

République du Mali  
Un Peuple-Un But-Une Foi

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

UNIVERSITÉ DE BAMAKO

Faculté de Médecine de Pharmacie et D'Odonto-  
Stomatologie

ANNEE : 2004-2005

Thèse N°.....

**ETUDE DE LA QUALITE  
PHYSICO-CHIMIQUE ET  
BACTERIOLOGIQUE DE L'EAU  
DES PUIITS DE CERTAINS  
QUARTIERS DU DISTRICT DE  
BAMAKO**

**THESE**

Présentée et soutenue publiquement le 20 Avril 2005

Devant la Faculté de Médecine, de Pharmacie et  
d'Odontostomatologie

Par Kassim Coulibaly

Pour obtenir le grade de Docteur en Pharmacie (Diplôme d'Etat)

Jury

Président :	Professeur Moussa HARAMA
Membres :	Professeur Gaoussou KANOUTE Docteur Adama Diawara
Codirecteur :	Mr Abdoulaye KONE
Directrice :	Madame Maiga Fatoumata SOKONA

## *DEDICACES*

Cette thèse est dédiée à tous ceux qui dépensent pour la santé. Qu'ils comprennent par ce travail que  
« la santé est un droit »  
« les dépenses de santé sont un devoir »  
et qu'il faut chercher à les réduire le plus possible tant que nous le pouvons

## 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
- Mes grands parents

Votre souci pour faire de vos descendants des hommes vous obligeait à vous surpasser. En cet instant ma pensée va vers vous. Que Dieu le tout puissant vous accueille dans sa miséricorde.

- A mon 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. Que votre simplicité, votre disponibilité, 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. 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 nous. 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 ;  
**AMEN !**

- A mon oncle et tante docteur Manifa médecin chef à Ségou et son épouse : votre affection et vos bénédictions constantes m'ont jamais fait défaut. Que ce travail qui est aussi le votre vous témoigne ma reconnaissance et mon affection

- 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 et un encouragement pour ceux qui luttent sur les bancs de l'école.

- 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. Soyez en remerciés.

- A tous les collègues et promotionnaires  
soyez toujours guidés par des actions lucides ; courage dans la vie et bonne chance.

- A mon ami Fousseini Coulibaly professeur de mathématique  
Tu représentes tout pour moi; un ami, un conseiller, un confident, un consolateur, un frère,...tu m'as accepté et aimé. Que nous soyons acceptés et aimés par le prophète **MOHAMED** (P.S.L) et son maître **ALLAH** le tout puissant.

## ***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 la mairie centrale et au haut commissariat du district de Bamako pour les renseignements fournis dans la plus grande simplicité.
- Au directeur du laboratoire de la qualité des eaux à la Direction Nationale de l'Hydraulique Mr Abdoulaye Koné. Vous êtes un de nos maîtres dont le calme, la simplicité et l'amour constant du travail bien fait forcent notre admiration. Vous êtes un homme bon, sympathique, affectueux. Vous avez été intéressé des 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 de la qualité des eaux tous les stagiaires qui y sont passés au cours de mon séjour : pour votre contribution précieuse à ce travail, votre sympathie et votre solidarité à mon égard. Que Dieu préserve l'entente et la compréhension qui ont toujours existé entre nous !
- Au personnel de la Direction Nationale de l'hygiène publique et de l'assainissement pour leur disponibilité et leurs apports techniques pour la réalisation de ce travail.
- A tous mes maîtres et maîtresses de la première année de l'école fondamentale à la terminale au lycée et à tous les membres du corps professoral de la faculté pour l'intérêt qu'ils ont accordé à notre formation.
- A l'ensemble du personnel de la FMPOS, pour leur disponibilité constante. Qu'ils trouvent ici nos vifs remerciements.
- A tout le personnel du Ministère des mines de l'énergie et de l'eau pour leur contribution à l'élaboration de ce travail. Trouvez ici nos vifs remerciements.
- A tout le personnel de l'officine Renaissance au quartier Mali ;pour vos conseils, vos encouragements, vos gentillesses et vos sollicitudes, recevez à travers ce travail mon profond attachement et toute ma reconnaissance.
- A toutes les personnes de près comme de loin qui ont contribué à l'élaboration de ce travail.
- A mes camarades de promotion, pour tout ce que nous avons partagé, échangé ensemble ces six petites années. Que Dieu nous réserve de très belles surprises dans notre vie.
- A toutes les personnes de bonne volonté qui ont contribué à l'amélioration de ce travail : pour toute l'affection et la tendresse que vous avez manifesté à mon égard, à laquelle j'exprime mes remerciements.

- A tous mes amis, collègues de la FMPOS et d'autres facultés, toute ma gratitude pour l'esprit de collaboration dont vous ne cessez de me faire preuve.
- A mes oncles, tantes, cousins et cousines pour votre courtoisie, votre sympathie et votre solidarité à mon égard.
- A mon tuteur , tonton Drissa Doumbia et famille, pour votre respect et considération à mon égard durant ces quelques années que nous avons eu à passer ensemble, en guise de reconnaissance.
- A mon tuteur , oncle entrepreneur SANGARE et son épouse Nènè , pour votre affection et vos bénédictions à mon égard. Que ce travail qui est aussi le votre vous témoigne ma reconnaissance et mon affection.
- A monsieur TOURE Edemond et son épouse à BADALABOUGOU Sema I pour leur conseils et pour leur solidarité à mon égard, en guise de reconnaissance.
- A tous les ressortissants de Ségou, ce travail est aussi le votre .
- A mes frères et sœurs, neveux et nièces : vos soutiens sans réserve et vos encouragements m'ont permis d'affronter beaucoup d'épreuves.
- A Mr Mamadou Sananta Diarra et Mr Amadou Zanga Traore professeur à l'école Nationale d'Ingénieurs : je ne trouve pas de mots pour exprimer mes sentiments à votre égard, je vous dirai simplement merci pour tout ce que vous avez fait pour moi à la réalisation de ce travail
- Au chef du personnel de l'Hôpital du Point G, pour vos conseils tout au long de notre cycle universitaire.

## **A notre Maître et président du jury**

Professeur Moussa HARAMA

*Professeur de chimie organique*

C'est un grand honneur que vous nous accordez en acceptant de bien vouloir présider ce jury malgré vos multiples occupations.

Vous avez cultivé en nous le sens du travail bien fait et la rigueur dans la démarche scientifique.

C'est ici l'occasion de vous rendre cet hommage ,de vous dire combien de fois nous avons été séduits par votre rigueur scientifique, ainsi que vos qualités humaines qui font de vous un homme hors du commun.

Nous tenons à vous remercier pour votre disponibilité constante et pour vos conseils si précieux.

Veillez accepter cher maître l'expression de notre sincère admiration et notre profonde reconnaissance.

**Merci cher Maître**

**A notre Maître et juge**

**Docteur Adama DIAWARA**

*Chef de Division Assurance Qualité  
et Economie du Médicament à la Direction  
de la Pharmacie et du Médicament.*

Cher maitre, votre disponibilité, votre courage, votre courtoisie, votre simplicité, aussi bien au service qu'à la faculté témoignent votre énorme sollicitation.

Nous avons apprécié à sa juste valeur vos conseils éclairés.

Nous n'avons pas été surpris de vous voir accepter sans difficulté aucune de siéger à ce jury.

Nous vous remercions cher maitre tout en vous demandant pardon et votre bénédiction.

**Merci cher Maître**

**A notre Maître et juge**

**Professeur Gaoussou Kanouté**

*Responsable des cours de Chimie Analytique, de  
Chromatographie et d'Analyse instrumentale à la  
FMPOS Directeur du laboratoire National de la santé.*

Cher maitre, nous avons eu le privilège de bénéficier comme tant d'autres de votre savoir faire et votre savoir être.

Votre rigueur scientifique et votre facilité de faire passer le message nous ont beaucoup marqué au cour de notre cycle universitaire.

Cher maitre vos excellentes qualités humaines et scientifiques seront pour nous une référence.

Nous comptons beaucoup sur vos conseils tout au long de notre vie et nous vous demandons votre pardon et vos bénédictions.

**Merci cher Maître**

**A notre Maître et codirecteur de thèse**

Monsieur Abdoulaye KONE

*Directeur du laboratoire de la qualité des eaux  
A la Direction Nationale de l'Hydraulique.*

Cher maître, nous sommes heureux de vous compter parmi ce jury.

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

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 reversé dans votre service.

En dehors de votre assistance scientifique et votre soutien matériel, vous avez été un bon père pour moi au cours de notre collaboration.

Trouvez ici cher papa l'expression de mon profond respect.

**Merci cher Maître**

## **A notre directrice de thèse**

**Madame MAIGA Fatoumata SOKONA**

*Ingénieur de Génie Sanitaire spécialisée en Science de l'environnement, chargée des cours d'hygiène du milieu à la FMPOS, et du programme Eau Assainissement à la représentation de l'O.M.S. au Mali.*

Je ne saurais ici vous remercier sans votre permission.

Je ne trouverai certainement pas la formule pour vous exprimer ma reconnaissance et mon entière gratitude pour votre soutien total, tant dans la conception que dans la réalisation de cette thèse.

Vous êtes d'une rigueur, d'un sens social élevé hors du commun .

Passionnée du travail bien fait, soucieuse pour l'amélioration de la qualité de la science surtout votre amour pour la nation pour notre formation et même pour notre réussite.

Vous êtes pour nous une source inépuisable de connaissance de savoir faire et surtout une référence à suivre.

En acceptant de diriger cette thèse, une fois de plus, malgré vos multiples occupations vous nous honorez chère TANTE.

Veillez accepter mes reconnaissances les plus sincères.

**Merci Madame**

## ABREVIATIONS

Alc	:	Alcalinité
Coli.Totaux	:	Coliformes totaux
Coli.Fecaux	:	Coliformes fécaux
C.R.D.I	:	Centre de Recherches pour le Développement International du Canada
D.N.H	:	Direction Nationale de l'Hydraulique
D.N.H.P.A	:	Direction Nationale de l'Hygiène Publique et de l'Assainissement
E.D.M	:	Energie Du Mali
E.D.T.A	:	Acide Ethylène Diamine Tétracétique
E.N.I	:	Ecole Nationale d'Ingénieur
F.M.P.O.S	:	Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Ondoto - Stomatologie
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	:	bicarbonate de calcium
K <sup>+</sup>	:	ion potassium
m	:	mètre
m <sup>3</sup>	:	mètre cube
mg	:	milligramme
ml	:	millilitre
mg/l	:	milligramme par litre
%	:	pourcentage
Na <sup>+</sup>	:	ion sodium
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	:	nitrites
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	:	nitrates
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	:	Ammoniaque
O.M.S	:	Organisation Mondiale de la Santé
pH	:	potentiel d'hydrogène
UCV	:	Unité de Couleur Vraie
UTN	:	Unité Nephelométrique de Turbidité
µs/cm	:	microsiemens par centimètre
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	:	ions sulfates
T.D.S	:	solides Totaux Dissous

# SOMMAIRE

pages

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I      les ressources en eau</b>	
1- Cycle de l'eau.....	3
2- Critère de choix pour l'implantation d'un point d'eau souterraine.....	4
3- Généralité sur la pollution de l'eau.....	4
4- Normes de la qualité de l'eau.....	6
5- Risques liées à la mauvaise gestion.....	9
6- Gestion des risques.....	10
7- Evaluation des risques.....	11
<b>CHAPITRE II     Méthodologie</b>	
1- Cadre de l'étude.....	12
2- Type et période de l'étude.....	12
3- Population d'étude.....	12
4- Définitions opératoires.....	12
5- Echantillonnage.....	13
6- Plan de collecte des données.....	15
6- 1 Etude chimique.....	15
6- 2 Examen bactériologique.....	19
7- Plan d'analyse.....	23
<b>CHAPITRE III    Résultats</b>	
Résultats.....	24
<b>CHAPITRE IV    Commentaires et Discussions</b>	
Commentaires et Discussions.....	33
<b>CHAPITRE V     Conclusion et recommandations</b>	
Conclusion.....	36
Recommandations.....	38
<b>CHAPITRE VI    Résumé Références Bibliographiques</b>	
Résumé.....	40
Références Bibliographiques.....	42

**ANNEXES**

# **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

L'eau est essentielle pour la vie, cependant elle peut être aussi une source de maladie. D'après un rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé cinq millions de nourrissons et d'enfants meurent chaque année de maladies diarrhéiques dues à la contamination des aliments ou de l'eau de boisson.(23)

La consommation d'une eau potable, facteur déterminant dans la prévention des maladies liées à l'eau, doit bénéficier d'une attention particulière. En effet, l'eau destinée à la consommation humaine ne doit contenir ni substances chimiques dangereuses, ni germes nocifs pour la santé.

Au Mali, la majorité des ménages utilisent l'eau provenant des puits publics à ciel ouvert (38%), des puits individuels non protégés (14%). Conjugée à l'insuffisance des ouvrages d'assainissement et la méconnaissance des règles élémentaires d'hygiène, l'utilisation de ces puits favorise la propagation des maladies féco-orales (sources EDS III).

