

MINISTERE DE L'EDUCATION

.....  
Université de Bamako

.....  
Faculté de Médecine, de Pharmacie  
Et d'Odonto Stomatologie  
Bamako

REPUBLIQUE DU MALI  
Un Peuple – Un But – Une Foi

.....

**Thèse N°**

**Année Académique : 2001 – 2002**

**“ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE AU  
L.N.S. DES EAUX DE CONSOMMATION DE LA VILLE DE BAMAKO  
DURANT LA PERIODE 2000 ET 2001 ”.**

***THESE***

présentée et soutenue publiquement le mardi 23 juillet 2002 à 12 heures.....

**Devant la faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto – Stomatologie**

**1 Par : Hawa SAMAKE**

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

**JURY**

**Président :**                   **Professeur Amadou DIALLO**  
**Membres :**                   **Docteur Benoît Y. KOUMARE**  
   **Monsieur Abdoulaye KONE**  
**Directeur de thèse :**       **Professeur Ousmane DOUMBIA**

## ABREVIATIONS

<b>A.E.P</b>	:	Alimentation en Eau Potable
<b>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub></b>	:	sulfate d'alumine
<b>°C</b>	:	degré celsius
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	:	ion calcium
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	:	carbonate de calcium
<b>cm</b>	:	centimètre
<b>Déc.</b>	:	Décembre
<b>D.N.H.</b>	:	Direction Nationale de l'Hydraulique
<b><i>E. coli</i></b>	:	<i>Escherichia coli</i>
<b>E.D.M.</b>	:	Energie Du Mali
<b>Fév.</b>	:	Février
<b>F.M.P.O.S.</b>	:	Faculté de Médecine de Pharmacie et d'Odonto Stomatologie
<b>g</b>	:	gramme
<b>g/L</b>	:	gramme par litre
<b>h</b>	:	heure
<b>Jan.</b>	:	Janvier
<b>Km</b>	:	Kilomètre
<b>L.N.S</b>	:	Laboratoire National de la Santé
<b>M</b>	:	Mole
<b>m</b>	:	mètre
<b>m<sup>3</sup></b>	:	mètre cube
<b>M.E.S</b>	:	Matières En Suspensions
<b>mg</b>	:	milligramme

<b>mg/L</b>	:	milligramme par litre
<b>ml</b>	:	millilitre
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	:	mètre cube par heure
<b>m<sup>3</sup>/j</b>	:	mètre cube par jour
<b>mn</b>	:	minute
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	:	mètre cube par seconde
<b>Na<sup>+</sup></b>	:	ion sodium
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	:	nitrate
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	:	Nitrite
<b>Nov.</b>	:	Novembre
<b>Oct.</b>	:	Octobre
<b>O.M.S</b>	:	Organisation Mondiale de la Santé
<b>pH</b>	:	potentiel d'Hydrogène
<b>ppm</b>	:	partie par million
<b>Sep.</b>	:	Septembre
<b>T°C</b>	:	Température en degré Celsius
<b>UCV</b>	:	Unité de Couleur Vraie
<b>UTN</b>	:	Unité Néphélométrique Turbidité
<b>µm</b>	:	micromètre
<b>µS/cm</b>	:	microsiemens par centimètre



# Sommaire

	<b>Pages</b>
<b>Chapitre I : INTRODUCTION</b>	
Objectif général.....	01
Objectifs spécifiques.....	02
<b>Chapitre II : GENERALITES</b>	
<b>L'EAU</b> .....	03
1. Le cycle de l'eau.....	03
2. Les polluants et maladies d'origines hydriques.....	03
<b>LE DISTRICT DE BAMAKO</b> .....	
1. L'aperçu géographique.....	15
2. Le découpage administratif.....	16
3. Les différents types d'eau de boisson à Bamako.....	17
4. La pollution des sources d'eau de consommation à Bamako.....	19
5. La station de pompage et de traitement des eaux de l'Energie du Mali.....	21
6. Les laboratoires de contrôle de qualité des eaux de consommation à Bamako	23
7. Le mode de protection des eaux de Boissons.....	25
8. Les dispositions légales.....	26
<b>Chapitre III : METHODOLOGIE</b>	
1. Lieux de prélèvements.....	30
2. Type et période d'étude.....	30
3. Prélèvement des échantillons.....	30
4. Lieux d'étude : Laboratoire National de la Santé.....	30
5. Les renseignements à fournir pour une analyse d'eau.....	30
6. Matériels et méthodes d'analyses.....	31
<b>Chapitre IV : RESULTATS</b>	
Résultats.....	42
<b>Chapitre V : COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS</b>	
Commentaires et discussions.....	51
<b>Chapitre VI : CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS</b>	
Conclusion.....	55
Recommandations.....	57
<b>RESUME</b> .....	58
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	

<b>ANNEXES</b>	
----------------	--

# **CHAPITRE I**

## **INTRODUCTION**

## **INTRODUCTION**

Dans la majeure partie du monde et surtout dans les pays en voie de développement, l'approvisionnement en eau est devenu un facteur clé de santé publique et du développement économique.

