

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT  
DU MALI  
SUPERIEUR ET DE  
une Foi  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**REPUBLIQUE**

**Un Peuple – un But –**

# UNIVERSITE DU MALI

**FACULTE DE MEDECINE, DE PHARMACIE ET D'ODONTO-STOMATOLOGIE  
ANNEE UNIVERSITAIRE 2009 – 2010**



N° .....

**THESE :**



*Evolution des paramètres physico-chimiques et  
bactériologiques des eaux de puits en fonction du  
traitement à l'hypochlorite de sodium*

**Présentée et soutenue publiquement le 16/07 /2010**

**Devant la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie  
(F. M.P.O.S.)**

**Par : Mamoudou DIALLO**

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

**JURY**



Tu as toujours été là pour nous ; tu as su guider mes pas.

Ce travail est tien. C'est le moment pour toi aujourd'hui d'être heureuse avec moi en cette occasion solennelle de ma vie.

Que DIEU te protège et te donne longue vie à nos côtés.

➤ **A mon fils feu amadou diallo et mon neveu feu abdoulaye diallo**

Reposez en paix mes chers fils !

➤ **A ma femme sadio**

Tu as toujours été là pour moi et sache que ce travail est aussi le tien.

➤ **Mes frères et sœurs : Sékou Sissoko, moussa diallo ; Ibrahim coulibaly, mamadi diallo, Fatoumata diallo, daoulé diallo ; Mariam Sissoko, diati diallo ; bintou guindo.**

Le lien de sang est sacré, qu'il dure autant que notre vie. Trouvez ici l'expression de mes sentiments dévoués.

## **REMERCIEMENTS**

J'ai aujourd'hui l'opportunité de pouvoir exprimer mes réels sentiments, et adresser mes sincères remerciements.

- **A la population de Niamakoro :** qui nous ont permis de réaliser ce travail, pour leur esprit de coopération et de compréhension.
- **Au directeur du laboratoire de la qualité des eaux.** 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 dès le premier jour de notre rencontre par la réalisation de ce travail. Nous gardons un meilleur souvenir de l'accueil qui nous a été réservé dans votre service.

Veillez 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.
- **A madame TOGO,** je vous remercie infiniment pour l'immense service que vous m'avez rendu. Ce travail est le votre.

**A tous les internes du service d'anesthésie et réanimation du CHU Gabriel Touré**

Mes sincères remerciements

**A tout le personnel du service d'anesthésie et réanimation du CHU Gabriel Touré**

Acceptez ici mes sincères remerciements pour votre esprit de collaboration.

**A tout le personnel du bloc opératoire du CHU Gabriel Touré**

**A tous mes maîtres de la FMPOS :**

Pour la qualité des enseignements que vous nous avez prodigués tout au long de notre formation.

A tous mes oncles, tantes, cousin(e) s : trouvez ici le sentiment de ma profonde gratitude.

**A toute la promotion 2001-2002 de la FMPOS**

**A tous mes amis :** Dr Ousmane nago Dembélé, Dr Modibo SANGARE, Dr Moustapha ABDI, Dr sidi Y traoré, Dr Mohamed lamine Touré,

**A mon pays le MALI :** que DIEU te bénisse !

Enfin, mes remerciements vont, à tous ceux qui directement ou indirectement ont contribué à ma formation et dont les noms ne sont pas personnellement cités. Ce travail, n'est en somme que la résultante des efforts des uns et des autres.

**A notre Co-directrice de thèse :**

**Madame MAIGA Fatoumata SOKONA**

*Ingénieur de Génie Sanitaire spécialisée en Sciences de l'environnement, chargée des cours de santé et d'environnement. Administrateur du programme santé et environnement a la représentation de l'O.M.S au MALI.*

Cher maître, 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 !

## **A notre Maître et Directeur de thèse**

### **Professeur SACKO Massambou**

*Maître de conférences en Santé Publique à la FMPOS,  
Conseiller aux programmes de lutte contre les maladies transmissibles,  
des urgences et des actions humanitaires à l'OMS,*

Cher maître,

Votre aimable simplicité, votre curiosité scientifique et votre souci de transmettre aux autres vos connaissances, font de vous un formateur chevronné.

Nous ne saurions trouver les mots justes pour exprimer notre gratitude.

**A notre Maître et membre du jury :**

**Monsieur FOFANA Almoustapha**

*Directeur Général du Laboratoire National des Eaux (LNE)*

Cher Maître c'est un grand honneur et un réel plaisir que vous nous faites en acceptant de siéger dans ce jury malgré vos multiples occupations.

Votre rigueur scientifique, vos compétences pédagogiques, votre gaîté font de vous un Maître exemplaire et respecté.

Recevez cher Maître l'expression de nos respectueux hommages.

Que Dieu vous protège !

**A notre Maître et Président de thèse**

**Professeur Benoit Yaranga KOUMARE**

*Maître de conférences en chimie analytique à la FMPOS*

*Spécialiste en pharmacologie moléculaire.*

*Expert en analyse et en contrôle de qualité des médicaments.*

*Directeur général du laboratoire national de la santé*

Cher maître, Vous nous faites un immense honneur en acceptant de présider ce jury. Nous avons été séduits par la qualité de votre savoir scientifique et votre ouverture envers les étudiants.

Nous garderons particulièrement de vous l'image d'un maître de rigueur, perfectionniste qui a su allier avec bonheur, rigueur et respect de l'Homme dans l'exercice de la médecine. Honorable maître, nous espérons avoir été à la hauteur de votre attente dans la réalisation de ce modeste travail.

Trouvez ici cher maître toute notre admiration et notre profond respect.

## **ABREVIATIONS**

Alc :	Alcalinité
CCI :	Coefficient de Corrélation Intra classe
Coli. Fécaux :	Coliformes fécaux
Coli. Totaux :	Coliformes totaux
DBO :	Demande Biologique en Oxygène
D.N.H :	Direction Nationale de l'Hydraulique
DDL :	degré de liberté
EDSIV :	enquête démographique pour la santé
F.M.P.O.S :	Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto - Stomatologie
HCO <sub>3</sub> :	bicarbonate
K <sup>+</sup> :	ion potassium
M :	mètre
m <sup>3</sup> :	mètre cube
mg :	milligramme
mg/l :	milligramme par litre
ml :	millilitre
Na <sup>+</sup> :	ion sodium
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> :	Ammonium

NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> :	nitrites
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> :	nitrates
O.M.S :	Organisation Mondiale de la Santé
pH :	potentiel d'hydrogène
PULIM :	presse universitaire de limoges
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> :	ions sulfates
UCV :	Unité de Couleur Vraie
UTN :	Unité Nephelométrique de Turbidité
% :	pourcentage
µs/cm :	micro siemens par centimètre»

## SOMMAIRE

<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>Généralités</b> .....	<b>4</b>
.	
<b>Méthodologie</b> .....	<b>3</b>
.	<b>9</b>
<b>Résultats</b> .....	<b>4</b>
...	<b>6</b>

<b>Commentaires</b>	<b>et</b>	<b>5</b>
<b>discussion.....</b>		<b>3</b>
<b>Conclusion</b>	<b>et</b>	<b>5</b>
<b>recommandations.....</b>		<b>9</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>		<b>6</b>
		<b>3</b>
<b>Annexes</b>		<b>6</b>
		<b>6</b>

## **I. INTRODUCTION**

L'eau est essentielle pour la vie, cependant elle peut être aussi une source de maladie. D'après le rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé (**PULIM**) 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 [27]

La consommation de l'eau potable, facteur déterminant pour la vie sur terre, 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, 70% de la population utilisent l'eau de puits, et 4% eaux de surface comme source d'approvisionnement en eau (source EDS IV) .

En ce qui concerne les ménages, on constate que dans 56 % des cas, ils ont accès à une source d'eau améliorée.

On note également des écarts entre milieux de résidence puisque cette proportion varie de 79 % en urbain à 46 % en rural, et à un maximum de 95 % à Bamako (EDS IV).

BAMAKO comme toutes les capitales des Etats de l'Afrique tropicale, est 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 à (113-500fcfa) ce qui paraît assez 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, un contrôle s'impose alors afin d'assurer un traitement pour rendre ces eaux propres à la consommation, et d'éviter les maladies liées à l'eau.

Cette faible couverture en eau potable et les comportements à risques des populations sont à l'origine de la fréquence élevée des maladies d'origine hydrique comme la fièvre typhoïde et paratyphoïde, la dysenterie amibienne et

la poliomyélite le choléra etc. Ainsi le Mali a connu différents épisodes de cholera respectivement en 1971, 1985, 1986, 1995, 2001, 2003, 2004 et 2005 ; selon une étude réalisée en 2007 par Coumba DIALLO Bamako a été touché avec une proportion de 0,37% de 1995-2005.

En juillet 2009, il a été enregistré 156248 cas de diarrhée, dont 90174 pour la tranche d'âge inférieure à 5ans, avec 212 décès. [23]

Notre étude se propose d'apprécier la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau avant et après traitement, de faire des propositions permettant d'informer les décideurs et techniciens sur le choix des produits de désinfection des eaux de consommation, de dégager certaines causes de la pollution de ces eaux, de faire des propositions permettant aux 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.

## **OBJECTIFS**

### **1. Objectif général**

Apprécier l'évolution des paramètres physico-chimiques et bactériologiques en fonction du traitement au chlore des eaux de puits.

### **2. Objectifs spécifiques**

- Sélectionner les points d'eau devant être traités à l'hypochlorite de sodium.
- Déterminer la qualité bactériologique et les paramètres physico-chimique des puits avant et après traitement dans le quartier de Niamakoro.
- Comparer les paramètres physico-chimiques des eaux de puits traitées aux normes (OMS) en vigueur.

## **II.**

## **GENERALITES**

### **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 [17].



**Figure 1 : Cycle de l'eau [12]**

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

- **Les eaux de pluie** : les eaux de pluie peuvent être collectées à partir des toitures des maisons dans des récipients ou dans des impluviums.
- **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 sont constituées d'eau, dont 98,5% des eaux salées et 2,5% seulement en eau douce (AMH) [25] journée mondiale de l'eau 2003).

– **Les eaux souterraines** : formées par les eaux d'infiltrations, les eaux souterraines sont exemptes de pollution. Elles sont de 4 ordres :

➤ **Nappe phréatique**

Dérivé savant du grec *phréar*, au génitif *phréatos*, puits. Créé par Daubrée, 1887, pour qualifier un type d'eau souterraine: "nappe phréatique".