Le milieu rural est plus exposé avec 56% de ménage d'utilisant des puits traditionnels

Bamako est comme toutes les capitales des Etats de l'Afrique tropicale, équipée en installations produisant de l'eau potable. Mais celles-ci ne desservent qu'une partie des quartiers de la ville et le mètre cube d'eau revient cher en raison des conditions de la distribution. C'est ainsi qu'une part importante de la population utilise l'eau des puits dont la qualité est préoccupante. Selon le projet d'alimentation en eau potable de Bamako, la répartition globale des sources d'alimentation pour le District de Bamako en 1998 est de 41 % pour les eaux souterraines (24). Presque chaque concession à Bamako dispose d'un puits.

La faible couverture en eau potable et les comportements à risques des populations sont à l'origine des maladies graves telles que la fièvre typhoïde et paratyphoïde, la dysenterie amibienne et la poliomyélite. Ces facteurs ont favorisé l'apparition des différents épisodes de cholera que le Mali a connu respectivement en 1971, 1985, 1986, 1995, 2001, 2003 et 2004.

Plusieurs études réalisées dans le district de Bamako parmi lesquelles on peut citer projet UFAE 2004 ; Traoré et Sanogo 2003 ; Alpha et Sanogo 1987 ; le bulletin d'alerte sur la qualité des eaux de la nappe superficielle de Bamako : N°1 février 2002 N°2 juillet 2003 ; N°3 décembre 2003 ont montré que la plupart des puits sont pollués. L'implantation, la construction et la surveillance d'un système d'alimentation en eau doivent être de rigueur afin de minimiser tout risque de pollution. Notre étude s'intéresse à la pollution de l'eau de puits, elle nous permettra de dégager certaines causes de la pollution de ces eaux, de faire des propositions permettant à nos populations d'observer des attitudes garantissant la qualité de l'eau de consommation. Nous espérons que les résultats issus de ce travail permettront de

sensibiliser les décideurs pour une meilleure application des normes de protection des puits en vue de la réduction de l'incidence des maladies liées à l'eau notamment les maladies diarrhéiques comme le choléra.

Ainsi nous nous sommes fixés comme objectifs

**Objectif général**

- Etudier la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako.

**Objectifs spécifiques**

- Faire l'analyse de la situation des puits dans les zones retenues
- Analyser les paramètres physico-chimiques et bactériologiques
- Déterminer les éléments présentant un risque pour la santé
- Faire des propositions d'amélioration de la qualité des eaux des puits.

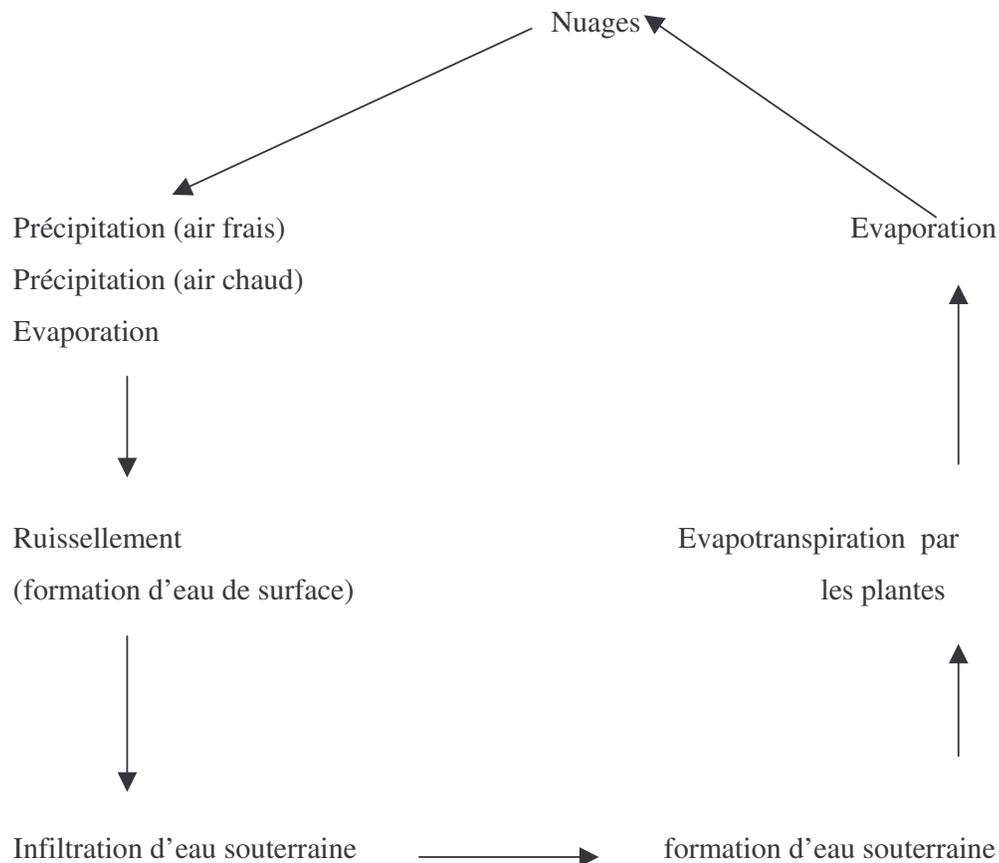
**CHAPITRE I**

**RESSOURCES EN EAU**

## LES RESSOURCES EN EAU

### 1 – Cycle de l'eau

L'eau, élément sous trois formes (liquide, l'état gazeux et solide), parcourt un cycle éternel. L'évaporation lente et incessante des fleuves, des lacs et des mers provoque la formation dans la haute atmosphère, de nuages qui par condensation se transforment en pluie. Une fraction des eaux de pluie ruisselle à la surface du sol et va grossir les cours d'eau et les lacs, d'où elle est sujette d'une part à l'évaporation d'autre part à l'infiltration à travers le sol. Une partie des eaux d'infiltration est reprise par la végétation qu'elle alimente avant d'être rejetée dans l'atmosphère c'est l'évapotranspiration. L'autre partie s'accumule dans le sous sol pour former des nappes souterraines qui, à leur tour peuvent former des sources émergentes à la surface du sol (15).



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

**a** – Les eaux de pluie : les eaux de pluie peuvent être collectées à partir des toitures des maisons dans des récipients ou dans des impluviums. A l'origine ces eaux sont pures sur le plan microbiologique, mais sur le plan chimique, il leur manque souvent certains éléments indispensables à la santé comme le sodium, magnésium, manganèse, fer, iode (15).

**b** – Les eaux de surface : composées d'eaux de mer, de fleuve, de rivière, de marigot, ces eaux couvrent la terre. La terre « planète bleue » en raison de la présence d'eau, 97,5% de celle-ci consiste toutefois en eau salée dont l'essentielle est dans les océans et 2,5% seulement en eau douce (AMH journée mondiale de l'eau 2003). Grossies par les eaux de ruissellement elles reçoivent toutes sortes de déchets contenant des germes nuisibles pour la santé.

**c** – Les eaux souterraines : formées par les eaux d'infiltrations, les eaux souterraines sont exemptes de pollution. Cependant elles peuvent, d'une part être contaminées par la technique de puisage, la proximité des latrines ou d'autres sources de pollution, le manque de protection, d'autre part, elles peuvent être chargées par les éléments ; eaux soumatres, (NaCl) eau dure ( $Ca^{++}$ ) ; eau ferrigineuse ( $Fe^{++}$ )

## **2 – Critère de choix pour l'implantation d'un point d'eau souterraine**

Lorsqu'on a à choisir entre diverses sources d'approvisionnement en eau, la qualité de l'eau ne doit être l'unique considération. Il faut également tenir compte du débit de l'eau et de la pérennité du point d'eau. Compte tenu du coup élevé et de l'insuffisance des systèmes d'adduction d'eau le captage des eaux souterraines avec les puits constituent l'une des meilleures sources d'eau de boisson dans nos pays en voie de développement à condition que ces puits soient bien protégés.

En général, le choix de l'emplacement du puits doit être fait par les services chargés de l'hydraulique en tenant compte des désirs de la population, de l'hydrogéologie du terrain. Un puits ne peut fournir de l'eau que s'il rencontre une nappe. Les nappes peuvent être partout mais leur qualité, leur débit et leur profondeur sont très variables (3). On rencontre des nappes captives et des nappes libres. La nappe captive aussi appelée nappe artésienne est une nappe aquifère qui est confinée entre deux couches imperméables. La nappe libre aussi appelée nappe aquifère est une formation géologique perméable et saturée d'eau.

## **3 – Généralité sur la pollution de l'eau**

De nos jours, les problèmes de pollution constituent un danger de plus en plus important pour l'homme. Parmi ces problèmes, la contamination de l'eau se pose avec acuité. En effet, l'eau est affectée de façon croissante par des matières minérales et organiques et même des micro-organismes dont certains sont pathogènes et donc dangereux pour la santé.

L'eau souterraine, qui est jugée la plus potable, est la ressource la plus couramment utilisée dans les pays en développement. Cependant, cette eau est aussi très vulnérable à la pollution, et sa protection s'impose à tous les niveaux.

❖ Pollution des eaux souterraines :

Bien que se trouvant en profondeur, ces eaux souterraines peuvent être polluées. Malgré les nombreux filtrages que subissent les eaux souterraines il est toujours possible qu'elles contiennent des bactéries ou des éléments indésirables. En effet, les puits sont généralement pollués par :

- la pénétration d'impuretés par les ouvertures
- la contamination par la présence de fosses septiques
- les fuites des conduits d'égouts
- l'infiltration des dépotoirs ou les terrains d'enfouissement
- les activités menées au tour du puits

Avec la pluie les eaux sont entraînées en partie par ruissellements et en partie s'infiltrent contribuant à la recharge de la nappe, mais aussi sa pollution par l'entraînement des matières organiques et minérales de la surface.

La pollution est une dégradation de la qualité de l'eau. L'analyse chimique d'une eau révèle la présence de certains éléments en solution ou en suspension. Ce sont la qualité et la quantité de ces éléments qui, d'une part définissent une eau, et d'autre part précisent et limitent son emploi aux divers usages : alimentation , besoins ménagés, besoins industriels, irrigation,...

Dans ces conditions il faut toujours envisager un traitement.

#### **4- Normes de la qualité des eaux**

Une eau de consommation ne doit pas contenir de germes des maladies à transport hydrique, de substances toxiques ni de quantité excessive de matières minérales et organiques. Elle doit

par ailleurs, être limpide, incolore et ne posséder aucun goût ou odeur désagréable. En outre l'eau potable doit contenir sans excès un certain nombre d'éléments minéraux dont la présence lui confère une saveur agréable à l'exclusion de ceux qui seraient l'indice d'une contamination ainsi que toute substance toxique (6)

Au Mali, il n'existe pas de norme officielle pour la qualité de l'eau de boisson .

Il convient de rappeler que pour l'instant sont pratiquées au Mali ,les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (O M S) relatives à la qualité de l'eau de boisson. Ainsi pour notre étude nous nous référons aux normes de l'OMS dans les tableaux qui suivent

**Tableau I** qualité physico-chimique de l'eau de boisson  
( Directive de l'OMS 2002)

<b>Eléments</b>	<b>Valeurs indicatives en mg/l</b>
Cuivre.....	1 mg/l
Cyanures.....	0,07 mg/l
Fluorures.....	1,5 mg/l
Manganèse.....	0,1 mg/l
Mercure.....	0,001 mg/l
Nitrates .....	50 mg/l
Nitrites .....	3 mg/l
Ammoniac.....	15 mg/l
Plomb.....	0,01 mg/l
Chlore.....	5 mg/l
Couleur.....	15 UCV (unité de couleur vraie)
Turbidité.....	5 UTN (unité de turbidité néphélogéométrie)
Aluminium.....	0,2 mg/l
Chlorure.....	250 mg/l
Dureté.....	-
Fer.....	0,3 mg/l
pH.....	6,5 – 8,5
Sodium.....	200 mg/l
Sulfates.....	250 mg/l
Solides totaux en solution.....	1000 mg/l
Zinc.....	3mg/l

**Tableau II** qualité bactériologique de l'eau de boisson  
( Directive de l'OMS 2002)

<b>Organismes</b>	<b>Les valeurs indicatives</b>	<b>Remarque</b>
A-/ Toutes les eaux destinées à la consommation : E. Coli ou bactéries coliformes Thermotolérantes	0 0	Non détectables dans un échantillon de 100 ml
B-/ Eaux traitées à l'entrée du réseau de distribution : E.Coli ou bactéries coliformes Thermotolérantes  Coliformes totaux	0 0  10	Non détectables dans un échantillon de 100 ml   Non détectables dans un échantillon de 100 ml
C-/ Eaux traitées dans le réseau de distribution : E. Coli ou bactéries coliformes Thermotolérantes  Coliformes totaux	0 0  10	Non détectables dans un échantillon de 100 ml   Non détectables dans un échantillon de 100 ml Dans les installations importantes lorsqu'un nombre suffisant d'échantillons sont examinés, on ne doit pas trouver de coliformes dans 95 % des échantillons prélevés sur une période de 12 mois

## **5-Risques liés à la mauvaise gestion de l'eau**

L'eau contaminée par les excréta est susceptible de transmettre les maladies gastro-intestinales. En effet la pollution fécale peut introduire dans l'eau de boisson des risques :

\*A court terme lorsque les sources de pollution sont urbaines, il s'agit du déversement incontrôlé de teinture, des eaux domestiques etc...Il peut arriver que ces eaux soient évacuées vers des puisards qui sont en communication directe avec la nappe.