Les besoins en eau des populations varient considérablement en fonction de la situation de la ville mais aussi du niveau de développement .

Aussi, toutes les activités de l'homme pour l'alimentation, l'hygiène corporelle, le linge, les vaisselles, l'habitat sont liées à l'eau. La qualité de cette eau pour chacun de ses usages a une incidence sur notre santé et peut causer plusieurs types de maladies (cutanées, visuelles, urinaires, intestinales, etc.)

La ville de Bamako est alimentée par l'eau du fleuve Niger à partir d'une station de traitement sise à Djikoroni- Para. Il existe aussi des puits chez les particuliers.

La répartition globale pour le District de Bamako en 1998 est de 34% pour les branchements particuliers, 25% pour les bornes fontaines et 41% hors EDM. (1)

Depuis plusieurs années, nous assistons de façon répétitive à une dégradation de la qualité de l'eau distribuée aux populations de Bamako et ses environs en début d'hivernage. Ce phénomène a connu des points particulièrement critiques en 1984, 1989, 1993 et 1998 . (2)

L'approvisionnement en eau potable des populations en quantité suffisante en toutes saisons demeure l'un des soucis majeurs des différents gouvernements du Mali

C'est ainsi que des projets ont été initiés pour le District de Bamako et ses environs :

- le projet A.E.P (alimentation en eau potable ) des quartiers périphériques de Bamako en août 1996. (3)
- le projet "Etudes des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable de l'agglomération de Bamako" en mai 1997. (4)

Les études antérieures sur la qualité des eaux consommées à Bamako n'abordent pas la problématique de la qualité de toutes les eaux de consommation, c'est pour cette raison que nous nous sommes intéressés aux eaux souterraines et aux eaux du réseau d'adduction de la ville de Bamako.

Compte tenu de toutes ces considérations nous nous sommes fixés comme :

### **Objectif général**

- Ø Déterminer les qualités physico-chimiques et bactériologiques des eaux de consommation de la ville de Bamako

### **Objectifs spécifiques**

- Ø Etudier les sources d'approvisionnements d'eaux de consommation de la ville de Bamako.
- Ø Evaluer les méthodes de prélèvement et d'acheminement des échantillons au laboratoire d'analyse.
- Ø Déterminer des éléments présentant des risques de pollution des eaux de consommation.
- Ø Faire une étude comparative de la qualité des eaux de consommation de Bamako en 2000 et en 2001.

## **CHAPITRE II**

### **GENERALITES**

# L'EAU

« L'eau est source de vie a-t-on coutume de dire et sans eau, il n'y a pas de vie » .

En 1980 on estimait que 2 milliards d'hommes dans le monde n'avaient pas accès à un point d'eau potable et l'O.M.S pendant cette même période estimait que 80 % des maladies sur la planète sont transmises par les eaux contaminées par les polluants chimiques et organiques. (5).

La rareté et la raréfaction de l'eau en font une donnée géo-économique et géostratégique (6).

## 1. Le Cycle de l'eau

L'eau, élément sous trois formes (liquide à l'état normal, gazeuse en vapeur, solide en glace), parcourt un cycle éternel. L'eau en évaporation lente et incessante des fleuves, des lacs et des mers par condensation, se transforme en pluie. Une fraction des eaux de pluie ruisselle à la surface de la terre et va grossir les cours d'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. Les eaux d'infiltration sont reprises en partie par la végétation, qu'elles alimentent avant d'être rejetées dans l'atmosphère, et en partie s'accumulent dans le sous-sol pour former des nappes souterraines qui, à leur tour, en s'écoulant, donnent naissance aux sources qui émergent à la surface du sol et le cycle continue. (7) (voir annexe)

## 2. Les polluants et maladies d'origines hydriques

La pollution des eaux est définie comme “ tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines ” (8).

Les différents risques de l'eau sont : le risque d'ingestion ou risque direct, risque de contact et le risque indirect.

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

### 2.1. Polluants biologiques

Ils comprennent les organismes libres et les agents pathogènes.

