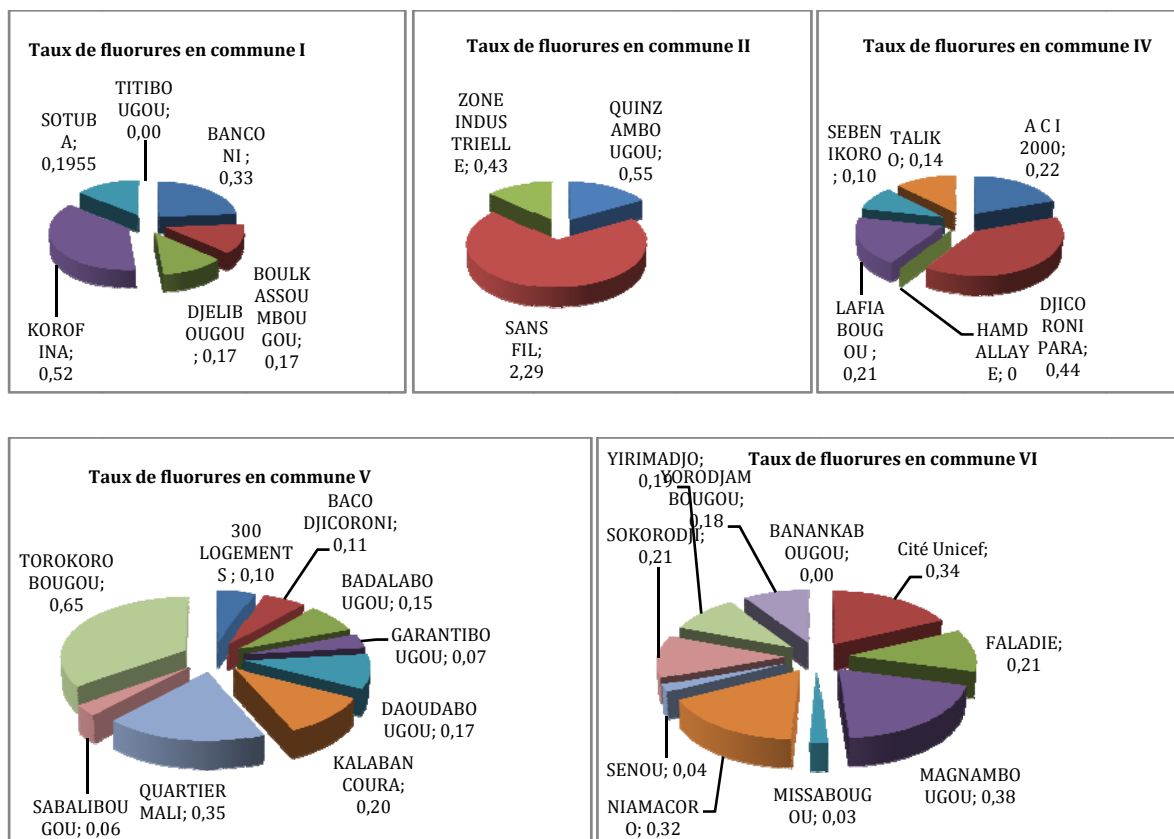
### II-3-2-13-La conductivité des eaux de puits dans le District de Bamako.



Les directives OMS ainsi que le projet de norme malienne fixent tous les deux une valeur admissible de 1500  $\mu\text{s}/\text{cm}$  d'eau.

Le taux de conductivité des eaux de puits de notre étude a dépassé la valeur maximale admissible par la directive OMS de 1500  $\mu\text{s}/\text{cm}$  d'eau à Quinzambougou à Sans Fil et à Torokorobougou.

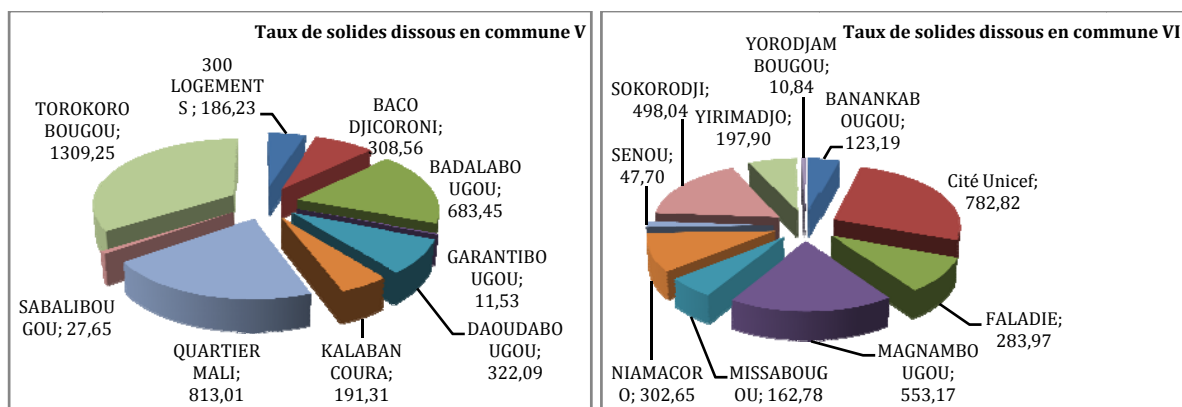
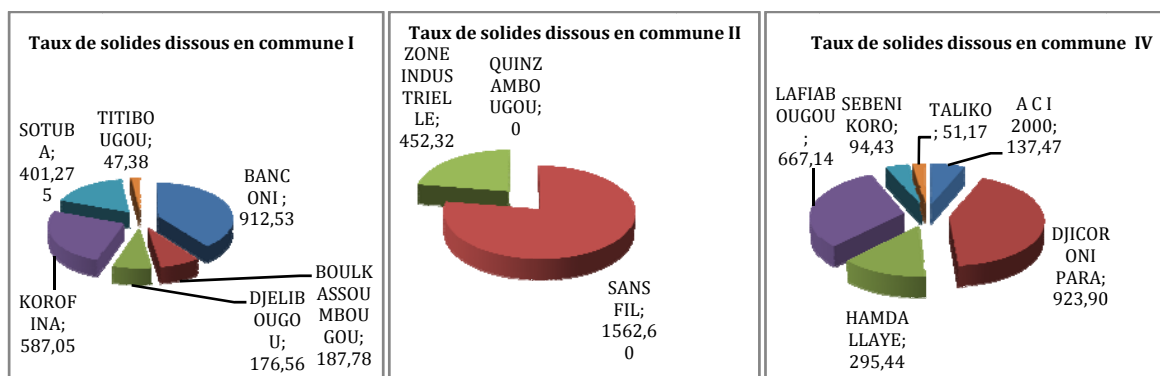
### II-3-2-14-Le taux de fluorures des eaux de puits dans le District de Bamako.



Les directives OMS fixent une valeur admissible de 1,5 mg/l pour le fluor.

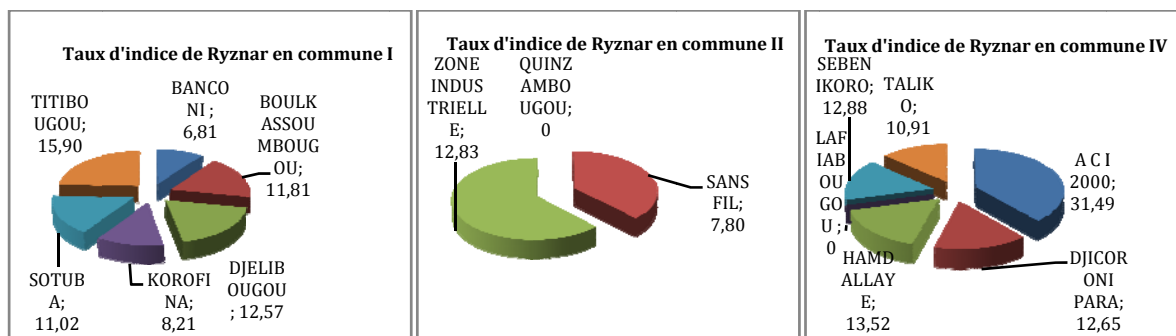
Le projet de norme malienne prévoit quand à elle une valeur maximale admissible de 0,5 mg/l. La concentration en fluore de toutes les eaux de puits de notre étude sont conformes à la directive OMS.

**II-3-2-15-Le taux de solides dissous des eaux de puits dans le District de Bamako.**

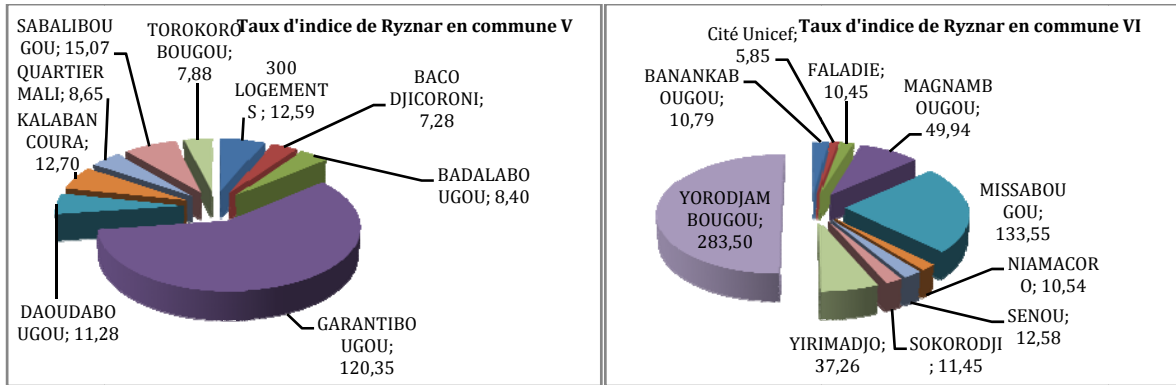


Ni l'OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe de valeur maximale admissible pour matière dissoute.

**II-3-2-16-Le taux d'indice de Ryznar des eaux de puits dans le District de Bamako**



## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako

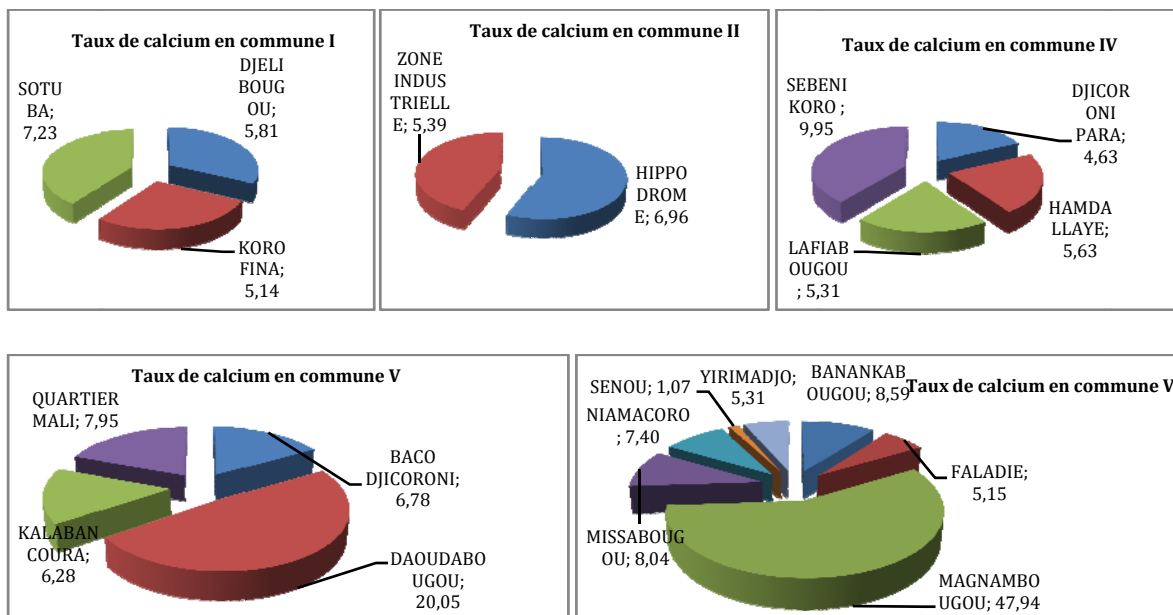


Ni l'OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe de valeur maximale admissible pour l'indice de ryznar.

### II-3-3- Paramètres relatifs aux robinets dans le District de Bamako.

NB : En commune II le nombre de prélèvement d'eau de robinet était insignifiant pour déterminer la qualité de l'eau de robinet de cette commune.