**Définitions existantes**

*Selon Daubrée 1887 :*

" Nappe d'eau la plus rapprochée de la surface du sol, celle qui alimente la plupart des puits ordinaires".

• *Selon Larousse*

"Nappe d'eau souterraine formée par infiltration des eaux de pluie et alimentant des sources"

• *Dictionnaire français d'Hydrogéologie, 1977 :*

"Nappe atteinte et exploitée par les puits ordinaires. En pratique il s'agit d'une nappe généralement libre à surface peu profonde."

**Définition** La nappe phréatique est l'aquifère souterrain que l'on rencontre à faible profondeur et qui alimente traditionnellement les puits en eau potable. C'est évidemment la nappe la plus exposée à la pollution en provenance de la surface.

➤ **Nappe souterraine**

**Définitions existantes** (de "nappe d'eau")

• *Selon LITTRE :*

La "Nappe d'eau est une grande étendue d'eau, tranquille comme celle d'un étang".

- Selon le *ROBERT* :  
La "Nappe d'eau est le terme général désignant toutes les eaux stagnantes (lac, étang, marais, etc..).

*Nappe d'eau souterraine*, Héricart de Thury, 1829

*Nappe*, Arago, 1834

"La nappe d'eau, gisante à une assez grande profondeur souterraine,...est fournie par la couche de grès vert" (Victor Hugo, *Les Misérables*, 1862, V,

### ***Définition***

Nappe d'eau souterraine, nappe souterraine ou nappe (pris absolument en hydrogéologie):

est l'ensemble des eaux présentes dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique. . Il s'agit d'une eau contenue dans les interstices ou les fissures d'une roche du sous-sol que l'on nomme aquifère. Seule *l'eau libre*, c'est-à-dire capable de circuler dans la roche fait partie de la nappe. Ce type de réservoir peut être exploité et peut approvisionner les réseaux de distribution d'eau potable. Le rapport de la nappe avec l'aquifère est le même qu'entre le contenu et son contenant.

### ***Type d'aquifère***

Les nappes peuvent être contenues dans des aquifères de type poreux (sables, craie, graviers, grès, scories volcaniques, etc.) ou dit *fissurés* : l'eau est contenue et circule dans les failles, fissures ou diaclases de la roche (calcaires , granites, coulées volcaniques etc.). En milieux karstiques la roche peut présenter des conduits et grottes dans lesquels l'eau peut circuler beaucoup plus vite que dans les autres types d'aquifères.

### ➤ **Nappe fossile**

C'est une nappe qui ne se renouvelle plus, depuis un temps plus ou moins long (jusque plusieurs milliers d'années). Ces nappes sont exploitées dans les milieux désertiques. Elles sont vouées à un épuisement inévitable.

### ➤ **Nappe captive**

Une nappe captive est une nappe généralement profonde et située entre deux couches imperméables. Elle est entièrement saturée d'eau sous pression. Elle jaillit lorsque l'on fait un forage et c'est ce qu'on appelle un puits artésien.

## **2. Mécanisme de contamination des eaux souterraines**

### **2.1. Pollution des eaux**

On appelle pollution de l'eau toute modification de la composition de l'eau ayant un caractère gênant ou nuisible pour les usages humains, la faune ou la flore.

### **2.2. Sources de polluants**

Les principales sources de la pollution de l'eau sont :

- Les rejets urbains résultant du traitement des eaux usées issues des ménages, des entreprises, des locaux recevant du public, des commerces, des activités artisanales
- Les rejets urbains par temps de pluie (RUTP) sont particulièrement chargés en polluants dus aux déchets solides, au trafic automobile (huiles, hydrocarbures, usure des pneus ...), aux industries, ainsi qu'à l'érosion des surfaces imperméables (toitures, chaussées, trottoirs et parking).
- Les rejets agricoles par lessivage des sols et percolation des eaux de pluie sur les surfaces agricoles, ou liés aux activités maraîchères et à l'élevage (pesticides, désherbants etc.) ;
- Les rejets industriels plus ou moins chargés en substances minérales, organiques ou toxiques

**2.2.1 Agriculture :** Certains déchets agricoles se présentent sous une forme solide ou liquide concentrée, mais si les eaux souterraines des zones rurales sont légèrement contaminées c'est par suite du lessivage à grande échelle de l'excédant d'éléments nutritif ajoutés comme engrais (organique ou inorganique) [29] .

Le nitrate est la principale source de ces polluants. Il provient des engrais et de la transformation, sous l'action bactérienne, de l'azote organique du sol en une forme inorganique (minéralisation) après le labourage des prairies temporaires ou permanents [3].

Le problème est cependant plus grave lorsque les animaux sont rassemblés en grand nombre, par exemple aux alentours de points d'eaux, car d'important volume de matière fécale et semi liquide peuvent alors facilement s'infiltrer jusqu'à la nappe phréatique.

Dans bien des cas l'aménagement sanitaire des puits laisse fortement à désirer, soit ils sont découverts et les polluants peuvent y tomber directement, ou aucune forme de tubage ou revêtement ne protège les parois, ou il n'existe ni margelle ou plateformes imperméables ; si bien que l'eau peut être massivement contaminée par des bactéries fécale d'origine humaine ou animale

**2.2.3 Déchets solides domestiques :** Ils peuvent contaminer les eaux souterraines lorsqu'ils sont entraînés par les eaux d'infiltration naturelle ou par rejet volontaire de liquide les contenant.

Les déchets domestiques contiennent d'importantes quantités de matière putrescibles qui, en se biodégradant, entraîne une augmentation initiale de la température.

### **3. Les principaux polluants :**

#### **3.1 Les polluants organiques**

Les effets des polluants organiques sont de divers ordres et peuvent concerner plusieurs organes ou le fonctionnement de l'organisme humain ; la peau,

l'appareil respiratoire, la circulation sanguine, le sang, les reins le foie, les yeux et le pancréas, les poumons, le système nerveux etc....

### **3.2 Polluants chimiques :**

D'une manière générale, la connaissance de la composition chimique des roches réservoirs d'eaux souterraines permet de se faire une idée sur les éléments majeurs contenus dans une eau souterraine. Il existe relativement peu de polluants pour lesquels nous connaissons précisément la dose toxique limite. Il est à noter que l'effet varie selon l'état de santé, l'âge, l'alimentation, le poids du sujet et beaucoup d'autres facteurs.

Au cours de leurs trajets ou de leurs séjours les eaux traversent les roches constituant le sous sol, ces roches réservoirs appelées terrains aquifères donnent leurs physionomies propres aux eaux qu'elles contiennent. Il existe trois (3) principales roches qui sont :

- **Roches cristallines :**

Les minéraux constitutifs de ces roches sont :

Le quartz formé de la silice pure  $\text{SiO}_2$

Le feldspath formé de silicates d'alumine et de potassium appelés aussi orthose ( $\text{K Al Si}_2\text{O}_8$ )

Les micas, ce sont des silicates d'alumines de fer et de magnésium.

Notons que les eaux qui y séjournent ou qui les traversent sont généralement pauvres en ion car la mise en solution de cristallines est très difficile.

- **Roches sédimentaires :**

Les minéraux constitutifs de ces roches sont :

Les sables micacés : ce sont les silicates ferromagnésien

Les sables feldspathiques : ce sont des silicates d'alumine de sodium ou de potassium

Le gypse :  $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$

Le halite : ce sont les cristaux de  $\text{Na Cl}$

Le calcaire :  $\text{CaCO}_3$

- **Roches métamorphiques :**

Dans les roches métamorphiques, on rencontre les micaschistes, les roches à amphiboles, les roches schisteuses qui sont des roches sédimentaires et ignées (cristallines) ayant subis d'importantes transformations sous l'effet d'une chaleur et d'une pression intense.

Dans le cas des éléments et composés dont on ignore les effets du point de vue médical, on établit souvent la concentration maximale recommandée (OMS 1971) sur la base de considération biochimique d'ordre général.

Un sommaire des effets possibles de certains polluants inorganiques est présenté dans le tableau ci-dessous :

**Tableau I :** Toxicité et effets nocifs ou nuisibles liés à la présence de certains polluants dans les eaux souterraine

<b>Polluants</b>	<b>Toxicité chez une personne de 80 kg</b>	<b>Autres effets</b>
Arsenic	Dose mortelle 130mg	Peut être carcinogène à faible dose
Barium	Dose mortelle 600mg	
DBO		Elevé eaux anoxiques, odeur dû au H <sub>2</sub> S
Bore	Dose mortelle 5-20g	Provoque des nausées et des crampes intestinales à faible concentration
Calcium		Pourrait favoriser la formation de calculs biliaires à haute concentration
Cadmium	Dose mortelle 9g	S'accumule dans le foie, les reins et le pancréas
Chlorure		Décelable au goût à 400mg/l. émetique à haute concentration. Dose élevée contre indiquée chez les cardiopathes
Chrome	Dose mortelle 0,5g	Détruit la paroi intestinale
Cuivre		Elément essentiel à la synthèse de l'hémoglobine (besoin quotidien 1-2mg). A haute concentration irrite l'intestin et provoque des vomissements
Phénols Chlorés		Altère le goût à 0,001mg /l
Cyanure	Dose mortelle 50mg	
Fer		Altère le goût et l'odeur à plus de 0,1mg/l
Plomb	S'accumule dans l'organisme	
Magnésium		Altère le goût. A haute concentration, semble causer une maladie apparentée à l'encéphalite

### **3.3 Les polluants organiques**

Ce sont principalement les pesticides et les détergents.

Cependant il faut noter que les détergents ne sont pas toxiques, mais ils favorisent l'assimilation des substances toxiques.

#### **Les pesticides**

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

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

**Nématocides** : ensemble des produits chimiques servant à détruire les nématodes parasites des cultures.

**Rodenticides** : substance active ou une préparation ayant la propriété de tuer certains rongeurs, considérés comme nuisibles pour l'homme.

**Herbicides** : toute substance conçue pour tuer ou empêcher la croissance de certaines plantes jugées indésirable.

**Acaricides** : produit chimique utilisé pour l'extermination des acariens.

Les sources de pollution sont :

- les industries fabricant les pesticides ;

- l'utilisation des pesticides en agriculture et en santé publique ;
- le lessivage des terrains traités par les eaux de pluie.

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

- permanence et stabilité chimique conduisant à une accumulation dans les chaînes alimentaires ;
- rupture de l'équilibre naturel.