#### 2.1.1. Organismes libres

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

Ces derniers se subdivisent en :

- micro-organismes observés sur les parois des réservoirs
- micro-organismes des eaux de surface
- micro-organismes des eaux propres
- micro-organismes responsables de certains goûts et odeurs
- micro-organismes responsables du colmatage des filtres. (9) (voir annexes)

### **2.1.2. Agents pathogènes**

Sont les helminthes, les protozoaires, les bactéries pathogènes, les virus.

#### **▼ Les helminthes**

Les helminthes les plus rencontrés sont : ascaris, oxyure, tricocéphale etc.

#### **▼ Les protozoaires**

L'espèce pathogène la plus fréquente en Afrique subtropicale, *Entamoeba histolytica*, provoque la dysenterie amibienne.(10 )

#### **▼ Les bactéries pathogènes**

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

Les matières fécales d'une personne en bonne santé contiennent un très grand nombre de genres et d'espèces bactériennes : un gramme de fèces humides contient en moyenne entre  $10^{10}$  et  $10^{12}$  cellules bactériennes vivantes (11). 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 d'espèces bactériennes normalement absentes dans l'intestin d'une personne en bonne santé, peuvent être sécrétées de façon intermittente et en quantités variables selon le lieu et l'état de santé de dite population. Ces bactéries pathogènes, ou potentiellement pathogènes, sont responsables de la plupart des maladies infectieuses qui sévissent en Afrique subtropicale : choléra, fièvre typhoïde, dysenterie, gastro-entérite, maladies diarrhéiques, etc.

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

Les bactéries pathogènes ne sont pas toujours omniprésentes dans les matières fécales contrairement aux bactéries indicatrices de pollution fécale. (12)

**Tableau 1 : Principaux agents bactériens pathogènes présents dans les fèces et les maladies transmises.**

Famille	Genre	Espèce	Maladie
<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> (types pathogènes)	Gastro-entérite, diarrhée
<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Yersinia</i>	<i>Enterocolitica</i>	Diarrhée, septicémie

#### ▼ Les virus

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

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..(12)

**Tableau 2 : Principaux groupes de virus pathogènes excrétés dans les fèces et les maladies transmises**

Famille	Genre	Virus	Maladie
<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

## **2.2. Polluants chimiques**

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

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

### **2.2.1. Les sels minéraux**

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

Les principales sources mises en cause sont :

- les effluents industriels et urbains ;
- le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais ;
- la nature des terrains traversés.(13)
- la mauvaise conservation des produits chimiques

### **2.2.2. Les composés toxiques**

Ils sont soit minéraux, soit organiques.

#### **a) Les composés minéraux toxiques**

Ce sont essentiellement :

- les métaux lourds ou certains métalloïdes
- les minéraux d'origine agricole
- les minéraux d'origine industrielle
- certains composés naturels

#### **b) Les polluants organiques toxiques**

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

#### **✓ 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 nématicides, les rodenticides, les herbicides, les acaricides etc.

Les sources de pollution sont :

- les industries fabricant les pesticides ;
- l'utilisation des pesticides en agriculture et en santé publique ;
- le lessivage des terrains traités par les eaux de 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 cancérogènes, mutagènes et tératogènes de certains pesticides.(13)

### ▼ **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. (13)

### **2.3. 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 (9).

### **3. L'étude de quelques caractéristiques physico – chimiques de l'eau**

#### **3.1 Le pH**

Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité.

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 (14).

#### **3.2. La température**

L'O.M.S ne donne pas de valeur guide concernant la valeur de la température.

Pratiquement la température s'accompagne d'une modification de la densité, d'une réduction de la viscosité, d'une augmentation de la tension de vapeur saturante à la surface, d'une diminution de la solubilité des gaz.

L'augmentation de la température favorise aussi l'auto épuration et accroît la vitesse de sédimentation, ce qui peut présenter un intérêt dans les stations d'épuration. Elle peut favoriser la mortalité de certaines espèces et le développement d'autres.(14)

#### **3.3. La conductivité**

La conductivité de l'eau est une mesure de sa capacité à conduire le courant électrique. La mesure de la conductivité permet d'apprécier rapidement mais très approximativement la minéralisation de l'eau et d'en suivre l'évolution.

**Tableau3 : Relation entre minéralisation et conductivité selon la réglementation française**

<b><u>Conductivité</u></b>	<b><u>Minéralisation</u></b>
0 – 100 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation très faible
100 – 200 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation faible
200 – 333 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
333 – 666 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation accentuée
666 – 1000 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation importante
> 1000 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation élevée

Une conductivité électrique de l'eau supérieure à 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  fait considérer une eau comme inutilisable dans les zones irriguées.(13)

### **3.4. La dureté de l'eau**

La dureté de l'eau est due à la présence de calcium et dans une moindre mesure, de magnésium. On l'exprime généralement en quantité équivalente de carbonate de calcium.