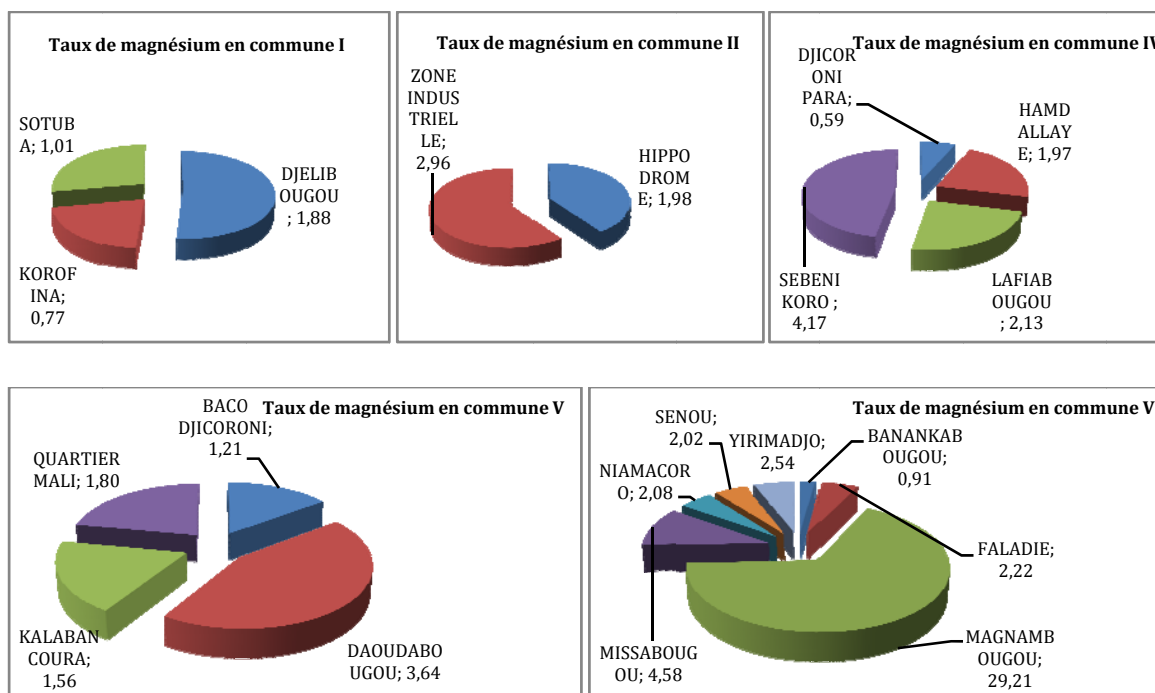
#### II-3-3-1- Taux de calcium des eaux de robinet dans le District de Bamako.



L'OMS dans ses directives fixe une concentration en calcium admissible de 100 mg/l d'eau. Le projet de norme malienne prévoit une concentration 400 mg/l d'eau.

Cependant le taux de calcium des eaux de robinet de Bamako est conforme à la directive OMS de 100 mg/l d'eau.

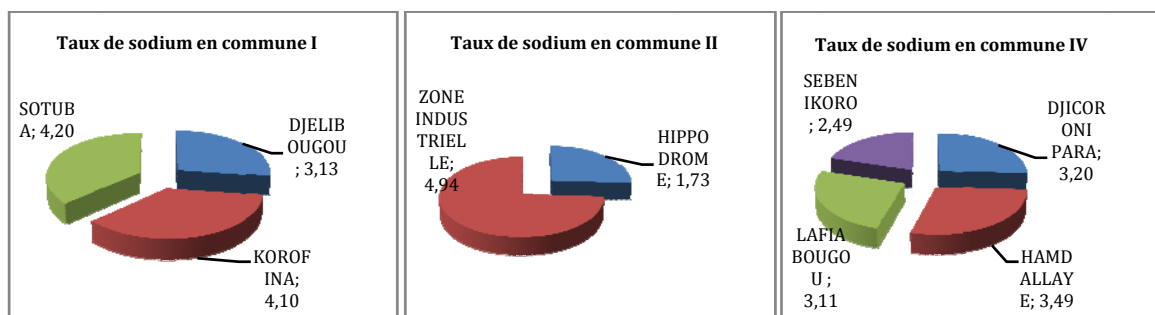
### II-3-3-2- Taux de magnésium des eaux de robinet dans le District de Bamako.



Les directives OMS fixent une valeur admissible maximale de 50 mg/l d'eau alors que le projet de norme malienne prévoit 100 mg/l d'eau comme valeur admissible maximale.

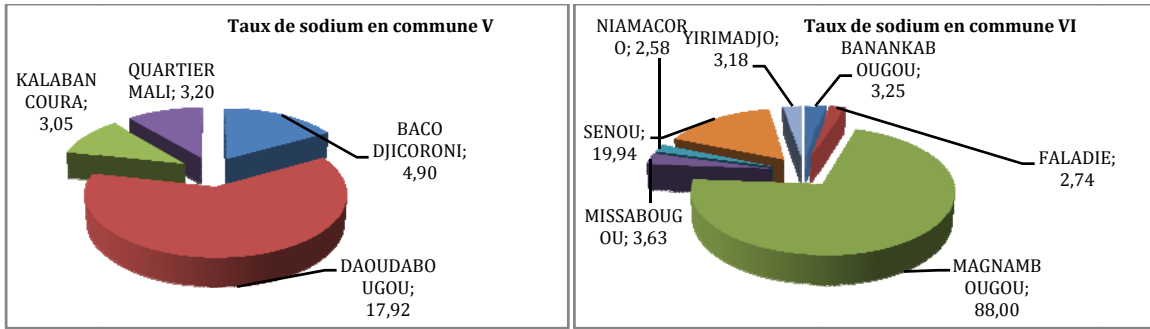
Le taux de magnésium des eaux de robinet de Bamako est conforme à la directive OMS de 100 mg/l.

### II-3-3-3- Taux de sodium des eaux de robinet dans le District de Bamako.



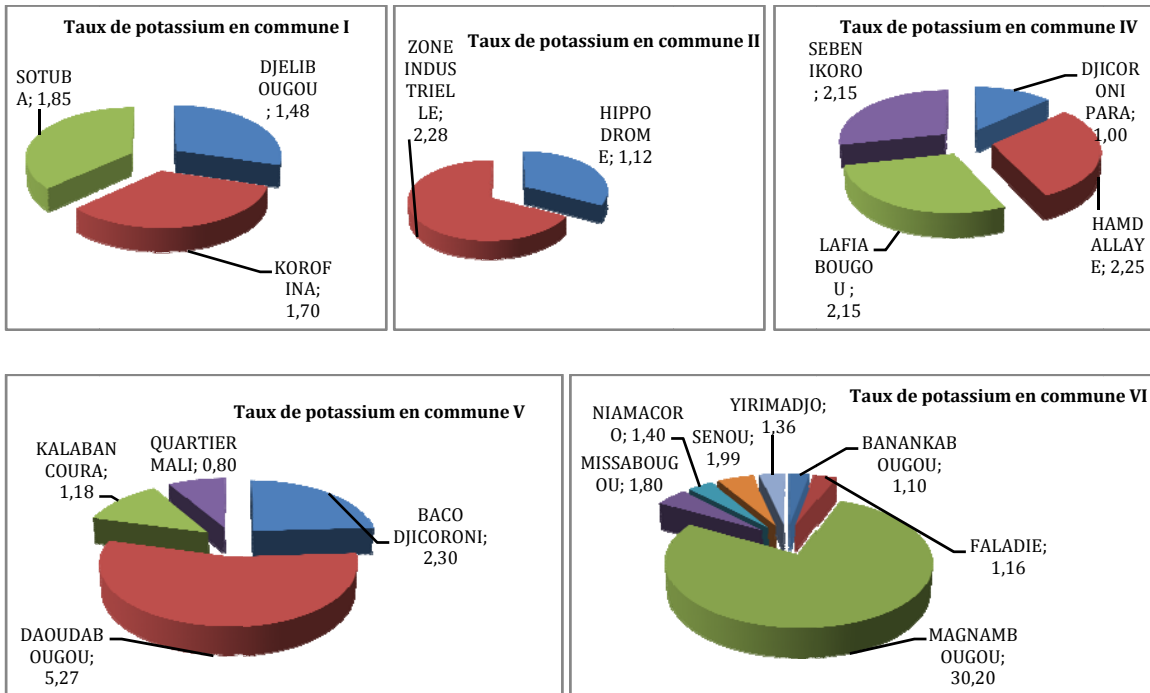


## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako



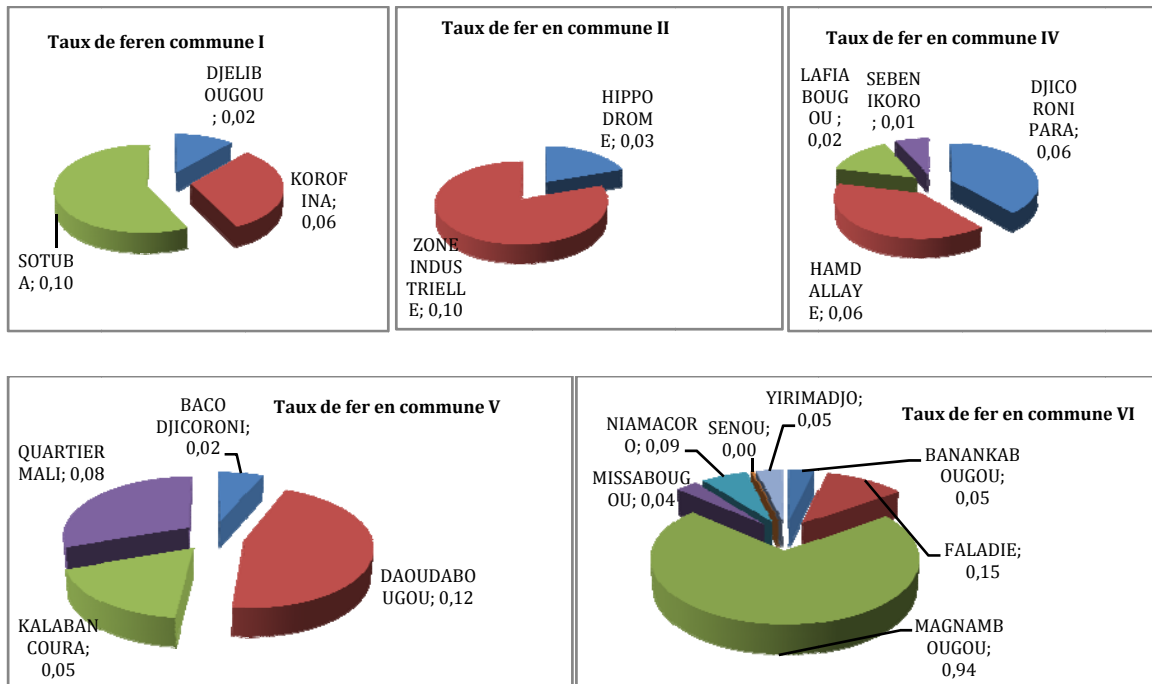
Les directives OMS ne définissent pas de valeurs pour la concentration en sodium. Le projet de norme malienne prévoit une concentration maximale admissible de 400 mg/l d'eau. La plus forte concentration en sodium est enregistrée à Magnambougou (88,00 mg/l d'eau).

### II-3-3-4- Le taux de potassium des eaux de robinet dans le District de Bamako.



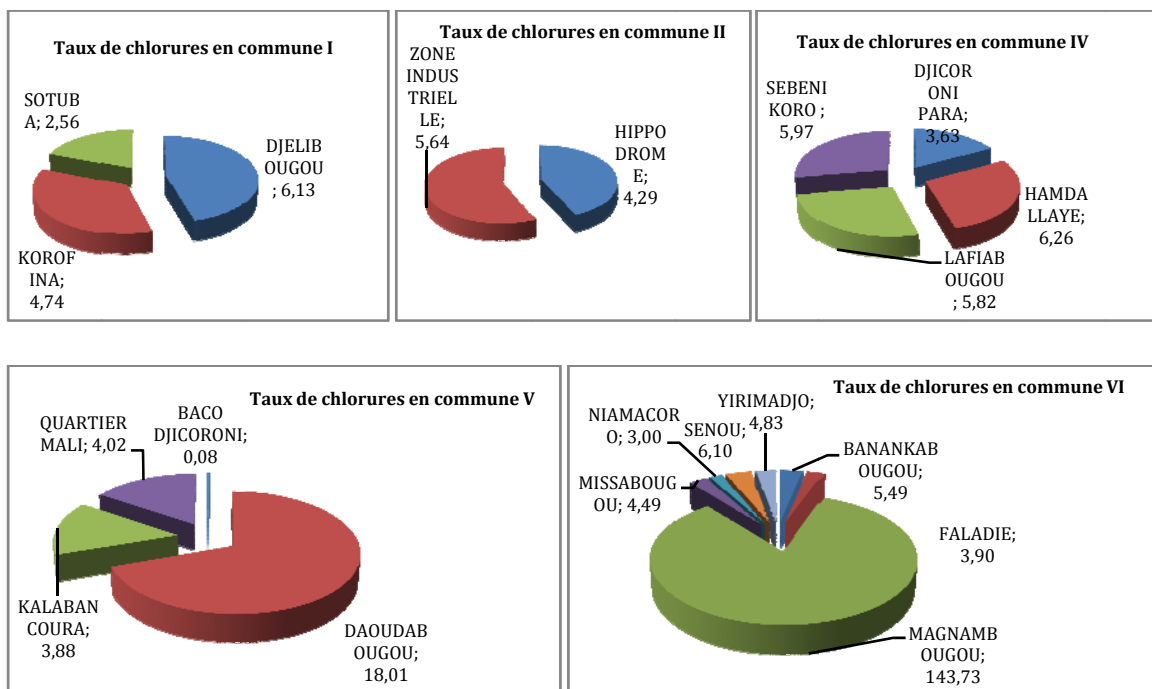
Les directives OMS ne définissent pas de valeurs pour la concentration en potassium. Le projet de norme malienne prévoit une concentration maximale admissible de 100 mg/l d'eau. Magnambougou enregistre la plus forte concentration en potassium (30,20 mg/l d'eau).