\*A moyen terme lorsque les sources de pollution sont industrielles. Il peut s'agir des industries polluantes par leurs déchets.

\*A long terme avec le développement agricole , les produits utilisés dans le but d'améliorer les rendements agricoles . On peut citer :les engrais, les pesticides etc

Les différents risques de l'eau sont : le risque d'ingestion ou risque directe ; risque de contact et le risque indirect. Le péril fécal pollue l'eau par les excréments dans les ressources aquatiques, directement lorsque celles-ci sont de surface(rivière, lac, ...), ou par infiltration de la nappe phréatique. Le ruissellement des eaux de pluies, lessivant les sols la collecte ou le stockage de l'eau de boisson peuvent aussi être des occasions de souillure fécale de l'eau. Les pathologies liées à l'eau peuvent être d'origine bactérienne, virale , parasitaire, liées au manque d'eau et liées à la présence de substance chimique dans l'eau.(6) :

**a - Maladies d'origine bactérienne :** Les eaux peuvent transmettre un certain nombre de maladies d'origine bactérienne. On les cite avec les différents germes en cause :

- Le choléra (*vibrio cholerae*)
- La fièvre typhoïde et gastro-entérite (*salmonella typhi* et *E. Coli*)
- Schigellose (*shigella spp*)
- La tuberculose (*mycobacterium tuberculosis*).

**b – Maladies d'origine virale :** Aux cotés des maladies d'origine bactérienne, nous avons des maladies virales. On peut citer :

- la poliomyélite
- les hépatites virales et entérovirus.

**c - Maladies d'origine parasitaire :** En plus des maladies d'origine bactérienne et virale, on trouve les épidémies d'origine hydrique dues à des parasites exemple l'ankylostomose, la dracunculose, le téniasis etc...

**d – Manque d'eau :** L'absence ou la rareté de l'eau est à l'origine de nombreuses pathologies. L'hygiène défectueuse favorise la multiplication et la transmission des poux

,de la gale. Elle crée aussi des conditions favorables pour certaines pathologies cutanéomuqueuses .

e- Maladies liées à la présence de substance chimique dans l'eau : La fluorose qui est due à une intoxication chronique par le fluor . Le saturnisme qui est l'ensemble des manifestations dues à une intoxication par le plomb . L'hyperthyroïdie, et la methomoglobine provoquent des troubles graves, par altération de l'hémoglobine du sang et formation de metha-hemoglobine toxique (4) pouvant conduire à l'asphyxie et la mort s'il n'y a pas de traitement (4).

## **6-Evaluation des risques**

Pour évaluer ces risques un certain nombre d'indicateurs de contamination fécale ont été retenus. On cite les organismes coliformes qui sont les coliformes totaux et les coliformes fécaux (thermotolérant).

- ❖ coliformes totaux : Il s'agit de citrobacter, enterobacter et Klebsiella. Il ne devrait pas y avoir de coliformes dans les eaux épurées. Si tel était néanmoins le cas, il faut envisager deux possibilités : soit un traitement inefficace, soit une contamination postérieure au traitement.
- ❖ Coliformes fécaux (thermotolérant) : ce sont des coliformes capables de fermenter à 44°C du genre d'Escherichia et, dans une moindre mesure des souches occasionnelles d'Enterobacter, la citrobacter et de Klebsiella. Les coliformes fécaux sont intéressants car un très grand nombre d'entre eux vivent en abondance dans les matières fécales des animaux à sang chaud et de ce fait , constituent des indicateurs fécaux de la première importance. Par ailleurs, leur résistance aux agents antiseptiques et notamment le chlore et à ses dérivés est voisine de la résistance des bactéries pathogènes vis-à-vis desquelles ce type de traitement est instauré. Il s'en suit que la présence, de ces microorganismes soit considérée comme suffisante pour affirmer la nature fécale et leur présence dans l'eau de puits doit être interprétée comme l'indice d'une situation dangereuse. C'est pourquoi, du point de vue pratique, il faut considérer jusqu'à preuve de contraire que tous les coliformes observés sont d'origine fécale (20)

## **7- Gestion des risques**

### **➤ Surveillance**

La surveillance de la qualité de l'eau de boisson peut se définir comme étant «l'évaluation et la supervision continues et vigilantes du point de vue de santé publique de la salubrité et de l'acceptabilité des approvisionnements publics en eau de boisson ».

Cette surveillance comporte

- Contrôle régulier de la qualité pour vérifier que le traitement et la distribution sont conformes aux objectifs établis et à la réglementation
- Surveillance généralement à intervalles spécifiés, de l'ensemble du réseau de distribution depuis la source jusqu'aux consommateurs du point de vue de la sécurité micro biologique. (21)

### **➤ Enquêtes sanitaires**

L'enquête sanitaire c'est une inspection et une évaluation sur place par une personne qualifiée, de toutes les conditions d'installation et pratiques touchant le réseau d'approvisionnement en eau qui pourraient être à l'origine de danger pour la santé du consommateur. Tous les systèmes de distributions doivent être régulièrement inspectés par les spécialistes. Les échantillons doivent y être prélevés notamment aux fins des examens microbiologiques et chimiques. Par ailleurs une enquête sanitaire s'impose pour permettre une interprétation valable des résultats de laboratoire. (21)

## **8-Traitement des eaux souterraines**

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

Le traitement comportera l'une ou la totalité des étapes suivantes :

- Sédimentation : c'est le traitement le plus simple. Il consiste à stocker l'eau dans les réservoirs pendant un bout de temps plus ou moins long. Les matières en suspension se déposent

- Flocculation : la sédimentation est favorisée par l'addition de réactifs chimiques flocculants comme le sulfate d'alumine le « flocc » qui en résulte peut éliminer dans de bonnes conditions les bactéries présentes.

- La décantation et filtration : on avait autre fois recours à la filtration lente sur sable fin, directement appliquée à l'eau brute. Actuellement les eaux brutes subissent d'abord un traitement de coagulation puis de décantation et leur filtration devient alors très rapide.

- Stérilisation : elle constitue l'étape finale du traitement. Elle est destinée à inactiver les microorganismes , pathogènes ou non, qui n'ont pas été retenus au cours des opérations précédentes. Le procédé le plus répandu est la chloration.

**CHAPITRE II**

**METHODOLOGIE**

## **1-) Cadre de l'étude**

- ❖ L'augmentation spectaculaire de la population de Bamako a provoqué le développement anarchique du District avec la multiplication et l'extension des quartiers spontanés à la périphérie.

Les difficultés d'approvisionnement de ces quartiers en eau potable sont considérables. Avec un taux d'accroissement annuel de 4,2% entre 1987 et 1993, obtenu lors du recensement de 1993, et de 6,4% après 1993, la population de Bamako a atteint en 1994 1.183.093 habitants et 1.613.330 habitants en l'an 2003, contre 677.883 habitants en 1987 soit une augmentation de 935.447 habitants entre 1987 et 2003.(26)

- ❖ L'étude a été menée dans le District de Bamako, au Laboratoire de la qualité des eaux de la Direction Nationale de l'Hydraulique(D.N.H).

Service rattaché à la D.N.H, le Laboratoire de la qualité des eaux qui a pour rôle principal de veiller sur la qualité de l'eau de consommation dans notre pays, est créé par l'Ordonnance n°90-51/PRM du 04 septembre 1990. Il a été mis en place par coopération canadienne et plus précisément par l'Agence Canadienne pour le développement international en 1978-1981. De part l'importance socio sanitaire et économique des ressources en eau, le Laboratoire intervient ainsi dans un domaine très important du développement de notre pays.

## **2-) Type et période de l'étude**

Ce travail est une étude transversale à Bamako sur la question de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau du puits. Elle est réalisée sur une période allant du mois de mars 2004 au mois de décembre+

2004, couvrant les deux principales saisons de l'année ; saison sèche(étiage) et saison des pluies(crue).

## **3-) Population d'étude**

L'étude a porté sur 45 puits ordinaires répartis dans 31 quartiers du District de Bamako

- puits traditionnels non protégés ( 95% des puits de notre étude )
- puits ordinaires avec margelles seulement ( 5% des puits de notre étude)

## **4-) Définitions**

- Adduction d'eau : c'est un système d'approvisionnement en eau et dont l'exploitation se fait avec les bornes fontaines.
- Traitement : c'est l'ensemble des procédés utilisés pour rendre une eau potable.

- Maladies d'origine hydrique : ce sont des maladies liées à l'eau soit : par ingestion, par le contact ou par le fait que les vecteurs ou les hôtes intermédiaires vivent ou se développent dans l'eau.
- Contaminant : tout agent biologique ou chimique , toute matière étrangère ou toute autre substance n'étant pas ajoutée intentionnellement à l'eau , au produits alimentaires et pouvant compromettre la sécurité ou la salubrité .
- Micro-organisme : tout organisme vivant microscopique susceptible d'être cause de maladie ou d'altération de l'eau et des denrées alimentaires comme les coliformes par exemple.
- Danger : contamination de l'eau et des aliments par un agent biologique , biochimique ou physique, ou état de l'eau et des aliments ayant potentiellement un effet nocif sur la santé
- Nettoyage : élimination des souillures, des résidus d'aliments et de la saleté , de la graisse ou de toute matière indésirable.
- Désinfection : réduction, au moyen d'agents chimiques et / ou physiques du nombre de micro-organismes présents dans l'eau jusqu'à l'obtention d'un niveau ne risquant pas de compromettre sa sécurité ou sa salubrité.
- Hygiène : est la science et l'art de prévenir la maladie , de prolonger la vie , de promouvoir la santé physique et mentale , de manière à assurer le meilleur rendement de l'individu .
- Eau potable : est une eau qui doit répondre à certains critères physico-chimiques et bactériologiques qui la rendent apte à la consommation.
- Puits ordinaire : puits creusé manuellement à l'aide d'une pioche, d'une pelle et de tout autre matériel d'excavation , n'est qu'un simple trou dans le sol , il peut être de forme carrée ou circulaire .
- Puits individuel : identique au puits ordinaire mais appartenant à un individu .
- Puits collectif : identique au puits ordinaire mais appartenant à une communauté.
- Pollution de l'eau : contact de l'eau avec un altéragène , dégradation de la qualité de l'eau .

### **5-) Echantillonnage**

Dans le cadre de notre étude, nous avons effectué au total 225 prélèvements dont 90 prélèvements pour l'analyse physico-chimique et 135 prélèvements pour l'analyse bactériologique. Tous ces prélèvements ont été réalisés dans 45 puits numérotés de 1 à

45. Chacun de ces puits a fait l'objet de 5 prélèvements pendant toute la durée de notre travail.

- Pour la physico-chimique : Les 90 prélèvements sont repartis comme suite ; un prélèvement dans chaque puits pendant la saison sèche et un autre dans les mêmes puits durant la saison des pluies , soit deux prélèvements dans chaque puits pendant les deux principales saisons 2004.
- Pour l'analyse bactériologique : les 135 prélèvements sont repartis comme suite ; un prélèvement dans chaque puits pendant la saison sèche et deux prélèvements dans les mêmes puits durant la saison des pluies , soit trois prélèvements dans chaque puits pendant les deux principales saisons 2004.

Nous avons utilisé les mêmes puits pour les analyses des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Ces puits ont été ciblés à la suite de la demande des particuliers, qui sont venus s'adresser au laboratoire de la qualité des eaux à la Direction Nationale de l'Hydraulique . Donc le choix de lieu de prélèvement était purement et simplement volontaire.