**Tableau 4 : Relation entre dureté de l'eau et concentration équivalente en  $\text{CaCO}_3$ .**

<b><u>Durété de l'eau</u></b>	<b><u>Concentration en mg/l</u></b>
Eau douce	0 à 60 mg/L
Eau moyennement douce	<b><u>60 à 120 mg/L</u></b>
Eau dure	120 à 180 mg/L
Eau très dure	plus de 180 mg/L

Une dureté supérieure 200 mg/L peut provoquer l'entartrage du système de distribution et entraîner une consommation excessive de savon avec formation d'écume. (15)

La concentration du calcium dans l'eau de consommation n'est pas généralement élevée par rapport au besoin journalier (2 g/j) .

### **3.5. Le Goût et l'odeur**

Le goût de l'eau est la sensation qui résulte de l'interaction entre la salive et les substances dissoutes dans l'eau telle que la perçoivent les bourgeons du goût logés dans les papilles gustatives. Lorsqu'on « goûte » de l'eau, les sens du goût et de l'odorat sont simultanément excités et il est extrêmement difficile de les distinguer l'un de l'autre.

Les problèmes de goût et d'odeur sont la cause principale des plaintes formulées par les usagers. Les variations du goût ont souvent des causes naturelles ; elles peuvent être influencées par des activités humaines, la méthode de traitement et ou le réseau de distribution.

La plupart des eaux de surface sont sujettes à des variations saisonnières de goût et de couleur, ce qui laisse supposer une origine biologique des problèmes. (5)

### **3. 6. Les nitrates**

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou, des engrais de synthèse ou naturels.

Les nitrates proviennent également de l'oxydation de l'ammoniaque

Matières organiques et microorganismes → ammoniacque → nitrites → nitrates

Le taux autorisé est de 50 mg/L en  $\text{NO}_3^-$  ou 10 mg/L en N. (16)

### **3. 7. Les nitrites**

Ils sont également assez largement présents, mais à des niveaux bien moindres que les nitrates.

Les nitrites proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques.

Comme les nitrates, les nitrites sont très répandus dans l'environnement, les uns et les autres se retrouvent dans la plupart des produits alimentaires, dans l'atmosphère et dans une grande partie des eaux.

Les nitrites peuvent provoquer dans certains cas des phénomènes de méthémoglobinisation pouvant aller parfois jusqu'à l'asphyxie chez les bébés nourris au biberon. (16)

### **3. 8. Les phosphates**

L'absorption quotidienne recommandée de phosphate va de 240 mg pour les nourrissons à 120 mg pour les femmes qui allaitent.

Les eaux naturelles n'en contiennent pratiquement pas.

Ils proviennent des pollutions :

- fécales 1 à 2 gramme/personne / jour
- agricoles par lessivage des engrais phosphatés.

Bien que non toxiques, les phosphates présents dans l'eau peuvent occasionner des troubles digestifs à cause de leur effet tampon.

Le taux limite est de 5 mg/L en  $\text{P}_2\text{O}_5$  . (16)

### **3.9. Les sulfates**

Ils proviennent principalement des gypses présents dans le sol.

Comme les sulfates ne sont pratiquement pas assimilables, une eau contenant une teneur élevée produira des effets laxatifs chez l'homme.

Ils pénètrent lentement dans les membranes cellulaires et sont rapidement éliminés par les reins.

Le taux maximum est de 250 mg/L d'eau . (16)

Les concentrations élevées de sulfates peuvent contribuer à la corrosion des systèmes de distribution, surtout avec des eaux faiblement alcalines. (17)

#### **4. Le traitement des eaux de consommations**

L'objectif fondamental du traitement de l'eau est de protéger les consommateurs, des organismes pathogènes et des impuretés désagréables ou dangereuses pour la santé.

##### **4.1. Les eaux souterraines**

Les eaux souterraines provenant de couches aquifères bien protégées sont généralement exemptes de micro organismes pathogènes et sont couramment distribuées sans autre traitement dans beaucoup de pays. Néanmoins, la zone de captage doit être protégée par une réglementation efficace. Les précautions doivent être prises pour éviter une contamination secondaire de l'eau dans le réseau de distribution. Si une protection continue ne peut être garantie du point de captage au point de consommation, il est impératif de procéder à une désinfection et de maintenir une concentration de chlore résiduel suffisante.