En plus de la toxicité aiguë, il faut tenir compte à long terme des actions cancérigènes, mutagènes et tératogènes de certains pesticides. [28]

### **Les détergents**

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

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

Les nuisances engendrées par l'utilisation des détergents sont :

- L'apparition de goût de savon ;
- La formation de mousse qui freine le processus d'épuration naturelle ou artificielle ;
- Le ralentissement du transfert et de la dissolution de l'oxygène dans l'eau, même en l'absence de mousse, par création d'un film interfacial [28].

### **3.4 Les polluants radioactifs**

La pollution des eaux de surface par des substances radioactives pose un problème de plus en plus grave, imputable au fonctionnement des réacteurs, à l'utilisation des isotopes radioactifs en médecine, dans l'industrie et dans diverses autres branches d'activité civile et aux " retombées " provenant des essais d'armes nucléaires. On s'efforce actuellement par tous les moyens de prévenir la pénétration de déchets concentrés dans les eaux de surface, mais les

eaux de refroidissement des réacteurs entraînent de faibles quantités de matières radioactives [7].

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 à cause des méthodes et techniques d'exploitation.

- 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 par infiltration contribuant à la recharge de la nappe, mais aussi à sa pollution par l'entraînement des matières organiques et minérales.

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 les caractéristiques physico-chimiques d'une eau, et d'autre part précisent les limites de son emploi pour les divers usages : alimentation, besoins ménagés, besoins industriels, irrigation,...



[13]

Figure 2 : Les différentes sources de pollution des eaux

#### 4. Analyse des risques liés à la contamination de l'eau :

Les risques sanitaires induits par l'ingestion de l'eau polluée peuvent être classés comme suit :

- Risques à court terme ;
- Risques à moyen terme ;
- Risques à long termes ;

- Risques liés à la présence d'organismes indésirables.

#### **4.1 Les risques à court terme.**

Ils sont générés par les bactéries les virus les parasites qui se trouvent dans l'eau.

##### **❖ Les bactéries pathogènes**

Les bactéries sont des micro-organismes unicellulaires rigides de même grosseur que les petites particules du limon ou les grosses particules d'argile (0,5-10 $\mu$ m) leur mobilité dans les réseaux d'eau souterraine peut être limitée par la filtration dans les pores de la roche.

Passer l'eau à travers un tissu propre ne la rend pas potable ; cependant La filtration élimine les matières dont les diamètres sont supérieurs aux mailles du filtre (0,45 $\mu$ m).

- ❖ Les matières fécales contiennent en général un très grand nombre de genres et d'espèces bactériennes : un gramme de fèces humides contient en moyenne entre  $10^{10}$  et  $10^{12}$  cellules bactériennes vivantes [13]. Certaines de ces bactéries, de part leur nombre et leur omniprésence dans les matières fécales humaines, sont souvent utilisées comme des indicateurs de la pollution fécale. Certaines maladies telles que Typhoïde et paratyphoïde, Choléra, Dysenterie bacillaire, Dysenterie amibienne Gastro-entérite sont généralement transmises à l'homme par voie digestive liée à la consommation d'eau ou d'aliments contaminés. Ces bactéries pathogènes jouent un rôle déterminant dans la pollution biologique de la nappe phréatique soit à partir de latrines, de décharge de déchets ou d'autres sources de contamination

### ***Les virus***

Du point de vu biologique, ce sont des germes incapables de se reproduire sans le concours d'un organisme hôte ; plus petits que les bactéries, ils mesurent 20-200nm de long [16].

De nombreux virus peuvent infecter une personne et être transmis à de nouveaux hôtes à travers les fèces par voie digestive. Un gramme de fèces peut contenir jusqu'à  $10^9$  particules virales infectieuses. [12]

Cinq groupes de virus pathogènes sont particulièrement importants sur le plan sanitaire et sont responsables de maladies telles que la poliomyélite, la méningite, l'hépatite infectieuse, etc. [16]

Les virus les plus préoccupants en matière de transmission des maladies infectieuses sont essentiellement ceux qui se multiplient dans l'intestin des individus infectés et qui sont excrétés en grand nombre dans les excréta.

Ils pénètrent dans l'eau principalement à travers les effluents d'égouts et les matières fécales.

Il existe plusieurs types de virus. Aucun procédé ne permet de les isoler.

Les virus se transmettent en général par contact direct avec les sujets infectés ou avec des objets contaminés par des excréments. L'infection peut cependant emprunter d'autres voies y compris l'ingestion.

Le virus le plus couramment transmis à travers l'eau est le virus A de l'hépatite.

### ***Les protozoaires***

Les trois protozoaires intestinaux pathogènes pour l'homme sont transmis par l'eau de boisson. Il s'agit de :

- *Entamoeba histolitica*
- *Giardia spp*

- *Balantidium coli*

Diverses amibes tels que *Naegleria*, *Hartmannella* et *Acanthamoeba* ssp peuvent être également véhiculé par l'eau, mais les infections dues à ces agents se contractent généralement à travers des activités récréatives dans l'eau.

La transmission des maladies dues à des protozoaires pathogènes se fait par ingestion.

### ***Les helminthes***

Les helminthes pouvant être transmis par l'eau sont de trois grandes catégories :

- *Trematoda* ou douves
- *Cestoda* ou ténias
- *Nematoda* ou vers ronds

Les agents appartenant à ces trois catégories peuvent être également classés en trois groupes selon leur mode de transmission à l'homme :

#### ***Groupe I***

Ce sont des helminthes qui se développent dans des organismes aquatiques ou hôte intermédiaire que l'homme absorbe en buvant l'eau. Le membre le plus important de ce groupe est *Dracunculus medinensis* ou vers de Guinée.

La principale voie de transmission pour ce groupe est la boisson d'une eau contenant des hôtes intermédiaires infectés.

#### ***Groupe II***

Ce sont des trématodes et des vers ronds dont les larves infectantes sont capables traverser la peau et les muqueuses de l'homme. Ils peuvent donc se transmettre par l'eau de boisson mais surtout par le contact de l'eau infesté. Le germe le plus important de ce groupe est *Schistosoma*.

Les infections à *Schistosoma* sont imputables à l'emploi d'une eau polluée pour le bain ou la boisson.

### **Groupe III**

Ce sont des helminthes qui produisent des œufs et des kystes résistants et infectieux pour l'homme. Les helminthes intestinaux les plus répandus de ce groupe sont les *Ascaris lumbricoides* et les *Trichuris trichiura*

Bien que pouvant atteindre l'homme par l'intermédiaire de l'eau, ces helminthes sont généralement transmises par l'intermédiaire des aliments.

#### **Les organismes libres**

Les plus importants qui sont présents dans l'eau sont le plancton et macro invertébrés.

Parmi les plancton il y'a des phytoplanctons et des zooplanctons.

Le plancton joue un rôle important parce qu'il perturbe le traitement, produit des substances toxiques et héberge des germes pathogènes pour l'homme.

**Tableau II** : Principaux agents bactériens pathogènes présents dans les fèces et les maladies transmises.

<b>Famille</b>	<b>Genre</b>	<b>Espèce</b>	<b>Maladie</b>
<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Salmonella</i>	<i>Typhi</i> <i>Paratyphi</i>	Fièvre typhoïde Fièvre paratyphoïde
<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Shigella</i>	<i>Dysenteriae</i> Autres <i>Shigella</i>	Dysenterie bacillaire Gastro-entérite, diarrhée
<i>Vibrionaceae</i>	<i>Vibrio</i>	<i>Cholerae</i> Autres <i>vibrios</i>	Choléra Gastro-entérite, diarrhée
<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Escherichia</i>	<i>Coli</i>	Gastro-entérite,

<i>e</i>	(types pathogènes)	diarrhée
<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Yersinia</i>	<i>Enterocolitica</i>
<i>e</i>		Diarrhée, septicémie

**Tableau III** : Principaux groupes de virus pathogènes excrétés dans les fèces et les maladies transmises

<b>Famille</b>	<b>Genre</b>	<b>Virus</b>	<b>Maladie</b>
<i>Adenoviridae</i>	<i>Mastadenovirus</i>	<i>Adenovirus</i> (42 types) Virus de l'hépatite B (VHB, HBV)	Affections respiratoires, infections oculaires
<i>Picornaviridae</i>	<i>Enterovirus</i>	<i>Poliovirus</i> 1,2,3  Coxsackie A (23) Coxsackie B (23)  <i>Heparnavirus</i> ex- <i>Entérovirus</i> 72 = Virus de l'hépatite A (VHA, HAV)	Poliomyélite  Méningite, fièvre, maladies respiratoires, myocardite  Hépatite infectieuse
<i>Reoviridae</i>	<i>Rotavirus</i>	<i>Rotavirus</i> humains	Vomissements et diarrhées
	<i>Réovirus</i>		Diarrhées

#### **4.2. Risques à moyen terme :**

Ces risques correspondent à la consommation régulière d'une eau défectueuse pendant des périodes de l'ordre de deux semaines à une année. La consommation régulière d'une eau contaminée augmente la probabilité d'une infection ou des polluants chimiques comme les nitrites, les nitrates, le fluor).

- Maladies liées à la présence de substance chimique dans l'eau : La fluorose qui est due à une intoxication par le fluor. Le saturnisme qui est à une intoxication par le plomb. L'hyperthyroïdie, et la méthémoglobine provoquent des troubles graves, par altération de l'hémoglobine du sang et formation de méthémoglobine toxique pouvant conduire à l'asphyxie et la mort s'il n'y a pas de traitement [8].

#### **4.3. Risques à long terme :**

Ces risques sont liés à la consommation régulière d'une eau chargée d'éléments pouvant s'accumuler dans l'organisme pendant plusieurs années. Il s'agit d'éléments minéraux comme le mercure, le cadmium, le plomb, le chrome, le nickel, ou les composé organiques (résidus de pesticides, hydrocarbures, phénols ...)

##### ***Les constituants minéraux***

L'excès ou l'insuffisance de certains constituants minéraux peut affecter de façon plus ou moins grave, la santé.

##### **Exemples**

- Arsenic ; intoxication par l'arsenic
- Cadmium ; graves troubles intestinaux
- Chrome ; nécrose du foie
- Cyanures ; intoxications

- Plomb ; saturnisme

## **5. Risques liés à la présence de substances indésirables dans l'eau :**

Ces risques sans danger direct pour la santé des populations peuvent entraîner des désagréments pouvant détourner les utilisateurs vers des sources non potables.

Ils sont essentiellement dus à la présence :

- Du fer dans l'eau qui donne un goût métallique, une couleur jaunâtre et peut occasionner la prolifération des bactéries ferrugineuses.
- Du manganèse qui ont les mêmes effets que le fer sauf que la couleur est noir.
- Des chlorures qui entraînent les eaux saumâtres avec un goût sale.