**Tableau III** Lieu de prélèvements

<b>Numéro de puits</b>	<b>Quartiers</b>	<b>Numéro de puits</b>	<b>Quartiers</b>
Puits 1	Banconi	puits 15	Sogonafing
Puits 2	Banconi	puits 16	Bozola
Puits 3	Kalaban-coro	puits 17	Niaréla
Puits 4	Kalaban-coro	puits 18	Zone industrielle
Puits 5	Hi ppodrome	puits 19	Base militaire
Puits 6	Hippodrome	puits 20	Sébénikoro
Puits 7	Sabalibougou	puits 21	Hamdallaye
Puits 8	Sabalibougou	puits 22	Dianeguella
Puits 9	Yirimadio	puits 23	Sokoniko
Puits 10	Yirimadio	puits 24	Kalaban-coura
Puits 11	Niamakoro	puits 25	Magnambougou
Puits 12	Niamakoro	puits 26	Torokorobougou
Puits 13	Missabougou	puits 27	Torokorobougou
Puits 14	Missabougou	puits 28	Baco-Djicoroni

<b>Numéro de puits</b>	<b>Quartiers</b>	<b>Numéro de puits</b>	<b>Quartiers</b>
Puits 29	Baco-Djicoroni	puits 38	Titibougou
Puits 30	Lassa	puits 39	Séno
Puits 31	Djicoroni-para	puits 40	Séno
Puits 32	Djicoroni-para	puits 41	Doumanzana
Puits 33	Kodabougou	puits 42	Doumanzana
Puits 34	Faladié	puits 43	Korofina-Sud
Puits 35	Faladié	puits 44	Korofina-Nord
Puits 36	Bakaribougou	puits 45	Dravéla
Puits 37	Bakaribougou		

## **6-) Plan de collecte des données**

### **6-1 Etude chimique**

#### **6-1-1 Les paramètres physico-chimiques**

Tous les éléments chimiques importants dans l'eau ont été dosés à savoir des éléments majeurs : les chlorures, calcium, magnésium, sulfate, carbonate, sodium et potassium. Les autres éléments tel que le fer, les matières organiques, la couleur la turbidité ainsi que la conductivité de l'eau ont été également dosés. La température, le pH, ainsi que le résidu sec (RS) ont été aussi déterminés.

#### **6-1-2 Matériels utilisés**

- Flacon de 500 ml
- Fioles en verre et plastique
- Ballons de 100 ml
- Bechers de 50 ml
- Erlenmeyers
- Burette de 10 ml ou 25 ml
- Cuvette de 10 ml ou 25 ml
- Pipette de 2 ml
- Ciseaux et poires
- Plaque chauffante
- Calotte et puisette
- Epruvette de 50 ml
- Agitateur magnétique
- Barreau magnétique
- Baguette et papier hygiénique

### **6-1-3 Prélèvement physico-chimique**

Nous avons effectué au total 90 prélèvements dont deux prélèvements dans chaque puits, un prélèvement en saison sèche et un autre pendant la crue.

L'échantillonnage pour la physico-chimie ne pose pas de problème particulier. Des flacons plastiques sont suffisants et le volume du prélèvement est de un litre pour une analyse complète. L'échantillon peut être gardé quelques jours mais il est préférable d'effectuer le dosage des éléments chimiques le plus tôt possible. Les éléments comme les nitrates etc... peuvent subir des modifications lors de la conservation.

### **6-1-4 Méthodes d'analyses**

#### **6-1-4-1 Caractéristiques physiques**

##### **a – Température**

La détermination de la température est faite au laboratoire à l'aide d'un thermomètre incorporé à l'oxymètre étalonné avant chaque manipulation. On lit directement la température exprimée en degré celcius (°c).

##### **b – Le pH**

###### **- Principe**

Pour cette détermination, nous utilisons une méthode électrométrique avec électrode combinée selon la norme AFNOR. Cette méthode consiste à plonger dans l'échantillon, une électrode spécifique.

###### **- Mode opératoire**

Le mode opératoire est donné en annexe 1.

##### **c – Turbidité**

###### **Principe**

Méthode néphélométrique ; le faisceau lumineux traverse horizontalement la cuvette contenant l'échantillon, une partie de cette lumière est diffusée par effet Tyndall grâce aux particules en suspension.

Le photomultiplicateur d'électron situé à un angle de 90° par rapport au faisceau lumineux capte les photons diffusés et transforme cette énergie lumineuse en signal électrique dont le potentiel est fonction de la turbidité.

Le fonctionnement du turbidimètre est donné en annexe 2.

###### **d - La Couleur**

Elle est exprimée en couleur « apparente » ou en couleur « vraie » en suspension. En filtrant ou en centrifugeant l'échantillon on détermine la couleur vraie.

Le mode opératoire est donné en annexe 6

## **e – La conductivité**

### **Principe**

La détermination de la conductivité se fait par la mesure de la résistance électrique de la solution. Un voltage est appliqué entre deux électrodes plongées dans l'échantillon, et la chute du voltage due à la résistance de la solution est utilisée pour calculer la conductivité par centimètre.

Le mode opératoire est donné en annexe 5

## **f – Conductivité / solides totaux dissous (TDS)**

La conductivité électrique a été déterminée à l'aide d'un conductrimètre électrique qui permet de mesurer également les solides totaux dissous.

### **6-1-4-2 Caractéristiques chimiques**

#### **a– Dureté totale**

La méthode spectrométrique est la plus courante par sa capacité à mesurer de très faibles concentrations de calcium et magnésium.

##### **principe**

L'indicateur utilisé est la colmagite qui forme une coloration bleue-violette en solution fortement alcaline et vire au rouge en présence de calcium et de magnésium libre. L'analyse du calcium et du magnésium est effectuée en complexant le calcium avec l'EDTA pour détruire la coloration due à ces deux éléments (calcium, magnésium). En mesurant la coloration rouge dans ces différents états, les concentrations du calcium et du magnésium sont obtenues.

Le mode opératoire est donné en annexe 3.

#### **b- Dosage du fer**

##### **Principe**

Le réactif ferrozine forme un complexe de couleur violette avec les traces de fer dans l'échantillon tamponné à PH 3,5. Cette méthode peut être utilisée aussi pour l'analyse des échantillons contenant de la magnétite (oxyde de fer noir) ou des ferrites.

Le mode opératoire est donné en annexe 4.

#### **c – Chlorures**

##### **Principe**

Le chlore présent dans l'échantillon sous forme d'acide hypochloreux et/ou d'ion hypochlorite réagit immédiatement avec le DPD [ N, N -diethyl-p- phenylène - diamine ] en

même temps que le chlore présent dans l'échantillon pour former une coloration rouge proportionnelle à la concentration du chlore .

Note : si la solution vire temporairement au jaune après addition du réactif, ou provoque l'affichage HORS – GAMME, diluer un nouvel échantillon et recommencer l'essai. Une légère perte de chlore peut se produire lors, de la dilution. Multiplier le résultat par le facteur de dilution approprié.

Le mode opératoire est donné en annexe 7.

#### **d – sulfates**

##### **Principe**

Les ions sulfates réagissent avec le baryum du réactif sulfate Ver 4 et produit un précipité de sulfate de baryum insoluble. La quantité de turbidité formé est proportionnelle à la concentration en sulfates. Le réactif contient aussi un agent stabilisant pour maintenir le précipité en suspension.

Le mode opératoire est donné en annexe 8.

#### **e – Dosage des nitrites**

##### **Principe**

Les nitrites dans l'échantillon réagissent avec l'acide sulfanilique pour former un sel de diazonium qui réagit avec l'acide chromotrope pour produire un complexe coloré rose dont la coloration est proportionnelle à la quantité de nitrites présents.

#### **f– Dosage des nitrates**

##### **Principe**

Les nitrates présents dans l'échantillon réagissent avec l'acide chromotrope en milieu fortement acide pour former un produit de couleur jaune avec un maximum d'absorbance à 410 nm.

#### **g– Alcalinité**

##### **Principe**

La détermination de l'alcalinité est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Note : Le titre alcalimétrique (TA) mesure la teneur de l'eau en alcalins libres et en carbonates alcalins caustiques.

Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la teneur de l'eau en alcalins libres, carbonates et bicarbonates.

## **h- Dosage de l'ammoniac libre**

### **Principe**

Cette méthode détermine « l'ammoniac » en présence de monochloramine. La monochloramine et l'ammoniac libre peuvent exister dans les échantillons d'eau potable lorsque la désinfection à la chloramine est utilisée. L'hypochlorite est ajouté pour se combiner à l'ammoniac libre et former plus de monochloramine. La monochloramine réagit avec le salicylate pour former le 5-aminosalicylate. Ce composé est oxydé en présence d'un catalyseur au nitroprussiate pour former un complexe coloré bleu. La coloration bleue est masquée par la coloration Jaune du réactif en excès pour donner une solution finale de couleur verte.

L'ammoniac libre est déterminé en mesurant les intensités de couleur, avec et sans additions d'hypochlorite.

## **6-2 Examen Bactériologique**

### **6-2-1 Les germes recherchés**

Nous avons effectué pendant notre travail la recherche systématique des germes indicateurs de pollution qui sont :

- les organismes coliformes (coliformes totaux)
- les coliformes fécaux (thermotolérants).

### **6-2-2 Matériels utilisés**

#### **a – Petits matériels**

- Tubes à essai
- Portoir pour tubes à essai
- Pipettes pasteur
- Pipettes graduées
- Plaquons stériles pour échantillons
- Boîtes de pétri stériles.
- Lames et lamelles
- Pincés stériles
- Anse d'inoculation et support
- Bec Bunsen
- Papier buvard

## **b- Milieux de culture**

- Gélose ordinaire
- Gélose lactose à l'éosine et au bleu de méthylène
- Gélose au désoxycholate 1 %
- Bouillon bilié lactose au vert brillant
- Gélose Viande.

### **6-2-3 Prélèvement pour l'analyse bactériologique**

Nous avons effectué au total 135 prélèvements pour l'analyse bactériologique repartis comme suite :

Pendant la saison sèche (étiage) 45 prélèvements dont un prélèvement effectué dans chaque puits. Durant la saison pluvieuse (crue) 90 prélèvements dont deux prélèvements effectués dans chaque puits. Nous avons utilisé des flacons stériles munis d'un cordon. Au moment du prélèvement on ouvre le flacon et on l'introduit dans le puits en prenant soin de ne pas contaminer l'échantillon. Ensuite on retire le flacon rempli d'eau. On détache le cordon et le flacon est refermé dans les conditions aseptiques requises jusqu'au moment de l'analyse bactériologique.

### **6-2-4 Transport et Stockage**

#### **a – Transport**

Après le prélèvement, le flacon doit être lisiblement étiqueté et envoyé sans retard au laboratoire, accompagné d'une note portant tous les renseignements nécessaires.

La teneur des échantillons en coliformes se modifie entre le moment du prélèvement et celui d'examen (20).

Il importe donc de procéder à l'analyse le plus rapidement possible après le prélèvement, de préférence dans l'heure suivante et en aucun cas après 24 heures.

#### **b–Stockage**

Au cas où les échantillons ne pourraient être remis rapidement au Laboratoire, on pourra soit utiliser des camions-laboratoires, soit filtrer l'échantillon sur membrane au point de prélèvement ou dans un laboratoire local.

Après filtration, la membrane peut être placée dans une boîte de pétri, sur un tampon absorbant saturé d'un milieu de transport (20). Ce dernier est un milieu de culture très dilué qui permet la survie des germes mais peut rester trois jours à la température ambiante sans développement bactérien apparent. Pour les expéditions postales à destination d'un laboratoire central, on utilisera de préférence les boîtes de pétri en polystyrène. Un délai de trois jours ne modifie pas sensiblement la numération des coliformes. (20)

## **4 – 3 Analyse bactériologique**

### **b – 1 La technique de fermentation**

L'examen bactériologique de l'eau en milieu de culture liquide commence par une épreuve de présomption. Elle consiste à ensemencer avec l'échantillon d'eau à analyser un milieu de culture liquide convenable dans des boîtes ou des tubes qui sont ensuite mis à incuber et examiner après un délai approprié. L'épreuve est dite de « présomption » parce que la réaction observée est parfois due à la présence d'un autre germe ou ensemble de germes. La réaction ne donne donc qu'une présomption de la présence de coliformes qui doit être confirmée.

La proportion de réaction faussement positive dépend à la fois de la flore bactérienne de l'eau analysée et du milieu de culture utilisé. En ensemençant un certain nombre de tubes à l'aide de volumes d'eau appropriés, on peut obtenir, au moyen de tables statistiques une estimation du nombre de germes coliformes présents dans un volume d'eau.

En effet l'épreuve de présomption sera complétée par au moins une épreuve rapide pour confirmer la présence de coliformes. La méthode la plus pratique consiste à repiquer le contenu de chaque tube positif à l'épreuve de présomption dans deux tubes contenant bouillon au vert brillant (20) du bouillon lactosé au récinolcate ou du bouillon de Mac Conky. L'un de ces tubes sera incubé à 37°C, pendant 48 heures au plus pour obtenir une confirmation de la présence des coliformes.

### **b – 2 Méthode de la Membrane Filtrante**

C'est une méthode de numération des coliformes présents dans l'eau qui consiste à filtrer un volume déterminé à travers une membrane par exemple en ester cellulosique ; on place ensuite celle-ci face, vers le haut, sur des milieux appropriés et l'on met à incuber aux températures voulues. En comptant les colonies qui se développent à la surface de la membrane, il est possible de réaliser, avec un temps total d'incubation suffisante, une numération directe des coliformes présumés sans recourir aux tables de probabilité. Les numérations sur membrane sont toutes sujettes à des variations statistiques et des numérations effectuées en parallèle à partir du même échantillon d'eau ne donneront généralement pas le même nombre de micro-organismes (20)

#### **b-3 Dénombrement des coliformes totaux**

Nous avons procédé à une dilution au 1/10, 1/100, 1/1000, etc..., de chaque échantillon. Ensuite, 0,1 ml de chacune de ces dilutions a été inoculé dans 20 ml de gélose Columbia en surfusion. Après homogénéisation ce mélange a été coulé en boîte de pétri. Après solidification, les géloses ainsi ensemencées ont été placées à 37°C pendant 24

heures. Les colonies apparues sont dénombrées. Pour ce faire nous avons divisé les colonies en grosses colonies(GC),moyennes colonies(MC), petites colonies(PC), et souvent même des fines colonies(FC).