Les éléments minéraux peuvent être éliminés par des procédés spécifiques dans les structures spécialisées : exemple station gravitaire de déferrisation ( aération et filtration ouvertes à l'air libre), station de déferrisation sous pression. (16)

#### **4. 2 Les eaux de surface**

La prise d'eau relie l'eau de surface à une unité de traitement.

Les étapes de traitement sont :

##### **a) La Pré - sédimentation**

Les eaux de surface très troubles peuvent nécessiter un passage sur le grillage pour arrêter les impuretés grossières et une pré - sédimentation avant tout autre traitement. Ces bassins peuvent être précédés d'un distributeur de produits chimiques destinés à provoquer une coagulation partielle pendant les périodes où l'eau est très trouble pour pouvoir être clarifiée par simple sédimentation.

##### **b) La Pré - chloration ou pré désinfection ou encore pré oxydation**

Cette étape permet d'éliminer l'ammoniaque et de réduire la concentration des microorganismes (les bactéries fécales et les organismes pathogènes), détruire la vie animale et les algues, et oxyder l'azote ammoniacal, le fer et le manganèse de façon à faciliter leur élimination.

Les quantités résiduelles de chlore combiné et libre inhibent de façon efficace les processus microbiens, tels que la prédation par les protozoaires, la nitrification, ainsi que la croissance des micro-organismes lors de la filtration subséquente. Lorsqu'ils sont utilisés pour désinfecter une eau brute, le chlore et surtout l'ozone, provoquent par leur action oxydante, la conversion partielle du carbone organique total en carbone organique biodégradable qui, s'il n'est pas éliminé par l'activité

biologique lors du traitement (par exemple pendant la filtration sur sable ou sur charbon actif), peut favoriser la croissance d'organismes nuisibles lors de la distribution.

#### **c) Le Micro tamisage**

Il arrête les particules fines en suspension.

#### **d) La coagulation et floculation**

Pour éliminer les particules en suspension, les installations de traitement de l'eau pratiquent généralement la coagulation et la floculation, suivies d'une sédimentation et d'une filtration.

La coagulation déstabilise les particules en suspension, amorce la formation d'un floc. La coagulation consiste à ajouter des produits chimiques (sulfate d'aluminium, sulfate ferrique etc.) pour neutraliser les charges présentes sur les particules et faciliter leur agrégation lorsque l'eau est lentement mélangée dans l'étape de floculation. Le floc ainsi formé co-précipite avec les particules de colorants naturels et de substances minérales qu'il adsorbe et emprisonne, ce qui entraîne une réduction marquée de la turbidité et du nombre de protozoaires, de bactéries et de virus

La floculation agglutine les particules d'impuretés, augmente le volume des particules de floc.

La coagulation et la floculation sont des opérations très délicates.

L'addition de produits chimiques et le pH doivent être contrôlés avec précision et l'installation doit être conçue de façon à favoriser la formation du floc.

#### **e) La décantation ou sédimentation**

Cette étape élimine les particules de floc.

La sédimentation a pour objet de laisser se déposer le floc décantable et donc de diminuer la concentration des solides en suspension .

La sédimentation dépend de nombreux facteurs : dimension , forme et poids du floc ; viscosité et par conséquent température de l'eau ; temps de rétention ; nombre , profondeur et surface de bassins ; vitesse de débordement ; vitesse d'écoulement ; conception des orifices d'entrée et de sortie de l'eau.

#### **f) La filtration**

Elle arrête les petites particules de floc contenues dans l'effluent du décanteur.

En général, les filtres à sable rapides comportent une couche de 0,4 à 1,2 m de sable, dont la granulométrie varie entre 0,5 et 1,0 mm, supportée par une couche de gravier à la base de laquelle est disposé un réseau de drainage.

Les filtres à sable lents comportent une couche de 0,3 à 0,6 m. La couche supérieure de sable fin repose sur une couche de gravier et un réseau de drains collecteurs.

Depuis quelques années, les filtres à couche unique sont souvent remplacés par des filtres à deux couches ou multicouches.

#### **g) La désinfection**

Elle détruit les microorganismes nuisibles à la santé .

Dans un réseau d'adduction d'eau , la désinfection finale est d'une importance capitale et elle est presque toujours pratiquée, car elle constitue le dernier obstacle à la transmission des maladies bactériennes et virales d'origine hydrique. Bien que le chlore et les hypochlorites soient les désinfectants les plus utilisés, on peut également employer les chloramines, le dioxyde de chlore, l'ozone et le rayonnement ultraviolet.