## **6. 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 [5]. 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 aquifère est une formation géologique perméable et saturée d'eau.

## **7. 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 :

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 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. [9] :

## **8. 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 traitées. Si tel était

néanmoins le cas, il faut penser à deux possibilités : soit le traitement est inefficace, ou il y a eu une contamination postérieure au traitement.

Coliformes fécaux (thermotolérant) : ce sont des coliformes capables de fermenter à 44°C surtout le genre *Escherichia* et, occasionnellement les *Enterobacters*, 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 de contamination fécale de première importance. Il s'en suit que la présence, de ces micro-organismes est suffisante pour affirmer la nature fécale.

Leur présence dans l'eau de puits doit être interprétée comme l'indice d'une situation dangereuse.

Par ailleurs d'autres germes proches des germes pathogènes; comme les streptocoques fécaux les *Clostridium sulfito-réducteurs* sont considérés comme un indicateur d'efficacité de traitement à cause de leur résistance aux agents antiseptiques et notamment le chlore et à ses dérivés.

C'est pourquoi, du point de vue pratique, il faut considérer jusqu'à preuve du contraire que tous les coliformes observés sont d'origine fécale [27].

## **9. 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. [24]

### ➤ **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 [24].

### **10. Traitement des eaux naturelles :**

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. Mais lorsque la protection de celui-ci n'est plus garantie, il est impératif de procéder à l'aménagement, à la désinfection et au maintien d'une concentration de chlore résiduel suffisant.

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

- 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.

### **10.1. La désinfection :**

La désinfection consiste à inactiver ou à détruire les organismes contenus dans les sources d'alimentation en eau afin de réduire les maladies d'origine hydrique .

Ce procédé par lequel les organismes pathogènes sont détruits pourrait être accompli par un certain nombre de traitement physico-chimique, incluant l'application directe de l'énergie thermique, irradiation par les rayons X, l'usage des ions métalliques tels que le cuivre et l'argent, l'usage des oxydants tels que les halogènes, l'ozone et d'autres composés organiques et inorganiques.

Bien que la désinfection consiste à l'inactivation ou destruction des microorganismes responsables des maladies d'origine hydrique, elle n'implique pas nécessairement la destruction totale de tous les organismes vivants que constitue la stérilisation.

#### **10.1.1. La chloration : Terminologie de la désinfection :**

Chlore Résiduel libre (C R L)	Chlore Résiduel
combiné (C R C)	
O C L = ion hypochlorite	NH <sub>2</sub> Cl =
monochloramine	
H O C L = acide hypochloreux	NC <sub>12</sub> =
dichloramine	
NC <sub>13</sub> = trichloramine	

**Stérilisation :** La stérilisation est un traitement permettant de tuer tous les germes vivants que contient un matériel donné. La désinfection est un

traitement permettant de tuer ou d'enlever les organismes capables de donner une infection.

**Désinfectant** : est l'agent responsable de la désinfection : le chlore est un désinfectant.

**Chlore Résiduel libre** : C'est le chlore existant dans l'eau sous forme d'acide hypochloreux et d'ion hypochlorite.

**Chlore Résiduel combiné** : C'est le chlore existant dans l'eau sous forme de combinaison chimique avec l'ammoniac et les composés organiques azotés.

Exemple : monochloramine

**Chlore Résiduel total** : C'est la quantité de chlore ajoutée à l'eau.

**Demande en Chlore** : C'est la quantité de chlore nécessaire pour éliminer l'ensemble des microorganismes dans l'eau.

## **11. Produits de chloration de l'eau**

### **Hypochlorite de sodium : [16]**

L'hypochlorite de sodium (NaOCl) est un composé qui peut être utilisé efficacement dans le cadre de la purification de l'eau. Il est utilisé pour de nombreuses applications telles que la purification de surface, le blanchiment, l'élimination d'odeurs et la désinfection de l'eau.

### **Quand l'hypochlorite de sodium a-t-il été découvert?**

L'hypochlorite de sodium a une longue histoire. Vers 1785, le français Berthollet développa un agent blanchissant liquide basé sur l'hypochlorite de sodium. La compagnie Javel introduisit ce produit et le baptisa 'liqueur de Javel'. Dans un premier temps, il fut utilisé pour blanchir le coton. En raison de ces caractéristiques, il devint rapidement un composé populaire. L'hypochlorite peut

enlever les taches sur les vêtements à température ambiante. En France, l'hypochlorite de sodium est encore appelé eau de Javel.

### **Quelles sont les caractéristiques de l'hypochlorite de sodium?**

L'hypochlorite de sodium est une solution claire légèrement jaune avec une odeur caractéristique.

L'hypochlorite de sodium a une densité relative de 1,1 (5.5% de solution aqueuse)

Utilisé comme agent de blanchissement domestique, il contient 5% d'hypochlorite de sodium son pH est d'environ 11 et il est irritant. Si il est plus concentré, c'est-à-dire si il contient une concentration de 10-15% d'hypochlorite de sodium son pH est d'environ 13. Il est brûlant et corrosif.

L'hypochlorite de sodium est instable. Le chlore s'évapore à un taux de 0.75g de chlore actif par jour depuis la solution. Alors l'hypochlorite de sodium chaud se désintègre. Cela se déroule également lorsque l'hypochlorite de sodium vient en contact avec les acides, la lumière du soleil, certains métaux, poisons et gaz corrosifs, incluant le chlore gazeux. L'hypochlorite de sodium est un oxydant puissant et réagit avec les composés inflammables et les réducteurs. La solution d'hypochlorite de sodium est une base faible qui est inflammable. On doit avoir ces caractéristiques à l'esprit lors du transport, du stockage, et de l'utilisation de l'hypochlorite de sodium.

### **Que se passe-t-il au niveau de la valeur du pH lorsque l'hypochlorite de sodium est ajouté à l'eau?**

En raison de la présence de soude caustique dans l'hypochlorite de sodium, le pH de l'eau augmente. Lorsque l'hypochlorite de sodium est dissous dans l'eau, deux substances sont formées, celles-ci jouant un rôle important dans l'oxydation et la désinfection. Les deux substances sont l'acide hypochlorite

(HOCl) et le moins actif ion hypochlorite (OCl<sup>-</sup>). Le pH de l'eau détermine la quantité d'acide hypochlorite formée. Lorsque de l'hypochlorite de sodium est utilisé, l'acide chlorhydrique (HCl) permet d'abaisser le pH.

### **Comment l'hypochlorite de sodium est-il produit?**

L'hypochlorite de sodium peut être produit de deux manières:

- En dissolvant du sel dans de l'eau adoucie, ce qui produit une solution de saumure concentrée. La solution est électrolysée et forme une solution aqueuse d'hypochlorite de sodium. Cette solution contient 150 g de dichlore actif par litre. Durant cette réaction du gaz d'hydrogène explosif est aussi formé.
- Par addition de dichlore gazeux à de la soude caustique. Lorsque cela est fait, de l'hypochlorite de sodium, de l'eau et du sel selon la réaction suivante:

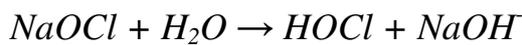


### **Quelles sont les applications d'hypochlorite de sodium?**

L'hypochlorite est utilisé dans une large gamme d'applications. Par exemple en agriculture, dans l'industrie chimique, dans les industries de la peinture et de la chaux, dans l'industrie alimentaire, dans celles du verre, du papier, dans l'industrie pharmaceutique et dans les industries de synthèse et de dépôt des déchets. Dans l'industrie du textile, l'hypochlorite de sodium est utilisé pour blanchir le textile. Il est parfois ajouté dans l'industrie du traitement des eaux usées et cela pour en réduire les odeurs. L'hypochlorite neutralise l'hydrogène de sulfure (HS) et l'ammoniac (NH<sub>3</sub>). Il est aussi utilisé pour désintoxiquer des bains de cyanure dans l'industrie des métaux. L'hypochlorite peut être utilisé pour prévenir la croissance des algues et des organismes dans les tours de refroidissement. Dans le traitement de l'eau, l'hypochlorite est utilisé pour désinfecter l'eau. Dans les taches domestiques, l'hypochlorite est utilisé pour la purification et la désinfection de la maison.

### **Comment la désinfection à l'hypochlorite de sodium fonctionne-t-elle?**

En additionnant de l'hypochlorite à l'eau, de l'acide hypochlorite (HOCl) est formé:



L'acide hypochloreux est divisé en acide chlorhydrique et en oxygène. L'atome d'oxygène est oxydant très puissant.



L'hypochlorite de sodium est efficace contre les bactéries, les virus et les champignons. L'hypochlorite de sodium désinfecte de la même manière que le chlore le fait.

### **Quels sont les effets de la santé de l'hypochlorite de sodium?**

#### ***Exposition***

Il n'y a aucune valeur seuil en ce qui concerne l'exposition à l'hypochlorite de sodium. Des effets variés sur la santé sont observés après une exposition à l'hypochlorite de sodium. Les personnes sont exposées à l'hypochlorite de sodium par l'inhalation d'aérosols. Cela provoque la toux et des douleurs à la gorge. L'ingestion d'hypochlorite de sodium provoque des douleurs et des brûlures à l'estomac, de la toux, de la diarrhée, des vomissements et des douleurs à la gorge. L'hypochlorite de sodium sur la peau et les yeux provoque des rougeurs et des douleurs. Après une exposition prolongée, la peau devient sensible. L'hypochlorite de sodium est un poison pour les organismes marins. Il est mutagène et très toxique lorsqu'il est en contact avec les sels d'ammonium.

## **Quels sont les avantages et les désavantages de l'utilisation de l'hypochlorite de sodium?**

### ***Avantages***

L'hypochlorite de sodium comme désinfectant a les avantages suivants: Il peut être facilement transporté et stocké lorsqu'il est produit sur site. Son dosage est simple. Le transport et le dosage de l'hypochlorite de sodium est sûr. L'hypochlorite de sodium est aussi efficace que le chlore gazeux pour la désinfection. L'hypochlorite de sodium produit des désinfectants résiduels.

### ***Désavantages***

L'hypochlorite de sodium est une substance dangereuse et corrosive. Lorsque l'on travaille avec de l'hypochlorite de sodium des mesures de sécurité doivent être prises pour protéger les travailleurs et leur environnement. L'hypochlorite de sodium ne devrait pas rester en contact avec l'air, car cela peut provoquer sa désintégration.