**II-3-3-5- Taux de fer des eaux de robinet dans le District de Bamako.**



L'OMS dans ses directives fixe une valeur guide de 0,3 mg/l d'eau. Le projet de norme malienne prévoit aussi cette même valeur. Le taux de fer dépasse la valeur maximale admissible par les directives OMS de 0,3 mg/l d'eau à Magnambougou.

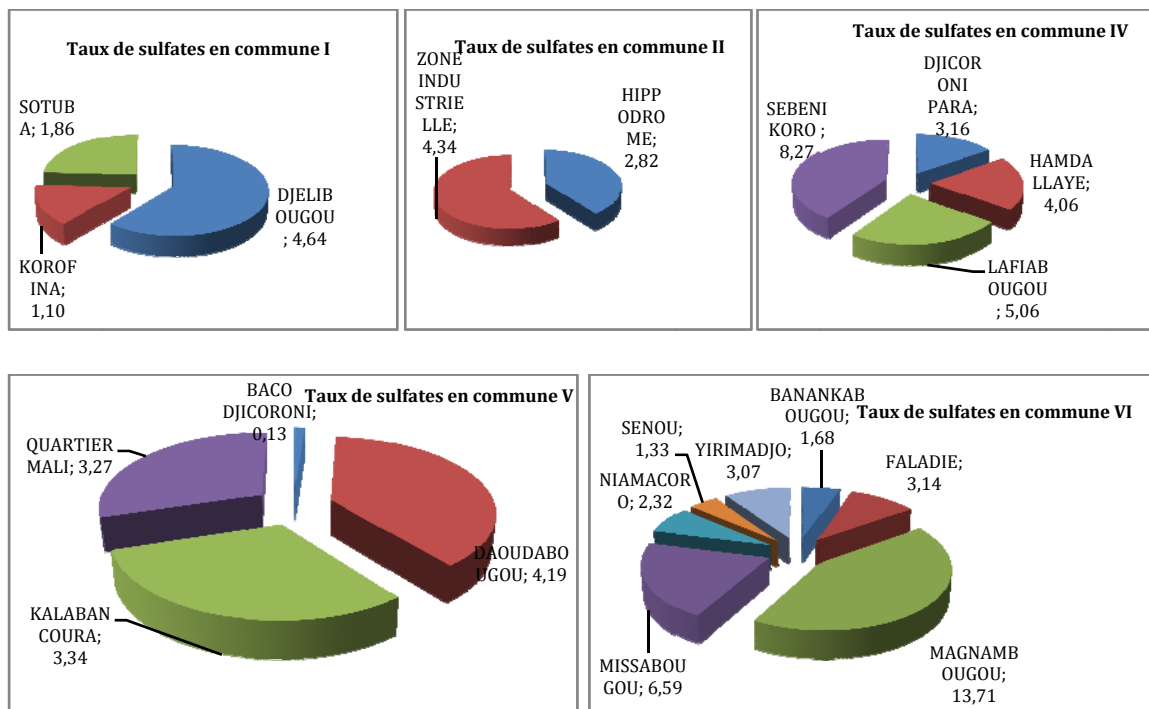
**II-3-3-6- Taux de chlorures des eaux de robinet dans le District de Bamako.**



## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako

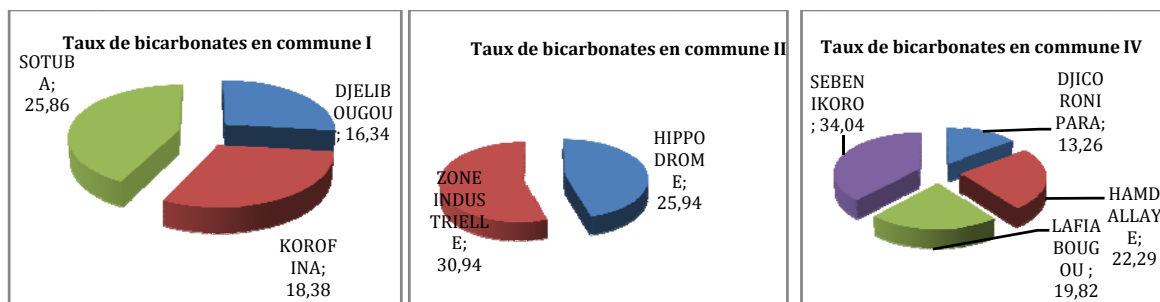
Les directives OMS ne définissent pas de valeurs pour la concentration en chlorure. Le projet de norme malienne prévoit une concentration maximale admissible de 600 mg/l d'eau. Néanmoins ces valeurs restent inférieures à la valeur maximale du projet de norme malienne.

### II-3-3-7- Taux de sulfates des eaux de robinet dans le District de Bamako.

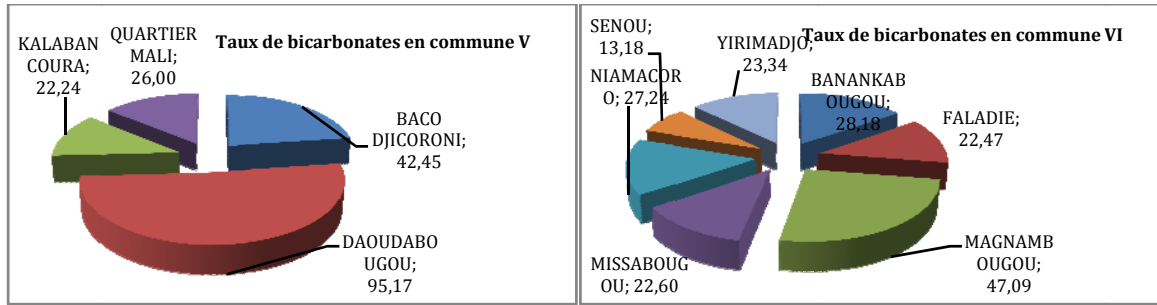


L'OMS dans ses directives fixe une valeur guide de 250 mg/l d'eau. Le projet de norme malienne prévoit une valeur maximale admissible de 500 mg /l d'eau. Toutes les eaux de robinet de notre étude sont conformes à la directive OMS.

### II-3-3-8- Taux de bicarbonates des eaux de robinet dans le District de Bamako.

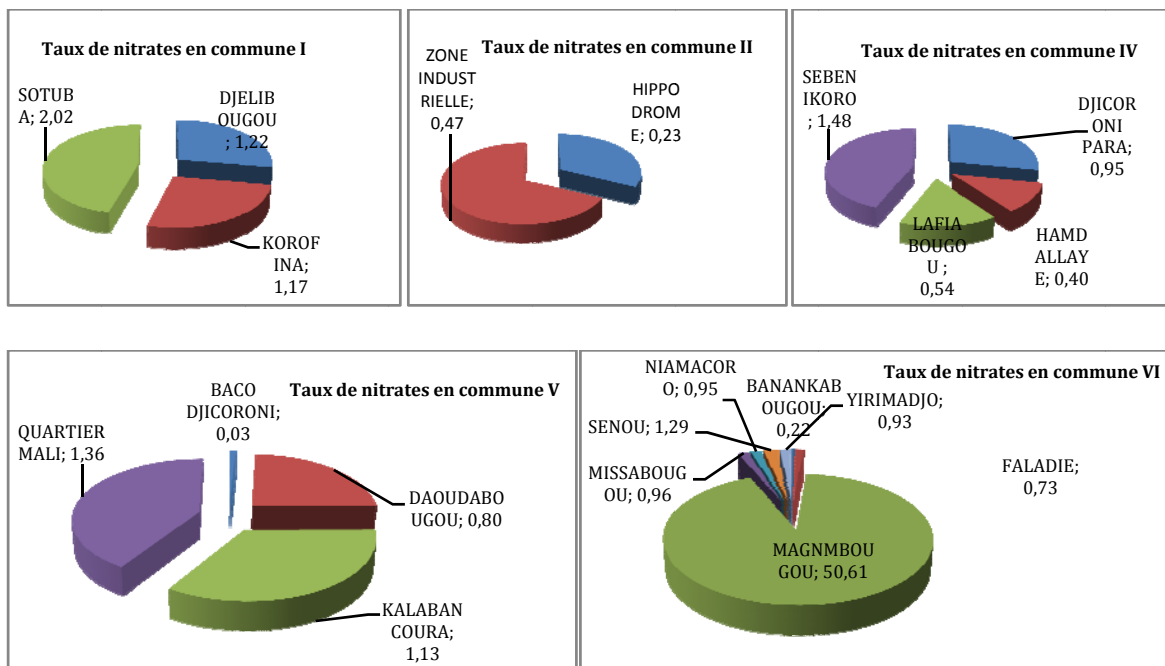


## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako



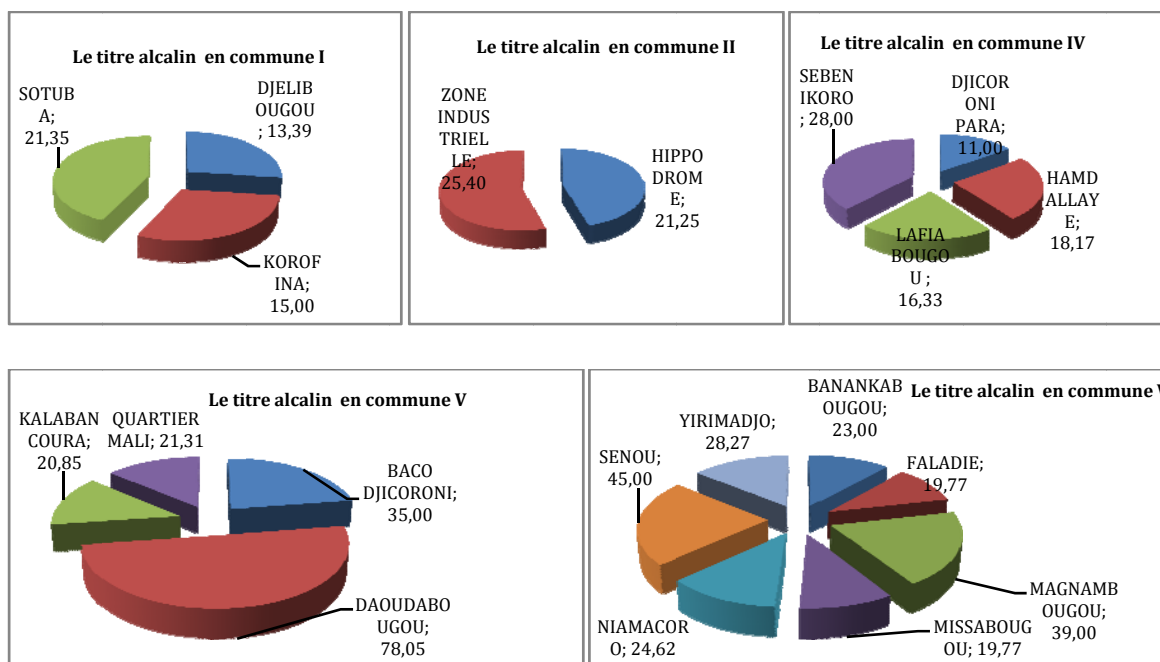
Ni l’OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe de valeur maximale admissible les bicarbonates.