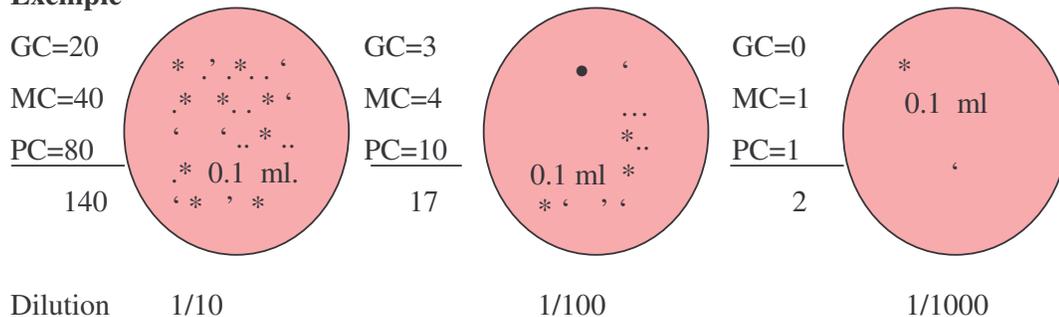
Pour obtenir le nombre des coliformes totaux dans un échantillon, il faut

1-) compter le nombre total de colonies sur chaque boîte et multiplier ce nombre par le titre de la dilution correspondante.

2-) faire la somme des nombres totaux de colonies trouvées pour toutes les dilutions

3-) enfin diviser le résultat obtenu par le nombre de dilution effectuée

### Exemple



$$\begin{aligned}
 (1) \quad & 140 \quad * \quad 1 / 10 \quad = \quad 1400 \\
 & 17 \quad * \quad 1/100 \quad = \quad 1700 \\
 & 2 \quad * \quad 1/1000 \quad = \quad 2000
 \end{aligned}$$

$$(2) \quad 1400 \quad + \quad 1700 \quad + \quad 2000 \quad = \quad 5100$$

$$(3) \quad 5100 / 3 \quad = \quad 1700 / 0.1 \text{ ml}$$

### b-4 Recherche de coliformes fécaux

Nous avons pour cela ensemencé 3 tubes de bouillon bilié lactosé muni de cloche de Durkam à l'aide de 1ml de chaque échantillon, chaque tube ainsi ensemencé est placé au bain-marie à 44°C pendant 48 heures . Ensuite , les cultures positives(turbidité du bouillon plus gaz au 1/10 de la cloche) sont ensemencées dans les tubes de bouillon bilié et sur l'EPO . Le bouillon est placé à l'étuve à 44°C pendant 48 heures pour la recherche d'indole qui est négative pour les coliformes fécaux .

-Test de Mac Kenzie

Nous avons toujours effectué ce test pour affirmer la présence de coliformes fécaux . Pour le réaliser, on repique chaque tube positif sur un bouillon lactosé au vert

brillant et une eau peptonée . Le bouillon et l'EPO sont incubés à 44°C pendant 48 heures. Si gaz plus trouble dans le bouillon bilié lactosé au vert brillant(gaz 1/10 de la cloche), si germes indole négatif , alors on conclut la présence de coliformes fécaux.

### **7-) Plan d'analyse**

- Traitement des données

Les données ont été saisies et traitées sur l'ordinateur avec un logiciel Microsoft Word 2003 pour la narration et avec un logiciel Excel 2003 pour les tableaux et les graphiques.

- Méthode d'analyse

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux , de graphiques ou sous forme narratives. Une interprétation des résultats a été faite pour voir si nos objectifs spécifiques ont été atteints.

## **CHAPITRE III**

### **RESULTATS**

## RESULTATS

Nous avons déterminé la composition physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits dans certains quartiers du district de Bamako pour le contrôle de la qualité de l'eau de ces puits. Pour cela nous avons effectué 225 prélèvements repartis entre 45 puits. Pour chaque puits nous avons effectué 2 prélèvements pendant la saison sèche du mois de Mars au mois de Mai et 3 pendant la saison des pluies du mois de Juin au mois de d'Août.

### 1-) Situation des puits dans les zones retenues

Pourcentage des prélèvements d'échantillon selon les communes de Bamako :

**Tableau IV** Nombre de quartier et de puits par commune

Commune	Nombre de quartiers	Nombre de puits de l'étude	
commune I	5	7	16%
commune II	5	7	16%
commune III	2	2	4%
commune IV	6	8	18%
commune V	5	9	20%
commune VI	8	12	26%
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>45</b>	<b>100%</b>

Dans notre étude la commune VI est la plus concernée avec 12 puits sur un total de 45 surveillés soit dans 8 quartiers de la commune sur 31.

### Caractéristiques des puits

Nous avons effectué les prélèvements dans deux types de puits :

- Puits traditionnels non protégés : Ils sont plus fréquent dans les concessions. Ils représentent 95% des puits de notre étude. Ces puits sont généralement peu profonds et creusés à la main par un artisan puisatier. Ces puits ne sont pas cimentés, ni équipés d'une margelle. Ces puits ne sont donc pas protégés, ils sont soumis à l'infiltration des eaux de surface. Souvent on utilise comme margelle de vieux pneu. Les eaux perdues forment des flaques pendant la saison des pluies, de temps à autre, débordent après les opérations de puisage et retombent dans le puits.
- Puits ordinaires avec margelle seulement : Ils se distinguent des précédents par l'existence d'une margelle de faible hauteur. Ils représentent 5% des puits de notre étude. Ces puits sont généralement fermés par un couvercle. La margelle n'est qu'exceptionnellement faite en béton.

Ces facteurs plus la nature du sol entraînent la pollution de l'eau souterraine. Pendant la saison sèche, certains puits tarissent et le peu d'eau qui s'y trouve devient trouble, boueuse devenant ainsi un milieu de prolifération de nombreux micro-organismes pouvant agir sur la santé de l'homme. Par contre durant la saison des pluies, ce sont les eaux de ruissellements charriant toutes sortes de substances qui viennent polluer les eaux de puits.

## 2-) Les paramètres physico-chimiques

**Tableau V** distribution des eaux de puits non-conforme aux normes de l'OMS par paramètres physico-chimiques pendant la saison sèche et la saison des pluies

Paramètres	Saison sèche		Saison pluvieuse	
	Nombre de puits non conforme D : 45	% de non-conformité D : 90	Nombre de puits non conforme D : 45	% de non conformité D : 90
pH	40	88	36	80
Chlorures	0	0	5	11
Sodium	0	0	7	15
Sulfate	0	0	0	0
Fer	10	22	28	62
Dureté	0	0	9	20
T.D.S	0	0	19	42
Turbidité	43	95	33	73
Couleur	34	75	21	46
Conductivité	13	28	28	62
Nitrate	40	88	42	93
Nitrite	11	24	31	68
Ammoniac	25	55	39	86

Ce tableau nous montre que pendant la saison sèche le taux de non conformité est plus élevée au niveau de la turbidité qui est à 95% suivi de pH et Nitrate tous deux à 88% en saison sèche. Pendant l'hivernage c'est plutôt le Nitrate, l'ammoniac et le pH respectivement à 93% ; 86% et 80%

**Tableau VI** variation saisonnière des paramètres physico-chimiques des puits de l'étude.

Paramètres	Normes de O.M.S	Saison sèche valeurs limites		Saison Pluvieuse valeurs limites	
		Inférieures	Supérieures	Inférieures	Supérieures
Température °c	—	17,9	30,2	24,5	31,8
pH	6,5-8,5	4,59	7,02	3,7	7,9
Chlorures mg/l	250	3,5	94	2,5	474
Sodium mg/l	200	3,5	93,2	0,5	350
Sulfate mg/l	250	0	67,5	0	73,2
Fer mg/l	0,3	0,003	1,059	0,023	2,5
Dureté mg/l		80	93,2	12	325
Alc mg/l	0,2	8	83	1	230
Turbidité NTU	5	3,06	64,2	1	63
Couleur UCV	15	2	310	0	67
T.D.S	1000	12	720	10,5	3950
Conductivité µs/cm	500	21,4	995	27,5	2257
k <sup>+</sup> mg/l	—	0,4	39,5	0,1	57,8
Carbonate mg/l	—	40	168	1,79	224
Nitrate mg/l	50	1,33	80,09	0,12	97,58
Nitrite mg/l	3	0,005	1,812	0,01	2,5
Ammoniac mg/l	15	0,01	1,87	0,03	2,3

Ce tableau nous montre que les teneurs sont dans bien des cas supérieures aux normes. Et que la conductivité comme d'autres paramètres augmente en saison pluvieuse qu'en saison sèche.