## **Quelle est la législation concernant l'hypochlorite de sodium?**

La régulation pour l'hypochlorite de sodium est la même que la régulation concernant le chlore.

## **12. Facteurs influençant la désinfection :**

Ce sont : PH, durée de contact de l'eau avec le désinfectant, forme du chlore, le dosage, la température, l'alcalinité, la dureté.

- a) Effet du PH : L'action bactéricide du Cl<sub>2</sub> augmente ou tend à augmenter pour les valeurs faibles du PH de l'eau, en particulier une augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> produisant une baisse du

PH, pour les eaux ayant une alcalinité, l'action du C1 sera plus grande pour les eaux contenant plus de CO<sub>2</sub> que celles en contenant moins. Il a été vérifié qu'en en prenant deux échantillons d'une même eau dont les valeurs du PH sont respectivement 10 à 5, il faut 150 fois plus de C1 dans le premier cas (PH - 10) pour obtenir les mêmes effets bactéricides.

**b) Effet de la température ;** L'effet bactéricide du chlore augmente lorsque la température augmente. En effet, on sait que lorsque la température augmente l'efficacité du désinfectant augmente.

Il a été vérifié que deux échantillons d'une même eau ayant pour PH 7 et dont les températures sont 4° et 25° , il faut 2,5 fois plus de C1 dans le 1° cas que dans le second cas.

**c) Effet du temps de contact :** L'effet bactéricide augmente avec la durée de contact du désinfectant avec l'eau. Il existe peu de règles à ce sujet et l'expérience confirme que cette durée de contact varie avec la nature et le nombre d'organismes présents.

**d) Effet de la turbidité :** L'effet bactéricide est neutralisé et le HOCl ne se forme pas dans le cas d'une turbidité élevée et contenant des matières organiques.

**e) Effet de l'acidité et de l'alcalinité :** De ce qui précède on voit que l'effet bactéricide du C1 diminue avec l'alcalinité et augmente avec l'acidité.

**f) Quantité totale de chlore à utiliser :**

L'action bactéricide du chlore dépend entièrement de son dosage. En principe on doit ajouter du C1 en quantité suffisante pour que la réaction soit complète, mais cette condition est nécessaire et non suffisante, car une eau bien chlorée doit conserver un résiduel de chlore libre qui continuera l'action bactéricide et prévenir les éventuelles contaminations survenant après les opérations de désinfection.

La quantité totale de Cl<sup>-</sup> à utiliser est déterminée à partir de deux méthodes appelées test chloré (Genre test) et la méthode du point critique. La méthode du test chloré appelé demande en chlore, en pratique la dose moyenne utilisée est comprise entre 0,1 et mg/l et peut atteindre 5 mg/l dans certains cas.

**Tableau IV:** concentrations minimales de Cl<sup>-</sup> résiduel nécessaires pour désinfecter l'eau efficacement.

<b>PH de l'eau</b>	<b>Chlore résiduel libre (mg/L) Durée minimale de contact : 10 min</b>	<b>Chlore résiduel complexé (mg/L) Durée minimale de contact : 60 min</b>
6,0-7,0	0,2	1,0
7,0-8,0	0,2	1,5
8,0-9,0	0,4	1,8
9,0-10,0	0,8	Non recommandé
> 10,0	0,8(et durée de contact supérieure)	Non recommandé

### **13. 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 [8].

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 directives 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 à ces directives actualisées en 2008 qui figurent dans les tableaux ci-dessous

**Tableau V** : qualité physico-chimique de l'eau de boisson (Directive de l'OMS 2008)

<b>Eléments</b>	<b>Valeurs indicatives en mg/l</b>
Cuivre.....	1 mg/l
Cyanure.....	0,07 mg/l
Fluorures.....	1,5 mg/l
Manganèse.....	0,1 mg/l
Mercure.....	0,001 mg/l
Nitrate .....	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.....	5UTN(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
Sulfate.....	250 mg/l

Solides totaux en solution.....	1000 mg/l
Zinc.....	3mg/l
.....	

**Tableau VI :** qualité bactériologique de l'eau de boisson  
(Directive de l'OMS 2008)

Organismes	Les valeurs indicatives	Remarque
A-/ Toutes les eaux destinées à la consommation :		Non détectables dans un échantillon de 100 ml
E. Coli ou bactéries coliformes	0	
Thermo tolérantes	0	
B-/ Eaux traitées à l'entrée du réseau de distribution :		Non détectables dans un échantillon de 100 ml
E.Coli ou bactéries coliformes	0	
Thermo tolérantes	0	
Coliformes totaux	10	Non détectables dans un échantillon de 100 ml
C-/ Eaux traitées dans le réseau de distribution :		Non détectables dans un échantillon de 100 ml
E. Coli ou bactéries coliformes	0	
Thermo tolérantes	0	
Coliformes totaux	10	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
--	--	--

#### **14. Problématique de l’approvisionnement en eau dans le district de Bamako :**

La ville de **Bamako** qui est en plein essor fait de plus en plus face à des difficultés d’approvisionnement en eau potable.

##### **Démographie et géographie**

Située sur les rives du fleuve Niger, appelé Djoliba (« le fleuve du sang »), la ville de Bamako est construite dans une cuvette entourée de collines. Elle s’étend d’ouest en est sur 22 km et du nord au sud sur 12 km, pour une superficie de 267 km<sup>2</sup>.

La ville de Bamako est divisée en six communes réparties de part et d’autre du fleuve Niger la rive gauche comprenant les communes 1, 2,3 et 4et la rive droite les communes 5 et 6.



[14]

**Figure 3 :**

Selon le recensement général 2009 le district de Bamako compte 1.809.106 habitants repartis entre 288.176 ménages.

Les jeunes représentent 49,8% de la population contre 50,2% pour les hommes.

La population de Bamako a été multipliée par près de 1,8 depuis 1998 soit un taux de croissance annuel de 5,4%.

Les augmentations les plus importantes sont constatées dans les communes V et VI (recensement général), ce qui confirme le choix de la commune VI comme site de notre étude.

### **III. METHODOLOGIE**

#### **1. Cadre et lieu d'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. Face à cette augmentation et aux difficultés de l'approvisionnement en eau potable de la population, particulièrement dans NIAMAKORO où la population s'alimente essentiellement à partir des eaux de puits, nous avons jugé nécessaire d'effectuer une étude portant sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits.
- **SITE** : NIAMAKORO est située sur la rive droite en commune VI du district de BAMAKO.

Les échantillons ont été acheminés et analysés 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**

Il s'agit d'une étude prospective analytique basée sur l'analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau de puits avant et après traitement à l'hypochlorite de sodium dans le but d'évaluer l'innocuité de l'eau traitée dans les conditions du district de Bamako. Elle est réalisée sur une période allant de Décembre 2008 à Janvier 2010.

## **3. Population d'étude**

L'étude a porté sur 70 puits ordinaires.

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

- **critères d'inclusion**

Ont été inclus dans l'étude tous les puits faisant préalablement l'objet d'un traitement à l'hypochlorite de sodium.

- **Critères de non –inclusion**

Ont été exclus de l'étude tous les autres puits qui ne sont ni traités ni suivis pour la qualité de ces eaux au cours de notre collecte.

## **4. Echantillonnage**

Dans le cadre de notre étude, nous avons effectué au total 280 prélèvements dont 140 prélèvements pour l'analyse physico-chimique et 140 prélèvements pour l'analyse bactériologique. Tous ces prélèvements ont été réalisés dans 70 puits numérotés de 1 à 70. Chacun de ces puits a fait l'objet de 4 prélèvements pendant toute la durée de notre travail.

Nous avons utilisé les mêmes puits pour les analyses des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Ces puits ont été ciblés suite à l'objectif visé par l'étude volontairement.

### **5. Collecte et analyse des données**

Les données étaient saisies sur Word 2007, Excel 2007 et SPSS pour les graphiques, elles étaient analysées sur le logiciel EPI INFO version 6.0 Fr. le test statistique utilisé était le khi2.

### **6. Analyses des paramètres physico-chimiques :**

Des méthodes analytiques courantes ont été utilisés pour l'analyse des paramètres tels que :  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , PH, turbidité, conductivité,  $\text{Fe}^{2+}$ , l'alcalinité. Il s'agit entre autre des analyses volumétriques pour les ions nitrate, le turbidimètre pour la turbidité, le spectrophotomètre pour les  $\text{NO}_3^-$  et le pH mètre pour  $\text{HCO}_3^-$ .

#### ***La turbidité***

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers sont relatifs car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble et n'apprécient pas

les qualités d'une eau très claire. Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension.



La turbidité se mesure à l'aide d'un turbidimètre. En fait, il mesure la densité optique à une longueur d'onde donnée

En faisant traverser la cuve contenant l'échantillon par le faisceau lumineux, cette densité optique est proportionnelle à la turbidité.

Figure 4 : turbidimètre (mode opératoire)

Dans ce cas il s'agit d'un turbidimètre 2100N de la compagnie HACH.

**Tableau VII:** classe de turbidités usuelles (NTU, Nephelometric Turbidity Unit).

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble
NTU > 100	La plupart des eaux de surface en Afrique atteignent ce niveau de turbidité

Le degré de turbidité est mesuré par l'appréciation de l'abondance de ces matières. En définitif, l'eau potable selon les normes de l'OMS ne doit pas dépasser 5 NTU.

En fait, la détermination de la turbidité permet de mesurer la propriété optique de l'échantillon d'eau qui résulte de la dispersion et de l'absorption de la lumière par les particules de matières présentes dans l'échantillon.

### ***La conductivité***

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25°C. Les appareils de mesure utilisés sur le terrain effectuent en général automatiquement cette conversion. Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain, mais la conductivité est réalisée au laboratoire. La procédure est simple et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau.

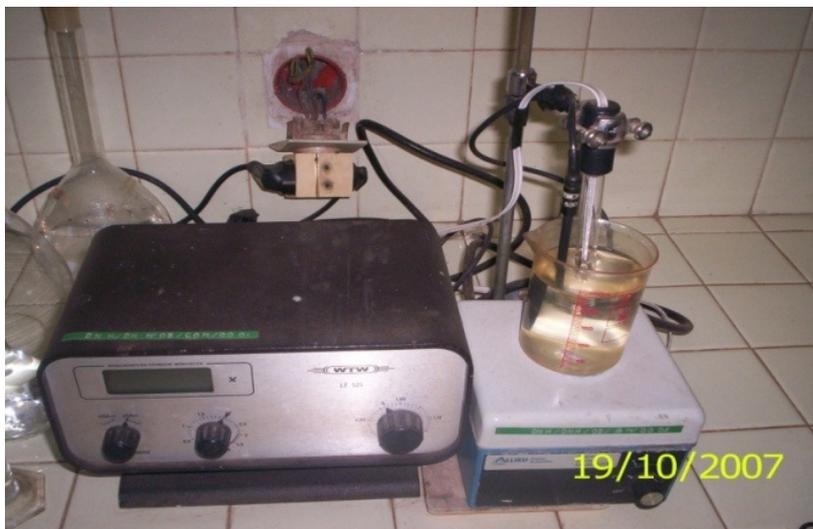


Figure 5 : Conductivimètre (mode opératoire)

Comme la température, des contrastes de conductivité permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélanges ou d'infiltration... La

conductivité est également l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau : la valeur mesurée sur le terrain doit être comparable à celle mesurée au laboratoire.