### II-3-3-9- Taux de nitrates des eaux de robinet dans le District de Bamako.



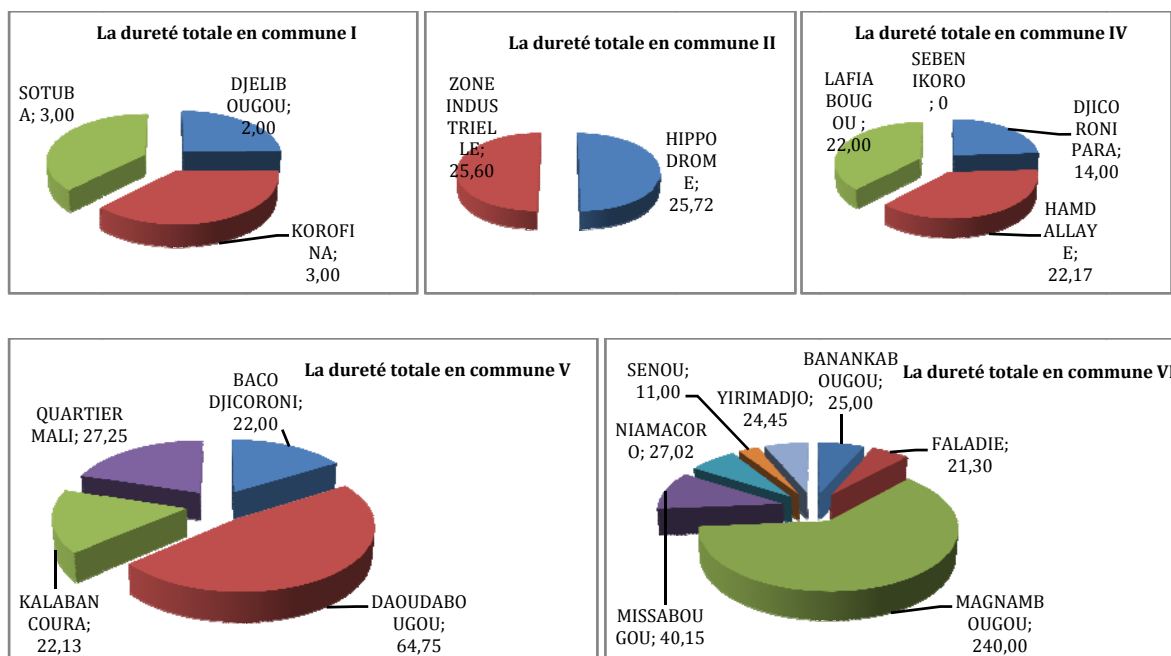
L’OMS et le projet de norme malienne fixe tous les deux une valeur maximale admissible de 50,0 mg / l d’eau. Le taux de nitrate de toutes les eaux de robinet de notre étude est conforme à la directive OMS.

**II-3-3-10- L'alcalinité des eaux de robinet dans le District de Bamako.**



Ni l’OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe de valeur maximale admissible pour l’alcalinité.

**II-3-3-11- La dureté totale des eaux de robinet dans le District de Bamako.**

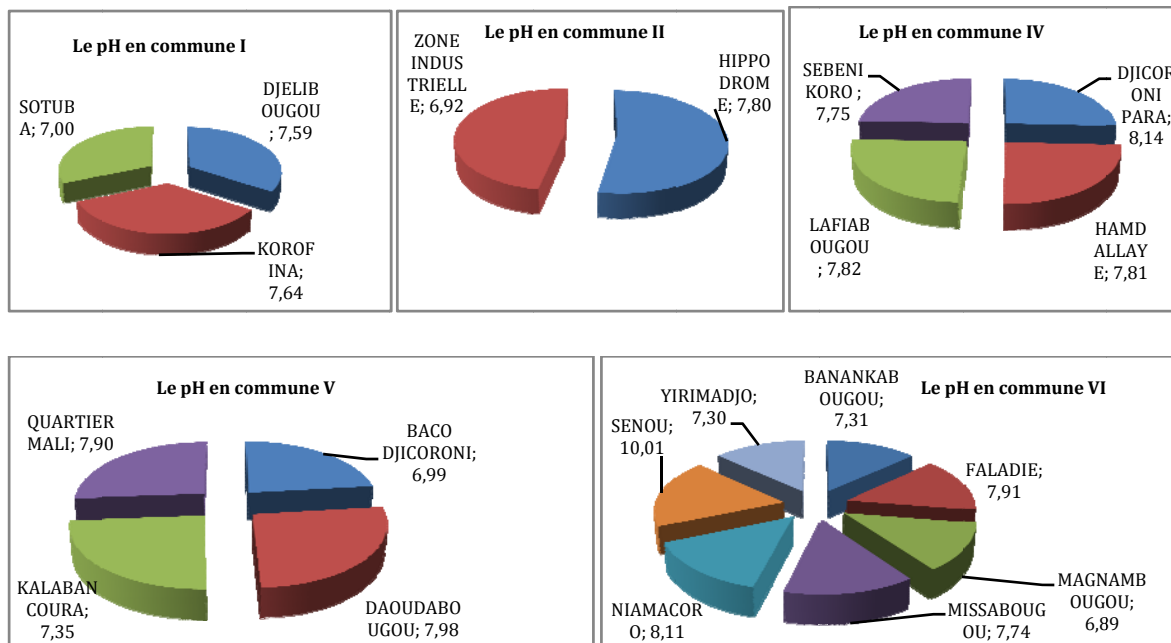


L’OMS dans ses directives fixe une valeur guide de 200 mg/l d’eau. Le projet de norme malienne prévoit une valeur maximale admissible de 500 mg/l

## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako

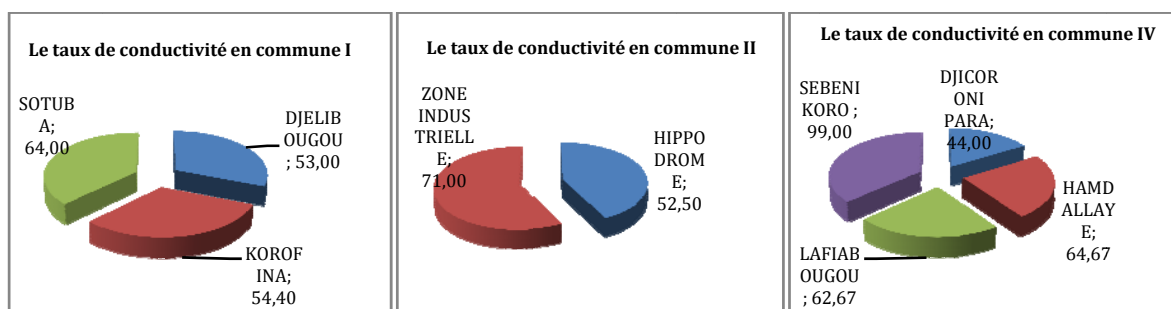
d'eau. La dureté totale des eaux de robinet de notre étude est conforme à la directive OMS de 200 mg/l d'eau.

### II-3-3-12- Le pH des eaux de robinet dans le District de Bamako.

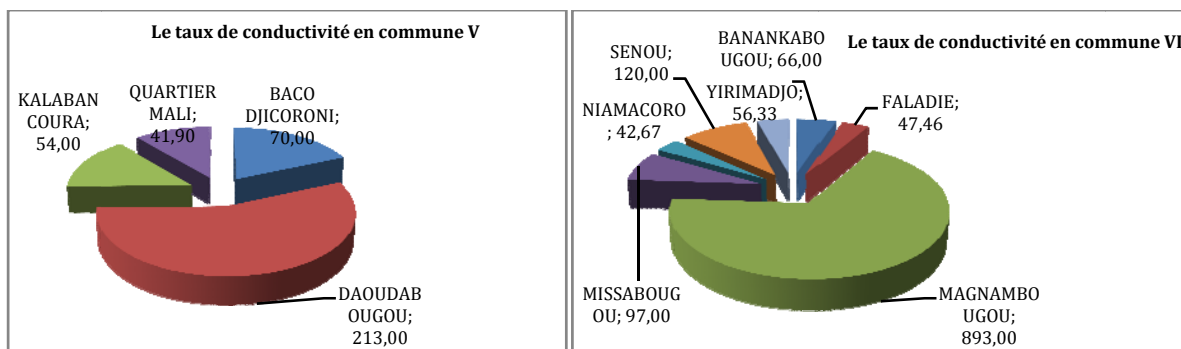


L'OMS dans ses directives accepte une valeur guide de pH compris entre 6,5-9,5. Le pH des eaux de robinet dépasse la valeur maximale admissible par la directive OMS uniquement à Sénou (10,01).

### II-3-3-13- Le taux de conductivité des eaux de robinet dans le District de Bamako.



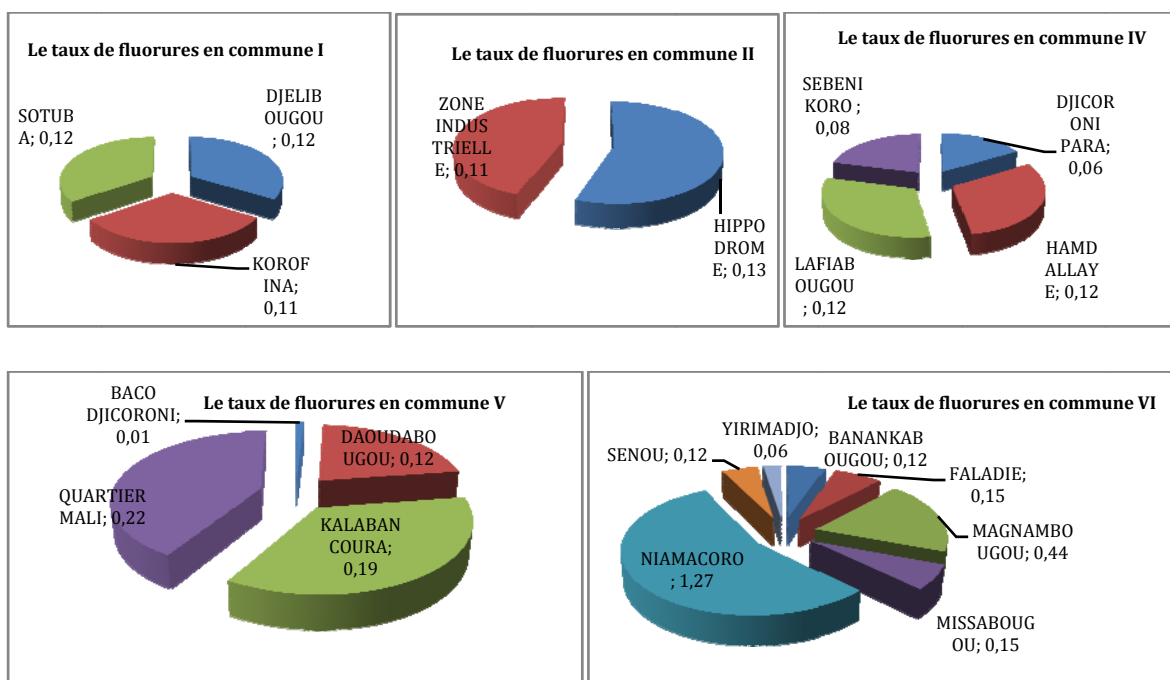
## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako



Les directives OMS ainsi que le projet de norme malienne fixent tous les deux une valeur admissible de 1500 µs/cm d'eau.

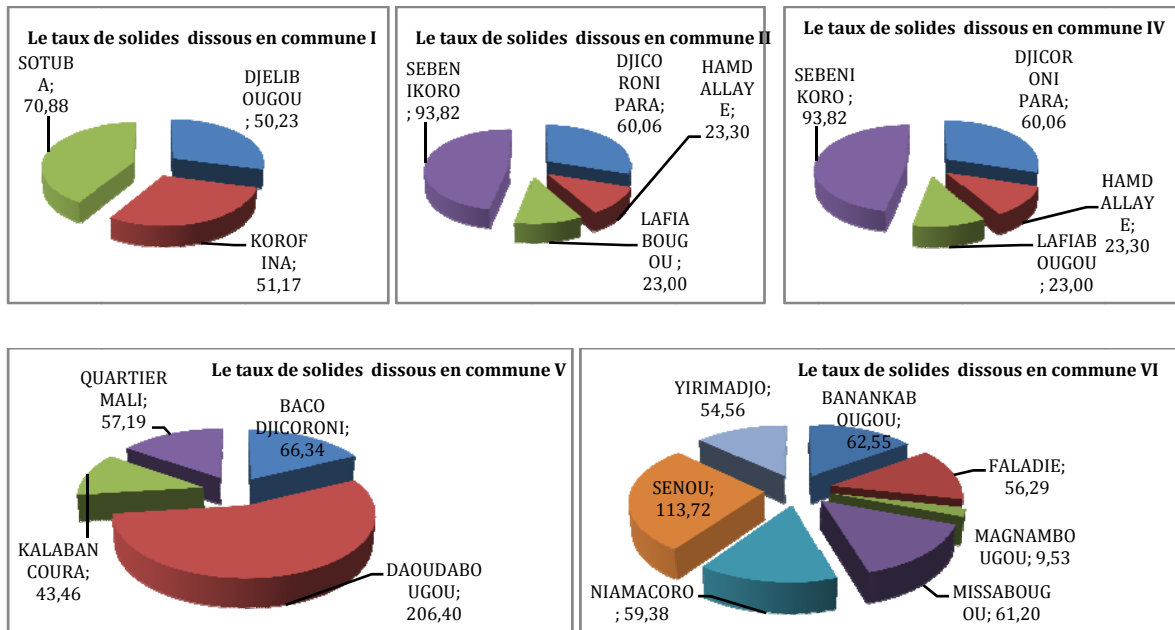
Toutes les eaux de robinet de notre étude ont une conductivité normale c'est-à-dire inférieure à 1500 µs/cm d'eau.