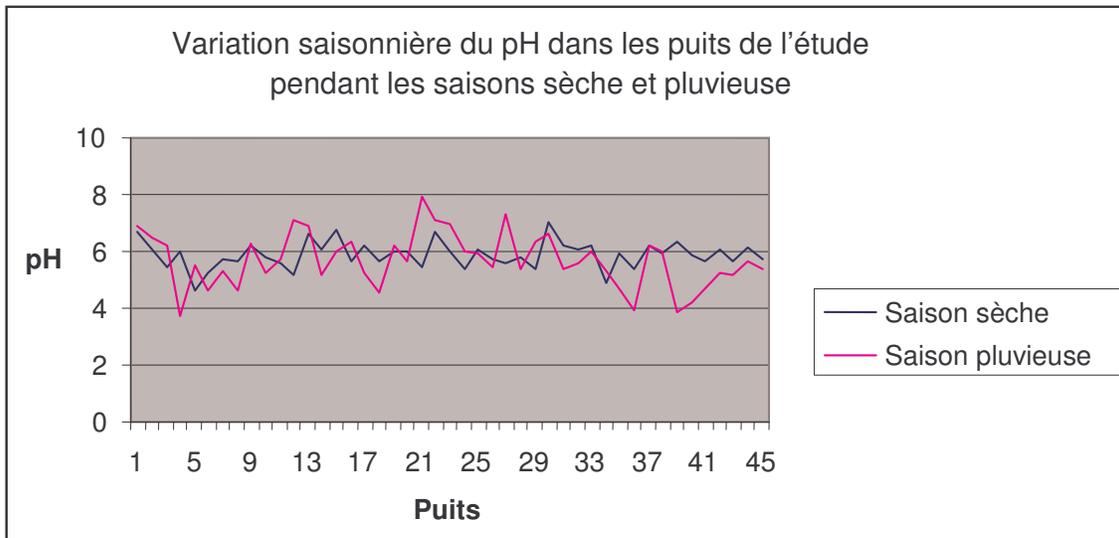


Fig.4.1

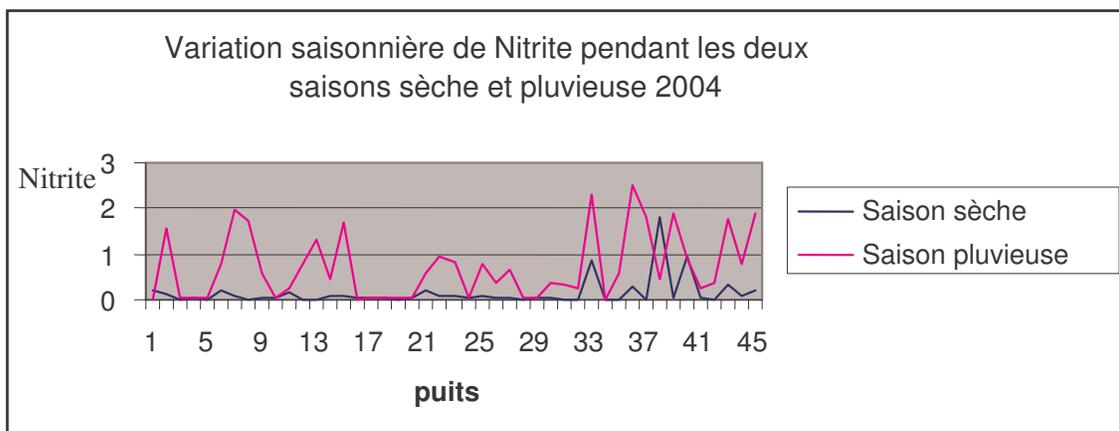


Fig.4.2

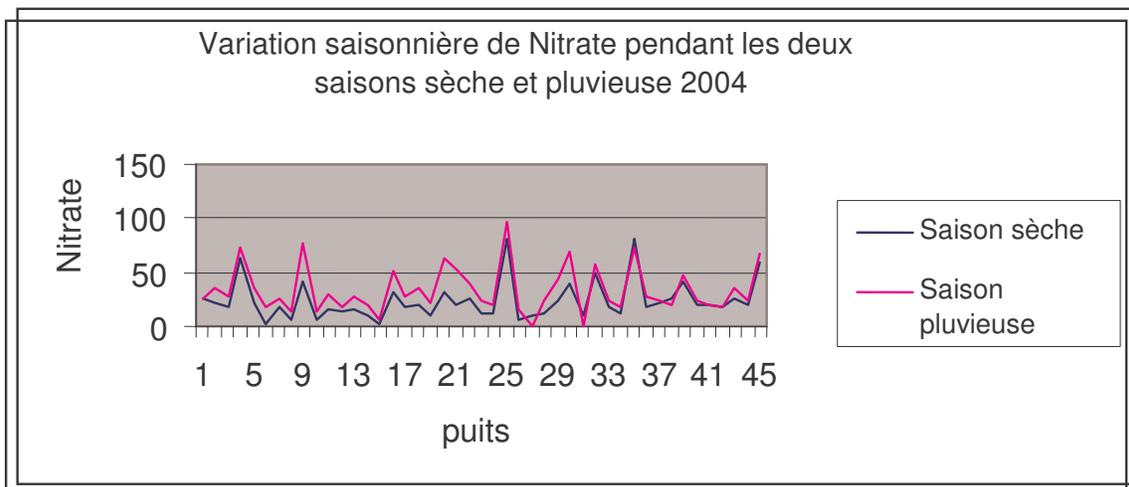
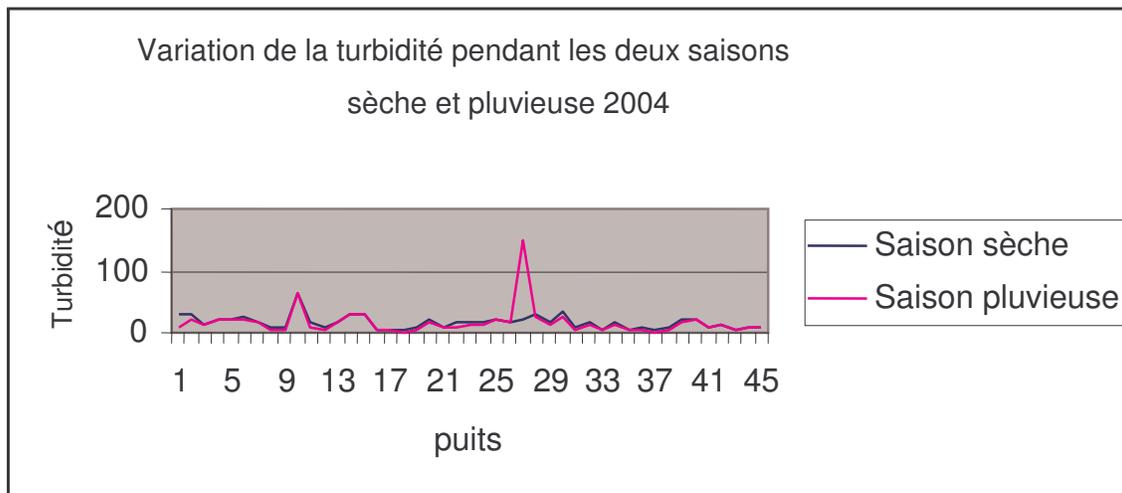


Fig.4.3



g.4.4

Les courbes des variations saisonnières nous montrent une oscillation du pH entre 3,7 à plus de 7 et cela aussi bien en basses eaux qu'en hautes eaux. On constate aussi que pendant l'hivernage les eaux sont légèrement chargées des sels dissous tels est le cas des composées azotés ( $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NO}_2^-$ ). Au niveau du puits numéro 25 à 29 nous constatons le pic de la turbidité pendant la saison des pluies et  $\text{NO}_3^-$  diminue légèrement pendant la même période dans les mêmes puits. Ce pic est constaté sur les prélèvements de la saison pluvieuse ; les quartiers cibles sont Magnambougou Torokorobougou Bacodjicoroni. Les puits sont pollués pendant toute la durée de notre travail, comme le confirment les analyses bactériologiques.

### 3-) Les paramètres Bactériologiques

Tableau VII variation saisonnière des coliformes totaux et fécaux

Paramètre Numéro	Coli totaux / 100 ml Pendant les deux saisons			Coli fécaux / 100 ml Pendant les deux saisons		
	sèche	Pluvieuse		sèche	Pluvieuse	
	N°1	2015	1580	1405	20	15
N°2	2007	950	783	12	17	7
N°3	2914	630	432	27	11	11
N°4	2914	2419	2412	207	179	179
N°5	1047	825	735	117	98	27
N°6	1989	1820	1725	97	78	79
N°7	2319	1950	1880	110	89	29
N°8	2403	2820	250	30	43	23
N°9	296	170	120	18	45	19
N°10	498	828	520	24	29	25
N°11	298	268	251	20	99	97
N°12	1011	2322	2201	16	29	20
N°13	672	2625	1648	34	18	15
N°14	2419	1914	1977	67	84	39
N°15	2419	2240	2119	43	58	59
N°16	2409	2345	2400	123	128	135
N°17	2043	1935	1720	79	192	102
N°18	2419	2217	2230	88	169	150
N°19	2404	1838	1821	456	329	325
N°20	2304	1374	1332	123	126	108
N°21	2400	2323	2265	110	118	107
N°22	2419	1983	1924	79	199	166
N°23	2340	1349	1340	89	69	62
N°24	2419	2379	2318	89	79	29
N°25	2300	1962	1958	22	13	3
N°26	2400	2450	2201	13	29	12
N°27	2400	1985	1925	15	180	120
N°28	2419	1890	1750	205	107	189
N°29	2419	2350	2280	236	213	229
N°30	1414	2248	220	23	13	25
N°31	2419	2125	2005	456	345	205
N°32	2419	1294	1085	216	161	172
N°33	1555	2298	2200	131	93	88
N°34	2350	1625	1058	101	80	89
N°35	1733	2125	2089	210	197	120
N°36	1555	1730	2442	91	130	128
N°37	1755	1923	1203	131	139	128
N°38	2419	2150	2090	83	17	13
N°39	2350	1875	1875	168	135	135
N°40	2350	2230	2219	26	19	20
N°41	2419	2350	2350	88	99	85
N°42	2419	1560	1500	105	98	92
N°43	498	359	322	68	48	52
N°44	312	645	592	29	19	12

Toutes les eaux analysées présentent une qualité bactériologique très mauvaise avec des teneurs en coliformes totaux et fécaux très élevées

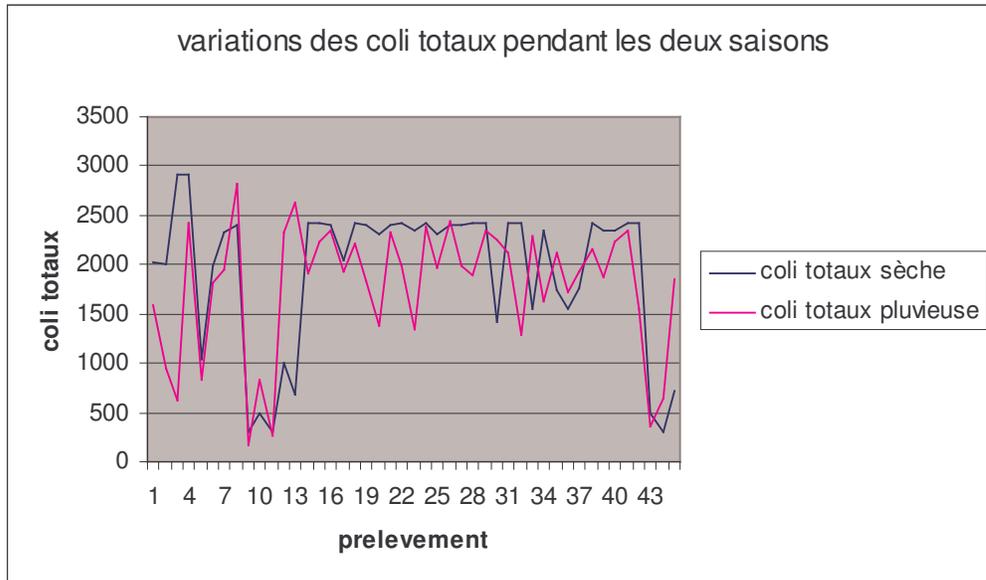


Fig.7.1

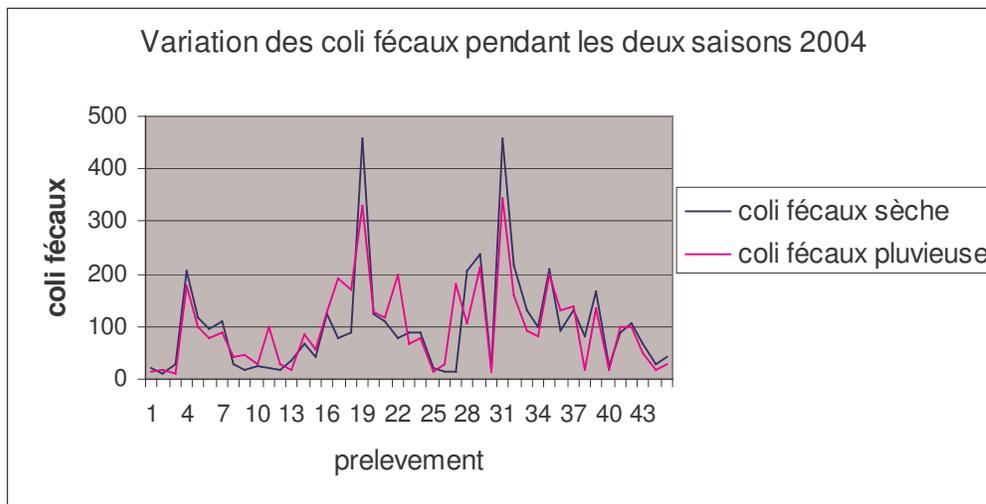


Fig.7.2

Nous constatons sur les courbes, que les eaux de pluies n'influent pas sur la qualité bactériologique de l'eau. Au niveau des prélèvements effectués dans les puits numéro 16 à 21, nous avons le premier pic des Coli fécaux qui cependant correspond à une baisse de coliformes totaux, ce qui explique que les coliformes présents dans l'eau sont d'origines fécales. Ce pic est constaté sur les prélèvements de la saison sèche et sur des puits numéro 16 à 21 ; les

quartiers concernés sont Bozola, Niaréla, Zone industrielle, Base militaire, Sébénicoro et Hamdallaye.

#### **4-) Les facteurs de pollution des puits**

Tous les puits de notre étude sont pollués pendant toute la durée de notre travail. Cette situation est due à l'exposition de leur eau à des sources de pollution importantes qui implique la nature même du sol. Chacune de ces sources intervient selon un mécanisme dont la connaissance serait indispensable pour éviter toute contamination de nos eaux de puits. Parmi elles, les plus importantes sont

##### **➤ Pollution de l'eau en fonction de la distance entre les puits et les latrines**

Pour assurer une protection contre la contamination, il est recommandé d'implanter les puits à au moins 15 mètres de toute source de pollution (selon les normes du service d'hygiène). En effet, des études ont montré que l'extension de la pollution à partir d'une latrine jusqu'aux eaux souterraines dépend de la vitesse et de la direction de circulation des eaux. La vitesse de circulation est elle-même liée à la structure physique du sol, à sa granulométrie et au degré de fluctuation des roches. Malheureusement tous les puits de notre étude sont situés à moins de 15 mètres des latrines à cause de l'exiguïté des lots à usage d'habitation les quartiers concernés.

Par ailleurs, la confection d'aucun de ces puits n'a tenu compte de l'inclinaison du sol. Ce qui fait que les résultats des analyses attestent la présence d'une pollution fécale en cours. Une large partie de cette pollution peut être attribuée à l'existence des latrines à proximité des puits qui ne répondent à aucune norme de distance, ni à aucun facteur géologique telle que l'inclinaison des sols par exemple.

##### **➤ Pollution de l'eau en fonction de la paroi du puits et de la nature du sol**

Dans tous les quartiers de notre étude, les puits ont été creusés par puisatiers locaux. Ils ne contiennent pas de buse et ne présentent donc aucune étanchéité latérale. Ainsi, les bactéries immobilisées par l'adsorption au niveau de la paroi des puits peuvent vivre pendant de longue période dans le sol humide. Par suite de fortes précipitations les parois des puits s'écroulent favorisant ainsi le passage des bactéries dans l'eau. Le sol étant perméable et la recharge de la nappe se fait par infiltration. La pollution des puits se trouve ainsi donc également liée à celle de la surface. En effet, la zone d'alimentation de la nappe étant entièrement occupée par les habitations, par manque d'infrastructure d'évacuation des eaux usées, ces eaux sont évacuées dans les puisards, dans les caniveaux, voire directement dans la rue. De plus les populations vident les contenus des puisards

directement dans les rues. L'infiltration de toutes ces eaux à travers le sol jusqu'à la nappe d'eau souterraine peu profonde ,ne peut que contribuer à la pollution des puits avoisinants. Donc la nature du sol et l'absence de revêtement intérieur dans les puits tiennent une place importante dans cette pollution.