Le conductimètre mesure la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1\text{cm}^2$  de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. Dans notre cas nous avons utilisé le conductimètre de marque WTW modèle LF512, à une température variant entre 25 et 28°C.

### ***Le pH***

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions  $\text{H}^+$  de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau.

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre ou d'un colorimètre.

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés, il varie habituellement entre 7,2 et 7,6. Cependant, les eaux très calcaires ont un pH élevé et celles provenant de terrains pauvres en calcaires ou siliceux ont un pH voisin de 7 et quelque fois inférieur à 7.

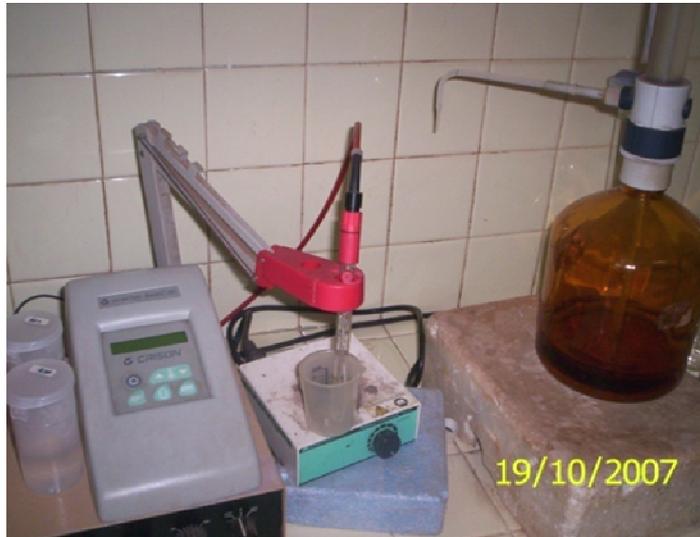
Lorsque le pH est supérieur à 8 il y a diminution progressive de l'efficacité de la décontamination microbienne par le chlore.

Le pH agit indirectement sur la santé dans la mesure même où il influe sur les différents procédés du traitement destiné à éliminer les virus, les bactéries et autres organismes nocifs. L'O.M.S préconise pour l'eau destinée à la consommation humaine un pH compris entre 6,5 et 8,5 [19].

***Tableau VIII:*** classification des eaux d'après leur pH

pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre

7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense



**Figure 5 : pH-mètre (mode opératoire)**

### ***Les nitrates***

Le dosage des nitrates fait appel à des méthodes relativement complexes avec une grande probabilité de présence de constituants interférents. De ce fait, la détermination des nitrates est délicate. Pour chaque type d'échantillon, le choix de la méthode est déterminé par la concentration à doser et les interférences probables.

Les méthodes proposées sont la chromatographie ionique, applicable aux teneurs supérieures à 1 mg/L, la réduction au cadmium de 0,01 à 1 mg/L en azote avec une adaptation en automatique de 0,05 à 20 mg/L.

Au laboratoire de la DNH, nous utilisons deux méthodes :

- 🔬 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire



Le logiciel UV winlab a été utilisé pour ce dispositif.

Figure 6 : Spectromètre d'absorption moléculaire

✚ Méthode de réduction au cadmium, le cadmium réduit le nitrate de l'échantillon en nitrite et l'ion nitrite réagit avec l'acide sulfanilique pour former un sel de diazonium intermédiaire qui réagit avec l'acide chromatropique pour produire un complexe coloré rose.

Pour ce procédé on utilise la même méthode de spectrophotomètre.

### ***Le fer***

La présence de fer dans les eaux souterraines a de multiples origines : le fer, sous forme de pyrite ( $\text{FeS}_2$ ), est couramment associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes, argiles) et aux roches métamorphiques. Il se retrouve souvent à de fortes concentrations dans les eaux des cuirasses d'altération de socle.

Présent sous forme réduite ( $\text{Fe}^{2+}$ ), le fer est oxydé par l'oxygène de l'air et précipite sous forme ferrique lorsque l'eau est pompée :



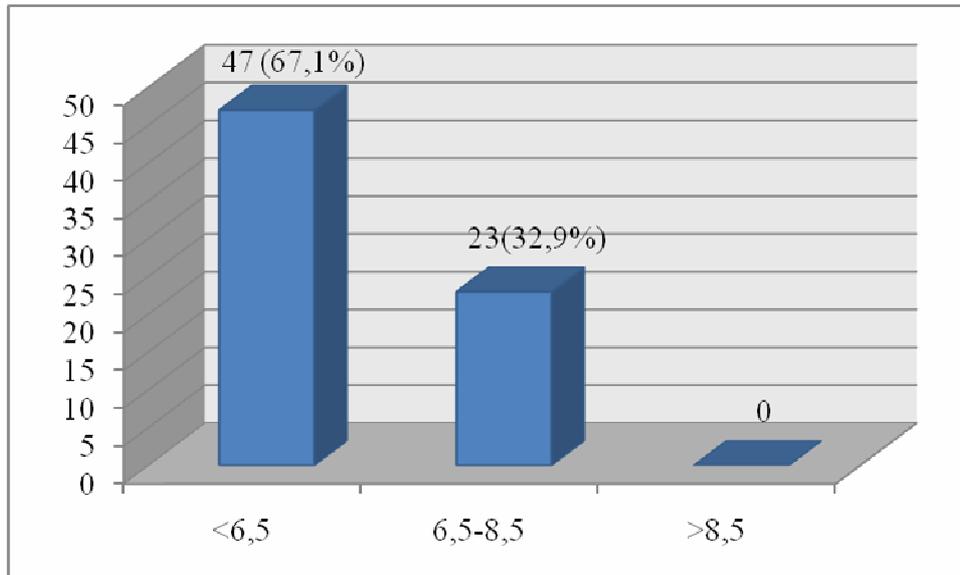
Avec la présence du fer les eaux de forages ou puits sont colorées en brun/rouille et les populations se désintéressent parfois à cette ressource ; car l'utilisation d'une eau chargée en fer pour la lessive colore le linge et présente un goût métallique.

#### **IV .RESULTATS**

Notre étude basée sur l'étude des paramètres physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits avant et après traitement à l'hypochlorite de sodium dans le quartier Niamakoro a permis d'effectuer 280 prélèvements repartis entre 70 puits.

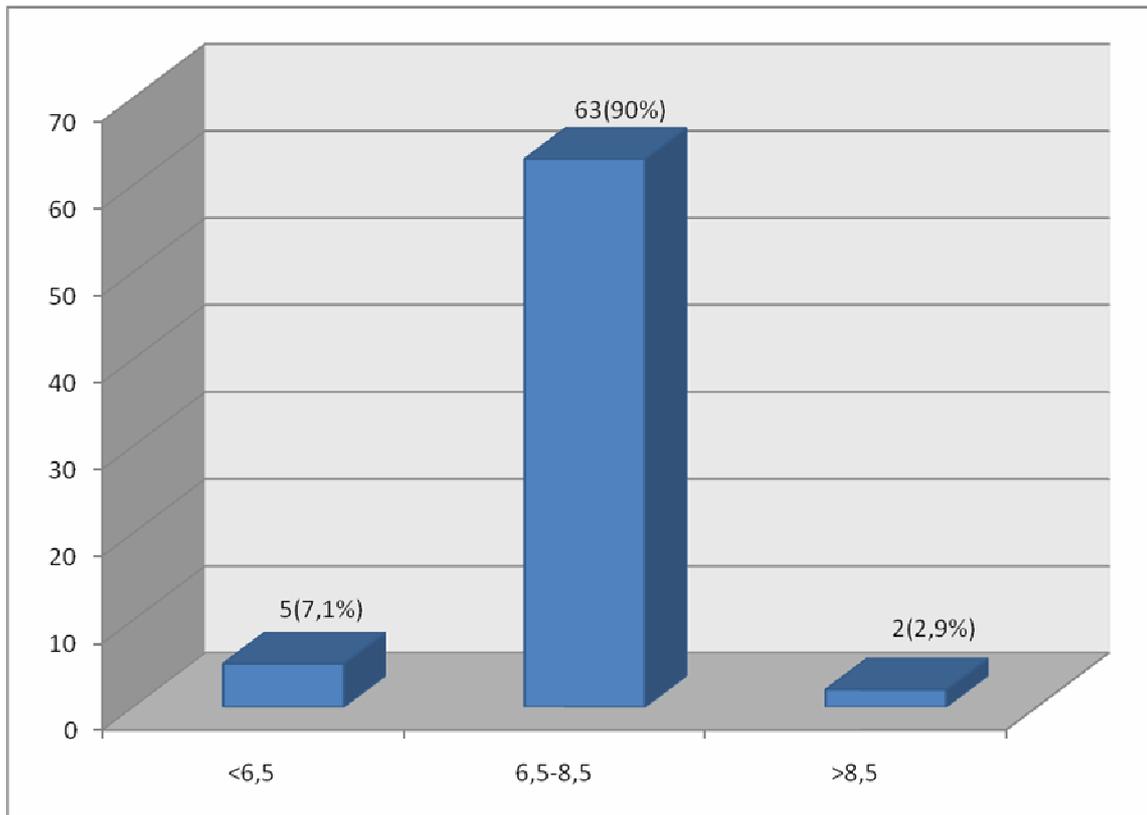
Pour chaque puits nous avons effectué 4 prélèvements dont 2 avant et 2 après traitement à l'hypochlorite de sodium de Décembre 2008 à Janvier 2010.

**Les tableaux et histogrammes ci –dessous présentent les résultats obtenus :**



**Graphique1 :** Variation du pH des puits avant le traitement à l’hypochlorite.

Dans notre étude 47 puits étaient inférieurs aux normes OMS soit 67,1%.