### II-3-3-14- Le taux de fluorures des eaux de robinet dans le District de Bamako.



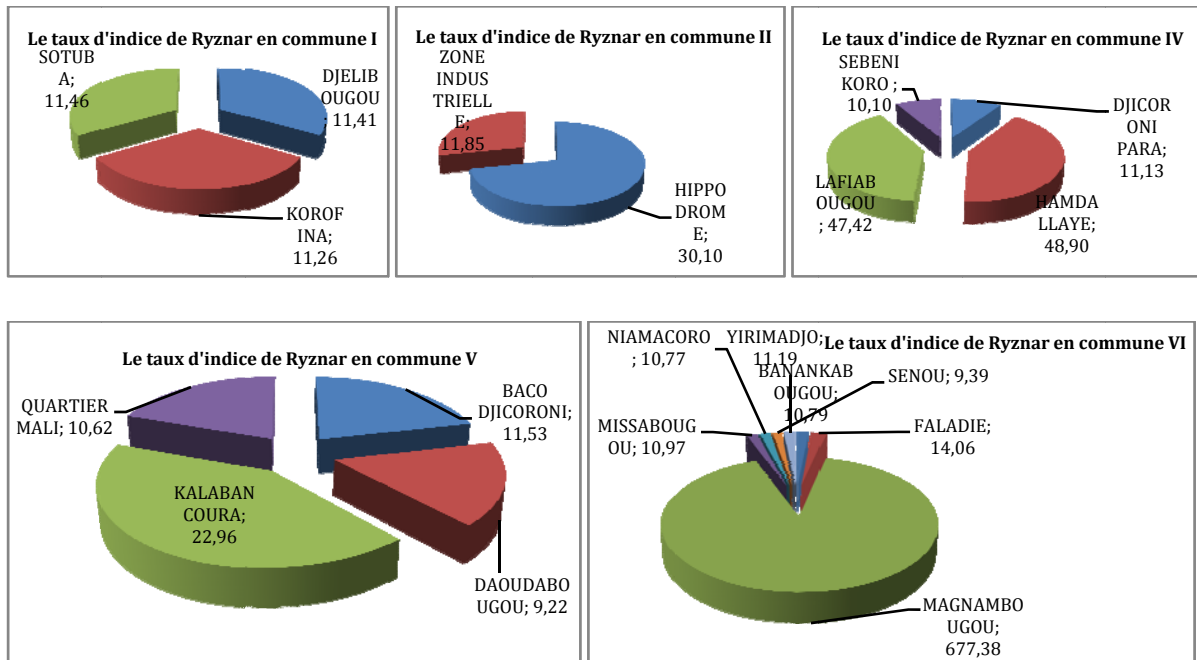
Les directives OMS fixent une valeur admissible de 1,5 mg/l pour les fluorures. Le projet de norme malienne prévoit une valeur maximale admissible de 0,5 mg/l. Le taux de fluorures de toutes nos eaux de robinet est conforme la valeur maximale admissible par la directive OMS.

**II-3-3-15- Le taux de solides dissous des eaux de robinet dans le District de Bamako**



Ni l’OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe de valeur maximale admissible pour les solides dissous.

**II-3-3-16- L’indice de Ryznar des eaux de robinet dans le District de Bamako.**



Ni l’OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe de valeur maximale admissible pour l’indice de ryznar



### III- Zones préférentielles d'exploitation d'eaux de consommation.

A la suite de nos résultats, nous situons ainsi les zones préférentielles d'exploitation d'eaux de consommation.

NB : C désigne les résultats conformes aux directives OMS et NC les résultats non conformes.

P désigne les puits, F les forages et R les robinets

#### III-1- paramètres bactériologiques

Tableau XXIX : récapitulatif des paramètres bactériologiques

TYPE DE POINT D'EAU	COLIFORMESTOTAUX		
	P	F	R
BOULKASSOUMBOUGOU	NC	NC	C
DJELIBOUGOU	NC	C	C
KOROFINA	NC	NC	C
SOTUBA	NC	NC	C
TITIBOUGOU	NC	NC	C
BANCONI	NC	NC	C
NAFADJI	NC	NC	C
CITE DU NIGER	NC	NC	C
HIPPODROME	NC	NC	C
QUINZAMBOUGOU	NC	NC	C
BACODJICORONI	NC	NC	C
BANANKABOUGOU	NC	NC	C
KALABAN COURA	NC	NC	C
TOROKOROBOUGOU	NC	NC	C
BADALABOUGOU	NC	NC	C
GARANTIBOUGOU	NC	NC	C
FALADIE	NC	NC	C
MAGNAMBOUGOU	NC	NC	C
SOKORODJI	NC	C	C
DAOUDABOUGOU	NC	NC	C
YORODJAMBOUGOU	NC	NC	C
NIAMACORO	NC	C	NC
YIRIMADJO	NC	NC	NC
MISSABOUGOU	NC	C	C

## III-2- Paramètres physico-chimiques

Tableau XXX : récapitulatif des paramètres physico-chimiques

TYPE DE POINT D'EAU	FER			NITRATES			DURETE T			pH		
	P	F	R	P	F	R	P	F	R	P	F	R
SIKORONI	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	C
TITIBOUGOU	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	C	C
BANCONI	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
BOUGOUBA	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
SOTUBA	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
NAFADJI	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
KOROFINA	C	NC	C	C	C	C	NC	C	C	C	C	C
FADJIGUILA	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	C
BOULKASSOUBOUGOU	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	C	C
DJELIBOUGOU	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	C	C
QUINZAMBOUGOU	NC	C	C	C	C	C	C	NC	C	C	C	C
ZONE INDUSTRIELLE	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	C	C
TSF	C	C	C	C	C	C	NC	C	C	C	C	C
BOZOLA	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	C
N'GOLONINA	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
NIARELA	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
BOLE	C	C	C	C	C	C	C	NC	C	C	C	C
MEDINA COURA	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
HIPODROME	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
POINT G	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
HPG	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
DIBIDA	C	NC	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
SEBENIKORO	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
TALIKO	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
ACI 2000	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	C	C
HAMDALLAYE	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	C	C
LASSA	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
LAFIABOUGOU	C	C	C	NC	C	C	C	C	C	NC	C	C
KALABANBOUGOU	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
TOROKOROBOUGOU	C	C	C	NC	C	C	NC	C	C	C	C	C
GARANTIBOUGOU	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	C	C
SABALIBOUGOU	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	C	C
300 LOGEMENT	C	C	C	C	C	C	NC	C	C	C	C	C
BACODJICORONI	C	C	C	NC	C	C	C	C	C	NC	C	C
BADALABOUGOU	C	C	C	NC	C	C	C	C	C	C	C	C
DAOUDABOUGOU	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
KALABAN COURA	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	C	C
QUARTIER MALI	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
CITE UNICEF	NC	C	C	C	C	C	NC	C	C	C	C	C
YIRIMADJO	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
YORODJAMBOUGOU	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
1008 LOGEMENT	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
BANAKABOUGOU	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
FALADIE	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
MAGNAMBOUGOU	NC		NC	C	C	C	C	C	C	NC	C	C
MISSABOUGOU	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
NIAMAKORO	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	C	C
SENOU	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC
SOKORODJI	C	C	C	C	C	C	C	C	C	NC	C	C

# **COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS**

# I- Paramètres organoleptiques

## I-1- La turbidité des eaux dans le District de Bamako

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui la troublent. Ces particules peuvent transporter des microorganismes et peuvent se combiner au chlore lors du traitement pour donner des sous-produits nocifs comme les Trihalométhanes (THM). C'est pour ces raisons qu'au niveau de l'OMS comme au niveau du Mali (en projet), des directives ou des projets de normes fixent une valeur tolérable pour les eaux de consommation humaine. L'OMS dans sa directive accepte une valeur de turbidité admissible de 5UTN et 1UTN pour le traitement. Le projet de norme malienne prévoyait 5UTN (Néphélocimétrique Turbidity Units). De nos résultats obtenus, des eaux de forages qui répondent à cette exigence sont : les eaux de Korofina, de Bozola de N'Golonina, de Medina Coura, de Badialan, de Bolé, Point G, Dibida, de l'ACI 2000, de Kalabanbougou, de Lassa et de Yorodjambougou. Par contre la turbidité de la majorité des eaux de puits de notre étude n'est pas conforme à la directive OMS. Mais certaines comme les eaux de puits de Banconi, Sans fil, Lafiabougou, Sébénikoro, Bacodjicoroni, Badalabougou, Garantibougou, Sokorodji, Yirimadjo et Yorodjambougou répondent aux normes de l'OMS. Les études précédentes de Monsieur Coulibaly K et de Samaké H ont trouvé une moyenne de taux de turbidité des eaux de puits supérieure à celle des directives OMS.

Nous devons retenir aussi que toutes les eaux de forage des communes V et VI, à l'exception de celle de Yorodjambougou ont une moyenne de turbidité supérieure à la valeur admissible de 5UTN.

Quant aux eaux de robinet, la plupart de nos résultats obtenus, répondent aux exigences OMS de 5NTU exceptées, celles de la Zone industrielle et de Magnambougou. Mais nous n'avons trouvé aucune étude précédente pouvant nous les confirmer. Mais nous pourrions penser à une défaillance au niveau du circuit de distribution.

## **I-2- La couleur des eaux dans le District de Bamako**

Un amalgame est souvent fait entre un puits dit traditionnel ou creusé et un forage. Le puits traditionnel est de faible profondeur et a pour vocation la collecte des eaux pluviales par infiltration dans le terrain. Le forage est une technique totalement différente car sa vocation est d'aller capter les ressources souterraines. La plus grande différence entre un forage et un puits traditionnel est essentiellement dans la quantité d'eau qu'on va pouvoir exploiter de part un diamètre et une profondeur plus importante. Le puits comme le forage est avant tout une affaire de professionnel.

L'OMS dans ses directives fait mention des eaux de consommation humaine et ne distingue pas les différences sources d'eaux et fixe une valeur directive admissible de 15 UCV (Unité de Couleur Vraie) pour l'eau de boisson alors que le projet de norme malienne prévoit 25 UCV.

Nos résultats varient de 0 à 93 UCV. Les eaux de forage qui répondent aux exigences OMS sont : celles de Nafadji, Sotuba, Titibougou, Boulkassoumbougou, Bougouba, Korofina, Sikoroni, Médina Coura, Bozola, Golomina, Point G, Koulouba, Oulofobougou, Badialan, Samé, Bolé, Kalabanbougou, Lafiabougou, Sabalibougou, Sogoniko, Yorodjambougou, Sogoniko et Magnambougou. Aucune étude antérieure ne nous permet de confirmer ces résultats.

La majorité des eaux de puits de nos résultats est non conforme à la directive OMS. Cependant les eaux de puits de la Zone industrielle, Sans fil, Hamdallaye, Bacodjicoroni, Garantibougou, Yirimadjo, Sokorodji et Missabougou répondent à la directive OMS. Les études précédentes trouvées ne spécifient pas les résultats par quartier du district de Bamako.

Concernant les eaux de robinet, Toutes les eaux de notre étude répondent aux exigences OMS de 15UCV excepté celles de Djicoroni para, Sébénikoro, Hamdallaye et Magnambougou. Nous n'avons trouvé aucune étude précédente pouvant nous les confirmer.

## II-Paramètres bactériologiques

Pour les eaux de consommation, trois micro-organismes indicateurs de pollutions sont recherchés :

- Coliformes totaux sont omniprésents dans la nature et sont associés à la matière organique en décomposition (pelouse, foin, bois, matières fécales, etc.). Par rapport aux directives de l'OMS, pour qu'une eau soit consommable, le résultat doit être de moins de 10 UFC (Unité Formant Colonie) par 100 ml. Lors du dénombrement des coliformes totaux, sont également notées les colonies atypiques. Ces bactéries, comme leur nom l'indique, sont des bactéries présentant des caractères non typiques aux coliformes totaux et leur présence en nombre élevé est un signal d'alarme qui démontre une détérioration de la qualité de l'eau. Si le dénombrement de ceux-ci est supérieur à 200 UFC par 100 ml, l'eau est considérée impropre à la consommation et une désinfection doit être envisageable.
- Coliformes fécaux et entérocoques proviennent d'une pollution fécale animale ou humaine et démontrent la présence potentielle d'organismes pathogènes capables de causer des maladies entériques. Selon les directives de l'OMS, aucun de ceux-ci ne doit être présent par 100 ml d'eau de consommation.