L'expérience pratique a montré que la cinétique de la désinfection des eaux de boisson suit le modèle du premier ordre de la loi de Chick dans lequel la fraction survivante de la population initiale,  $x_t/x_0=e^{-kt}$

Où k représente le taux d'inactivation spécifique des micro-organismes. Cette loi repose sur l'hypothèse selon laquelle tous les micro-organismes éliminés sont également sensibles aux désinfectants et ne sont pas agglomérés, mais répartis uniformément dans l'eau.

Le taux d'inactivation spécifique du procédé de désinfection k, où le temps de contact t nécessaire pour détruire un pourcentage donné de la population initiale, est généralement proportionnel à la concentration c du désinfectant, comme dans la loi de dilution empirique de Watson :  $C^n t = k$

Où k est une constante de proportionnalité et n l'exposant représentant la dilution. Pour la désinfection de l'eau, la valeur de n est voisine de 1, et il est donc commode d'exprimer le produit de la concentration par le temps nécessaire pour éliminer environ 99 % d'un organisme donné sous la forme d'une valeur C.t (mg.mn/L).

Cette méthode doit être appliquée avec prudence, car elle suppose que la loi de Chick est respectée et que les conditions de désinfection (température, pH, composition chimique de l'eau, demande en désinfectant et état physiologique des organismes à éliminer) sont constantes.

Dans des conditions de chloration normale (0,5 mg/L de chlore libre résiduel, temps de contact de 30 minutes, pH inférieur à 8,0 et turbidité inférieure à 1 UTN), on peut espérer une réduction, nettement supérieure à 99 % du nombre d'E. coli et des virus, mais pas de protozoaires. Il est donc important de maintenir le chlore libre dans le réseau de distribution

Il devient courant d'ajouter à l'eau une dose de chlore suffisante pour obtenir une teneur en chlore résiduel de 0,1 et 0,2 ppm après un temps de réaction fixé arbitrairement à 10 mn. Ce traitement se révélait généralement satisfaisant pour la plupart des eaux mais on s'aperçut par la suite que les faibles doses de chlore utilisées entraînaient la formation de chlore résiduel combiné notamment sous forme de chloramines (combinaison du chlore avec l'ammoniaque) dont l'action bactéricide est bien plus lente. (18)

**Tableau 5: concentrations minimales de Cl- 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

# Le District de Bamako

## 1. L'aperçu géographique

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

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

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

### ▼ Le fleuve Niger

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

Les fluctuations saisonnières du niveau du fleuve ont des amplitudes variant entre 2,2 m à 5,0 m selon les hydraulicités annuelles, avec une valeur moyenne de 3,45 m (période 1960/99). Son régime naturel est influencé par le barrage et le fonctionnement de la centrale de Sélingué installée sur un de ses affluents en rive droite. (19)

### ▼ La pluviométrie

Bamako se trouve dans la zone intertropicale avec deux saisons plus ou moins marquées : la saison des pluies ou hivernage et la saison sèche. La première s'étale de Mai à Octobre et la seconde sur le reste de l'année. Les données pluviométriques consignées dans le tableau 1 proviennent de la station de Bamako et couvrent la période 2000-2001 (2 ans).

Il ressort du tableau que le mois le plus pluvieux est celui d'août avec une hauteur moyenne de 238,2 mm.

**Tableau 6 : Pluviométrie (mm) pour Bamako-ville**

Année	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	<u>Juin</u>	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
2000	0,0	0,0	4,0	35,1	64,7	73,7	232,0	256,9	64,6	61,5	0,0	0,0	792,5
2001	0,0	0,0	0,0	9,7	11,5	179,2	177,2	219,4	110,5	46,2	0,0	0,0	753,7
Moyenne	0,0	0,0	2,0	22,4	38,1	126,5	204,6	238,2	87,6	53,9	0,0	0,0	773,2

## **2. Le découpage administratif**

D'après l'ordonnance N°78-32 / CMLN du 18/08/1978, le District de Bamako est divisé en six communes comprenant des quartiers ( voir annexes)

### **Commune I**

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

### **Commune II**

Bagadadji, Bozola, Hippodrome, Médina-coura, Missira, Niaréla, Quinzambougou, T.S.F, Zone Industrielle, Niaréla-N'golonina.

### **Commune III**

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

### **Commune IV**

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

### **Commune V**

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

### **Commune VI**

Sogoniko, Magnambougou, Faladié, Banankabougou, Sénou, Niamakoro, Dianéguéla, Missabougou, sokorodji, Yirimadio.