**Graphique2:** Variation du pH des puits après traitement à l'hypochlorite

90 % des puits de notre étude étaient conformes aux normes OMS, 7,1% étaient inférieurs et 2,9% supérieurs.

**Tableau I:** Récapitulatif du pH des puits avant et après traitement

Valeurs du pH	Avant traitement	Après traitement
pH<6,5	67,1%	7,1%
pH>8,5	0	2,9%
Normes OMS (6,5-8,5)	32,9%	90%
Médiane	6,2	7,1
Moyenne	6,1	7,3
écartype	0,9	0,6

Dans notre série, la moyenne du pH avant traitement était de 6,1 % et de 7,1% après traitement.

**Tableau II :** Tableau de contingence de la variation du pH

Source de variation	DDL	Somme des carrés des écarts	Carrés moyens	Fisher-Snedecor
Régression	1	17,92	17,92	32,66
Résiduelle	68	37,31	0,54	
Total	69	55,23		

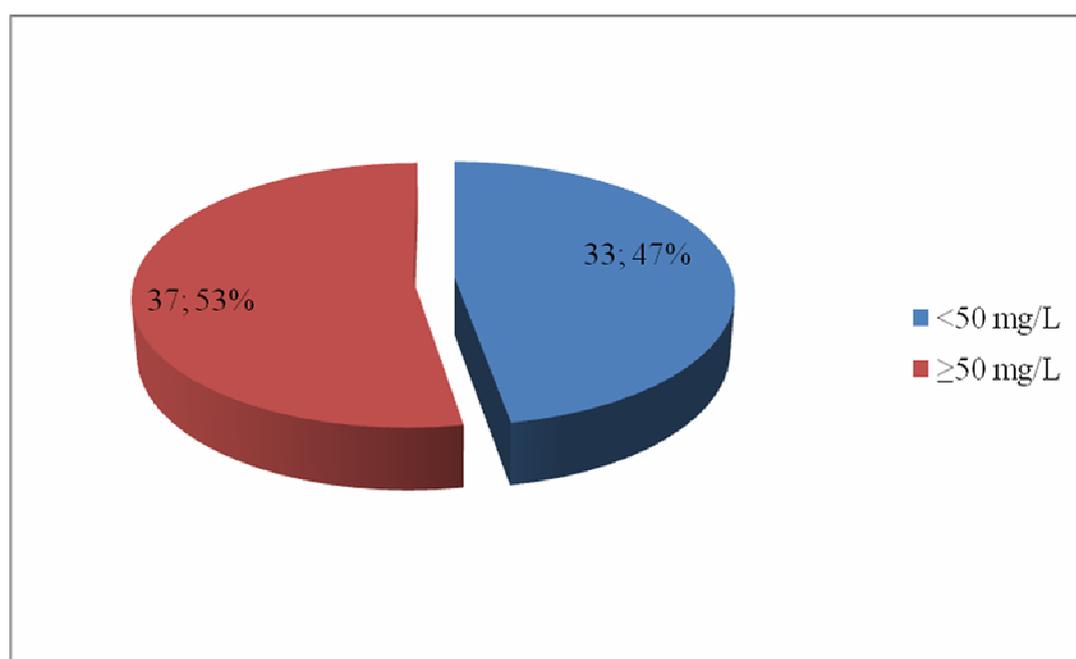
Coefficient de corrélation de classe : 0,81. La différence est très hautement significatif avec  $p < 10^{-3}$ .

En lisant cette valeur sur le tableau de fisher, le traitement a rendu le ph alcalin donc prompt à la consommation.

**Tableau III:** Répartition des puits selon la Conductivité de l'eau

Conductivité	Effectifs	Pourcentage
<500	47	67,1
500-1000	18	25,8
>1000	5	7,1
Total	70	100

47 puits soit 67,1 % étaient en dessous de la norme (500-1000), 5 puits soit 7,1 était au dessus de la norme avec une moyenne de 475, 1, un écart type de 264,6 et une médiane de 381,5.



**Graphique 3 :** Répartition des puits selon leurs teneurs en Nitrate

La teneur en nitrate des puits de notre étude était élevée dans 53% avec une moyenne de 58,9 un écart type de 68,1 et une médiane de 52,2.

**Tableau IV: Tableau de contingence de la variation en nitrate**

Nitrate	Avant traitement	Après traitement	TOTAL
Normal	32	69	101
Anormal	38	1	39
Total	70	70	140

Khi<sup>2</sup>=46,06                      P<10<sup>-7</sup>, la différence est hautement significative.  
Donc il y a une modification très hautement significative de la teneur en nitrate de l'eau après traitement à l'hypochlorite de sodium.

**Tableau V: Répartition des puits selon leurs teneurs en Fer**

Fer	Effectifs	Pourcentage
Normes (0,3 mg/L)	20	100
Total	20	100

100% des puits de notre étude étaient conformes aux normes OMS

**Tableau VI :** Variation des coliformes thermo-tolérants avant et après traitement à l'hypochlorite

Coliformes thermo-tolérants	Avant traitement	Après traitement
Normes (0/100ml)	23(32,9%)	70(100%)
Non conformes (>0/100ml)	47(67,1%)	0
Total	70(100%)	70(100%)

67,1 % des puits étaient non conformes aux normes OMS avant traitement

**Tableau VII :** tableau de contingence de la variation des coliformes thermo-tolérants.

Coliformes thermo-tolérants	Avant traitement	Après traitement	Total
Normes (0/100ml)	23	70	93
Non conformes (>0/100ml)	47	0	47
Total	70	70	140

Khi<sup>2</sup>=67,77      P <10<sup>-7</sup> la différence de l'échantillon est hautement significative.

Donc le traitement a permis de rendre tous nos échantillons sur le plan bactériologique prompt à la consommation.

**Tableau VIII : Variation des coliformes totaux avant et après traitement**

Coliformes totaux	Avant traitement	Après traitement
Normes (10/100ml)	24(34,3%)	70(100%)
Non conformes (>10/100ml)	46(65,7%)	0
Total	70(100%)	70(100%)

Avant traitement 65,7% étaient non conformes aux normes OMS et 100% étaient conformes après traitement.

**Tableau IX: tableau de contingence de la variation des coliformes totaux.**

Coliformes totaux	Avant traitement	Après traitement	TOTAL
Normes (10/100ml)	24	70	94
Non conformes (>10/100ml)	46	0	46
Total	70	70	

$\text{Khi}^2 = 65,56$   $P < 10^{-7}$  la différence est hautement significative.

Donc le traitement a permis de rendre tous nos échantillons sur le plan bactériologique prompts à la consommation.

+

## **V. COMMENTAIRES ET DISCUSSION :**

Notre travail était basée sur l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologique de l'eau des puits en fonction du traitement a l'hypochlorite de sodium dans le quartier de Niamakoro ; elle a permis d'évaluer certains paramètres physico-chimiques et les indicateurs bactériologique de contamination de l'eau des puits avant et après traitement a l'hypochlorite de sodium.

A Bamako, capitale du Mali, le problème de la pollution de l'eau 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 de 70 puits ordinaires dont 95% étaient sans aménagement et 5% étaient munis de margelles. Les puits sont numérotés de 1 à 70. Au total nous avons analysé 280 échantillons.

Les résultats de notre étude ont montré une contamination aussi bien chimique que bactériologique.

- **Sur le plan chimique**
- **pH**

Le pH de l'eau des puits avant traitement variait de 4,33 à 7,6 ; les résultats de nos travaux pourront être comparé a d'autres études : a celui de **Coulibaly.K en 2005 (étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits dans le district de Bamako)** qui a trouvé 4,59 à 7,02 en saison sèche et

de 3,7 à 7,9 pendant la crue, et 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 67,1% de nos eaux analysées n'était pas recommandées à la consommation humaine.

Le pH est un facteur d'investigation de l'acidité ou de l'alcalinité d'une eau. Après traitement le pH était conforme aux normes OMS dans 90% des cas, cela s'explique par la présence de soude caustique dans l'hypochlorite de sodium, le pH de l'eau augmente [16].

- **Nitrates**

En effet, 53% des eaux de puits prélevées présentent un taux de nitrates supérieur à 50g/l, norme recommandée par l'OMS.

Ce résultat que nous avons retrouvé au cours de notre étude, se rapproche de ceux de **M .MAKOUTODE, A.K ASSANI, E.M OUENDO, V.D AGUEH, P.DIALLO en 1999 au Benin**, qui retrouvent que 50 % des eaux de puits prélevées contiennent un taux de nitrates supérieur à la norme recommandée par l'OMS.

La présence de ces éléments chimiques traduit la pollution des eaux étudiées.

Cette situation pourrait s'expliquer par le niveau de l'assainissement et de l'hygiène publique dans le quartier de Niamakoro.

En effet, dans cette localité, la population ne dispose pas d'un système de collecte, d'évacuation et de traitement des ordures ménagères, encore moins de celui de collecte, de Traitement, d'évacuation des eaux usées.

Il est aisé de constater que les ordures sont en général jetées pêle-mêle dans les rues,

Les eaux usées sont directement déversées au sol dans la cour ou dans les rues.

- **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.

- **Fer**

Le prélèvement n'a été effectué que dans 20 puits de notre série par manque de réactif. 100% des puits de notre étude étaient conformes aux normes OMS (0,3mg).

- **Conductivité**

47 puits soit 67,1 % étaient en dessous de la norme (500-1000), 5 puits soit 7,1 était au dessus de la norme avec une moyenne de 475, 1, un écart type de 264,6 et une médiane de 381,5.

- **Sur le plan bactériologique**

- **coliformes totaux**

Le nombre de coliformes totaux avant traitement était supérieur à 200 coliformes totaux dans 100 ml d'échantillon soit 65,7% des puits de notre étude. Ce 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 le manque d'entretien de ces puits. En effet, ces puits sont pour la plupart mal entretenus.

Par contre après traitement 100% des puits étaient conformes aux normes OMS.

- **coliformes thermo-tolérants**

Le nombre de coliformes thermo-tolérants avant traitement variait de 6 à plus de 200 coliformes thermo-tolérants dans 100 ml d'échantillon ; 47 puits étaient

concerné soit 67,1%. Le nombre de coliformes dans les eaux de puits analysées dépasse la norme de l'OMS (0 coliformes thermo-tolérants dans 100 ml d'échantillon).