En ce qui concerne l'interprétation de leur présence dans l'eau de consommation, ils (coliformes totaux et/ou des colonies atypiques) peuvent provenir soit d'une infiltration d'eau de surface dans le puits, soit d'une eau restée stagnante ou bien encore de l'encrassement de la tuyauterie. L'eau de surface est un important vecteur pour l'apport de coliformes fécaux et/ou entérocoques.

La présence de coliformes fécaux et/ou d'entérocoques nous indique qu'il y a présence d'une source de matières fécales (fumier, fosse septique ou autre). Si les entérocoques sont présents en nombre beaucoup plus élevé que les coliformes fécaux, il s'agit probablement d'une contamination résiduelle puisque les entérocoques survivent plus longtemps dans l'environnement.

La période la plus problématique pour les puits de surface au Mali est l'hivernage avec l'accumulation d'eau. Si une contamination est détectée, il faut effectuer une désinfection et il est recommandé d'effectuer un nouvel échantillonnage au minimum

une semaine plus tard afin de vérifier si la contamination persiste. Si tel est le cas, il faut trouver la source de contamination.

Par ailleurs, pour l'eau de baignade, la vérification doit être effectuée par la recherche de coliformes fécaux. Le résultat doit être de moins de 200 UFC / 100 ml pour que l'eau soit jugée conforme pour la baignade. Et pour désinfecter un puits, on utilise de l'eau de javel dont la teneur en hypochlorite de Sodium est d'environ 5%.

En premier lieu, à l'exception des puits tubés, on doit désinfecter les parois à l'aide d'une vadrouille propre et d'une solution d'eau javellisée.

Les directives OMS fixent pour les coliformes totaux une valeur guide de 0 UFC/100 ml. Le projet de norme malienne admettait une valeur de 10 UFC/100 ml pour les coliformes totaux et 0 UFC/100 ml pour les coliformes fécaux

## **II-1- Bactériologie des eaux de foragedans le District de Bamako**

De nos résultats obtenus seules les eaux de forage de Djélibougou (0 UFC/100 ml) et Sokorodji (0 UFC/100 ml) répondent aux directives OMS. A Bamako, nous n'avons trouvé aucune étude pouvant confirmer ou infirmer nos résultats. Mais au Maroc, BRICHA Saâdia et al. ont trouvé en 2007 une forte pollution bactériologique de la nappe phréatique M'nasra.

## **II-2- Bactériologie des eaux de puitsdans le District de Bamako**

La plus faible concentration en coliforme totaux est enregistrée à Faladiè (25 UFC/100 ml). Elle dépasse largement la valeur guide OMS de (0 UFC/100 ml). Alors aucune des eaux de puits de notre étude n'est conforme aux directives OMS. Nous n'avons trouvé aucune étude pouvant justifier nos résultats. Cependant les études de SACKO M. réalisé à Sokorodji (Bamako) en 2013 et de BA Ibrahima réalisé à Gavinané (Mali, cercle de Nioro) témoignent une forte pollution bactériologique des eaux de puits. Ces résultats pourraient s'expliquer par le non-respect des conditions d'installation de toilettes et non-respect des conditions d'hygiène dans les différentes familles.

### **II-3- Bactériologie des eaux de robinets dans le District de Bamako**

La plupart de nos échantillons sont conformes à la directive OMS de 0 UFC/100 ml. Cependant des foyers de concentration de coliformes totaux ont été décelés à KalabanCoura (37 UFC/100 ml) Niamakoro (6 UFC/100 ml) et Yirimadjo (8 UFC/100 ml). Alors nous n'avons trouvé aucune étude pouvant confirmer ou infirmer nos résultats.

## **III-Paramètres physico-chimiques**

### **III-1- Le taux de calcium des eaux dans le District de Bamako**

Le calcium présente des effets bénéfiques. Il peut en effet bloquer l'absorption des métaux lourds, accroître la masse osseuse et prévenir certains types de cancer. A des concentrations élevées, le calcium peut avoir des effets négatifs sur l'absorption d'autres minéraux essentiels pour le corps.

Alors l'OMS dans ses directives fixe une concentration en calcium admissible de 100 mg/l d'eau. Le projet de norme malienne prévoit une concentration 400 mg/l d'eau.

Nos eaux sont généralement traitées par l'eau de javel avec une possible formation de chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ). Le chlorure de calcium est irritant car il dessécherait la peau. Mais il ne doit pas être ingéré car c'est un solide (pastilles généralement) qui se dissout dans l'eau. Comme il réagit de manière exothermique avec l'eau, il peut occasionner des brûlures de la bouche ou de l'œsophage. L'ingestion de solution concentrée ou de produit solide peut causer une irritation gastro-intestinale ou une ulcération. La prise de chlorure de calcium comprend d'autres effets secondaires possibles : un goût crayeux (poussièreux, calcaire) dans la bouche, des bouffées de chaleur, une baisse de tension, une perte d'appétit, des douleurs à l'estomac, des nausées, des vomissements, des perturbations mentales, une soif extrême, des douleurs osseuses, des calculs rénaux, une arythmie cardiaque, un coma. N'importe lequel de ces symptômes peut être le signe d'une hypercalcémie. De plus, les sels de chlorure de calcium ont tendance à contenir une petite quantité de métaux, d'aluminium en particulier. Ainsi, au fil du temps ces métaux peuvent s'accumuler dans l'organisme et avoir un effet toxique pour celui-ci. Pour toutes ces raisons, il serait capital de rechercher le taux de calcium dans les eaux de consommation.



La concentration en calcium varie de 4,74 à 48 mg/l d'eau pour les eaux de forage ; de 1,02 à 69,60 mg/l d'eau pour les eaux de puits et de 5,15 à 47,74 mg/l d'eau pour les eaux de robinet. Toutes nos eaux ont alors une concentration en calcium conforme à la directive OMS.

### **III-2- Le taux de magnésium des eaux dans le District de Bamako**

Le magnésium peut procurer à l'eau potable un goût désagréable. Pour certaines personnes, il suffit d'une concentration de 100 mg/l d'eau, mais pour la plupart des gens, cette concentration doit être d'environ 500 mg/l d'eau.

Dans l'eau de consommation, le magnésium peut avoir un effet laxatif, surtout si les concentrations de sulfate de magnésium sont supérieures à 700 mg/l d'eau. Le corps humain tend toutefois à s'adapter à cet effet laxatif.

L'OMS fixe dans ses directives une valeur maximale admissible de 100 mg/l d'eau. La concentration en magnésium varie de 1,51 à 45,01 mg/l d'eau pour les eaux de forage. Pour les eaux de puits elle varie de 1,51 à 55,87 mg/l d'eau et de 0,59 à 29,21 mg/l d'eau pour les eaux de robinet. La teneur en magnésium de nos échantillons est donc conforme à la directive OMS. L'étude de DEMBELE F.B réalisée en commune V du district de Bamako en 2013, confirme en partie nos résultats.

### **III-3- Le taux de sodium des eaux dans le District de Bamako**

Le sodium est un ion essentiel des liquides corporels. Il n'est pas nocif aux concentrations normalement présentes les aliments et les sources d'eau potable. Alors une consommation élevée de sodium peut provoquer des problèmes chez les personnes qui ont un régime appauvri en sel.

Les directives OMS ne fixent pas de valeur guides pour le sodium. La plus forte concentration en sodium est 115,69 mg/l pour les eaux de forage ; 186,14 mg/l pour les eaux de puits et 88,00 mg/l d'eau pour les eaux de robinet. Néanmoins nos résultats sont conformes au projet de norme malienne de 400 mg/l.

### **III-4- Le taux de potassium des eaux dans le District de Bamako**

Le potassium est un nutriment indispensable à l'être humain. Sa concentration courante dans l'eau de consommation n'est pas considérée nocive pour les personnes en bonne santé.

Sur le plan toxicité, le potassium peut avoir des effets nocifs quand il est respiré. L'inhalation peut irriter les yeux, le nez, la gorge, les poumons avec l'éternuement, la toux et la gorge endolorie. Des expositions plus élevées peuvent causer une accumulation de liquide dans les poumons, ceci pouvant causer la mort. Le contact avec la peau et l'œil peut causer des brûlures graves menant à des dommages permanents. Quand les reins fonctionnent mal, il y a une accumulation de potassium ce qui peut entraîner une perturbation des battements du cœur. Au-delà de 25 mg/kg de masse corporelle, le potassium est toxique. En intraveineuse, la dose létale pour un humain est d'environ 30 à 35 mg/kg. Un surdosage en potassium provoque l'hyperkaliémie, alors qu'une carence en potassium provoque l'hypokaliémie. L'hyperkaliémie découle le plus souvent des insuffisances rénales très avancées (le rein n'excrète plus le potassium, et il va donc augmenter) alors qu'il est quasi impossible d'avoir une hyperkaliémie quand les reins fonctionnent normalement. On traite l'hyperkaliémie par des perfusions de bicarbonates (on alcalinise le sang), jusqu'aux cas les plus extrêmes où l'on effectue une hémodialyse (rein artificiel)... Un arrêt cardiaque peut survenir surtout si les changements de la kaliémie ont été brusques. Il existe des manifestations avant-coureuses : des troubles du rythme cardiaque, des troubles digestifs (hypokaliémie seulement), des douleurs musculaires (hypokaliémie seulement). Une forte absorption orale même sous sa forme sel, ne pourrait que conduire à une hyperkaliémie.

Les directives OMS ne fixent pas alors de valeur guides pour le potassium. Mais le projet de norme malienne prévoit une concentration maximale admissible de 100 mg/l d'eau. La plus forte concentration en potassium est 44 mg/l d'eau pour les eaux de forage ; 130 mg/l d'eau pour les eaux de puits et 30,20 mg/l d'eau pour les de robinet. Toutes nos eaux sont conformes au projet de norme malienne excepté celle de Quinzambougou (130 mg/l d'eau).

### **III-5- Le taux de fer des eaux dans le District de Bamako**

Le fer ne pose pas de risques pour la santé aux concentrations normalement présente. L'eau possédant des concentrations élevées en fer peut entraîner la formation de tâches sur les raccords de plomberie ou sur le linge. L'eau chargée en fer, consommée directement ou sous forme d'infusion (thé) peut avoir un goût désagréable.

Des taux plus élevés de fer, pourraient augmenter les risques de maladies cardiovasculaires et de cancers. Par exemple on sait que le métal non absorbé favorise la production dans le côlon de radicaux libres, ces agents du vieillissement cellulaire. En réagissant avec la flore colique, le fer pourrait se comporter comme un facteur de risque du cancer. Le fer, en trop grande quantité, est également impliqué dans plusieurs maladies neurodégénératives comme Alzheimer et la Chorée de Huntington. La réduction de la quantité de fer à l'intérieur des neurones permet de diminuer les symptômes chez les malades souffrant d'une de ces deux maladies. Enfin, chez l'animal, le fer libre interagirait avec l'aluminium et augmenterait sa neurotoxicité de ce dernier.

L'OMS dans ses directives fixe une valeur guide de 0,3 mg/l d'eau. La majorité de nos échantillons a une concentration en fer conforme à la directive OMS. Cependant la concentration en fer des eaux de forage dépasse la valeur guide OMS de 0,3 mg/l d'eau à Korofina (1,81 mg/l) d'eau et Dibida (0,42 mg/l).

La concentration en fer des eaux de puits dépasse la valeur guide OMS à Quinzambougou (1,90 mg/l), Cité Unicef (2,13 mg/l) et Magnambougou (0,41 mg/l). Quand à la concentration en fer des eaux de robinet, la valeur guide OMS est dépassée uniquement à Magnambougou (0,94 mg/l).

Lors d'une étude réalisée en 1991 à Bamako, Aboubacrine Alpha et al. ont trouvés des foyers de concentration en fer dans les eaux de la nappe phréatique alimentant la ville de Bamako.

### **III-6- Le taux de chlorures des eaux dans le District de Bamako**

En soi, le chlorure présent dans l'eau potable ne comporte généralement pas d'effets nocifs pour la santé. A des concentrations supérieures à 250 mg/l d'eau, le sodium associé au chlore peut être une préoccupation pour les personnes qui suivent un régime appauvri en sel.