### **3. Les différents types d'eau de boisson à Bamako**

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

Pour les besoins domestiques on distingue :

- les branchements particuliers
- les bornes fontaines qui engendrent une demande moyenne de 20 litres/jour/habitant
- les autres points d'eau ( puits, fleuve...) (5)

#### **3.1 Les eaux souterraines**

Les eaux souterraines sont de trois ordres :

- la nappe phréatique : alimente les sources
- la nappe peu profonde 80 à 100 m
- la nappe profonde au delà de 100 m de profondeur (20)

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

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

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

#### **3.2. les eaux du fleuve**

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

#### **3.3. Les différences entre eaux superficielles et eaux profondes**

Résume la différence entre eaux superficielles et eaux profondes.

**Le tableau 7 : Principales différences entre eaux superficielles et eaux profondes. (16)**

Caractéristique examinées	Eaux superficielles	Eaux profondes
Température	Variable suivant les saisons	Relativement constante
Turbidité, matières en suspension (vraie ou colloïdale)	Variables, parfois élevées.	Faibles ou nulles (sauf en terrain karstique).
Couleur	Liée surtout aux matières en suspension (MES) : argiles, algues, etc.. sauf dans les eaux très douces et acides (substances humiques).	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques) ou due à une post-précipitation (fer le plus souvent).
Minéralisation (salinité totale)	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets, etc.	Sensiblement constante, en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région.
Fer et manganèse divalents (à l'état dissous)	Généralement absents, sauf au fond des pièces d'eau en état d'eutrophisation.	Généralement présents
Gaz carbonique agressif	Généralement absent.	Souvent présent en grande quantité.
Oxygène dissous	Souvent au voisinage de la saturation.	Absence totale la plupart du temps.
Ammonium (NH <sub>4</sub> )	Présent seulement dans les eaux polluées	Présence fréquente, sans être un indice systématique de pollution.
Sulfure d'hydrogène (H <sub>2</sub> S)	Absent.	Souvent présent.
Silice dissoute	Teneur en général modérée.	Teneur souvent élevée
Nitrates	Peu abondants en général.	Teneur parfois élevée, risques de méthémoglobinémie (cyanose des nourrissons).
Micropolluants minéraux et organiques	Souvent présents ; dans les rivières, peuvent disparaître rapidement après suppression de la source polluante.	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps.
Goûts et odeurs	Fréquents.	Rares (sauf H <sub>2</sub> S).
Éléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton végétal (phytoplancton constitué de micro-algues) et animal (zooplancton, comprenant des microinvertébrés parasites).	Ferrobactéries fréquentes. Une eau souterraine bien protégée ne devrait pas connaître de pollution bactériologique.

## **4. La pollution des sources d'eaux de consommation à Bamako**

### **4.1. La pollution d'eaux souterraines**

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

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

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

La surface libre atteint son niveau le plus bas pendant les périodes de grande sécheresse, et s'élève avec les nouvelles pluies. Il a été démontré que les bactéries fécales pouvaient être entraînées dans le sol par les eaux d'infiltration jusqu'à 3 m de profondeur et que, une fois la surface libre de la nappe atteinte, elles pouvaient parcourir jusqu'à 15 m environ dans le sens de l'écoulement de l'eau souterraine. Une source d'eau souterraine dont le niveau le plus haut de la surface libre peut se trouver très près de la surface du sol est donc exposée à la pollution fécale lorsqu'il existe dans les environs immédiats des foyers d'une telle pollution. La pollution peut encore atteindre une eau souterraine éloignée des sources de contamination lorsque le sol est formé de roches fissurées. Dans ce cas, il est impossible de prévoir jusqu'où l'écoulement de l'eau peut entraîner les germes de pollution, tant horizontalement qu'en profondeur.

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

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

- l'infiltration verticale dans la zone non saturée.
- l'écoulement horizontal dès que la pollution atteint la zone saturée, après percolation (12).

**Tableau 8: Facteurs influençant le mécanisme d'adsorption et le mouvement des bactéries dans le sol**

<b>Facteurs</b>	<b>Effets</b>
Nature du sol	Les sols à particules très fines retiennent mieux les bactéries que les sols grossiers.
PH	Les valeurs basses du pH favorisent l'adsorption ; les valeurs élevées du pH entraînent la désorption des germes
Cations	La présence des cations améliore l'adsorption (les cations contribuent à la réduction des forces répulsives entre bactéries et particules du sol.)
Matières organiques solubles	Les particules organiques solubles rentrent en compétition avec les germes pour les sites d'adsorption disponibles. Elles pourraient aussi inhiber l'adsorption grâce à leurs charges globalement négatives aux valeurs de pH usuelles.
Pluie	La pluie réduit la rétention des micro-organismes par l'abaissement de la concentration ionique et l'augmentation de la vitesse d'infiltration.