- **Pollution de l'eau en fonction des éléments d'aménagement (la protection des puits et la technique de puisage )** Le puits est couramment utilisé , cependant , les normes de protection sont loin d'être respectées. Presque toujours ouverts ou mi-fermés par une plaque de tôle ,ils ne sont pas à l'abris des eaux de ruissellement. Les seaux de puisage sont généralement laissés à terre tout près du puits. Donc une grande partie de la pollution de l'eau peut être attribuée à la mauvaise protection des puits sans toute fois minimiser la technique de puisage.

CHAPITRE IV

**COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS**

## COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS

Notre travail avait pour objectif d'étudier la qualité de l'eau de puits dans 31 quartiers du District de Bamako.

A Bamako, capitale du Mali, le problème de la pollution est principalement lié à l'insuffisance de l'assainissement. En effet l'environnement de Bamako est pollué et on peut sans difficulté remarquer les ordures ménagères jonchant les cours des concessions et les rues, ainsi que les eaux usées provenant du nettoyage ménager, des fosses septiques et des puisards qui coulent ou forment des flaques stagnantes autour des puits et dans les caniveaux non curés.

Nous avons réalisé des analyses au niveau d'une quarantaine de puits ordinaires dont 95% étaient simples et 5% étaient munis de margelles. Les puits sont numérotés de 1 à 45. Au total nous avons analysé 225 échantillons.

Ceci a révélé dans tous les cas une contamination des puits de notre étude au cours de l'année 2004. Elle est aussi bien chimique que bactériologique.

### ❖ **Sur le plan chimique**

- **pH**

Le pH de l'eau varie au cours de l'étude de 4,59 à 7,02 en saison sèche et de 3,7 à 7,9 pendant la crue. Le pH est un facteur d'investigation de l'acidité ou de l'alcalinité d'une eau.

Les valeurs obtenues sont proches des résultats de Ouniry Jean Ives (thèse DEA en chimie appliquée). Cette acidité est due au terrain siliceux et latéritique de Bamako. En se référant aux normes de l'OMS (pH compris entre 6,5 et 8,5) pour l'eau potable, plus de 50% de nos eaux analysées ne sont pas recommandées à la consommation humaine.

- **Nitrites**

La teneur en nitrites varie au cours de l'étude de 0,005mg/l à 1,812 mg/l en saison sèche et de 0,01 mg/l à 2,5mg/l pendant la crue le taux normal en nitrites est fixé à 3mg/l selon l'OMS. Le nitrite étant toxique pour l'organisme humain la présence en quantité importante dégrade la qualité de l'eau. La toxicité liée au nitrite est très significative en raison de leur pouvoir oxydant. Aussi la courbe de variation saisonnière montre également une augmentation des teneurs pendant la crue par rapport à l'étiage. Cela est due au fait que 95% des puits de notre étude étaient sans margelles, et sont le plus exposés aux eaux de ruissellements.

- **Nitrates**

La teneur en nitrates varie au cours de l'étude de 1,33mg/l à 80,09 mg/l en saison sèche et de 0,12mg/l à 97,58mg/l durant la saison des pluies. Le taux normal est fixé 50mg/l selon l'OMS. Bien que les nitrates n'aient pas d'effets toxiques directs sauf à des doses élevées, le fait qu'ils puissent donner naissance à des nitrites conduit à une toxicité. La courbe de variation saisonnière montre une légère augmentation de taux de nitrate en saison des pluies par rapport à l'été. Les teneurs montrent une pollution d'origine organique liée à l'infiltration des eaux des fosses d'aisance. Cette infiltration s'accroît pendant la crue avec la montée générale du niveau de la nappe ; ces transferts de polluants étant faibles pendant l'été.

- **Sulfates**

Les sulfates sont presque absents dans les eaux analysées. Il n'y a que des traces pendant l'été et des taux faibles pendant l'hivernage. Par comparaison à la norme fixée 250mg/l comme valeur indicative de l'OMS

- **Turbidité**

La turbidité varie au cours de l'étude de 3,06 NTU à 64,2 NTU pendant la saison sèche et de 1NTU à 63NTU en saison des pluies. Son taux normal est fixé à 5NTU selon l'OMS. La turbidité affecte beaucoup la potabilité d'une eau de boisson. Les consommateurs ont très souvent des exigences par rapport à ce paramètre. La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspensions finement divisées : argiles, limons, grains de silice, matières organiques etc. La courbe de variation saisonnière montre un pic de turbidité au niveau des puits n°25 jusqu'au puits n° 29 en saison des pluies.

Nous constatons que la plupart des eaux analysées ont des teneurs des différents paramètres physico-chimiques qui excèdent la recommandation de l'OMS. De même pendant la crue les eaux analysées sont très chargées en sel comme l'indiquent les courbes de variations saisonnières. Cela peut être dû au fait que 95% des puits de notre étude étaient sans margelles. Et l'eau de ruissellement peut facilement s'introduire dans le puits.

- ❖ **Sur le plan bactériologique**

- **coliformes totaux**

Le nombre de coliformes totaux varient au cours de l'étude de 312 coliformes totaux dans 100 ml d'échantillon à plus de 2913 coliformes totaux dans 100 ml d'échantillon pendant l'été. Ce nombre varie entre 120 coliformes totaux dans 100 ml d'échantillon à 2820 coliformes totaux dans 100ml d'échantillon pendant la crue. Le nombre de coliformes totaux dans les eaux de puits analysées dépasse de très loin la recommandation de l'OMS (10 coliformes totaux dans 100 ml d'échantillon). Le nombre très important de coliformes totaux peut

s'expliquer en partie par manque d'entretien de ces puits. En effet, ces puits sont pour la plupart mal entretenus.

- **coliformes fécaux**

Le nombre de coliformes fécaux varient au cours de l'étude de 12 coliformes fécaux dans 100 ml d'échantillon à plus de 455 coliformes fécaux dans 100 ml d'échantillon pendant l'étiage. Ce nombre varie de 3 coliformes fécaux dans 100 ml d'échantillon à plus de 320 coliformes fécaux dans 100 ml d'échantillon pendant la crue. Le nombre de coliformes fécaux dans les eaux de puits analysées dépasse la norme de l'OMS (0 coliformes fécaux dans 100 ml d'échantillon).

On note une diminution du nombre de coliformes pendant l'hivernage dans la plupart des puits de notre étude due à une plus forte dilution des coliformes à cause de la recharge de la nappe phréatique. Par contre l'élévation de ce nombre dans certain puits comme le puits numéro 11 pendant la même période s'explique par leurs expositions directes aux eaux de ruissellements qui viennent y tomber chargées de nombreuses substances contaminantes. La présence des coliformes d'origine fécale et leur quantité dépassant les normes admises pour l'eau de consommation atteste une pollution des puits de notre étude.

Toutes les eaux analysées au cours de cette étude présentent des coliformes en très forte quantité ( coliformes totaux et coliformes fécaux).

Selon les valeurs indicatives de l'Organisation Mondiale de Santé (OMS) une eau de puits doit être exempte de contamination fécale, c'est-à-dire ne doit pas contenir de coliforme fécal. On a retrouvé ces coliformes dans tous les puits de notre étude.

CHAPITRE V

**CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

## CONCLUSION

Aux termes de notre travail, nous pouvons conclure que la contamination des puits est générale dans les quartiers de notre étude. Cette pollution se manifeste par des teneurs dépassant largement les normes de l'OMS. En effet les eaux analysées ont des propriétés physico-chimiques qui font qu'elles ne sont pas recommandées pour la consommation humaine. De plus la pollution bactérienne était très élevée et presque permanente dans les puits étudiés pendant toute la durée de notre travail. Les résultats démontrent aussi un accroissement de la pollution de la nappe superficielle. Les causes de cette pollution sont multiples ; parmi lesquelles on peut citer :

- Mauvaise protection des puits
- Non application des mesures d'hygiène élémentaires
- Mauvaise conception des puisards et des latrines
- Mauvaise évacuation des eaux usées
- Présence de dépôts d'ordures dans la zone d'alimentation de la nappe phréatique.

Rappelons que notre travail s'est déroulé pendant les deux principales saisons de l'année 2004 à savoir la saison sèche du mois de mars au mois de mai et la saison des pluies du mois de juin au mois d'août. Quelle soit chimique ou bactériologique la pollution est accentuée pendant la saison pluvieuse. Cela s'explique par la montée générale du niveau de la nappe (une plus forte dilution à cause de la recharge de la nappe) d'une part et d'autre part les puits par leur exposition directe aux eaux de ruissellements qui viennent y tomber chargées de nombreuses substances contaminantes (l'inexistence de réseau de drainage et la hauteur insuffisante des margelles de certains puits). La nature de germes rencontrés et leur quantité dépassant les normes admises pour l'eau de consommation rendent l'eau des puits étudiés impropre à la consommation. La présence des germes indicateurs de pollution dans les puits pendant la durée de la surveillance est preuve d'une pollution en cours pendant toute l'année.

Pour améliorer la qualité des eaux de puits proposons les solutions suivantes

- à court terme, il faut sensibiliser les populations et les inciter à traiter l'eau des puits avant consommation, et leur rassurer qu'on peut faire reculer toutes les maladies d'origine hydrique par un approvisionnement suffisant en eau salubre et par l'amélioration de l'assainissement et des conditions d'hygiène. En collaboration avec les services de la santé, pourraient être mis au point- après contrôle des procédés de traitement comme la chloration .
- à moyen terme, l'alimentation des quartiers périphériques pourrait être assurée par des forages profonds captant la nappe profonde. D'autre part assurer

l'approvisionnement en eau par le réseau d'adduction moderne fournissant de l'eau potable aux quartiers non encore suffisamment dotés.

Enfin, des mesures doivent être prises pour une meilleure évacuation des eaux usées et une meilleure conception des fosses d'aisances et des puisards. Ce qui diminuera la pollution de la nappe superficielle ; afin de mettre les populations à l'abri des affections liées à l'eau de consommation.

## RECOMMANDATIONS

Les résultats de notre travail permettront de mettre à la disposition des autorités des données de base susceptibles d'être exploitées dans le cadre de l'amélioration de la qualité des eaux de puits. Pour lutter contre la pollution de l'eau de puits, la mesure la plus facile à appliquer consiste à mener une large campagne de sensibilisation. Nous recommandons dans un avenir très rapproché le respect des mesures suivantes

### ❖ A l'endroit des Autorités administratives

- une éducation sanitaire en encourageant les sensibilisations sur les médias.
- un contrôle permanent des puits.
- l'extension du réseau d'adduction d'eau potable et la multiplication des bornes fontaines, dans les quartiers non encore suffisamment dotés.
- Etablir des normes nationales de la qualité des eaux de consommation.
- Mettre en place un système d'évacuation correcte des eaux usées.
- Exiger le respect des normes de protection des puits.

Revêtement intérieur : le puits doit être étanche, sa profondeur doit être suffisante

Revêtement extérieur : il comprend généralement

- une margelle : c'est un équipement fait en surélévation de l'ouverture du puits. Il a pour but d'arrêter tout ce qui doit passer par l'ouverture du puits pour contaminer l'eau.
- La dalle de couverture : elle est en béton armé et de dimensions variables suivant le diamètre du puits. Elle repose sur la margelle et est conforme à ses dimensions.
- La plate-forme : cet aménagement est réalisé tout au tour du puits. Cette aire doit être inclinée du puits vers l'extérieure. Une rigole doit la ceinturer et drainer toutes les eaux qui s'écoulent vers un puisard à quelques mètres du puits

Exiger le respect de la distance entre puits et latrine.

### ❖ Aux populations

- Respecter une distance minimum de quinze mètres entre puits et latrines.
- Traiter l'eau des puits par le procédé que nous avons décrit dans la première partie du travail ou par tout autre procédé de traitement donnant le même résultat
- Eviter le vidange des fosses d'aisances dans les rues et faire appel aux services compétents pour effectuer ce travail.
- Aménager les puits .

- Adapter des mesures de potabilisation de l'eau à domicile.

❖ **Aux partenaires de développement**

- Maintenir un appui constant au renforcement des travaux d'assainissement au niveau du District de Bamako.
- Maintenir également leur appui dans le financement des activités de lutte contre la pollution de l'eau au niveau du District de Bamako.

CHAPITRE VI

**RESUME ET REFERENCES**

## FICHE SIGNALÉTIQUE

Nom	: COULIBALY
Prénom	: Kassim
Titre de la thèse	: Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako
Numéro de la thèse	:
Année de soutenance	: 2005
Ville de soutenance	: Bamako
Lieux de dépôt	: Bibliothèque de la faculté de médecine, de pharmacie et d'odontostomatologie (FMPOS).
Mots clés	: Puits – Eau – Qualité

## ***RESUME***

Notre étude a été réalisée à Bamako. Elle avait comme objectif général de déterminer les causes de la pollution des eaux de puits de certains quartiers du District de Bamako. Elle a été menée au laboratoire national de l'hydraulique au labo de qualité des eaux. Comme objectifs spécifiques nous nous proposons de

- Faire l'analyse de situation de puits dans les zones retenues,
- analyser les paramètres physico-chimiques et bactériologiques,
- déterminer les éléments présentant des risques de pollution des puits,
- proposer des solutions d'amélioration de la qualité des eaux de puits.