Selon certaines études, le chlorure jouerait un rôle dans l'hypertension sensible au sodium. Il semblerait que le sodium et le chlorure à la fois sont nécessaires pour exercer un effet hypertenseur. Dans l'organisme humain, les concentrations de chlorure sont bien régulées au moyen d'un système complexe faisant intervenir à la fois le système nerveux et le système hormonal. Même après l'absorption de quantités importantes de chlorure par l'intermédiaire des aliments et de l'eau, l'équilibre du chlorure se maintient, surtout par l'excrétion de l'excès de chlorure dans l'urine.

L'OMS ne fixe pas alors de valeur maximale guide pour les chlorures dans l'eau potable. Mais le projet de norme malienne prévoit une valeur maximale admissible de 600 mg/l d'eau. La plus forte concentration en chlorures est 142 mg/l pour les eaux de forage ; 438,63 mg/l d'eau pour les eaux de puits et 143,73 mg/l pour les eaux de robinet. La concentration en chlorure de nos échantillons n'excède pas la valeur maximale prévue par le projet de norme malienne.

### **III-7- Le taux de sulfates des eaux dans le District de Bamako**

A des concentrations supérieures à 500 mg/l d'eau, le sulfate peut modifier le goût de l'eau. A des concentrations supérieures à 1000 mg/l, le sulfate peut avoir un effet laxatif. En général, l'eau potable ne contient pas de telles concentrations. Les directives OMS fixent une valeur maximale guide de 250 mg/l d'eau.

La plus forte concentration en sulfate est 71,26 mg/l d'eau pour les eaux de forages ; 109,95 mg/l d'eau pour les eaux de puits et 13,71 mg/l d'eau pour les eaux de robinet. La teneur en sulfate de toutes nos eaux étudiées est alors conforme à la directive OMS. Ces résultats sont en partie confirmés par F. B. DEMBELE en 2013, O. KONE en 2014 et A.S. MAIGA en 2005.

### **III-8- Le taux de bicarbonates des eaux dans le District de Bamako**

Le bicarbonate de sodium permet de réduire l'acidité de l'organisme, améliore l'hydratation et diminue la fatigue musculaire. Il n'y a pas d'inconvénients à la consommation d'eaux riches en bicarbonates de sodium. La présence des bicarbonates dans une eau de boisson est utile pour la digestion dans la mesure où elle accompagne l'action de la salive et tamponne l'excès d'acidité qui peut être entraînée par les « abus » de table. Excès de table en termes de quantité ou en termes de qualité des aliments. Les eaux fortement bicarbonatées peuvent aussi être intéressantes dans le cadre sportif, dans la mesure où le bicarbonate peut contribuer à neutraliser l'excès d'acide lactique produit dans les muscles et lutter contre les phénomènes d'acidose métabolique.

Des études récentes (**MEDEC 2006** « *Le renouveau d'intérêt pour le bicarbonate de sodium des eaux minérales naturelles* », communication du Dr François Raoux, Cellule scientifique Neptune) ont d'autre part démontré que la présence de bicarbonates dans les eaux de boisson ne présente pas de risques d'entraîner de l'hypertension. L'apport de sodium à travers le bicarbonate ne présente donc visiblement pas (en tous cas dans le cadre d'une consommation normale des eaux de boisson) les mêmes dangers qu'à travers le sel de table (chlorure de sodium – NaCl). Par conséquent ni l'OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe de valeur maximale admissible.

### **III-9- Le taux de nitrates des eaux dans le District de Bamako**

Les concentrations en nitrates supérieures à 10 mg/l peuvent poser un risque pour la santé surtout chez les bébés âgés de moins de six mois. Seule l'ingestion de nitrate pose un risque pour la santé en buvant, en cuisinant ou en se brossant les dents.

La majorité de nos échantillons de forage est conforme à la directive OMS. Cependant la teneur en nitrate dépasse la valeur maximale OMS de 50,0 mg /l d'eau à Quinzambougou (64,10 mg /l d'eau) et Fadjiguila (70,69 mg /l d'eau). Pour les eaux de puits, la teneur en nitrates dépasse la valeur maximale OMS Lafiabougou (85,48 mg /l d'eau), à Bacodjicoroni (69,64 mg /l d'eau); à Badalabougou (66,99 mg /l d'eau) et à Torokorobougou (66,47 mg /l d'eau). Aucune étude précédente ne nous permet de confirmer ou d'infirmer nos résultats relatifs aux eaux souterraines.

Quand aux eaux de robinet, le taux de nitrate est conforme aux directives OMS dans toutes les communes. Tous les échantillons de A. S. MAIGA étaient aussi conformes à la directive OMS.

### **III-10- L'alcalinité des eaux dans le District de Bamako**

L'alcalinité est la mesure de la capacité d'une eau à neutraliser les acides. Un pH inférieur à 6,5 peut favoriser la corrosion des canalisations et des raccords de plomberie. Le niveau de corrosivité d'une eau dépend également d'autres facteurs comme l'alcalinité, la température de l'eau, les matières totales dissoutes et la dureté.

Alors ni l'OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe de valeur maximale admissible pour l'alcalinité dans les eaux de consommation.

### **III-11- La dureté totale des eaux dans le District de Bamako**

Une eau dure contient des concentrations importantes de certains minéraux, comme les ions de métal, principalement le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) sous forme de carbonates. L'eau dure n'est pas nocive pour la santé.

Il s'agit principalement d'une préoccupation d'ordre esthétique en raison du goût que procure une concentration élevée de calcium et d'autres ions. L'eau dure réduit le pouvoir moussant du savon et favorise la formation de calcaire dans les tuyaux, sur les raccords de plomberie et dans les systèmes de chauffage.

L'OMS dans ses directives fixe une valeur maximale guide de 200 mg/l d'eau.

Seules les eaux de forage de Quinzambougou (219,33 200 mg/l d'eau) et Bolé (202 200 mg/l d'eau) de notre étude excèdent la valeur maximale OMS de 200 mg/l d'eau.

La majorité des eaux de puits est conforme à la directive OMS. Alors les eaux de puits de Korofina (203 mg/l d'eau), Sans fil (204,50 mg/l d'eau), Torokorobougou (295,20 mg/l d'eau), 300 Logement (217 mg/l d'eau) et cité Unicef (271 mg/l d'eau) excèdent la valeur maximale OMS.

Toutes les eaux de robinets sont conformes à la directive OMS.

Aucune étude trouvée dans notre littérature ne confirme ou infirme ces résultats.

### **III-12- Le pH des eaux dans le District de Bamako**

Un pH inférieur à 6,5 ne pose pas en soi un risque pour la santé ; toutefois une eau corrosive peut provoquer la dissolution des métaux comme le plomb, le cadmium, le zinc et le cuivre présent dans les tuyaux de canalisations entraînant ainsi une augmentation des concentrations de ces métaux dans l'eau potable et donc des problèmes possibles pour la santé. Un pH supérieur à 8,5 peut favoriser l'apparition de tartre dans les canalisations. L'OMS dans ses directives accepte une valeur guide de pH compris entre 6,5-9,5.

Seules les eaux de forages de Sikoroni (5,98), de Fadjiguila (4,96) et de Bozola (5,57) ne répondent pas aux directives de l'OMS. Résultats très proches de ceux de Nanfack et collaborateur à Mbouda au Cameroun en 2014.

Le pH de la plupart des eaux de puits de notre étude est conforme à la directive OMS. Par conséquent les eaux de puits de Titibougou, Djélibougou, Boukassoumbougou, Zone industrielle, ACI 2000, Lafiabougou, Hamdallaye, Sabalibougou, Kalabancoura, Bacodjicoroni, Garantibougou, Sokorodji, Niamakoro et Magnambougou sont acides comparées à la directive OMS.

Pour les eaux de robinet, le pH dépasse la valeur maximale admissible par la directive OMS uniquement à Sénou (10,01). La valeur du pH de tous les échantillons d'eaux de A.S. MAIGA étaient conformes à la directive OMS.

### **III-13- La conductivité des eaux dans le District de Bamako**

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. La conductivité ne pose pas en soi un risque pour la santé. Les directives OMS fixent une valeur maximale admissible de 1500 $\mu$ s/cm d'eau.

Toutes les eaux de forage de notre étude ont une conductivité conforme à la directive OMS. Aboubacrine Alpha et al. ont trouvé en 1991 à Bamako des résultats similaires.

Le taux de conductivité des eaux de puits de notre étude dépasse la valeur maximale admissible par la directive OMS de 1500  $\mu\text{s/cm}$  d'eau à Quinzambougou (1786  $\mu\text{s/cm}$ ), à Sans Fil (2060  $\mu\text{s/cm}$ ) et à Torokorobougou (1726  $\mu\text{s/cm}$ ).

Toutes les eaux de robinet de notre étude ont une conductivité normale c'est-à-dire inférieure à 1500  $\mu\text{s/cm}$  d'eau. Tout comme les eaux de puits, aucune étude ne confirme ou infirme nos résultats des eaux de robinet.

### **III-14- Le taux de fluorures des eaux dans le District de Bamako**

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

Les fluorures sont cumulatifs et persistants d'où leur grande dangerosité. C'est pourquoi les individus qui, enfant, avalaient le dentifrice lorsqu'ils se brossaient les dents sont plus exposés à de telles intoxications. Le fluorure est caractérisé par divers mécanismes de toxicité. Initialement, le fluorure ingéré affecte localement la muqueuse intestinale. Il peut alors former de l'acide fluorhydrique dans l'estomac, ce qui mène à l'irritation du gros intestin à cause d'effets corrosifs. Cet acide agit de façon corrosive sur le revêtement épithélial de la voie gastro-intestinale. Suite à l'ingestion, la voie gastro-intestinale constitue le premier, ainsi que le système le plus souvent affecté. Les directives OMS fixent une valeur admissible de 1,5 mg/l.

Toutes les eaux de forage de notre étude sont conformes à la directive OMS. Alpha Aboubacrine et collaborateur ont aussi trouvé de faibles concentrations de fluor dans les eaux souterraines de Bamako en 1991.

Aussi la concentration en fluor de toutes les eaux de puits de notre étude est conforme à la directive OMS. L'étude de O. KONE réalisée en commune VI du District de Bamako confirme partiellement nos résultats. F.B. DEMBELE a trouvé quelques valeurs élevées de fluorures en commune V.



Le taux de fluorures des eaux de robinet dépasse la valeur maximale admissible par la directive OMS de 0,5 mg/l d'eau uniquement à Niamakoro (1,27 mg/l d'eau) on pourrait aussi penser à une défaillance au niveau du circuit de distribution.

### **III-15- Le taux de solides dissous des eaux dans le District de Bamako**

La matière dissoute est la somme de la minéralisation, c'est-à-dire la quantité de l'ensemble des cations et anions se trouvant dans l'eau. Elle est en fonction de la conductivité qui elle-même n'a pas d'impact en soi sur la santé. Cependant ni l'OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe de valeur maximale admissible pour les solides dissous.

### **III-16- Le taux d'indice de ryznar des eaux dans le District de Bamako**

L'indice de ryznar (I R) permet de définir la tendance agressive ou entartrant d'une eau aérée. Ni l'OMS, ni le projet de norme malienne ne fixe de valeur maximale admissible pour l'indice de ryznar.

# **CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

## I- CONCLUSION

Les résultats de l'analyse physico-chimique nous montrent que la concentration des paramètres suivants : calcium, sodium, magnésium, potassium, chlorures, sulfates, dureté, pH, conductivité et solides dissous des eaux de forages est acceptable et ne représente aucun danger pour la consommation humaine. Cependant certains paramètres tels que le fer, la couleur et la turbidité ont plus ou moins dépassé les valeurs maximales admissibles par les directives OMS dans les eaux de forages. La majorité des paramètres physico-chimiques des eaux de puits étudiées était non conforme aux directives OMS. Etaient conformes aux directives OMS le calcium, le magnésium, et les sulfates et fluorures des eaux de puits. Quant aux paramètres physico-chimiques relatifs aux eaux de robinets, la non-conformité a été observée avec le fer, le pH et la couleur. Les résultats des paramètres bactériologiques ont été non conformes dans la majorité des cas. Cependant la conformité a été souvent observée mais uniquement avec les coliformes fécaux.

## II-RECOMMANDATIONS

Au terme de notre étude, nous formulons les recommandations suivantes :

Au Ministère de la santé et de l'hygiène publique

- ✓ Sensibiliser la population sur les dangers pour la santé et l'environnement de dépôts des ordures ménagères, des eaux vannes dans les caniveaux.
- ✓ Sensibiliser la population sur l'analyse des eaux de puits et de forages avant leur consommation.
- ✓ Impliquer davantage les agents de santé compétents dans le secteur de l'eau et environnement.

Au Ministère de l'urbanisme et de l'habitat

- ✓ Exiger le respect de la distance entre puits et latrines dans les maisons en cours de construction.

Au Ministère de l'enseignement supérieur

- ✓ Encourager des études en matière de la qualité des eaux de consommation.

## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako

Au Laboratoire National de l'Eau :

- ✓ Préciser les lieux de prélèvement en équipant les préleveurs d'un GPS.
- ✓ Elargir la gamme des paramètres bactériologiques à analyser.
- ✓ Demander davantage aux clients l'analyse des paramètres bactériologiques.

Au décanat de Faculté de Pharmacie :

- ✓ Instaurer les cours d'hydrologie qui étaient dispensés.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Aboubacrine Alpha** et al., Hydrogéologie et contamination de la nappe phréatique alimentant la ville de Bamako, rapport de recherche, ENI-ABT, 1991.
2. **APHA**, AWWA, WEF (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association et Water Environment Federation, 20<sup>e</sup> édition, pagination multiple.
3. **BA Ibrahima**, Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de Gavinané (Nioro du Sahel), thèse de Pharmacie FMPOS 2014.
4. **BRICHA S.** et al. Etude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc), 2007.
5. **HADE A**, Nos lacs – les connaître pour mieux les protéger. Éditions Fides, 2002. Voir en ligne: [www.waterwatch.org](http://www.waterwatch.org)
6. **K. COULIBALY**, étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako.
7. **DEMBELE F.B.**, Détermination des caractéristiques physico chimiques des eaux des forages et puits de certains quartiers de la commune V du district de Bamako, rapport de fin de cycle à l'INSTITUT DES SCIENCES APPLIQUEES-ISA, 2013.
8. **Jacques B.** Boislève 2010 [www.santé-vivante.fr](http://www.santé-vivante.fr)
9. **Jean Rodier et coll.**, L'analyse de l'eau, 8<sup>e</sup> édition, page 22, 2005
10. **KONE O.**, l'étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques des eaux de certains puits à Niamana, rapport de fin de cycle à l'INSTITUT DES SCIENCES APPLIQUEES-ISA de BAMAKO, 2014.
11. **MAIGA A. S.** « Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par EDM.SA dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière.» Thèse de pharmacie-FMPOS-2005.
12. **N'DIAYE A.**, Etude bactériologique des eaux de boissons vendues en sachet dans quatre communes d'Abidjan, thèse de pharmacie 2008.

13. **NANFACK** et collaborateurs : « eaux non conventionnelles: un risque ou une solution aux problèmes d'eau pour les classes pauvres », Mbouda, Cameroun 2014.
14. **Pierre valdiguie**, Biochimie clinique, 2<sup>e</sup> Edition pages 1à3, 2000.
15. **Pr ph BAELE**, L'équilibre acide-base, UCL St Luc [www.ebanque-pdf.com](http://www.ebanque-pdf.com) Techno-science, Eau : définitions et explications, [www.technoscience.net/glossaire](http://www.technoscience.net/glossaire) et définition/eau, 1996.
16. **Projet d'Alimentation en Eau Potable** de la ville de Bamako à partir de Kabala. AEP numéro : P-ML-E00-008, 2008.
17. **SACKO M.**, Analyse de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits de Sokorodji, rapport de fin de cycle à l'INSTITUT DES SCIENCES APPLIQUEES-ISA de BAMAKO, 2013.
18. **SAMAKE Hawa**, Analyse physico-chimique et bactériologique au LNS des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001, thèse de Pharmacie FMPOS 2002.
19. **Forum Mondial de l'Eau** du 12 au 17 mars 2012 à Marseille, 6<sup>ème</sup> édition.
20. **Ministère du commerce des mines et de l'industrie/République du Mali**, Arrêté N°2012/1387/MCMI-SG du 04 juin 2012, PROJET DE NORME MALIENNE-03-02/011:2011, de BAMAKO, 2013.
21. **Protocole LNE** 2008.
22. **Recensement général population et habitat (RGPH)**, 1998 et 2009.
23. **techno-science**, « Eau : définitions et explications » [www.technoscience.net/glossaire](http://www.technoscience.net/glossaire) et définition/eau, 2014.

# ANNEXES

## FICHE SIGNALÉTIQUE

**Nom** : BENGALY

**Prénom** : Moussadi Alassane

**Adresse** : benmous\_9@hotmail.fr

**Nationalité** : Malienne

**Titre** : étude de la qualité des eaux de consommation dans le District de Bamako

**Année de soutenance** : 2015-2016

**Ville de soutenance** : Bamako

**Lieu de dépôt** : Bibliothèque de la faculté de médecine, de pharmacie et d'odontostomatologie, Bamako.

**Secteur d'intérêt** : santé, assainissement, eau et environnement.

**Mots clés** : eau- qualité- Bamako.

### Résumé

La présente étude a pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation alimentant le District de Bamako. L'étude a été menée au Laboratoire National des Eaux (LNE) et a concerné les eaux de puits, les eaux de forage et les eaux de surface.

Les paramètres organoleptiques étudiés ont été la turbidité et la couleur.

La turbidité des eaux de forage et de puits a largement dépassé la valeur maximale admissible par les directives OMS de 5,00 UNT dans toutes les communes de Bamako. La plus forte valeur de turbidité des eaux de forage a été enregistrée en commune V à Bacodjicoroni (64,34 UNT). Celle des puits a été enregistrée en commune VI à Sénou (131 UNT).

Sur le plan bactériologique, toutes les eaux de puits étaient polluées. La qualité bactériologique des eaux de forages n'était pas satisfaisante car la majorité de nos échantillons avait des taux de coliformes totaux et / ou fécaux supérieurs à la norme malienne. La non-conformité des eaux de forage pourrait s'expliquer par la faible



taille de notre échantillon ou un manque d'asepsie lors de la manipulation. Cependant la qualité bactériologique des eaux de robinets était bonne.

La qualité physico-chimique a porté sur 16 paramètres à savoir le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, le fer, les chlorures, les sulfates, les bicarbonates, les nitrates, l'alcalinité, la dureté totale, le pH, la conductivité, les fluorures, les solides dissous et l'indice de Ryznar. Les directives OMS ne fixent pas de valeurs maximales admissibles pour le chlorure, le sodium, le potassium, l'alcalinité, le totale des solides dissous et l'indice de Ryznar. La teneur en calcium, magnésium, sodium, sulfates et la dureté totale des eaux de puits était conforme aux directives OMS. Les valeurs maximales admissibles par les directives OMS pour le fer, nitrates, la conductivité, fluorures sont respectivement 0,3 mg/ l d'eau ; 50 mg/l d'eau, 1500  $\mu$ s/cm, 1,5 mg/l d'eau. La non-conformité des eaux de puits a été donc beaucoup observée à Quinzambougou et Sans Fil.

La qualité physico-chimique des eaux de forages était satisfaisante. Une forte concentration en fer (1,81 mg/l d'eau) en commune I à Korofina est néanmoins à signaler. La qualité physico-chimique des eaux de robinets était aussi satisfaisante. Egalement une augmentation de la teneur en nitrates (60,61 mg/l d'eau) en commune VI à Magnambougou et en fluorures (1,27 mg/l d'eau) en commune VI à Niamakoro est à signaler.

## PLATEAU TECHNIQUE DU LABORATOIRE NATIONAL DES EAUX (LNE)

Liste des équipements recensés en janvier 2016	
Équipements de laboratoire	marque
Spectromètre UV –Visible	ASS Perkin Elmer
Spectromètre UV –Visible (moyenne)	JENWAY
Turbidimètre de laboratoire	Model 2100N
Spectromètre absorption Atomique	nov AA300
Chromatographe Ionique	Metrohm
Chromatographe	HEWLETT PACKARD
Chromatographe	DIONEX
TITROSAMPLER 855 1 STATION 1 POMPE	Methrom
Photomètre à flamme	JENWAY PFP7
Photomètre à flamme 410	CORNING
Incubateur	VWR (DRY-line)
Incubateur (0°C-35°C ; 0°C à 45°C ; 0°C à 37°C)	memmert
Autoclave de table Certoclav 140°C max	LGA
Étuve à une température de 0°C-250°C	memmert
Étuve à une température de 0°C-220°C	prolave
Étuve à une température de 0°C-200°C	THERMOSI
DBO-mètre	Oxitop Box
DCO-mètre	HACH
Centrifugeuse	SELECTA
Broyeur	Retsch sk100
Homogénéise	turbula
Distillateur d'Eau DP. 4000 Litres /heure	DP
pH-mètre de laboratoire	HANNA
pH-mètre de laboratoire	CRISON
pH-mètre de laboratoire	WTW
Analyseur de Carbone Organique et Inorganique	Multi N/C 2100

## Étude de la qualité des eaux de consommation à Bamako

Spectrophotomètre /DR 5000 Avec Accessoires	HACH
Thermo Régulatrice	Lovibond
<b>Équipements de terrain</b>	
Kit Arsenator (portable)	Wag-WE10500
Arsenator (portable)	Kit comparatif
DR890 (portable)	HACH
Turbidimètre (portable)	HANNA
Turbidimètre (portable)	HACH
Oxymètre de terrain	HACH
Spectrophotomètre /DR 900	HACH
Incubateur à double four (portable)	MILLIPORE
Multiparamètre (portable)	HQ
pH-mètre (portable)	HANNA
Bec bunsen	ORCAMP
Accessoires –Support pour tube à essai 2 rangées de 6	Millipore
GPS (Récepteur GPS Trimble XM V6) avec licence Arc Pad (ABN)	GARMIN
Rame à Filtration	CombisartSartorius
Series Tamis	Afnor
Series Tamis	Fisher
Marteau Piquer	Cobra
Kit Colorimètre	HACH
Piézomètre	AQUAMERIK
Échantillonneur	WILDGO
Plaques chauffantes numériques	DUPRO-MADE
Photomètre aluminium	HANNA
Photomètre Argent	HANNA
Photomètre Chrome Hexavalent	HANNA
Photomètre de Couleur vraie et Apparente	HANNA

## Etude de la qualité des eaux de consommation à Bamako

Photomètre Cuivre	HANNA
Photomètre Fluorure	HANNA
Photomètre Fer	HANNA
Photomètre Iode	HANNA
Photomètre Manganèse	HANNA
Photomètre molybdène	HANNA
Photomètre nickel	HANNA
Photomètre Potassium	HANNA
Photomètre Silice	HANNA
Photomètre Zinc <sup>1</sup>	HANNA

## LISTE DES TABLEAUX

**Tableau I :** relation entre minéralisation et conductivité selon la réglementation française.

**Tableau II :** paramètres bactériologiques de l'eau de boisson

**Tableau III :** quelques paramètres physico-chimiques de l'eau de boisson

**Tableau IV :** paramètres organoleptiques de l'eau de boisson

**Tableau V :** Autres paramètre (calcium et magnésium)

**Tableau VI :** Quelques substances inorganiques

**Tableau VII :** Paramètres organoleptiques (MALINORM)

**Tableau VIII :** Paramètres de structures (MALINORM)

**Tableau IX :** Substances indésirables

**Tableau X:** Paramètres microbiologiques (MALINORM).

**Tableau XI:** Paramètres organoleptiques (MALINORM).

**Tableau XII:** Paramètres de structures (MALINORM).

**Tableau**

**XIII :** Substances indésirables (MALINORM).

**Tableau XIV :** Paramètres microbiologiques (MALINORM).

**Tableau XV :** principaux agents bactériens pathogènes présents dans les fèces et les maladies transmises

**Tableau XVI :** principaux groupes de virus pathogènes excrétés dans les fèces et les maladies transmises

**Tableau XVII :** facteurs influençant la survie des bactéries dans le sol

**Tableau XVIII :** Composition des milieux de culture

**Tableau XIX :** la culture des germes indicateurs de contamination

**Tableau XX** : Répartition des échantillons en fonction du type d'eau et de la provenance

**Tableau XXI** : Qualité bactériologique des forages de la commune I

**Tableau XXII** : Qualité bactériologique des puits de la commune

**Tableau XXIII** : Qualité bactériologique des forages de la commune II

**Tableau XXIV** : Qualité bactériologique des forages de la commune V

**Tableau XXV** : Qualité bactériologique des puits de la commune V

**Tableau XXVI** : Qualité bactériologique des robinets de la commune V

**Tableau XXVII** : Qualité bactériologique des forages de la commune VI

**Tableau XXVIII** : Qualité bactériologique des puits de la commune VI

**Tableau XXIX** : récapitulatif des paramètres bactériologiques

**Tableau XXX** : récapitulatif des paramètres physico-chimiques

## LISTE DES PHOTOS ET IMAGES

**Image 1** : cours d'hydrogéologie EM1 ENI-ABT

**Photo 1** : Conductimètre LF197

**Photo 2** : pH-mètre crison GLP21

**Photo 3**: Chromatographe ionique 881COMPACT IC PRO-METROHM

**Photo 4**: rampe de filtration.

**Photo 5** : photo de compteur de colonie

## 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***

---

i