En effet la majeure partie des puits de notre étude était pollués pendant toute la durée de notre travail avant le traitement. Nos résultats bactériologiques se rapprochent de ceux de certains auteurs comme **AISSI [1] en 1992, KIKI MIGAN [15] en 1993, CONILANVI [6] en 1994 ; M. MAKOUTODE, A.K ASSANI, E.M OUENDO, V.D AGUEH, P.DIALLO en 1999 au Bénin** qui ont retrouvé des taux de coliformes dépassant largement 103 colonies par 100 ml.

Les différentes analyses bactériologiques réalisées pour les points d'eau de boisson en Afrique montrent que la plupart des puits traditionnels et sources d'eau sont pollués.

En effet, au Burkina-Faso, au Rwanda, au Bénin et en Guinée Conakry les études révèlent que respectivement 70 % des puits traditionnels au Burkina-Faso, 55 % des sources captées au Rwanda, 96 % des puits traditionnels au Bénin, 100 % des puits traditionnels et des sources captées en Guinée sont pollués [26]. Cette situation est due à l'exposition de ces puits à des sources de pollution importantes aussi aux techniques d'exploitation.

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 de l'OMS). 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 la pente 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**

Tous les puits de notre étude ont été creusés par puisatier 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. De plus les populations vidant 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'abri 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.

Par contre 100% des puits étaient conforme après traitement ; bien des études ont montré que même si l'eau est propre à la source, les conditions de transport et de stockage font qu'elle reste toujours polluée.

## **VI. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS :**

### **Conclusion :**

A la lumière des résultats obtenus, nous pouvons conclure que la contamination des puits est générale à Niamakoro. Cette pollution se manifeste par des teneurs dépassant largement les normes de l'OMS.

Notre étude a permis de mettre en exergue qu'aussi bien les paramètres bactériologiques que physico-chimiques évoluent positivement avec le traitement à l'eau de javel.

En effet les eaux analysées ont des propriétés physico-chimiques et bactériologiques qui font qu'elles ne sont pas recommandées pour la consommation humaine sans traitement. De plus la pollution bactérienne était très élevée et presque permanente dans les puits étudiés avant traitement pendant toute la durée de notre travail. Les résultats de l'analyse bactériologique des eaux montrent que la totalité des puits prélevés était polluée. Plusieurs facteurs pourraient expliquer la pollution bactériologique des eaux de puits :

- Les facteurs liés à l'assainissement du milieu et aux comportements de la communauté
- Les facteurs liés au mode de gestion des eaux de puits (recueil, transport, stockage),
- 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 de Mars 2009 à Aout 2009 soit une période d'étude de six (6) mois.

Qu'elle soit chimique ou bactériologique la pollution est accentuée avant traitement. 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 des germes rencontrés et leur quantité dépassant les normes admises pour l'eau de consommation rendant l'eau des puits étudiés impropre à la consommation.

24h après traitement tous les puits de notre étude étaient conformes aux normes OMS.

## **VII. 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**

- 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.
- 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.
- Exiger le respect de la distance entre puits et latrine.
- Produire une eau saine et esthétique à un coup réduit.
- Réglementer les dimensions des concessions afin que la distance puits-latrine soit conforme aux normes.

### **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 la 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 et l'alimentation en eau potable du District de Bamako.

## **VIII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :**

1. **AISSI M. J.** Impacts des déchets domestiques sur la qualité de la nappe phréatique à Cotonou. - 69 p. Mémoire : Aménagement, Protection de l'environnement: Abomey-Calavi :CPU :1992.
2. **Alassane B.M** Etude de la pollution bactériologique de la nappe phréatique à partir d'une latrine en Afrique subtropicale. Thèse- Sciences Techniques- Lausanne 1994. N°1276
3. **Atkins, SF**, 1976 Nitrogen leaching from fertilizers: lysimeter trails: published results from Europe and USA. Imperial chemical industries Ltd. Agricultural division report, 76p Smith,
4. **C.R.D.I** Hydrogéologie et contamination de la nappe phréatique alimentant la ville de Bamako.
5. **CIEH** Comité interafricain d'Etudes Hydraulique : manuel de formation des formateurs villageois.
6. **COMLANVI F. M.** Amélioration de la qualité des eaux des puits dans la ville de Cotonou : cas de quelques quartiers - 78 p.
7. **Cox. Charles R.** Techniques et contrôle du traitement des eaux. O.M.S Genève 1967
8. **D.E.R de Géologie** Etude chimique et pollution de la nappe phréatique des environs du Banconi.
9. **Drapeau A.J. ; Jankovic S.** Manuel de microbiologie de l'environnement O.M.S., Genève. (1977)

10. **Feachem R.G. ; Bradley D.J.; Garelick H. ; Mara D. D.** Sanitation and disease health aspects of excreta and wastewater management Word bank, Washington. (1983)
11. **Gerba, CP, WALLIS, C. and Melnick. J.L** 1975 Faste of waste-water bacteria and viruses in soil. J.Irrig.Drain. Div., ASCE, Vol. 101, P. 157-174
12. **Google image** : cycle de l'eau. <http://www.google.fr>
13. **Google image** : images pollution eaux. <http://www.google.fr>
14. **Google image**: carte trajet du fleuve Niger. <http://www.google.fr>
15. **KIKI MIGAN E. L. V** La problématique de la gestion des déchets dans les mégapoles africaines et perspectives d'avenir : cas de la ville de Cotonou - 90 p. Thèse : Médecine : Cotonou : 1993, 569.
16. **Lenntech BV.** Purification et traitement de l'eau Holding B.V.  
[http://www.lenntech.fr/contact/feedbackfr.htm?ref\\_title=L%20hypochlorite%20de%20sodium](http://www.lenntech.fr/contact/feedbackfr.htm?ref_title=L%20hypochlorite%20de%20sodium). Février 2010
17. **Maïga Fatoumata Sokona** Manuel de la cour d'hygiène du milieu, F.M.P.O.S 2002
18. **Mémento Technique de l'eau.** 8eme Ed. Degré mont 1978.
19. **MINISTERE DE L'ENERGIE, DES MINES ET DE L'EAU.** Satisfaction de la demande d'eau a Bamako, Rév N°004, 2009,P4
20. **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.
21. **O.M.S** Technologie de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement dans les pays en développement. Série de rapports techniques 742. Genève 1987
22. **O.M.S** Directives de qualité pour l'eau de boisson. Genève 1972
23. **O.M.S** : le système des nations unies au Mali. Bulletin mensuel N8, juillet 2009, P2 .
24. **OMS** Directive de qualité pour l'eau de boisson Genève 2002

25. **OMS (web graphique)** Les maladies liées à l'eau / [www.who.int](http://www.who.int)  
10/06/2006
26. **PROGRAMME SOLIDARITE EAU** L'eau potable et la santé dans les projets d'hydraulique rurale en Afrique de l'ouest. Burgeap, 1990, 25 p.
27. **PULIM** L'eau et la santé en Afrique tropicale colloque pluridisciplinaire Géographique. Médecine limoges, 2 octobre 1991
28. **Rodier J.** L'analyse de l'eau Eaux naturelles- eaux résiduelles- eau de mer, 7<sup>ème</sup> édition Dunod 1984
29. **SAFEGE** préparation d'un futur 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
30. **Semega A.** Etude de la qualité des eaux usées de la Tannerie de l'Afrique de l'Ouest. Thèse- Pharmacie- Bamako, 2000 N°21.
31. **SJ, and young, L.B** 1975. Distribution of nitrogen forms in vigin and cultivated solis, Soli Science, Vol 120.P.354-360

## **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 mn.
- 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 spectrophotomètre 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 se 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
- Verifier que la temperature et l'unité Sal soient affichées sinon sur  $\chi$  jusqu'à leur apparition.
- Appuyer sur la touché  $\chi$  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 touché  $\chi$  jusqu'à ce que s'affiche Lin, ARNG et le 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** 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.

*Evolution des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux de puits en fonction du traitement à l'hypochlorite de sodium*

## **FICHE SIGNALÉTIQUE**

**Nom :** DIALLO

**Prénom :** MAMOUDOU

**Titre de la thèse :** Evolution des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux de puits avant et après traitement à l'hypochlorite de sodium dans le quartier de NIAMAKORO.

Numéro de la thèse :

Année de soutenance : 2010

Ville de soutenance : Bamako

Lieux de dépôt : Bibliothèque de la faculté de médecine, de pharmacie et d'odontostomatologie (FMPOS).

### ***RESUME***

Notre étude a été réalisée à Bamako. Elle était basée sur l'évolution des paramètres physico-chimiques et bactériologique des eaux de puits en fonction du traitement à l'hypochlorite de sodium dans le quartier de Niamakoro ; Elle a été menée au laboratoire national de l'hydraulique au labo de qualité des eaux .Comme objectifs spécifiques nous nous proposons de

- Sélectionner les points d'eau devant être traités à l'hypochlorite de sodium.
- Déterminer la qualité bactériologique et les paramètres physico-chimique des puits avant et après traitement dans le quartier de Niamakoro.
- Comparer les paramètres physico-chimiques des eaux de puits traitées aux normes (OMS) en vigueur
- Faire des recommandations pour améliorer la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau.

A ce total 280 prélèvements ont été effectués repartis entre 70 puits. Pour chaque puits nous avons effectué 4 prélèvements dont 2 avant et 2 après traitement à l'hypochlorite de sodium de mars 2009 à Août 2009.

En effet les eaux analysées ont des propriétés physico-chimiques et bactériologiques qui font qu'elles ne sont pas recommandées pour la consommation humaine sans traitement. De plus la pollution bactérienne était très élevée et presque permanente dans les puits étudiés avant traitement pendant toute la durée de notre travail. Les résultats de l'analyse bactériologique des eaux montrent que la totalité des puits prélevés était polluée. Plusieurs facteurs pourraient expliquer la pollution bactériologique des eaux de puits :

- Les facteurs liés à l'assainissement du milieu et aux comportements de la communauté
- Les facteurs liés au mode de gestion des eaux de puits (recueil, transport, stockage),
- 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.

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, traitement périodique de l'eau de puits
- la multiplication des points d'eau modernes surtout dans les quartiers périphériques.
- Mettre en place un système d'évacuation correcte des eaux usées,
- Mettre au point un système de traitement des eaux artisanales
- Respecter une distance minimum de quinze mètres entre puits et latrines.

**Mots clés :** Puits – Eau – Qualité .

## **SERMENT D'HIPPOCRATE**

En présence des maîtres de cette faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'HIPPOCRATE, je promets et je jure au nom de l'être suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.

Je donnerai des soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraire.

Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui se passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti, ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Je garderai le respect absolu de la vie humaine dès la conception même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de la nature.

Respectueux et reconnaissant envers mes maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leur père.

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.**