A ce total 225 prélèvements ont été effectués au niveau de 45 puits siégés dans 31 quartiers Banconi, Kalabancoro, Hippodrome Sabalibougou, Yirimadio, Niamakoro, Missabougou, Sogonafing, Bozola, Niarela, Zone industrielle, Base militaire, Sebenicoro, Hamdallaye, Dianeguella, Sokoniko, Kalabancoura, Magnambougou, Torokorobougou, Bacodjicoroni, Lassa, Djicoroni para, Kodabougou, Faladiè, Bakaribougou, Titibougou, Senou, Doumazana, Korofina Nord, Dravela, Korofina Sud

Afin de suivre la variation saisonnière des paramètres, les prélèvements ont été faits pendant la saison sèche du mois de Mars au mois de Mai et la saison des pluies du mois de Juin au mois d'Août.

Sur le plan bactériologique, l'analyse comparée des distributions en étiage et en crue montre que le maximum de germes totaux pendant l'étiage est supérieur à celui de la crue. Dans l'ensemble le nombre de germes totaux diminue en saison pluvieuse. Ceci peut s'expliquer par une concentration des germes dans les puits pendant l'étiage.

Des propositions faites pour améliorer la qualité de l'eau de puits concernent :

- l'aménagement des équipements de surface au tour du puits
- l'adoption des mesures d'hygiène pour le transports et stockage de l'eau, de traitement périodique de l'eau de puits
- la multiplication des points d'eau modernes surtout dans les quartiers périphériques.
- Un contrôle permanent des puits
- Mettre au point un système de traitement des eaux artisanales
- Créer des comités de gestion des points d'eaux
- Réaliser les sources potentielles de nuisance latrine etc. a une distance securitaire des points d'eaux .

Nous avons enregistré

<b>Paramètres</b>	<b>Saison sèche % de non-conformité</b>	<b>Saison pluvieuse % de non conformité</b>
pH	88	80
Chlore	0	11
Sodium	0	15
Sulfate	0	0
Fer	22	62
Dureté	0	20
TDS	0	42
Turbidité	95	73
Couleur	75	46
Conductivité	28	62
Nitrate	88	93
Nitrite	24	68
Ammoniac	55	86

## REFFERNCES

### 1- A. LAFAROGNE

Contribution des professionnels de l'eau à l'un des défis majeurs des pays en voie de développement

### 2 – B.M . Alassane

Etude de la pollution bactériologique de la nappe phréatique à partir d'une latine en Afrique subtropicale. Thèse science et Techniques 1994 N°-1276

### 3 – CIEH

Comité interafricain d'Etudes Hydraulique : manuel de formation des formateurs villageois.

### 4- C.R..D.I

Hydrogéologie et contamination de la nappe phréatique alimentant la ville de Bamako.

### 5 – Dégremont : 9ème Edison. Tome 1 1989

### 6 – D.E.R de Géologie

Etude chimique et pollution de la nappe phréatique des environs du Banconi.

### 7 – D.N. H.P.A

Direction Nationale de l'hygiène publique et de l'assainissement : procédé de traitement de l'eau de boisson, maladies d'origine hydrique 2003.

### 8 – Feachim R.G ; Bradley D.J ; Garelick H ; mara D.D

sanitation and disease health aspects of excreta and water management word bank

Washington.

### 9 – F. ERB

qualités chimiques et risques toxiques des eaux d'alimentation éditorial. Journ. Fr . Hydro, 1978.

### 10 – F. Valiron

Gestion des eaux, principes moyens structures

### 11 –UNEP-WHO

Guide pour l'utilisation sans risques des eaux Résiduaires et des Excréta en Agriculture

### 12 – J.P. BEAUDRY

Traitement des eaux, le Griffon d'argile.

### 13– J. Rodier

L'analyse de l'eau 7<sup>ème</sup> édition Duno.

### 14 – KLEIN P.D, GPWG

Water source as risk factor for Helicobacter pylori infection in Peruvian children; Pancet ; Vol 337 ; June 22, 1991.

**15 – Maïga Fatoumata Sokona**

Manuel du cour d'hygiène du milieu, F.M.P.O.S 2002

**16 – Mairie centrale de Bamako , Haut Commissariat du District**

cellule technique du District Mission Française de coopération et d'action Culturelle au mali  
Convention Fac N°152 /CD99. Appui au District de Bamako Monographie du district de Bamako .

**17 – Ministère des mines de l'énergie et de l'eau**

Rapport sur la qualité de l'eau distribuée à Bamako. Octobre 1998.

**18 – Ministère des mines, de l'énergie et de l'eau**

Présentation du service d'accueil de l'hydraulique et laboratoire de la qualité des eaux.

**19 – Mémento Technique de l'eau.**

8eme Ed. Degré mont 1978.

**20– O.M.S** Directives de qualité pour l'eau de boisson . Genève 1972

**21 – OMS** Directive de qualité pour l'eau de boisson Genève 2002

**22 – Programme international sur la sécurité chimique**

Directives de qualité pour l'eau de boisson deuxième édition vol2. Critères d'hygiène et document à l'appui.1986

**23 – PULIM**

L'eau et la santé en Afrique tropicale colloque pluridisciplinaire Géographique. Médecine limoges, 2 octobre 1991

**24 – SAFEGE**

préparation d'un future projet d'A.E.P de Bamako. Lot 3 – plan directeur d'A.E.P de Bamako. Plan d'investissement décennal version définitive octobre 2001.

**25-SERHOS**

Projet d'alimentation en eau potable des quartiers périphériques de Bamako 1996.  
; de l'eau pour tous.

**26 – TRAORE (S)**

Problématique de la qualité de l'eau consommé par les populations dans les quartiers de Bamako et environs non approvisionnés par le réseau d'adduction d'eau potable de E.D.M SA .Thèse pharmacie Bamako 2003.

**27- TRAORE (S), DIALLO (S), PALLIER (G).**

L'eau à Bamako, Février au mars 1990.

**ANNEXES**

## ANNEXES

### Annexe 1 pH mode opératoire

- Appuyer sur le bouton ON/OFF pour mettre l'appareil sous tension ;
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée et l'essuyer avec un mouchoir jetable ;
- Plonger l'électrode dans la solution à mesurer à une profondeur minimum de quatre centimètres ;
- Attendre que la valeur soit stable avant la lecture ;
- Rincer à nouveau l'électrode avec de l'eau distillée et l'essuyer avec un mouchoir jetable propre pour réaliser la mesure suivante.

### Annexe 2 Fonctionnement du turbidimètre

- Appuyer sur le bouton d'alimentation électrique situé à l'arrière de l'appareil ;
- Remplir une cuvette propre jusqu'au trait (30 ml) avec de l'eau à analyser en évitant la formation de bulle d'air ;
- Tenir la cuvette par le bouchon et l'essuyer avec mouchoir doux sans peluches pour retirer les gouttes d'eau et les traces de doigts ;
- Placer la cuvette dans le puits de mesure et fermer le capot ;
- Presser la touche SIGNAL.AVG pour choisir le mode d'intégration du signal (actif ou non)
- Presser la touche UNITS pour sélectionner l'unité de mesure N.T.U ;
- Lire et noter le résultat affiché ;
- Ouvrir le capot et retirer la cuvette du puits de mesure ;
- Vider la cuvette et la rincer avant la mesure suivante.

### Annexe 3 Mode opératoire de la dureté totale.

- Allumer le spectrophotomètre DR/4000, presser la touche de fonction PROGRAM. HACH. Sélectionner le numéro de programme mémorisé pour la dureté du magnésium 225. presser ENTER et régler la longueur d'onde à 522 nm.
- Verser 100 ml d'eau à analyser dans une éprouvette graduée, bouchée de 100 ml.
- Ajouter une goutte de solution d'EDTA à une autre cuvette (échantillon préparé) et agiter pour mélanger.
- Placer le blanc dans le puits de mesure, fermer le capot et presser sur la touche ZERO. L'affichage indique : 0,00 mg / l mg-CaCO<sub>3</sub>.
- Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure. Fermer le capot

- Presser sur la touche de fonction READ et lire le résultat en mg/l de mg-CaCO<sub>3</sub> ou mg.
- Sans retirer la cuvette du puits de mesure, presser select programme et entrer le numéro de programme mémorisé pour la dureté du calcium 220. presser ENTER. L'affichage indique : 0,00 mg/l Ca-CaCO<sub>3</sub>
- Placer la troisième (3<sup>ème</sup>) cuvette dans le puits de mesure. Fermer la capot et presser la touche READ. Lire le résultat en mg/l de CaCO<sub>3</sub>.

#### **Annexe 4** Mode opératoire du dosage du fer

- Allumer le spectrophomètre DR/4000
- Presser la touche de fonction PROGRAM. HACH. Sélectionner la numéro de programme mémorisé pour le fer (fe), méthode ferrozine en entrant 2175 au clavier numérique. Presser ENTER.
- L'affichage indique : PROGRAM. HACH : 2175 fer, ferrozine. La longueur d'onde (d) 562 nm est automatiquement sélectionnée.
- Remplir une cuvette jusqu'au trait 25 ml avec l'échantillon
- Ajouter le contenu d'une gélule de solution de ferrozine à la cuvette (échantillon préparé).
- Agiter pour mélanger.
- Presser la touche de fonction DEMAR.MINUT. Une période de réaction de 5 minutes commence.

**NB** En présence de fer, une coloration violette se développe.

- Remplir une autre cuvette (le blanc) avec 25 ml d'échantillon.
- Lorsque le munitteur sonne, placer le blanc dans le puits de mesure. Fermer le capot.
- Presser la touche de fonction ZERO. L'affichage indique : 0,000 mg/l fe
- Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure. Fermer le capot. Le résultat en mg/l fe s'affiche.

#### **Annexe 5** Fonctionnement de l'appareil de mesure de la conductivité électrique :

- Retire l'électrode de son étui de protection
- Rincer l'électrode à l'eau distillée
- Plonger la cellule dans l'échantillon à analyser
- Appuyer sur ↑↑ + ON/OFF pour mettre l'appareil sous tension
- Vérifier que Arng soit affiché si non appuyer sur ↑↑
- Verifier que n FL soit affiché sinon appuyer sur TC jusqu'à apparition

- Vérifier que la température et l'unité Sal soient affichées sinon sur  $\chi$  jusqu'à leur apparition.
- Appuyer sur la touche  $\chi$  jusqu'à ce que s'affiche TDS sur l'écran
- Attendre que la valeur soit stable avant de prendre la mesure des solides totaux dissous (TDS)
- Appuyer sur la touche  $\chi$  jusqu'à ce que s'affiche Lin, ARNG et lire la valeur de la conductivité en 115 /cm
- Retirer l'électrode de la solution à mesurer et mettre dans son étui de protection.

#### **Annexe 6** Couleur mode opératoire :

- Mettre l'appareil sous tension
- Entrer le numéro 120 du programme mémorisé pour la couleur
- Ajuster la longueur d'onde à 450 nm
- Placer le blanc (25 ml d'eau distillée)
- Ajuster le zéro de l'appareil en appuyant sur la touche ZERO
- Retirer le blanc et placer 25 ml de l'échantillon filtré (couleur vraie) ou 25 ml de l'échantillon non filtré (couleur apparente).
- Appuyer READ et le résultat en UNITES pt-co APHA s'affiche.

#### **Annexe 7** Chlore, mode opératoire

- Mettre l'appareil sous tension
- Entrer le numéro 80 du programme mémorisé pour le chlore libre et total
- Ajuster la longueur d'onde à 530 nm
- Placer le blanc (25 ml d'échantillon).
- Ajuster le zéro de l'appareil en appuyant sur la touche ZERO
- Parallèlement remplir une autre cuvette de 25 ml avec l'échantillon.
- Ajouter le contenu d'un sachet de réactif DPD pour chlore libre à l'échantillon
- Agiter pendant 20 secondes (en présence de chlore une coloration rose se développe)
- Placer immédiatement le mélange d'échantillon plus réactif dans le puits de mesure.
- Appuyer READ et le résultat en mg/l s'affiche.

#### **Annexe 8** Sulfates mode opératoire

- Mettre l'appareil sous tension

- Entrer le numéro 680 du programme mémorisé pour les sulfates
- Ajuster la longueur d'onde à 450 nm
- Remplir une cuvette de 25 ml avec l'échantillon
- Laisser pendant une période de réaction de 5 minutes (en présence de sulfate une coloration blanche se développe)
- Remplir une autre cuvette avec 25 ml de l'échantillon (blanc)
- Placer le blanc dans le puits de mesure
- Ajuster le zéro de l'appareil en appuyant sur la touche ZERO
- Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure ;
- Appuyer READ, et le résultat en mg/l de sulfates s'affiche .

## **SERMENT DE GALIEN**

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

*- d'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.*

*- d'exercer dans l'intérêt de la santé publique , ma profession avec conscience et 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.*