**Tableau 9 : Facteurs influençant la survie des bactéries dans le sol**

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

## **4. 2. La pollution d'eau du fleuve**

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

la pêche : utilisation par les pêcheurs de produits toxiques pour faciliter la capture des poissons.

le maraîchage : l'utilisation d'engrais phosphatés et de déchets ménagers.

la teinturerie artisanale : utilisation des produits très toxiques (soude caustique, sulfure de sodium, colorants etc. )

les plantations et les vergers : utilisation de produits phytosanitaires

les déchets urbains solides et liquides. (21)

## **5. La station de pompage et de traitement des eaux de l'Energie Du Mali**

Les villes de Bamako et Kati sont alimentées par les eaux du fleuve Niger à partir d'une station de traitement sise à Djikoroni-Para (Bamako). La station de traitement a une capacité totale nominale de 90.000 m<sup>3</sup>/j extensible à 120.000 m<sup>3</sup>/j en période de forte chaleur (Mars, Avril, Mai).

### **5.1. Le fonctionnement**

La prise d'eau se fait dans une aire de captage d'environ 5000 m<sup>3</sup>/h de débit. L'eau passe à travers une grille de 1100 mm de diamètre à l'entrée de la conduite.

A ce stade il y a 4 pompes immergées dans le puits de 1260 m<sup>3</sup>/h. Il y a une cinquième pompe de secours en dehors de l'aire de captage.

L'ancien système est constitué d'une conduite de 600 mm de diamètre qui draine l'eau jusqu'à un puits avec 2 pompes de 720 m<sup>3</sup>/h. Ensuite les eaux de ces 2 ouvrages viennent se rassembler au niveau du collecteur (environ 700 mm de diamètre), à ce niveau il y a deux débitmètres. A travers cette conduite on envoie les produits chimiques (sulfate d'alumine [Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>] et de l'eau de javel sous forme d'hypochlorite de calcium ou de sodium). Après ce traitement, on ajoute plus loin du lait de chaux et du polyélectrolyte.

L'eau traitée est acheminée vers un répartiteur dont le rôle est de mélanger l'eau avec les produits. Ce mélange entre dans six décanteurs :

- 4 décanteurs à lit de boue rectangulaire appelés Pulsators.
- 2 décanteurs à recirculation de boue.

L'eau est acheminée après décantation à travers un filtre d'environ 0,80 m à 1m d'épaisseur.

L'eau est recueillie ensuite dans des réservoirs dont :  
deux Accelators qui font 750 m<sup>3</sup> de volume.

Quatre Pulsators dont P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> ( 500 m<sup>3</sup> chacun), et enfin le P<sub>4</sub> qui fait 1500 m<sup>3</sup>.

L'Etage -Korofina fait 1500 m<sup>3</sup>

## 5.2. Le traitement

Pour connaître la quantité des produits à injecter pour chaque litre d'eau brute on fait d'abord le Jar-Test. La quantité des produits varie quand la composition de l'eau brute change ( la turbidité, le pH, etc.)

Le Jar-Test se fait dans un flocculateur. Pour cela il faut 6 béchers de 1000 ml chacun.

Remplir les six béchers avec de l'eau brute.

Plonger les hélices du flocculateur dans les béchers.

Mesurer le pH et la turbidité de l'eau brute.

Injecter des concentrations données de sulfate d'alumine dans les six béchers.

Laisser agiter pendant 10 mn environ choisir le meilleur taux.

Remplir encore une deuxième fois les béchers avec de l'eau de surface.

Ajouter cette dose de sulfate d'alumine dans les six béchers plus des volumes de chaux à des doses différentes.

Choisir le taux efficace de chaux.

Reprendre une troisième fois avec le meilleur taux de sulfate et de chaux plus des volumes différents et des concentrations différentes de polymères.

Enfin diminuer le nombre de tour par minute des hélices et observer les floccs. Après 15 minutes éteindre l'appareil.

Le taux de traitement sera celui du bécher qui aura formé de bon flocc.

L'eau du fleuve Niger alimente la station de traitement de l'eau de Bamako, qui est située à 0,5 Km environ au Sud du Pont FAHD.

Afin de distribuer une eau potable de qualité parfaite l'eau brute prélevée dans le fleuve suit une chaîne de traitement spécifique dont voici le résumé :

- une préchloration (injection d'eau de javel)
- une rectification de l'acidité (injection de carbonate de chaux)
- une injection d'un produit coagulant de sulfate d'alumine et d'un poly électrolyte (adjuvant de coagulation ).

Après ces opérations l'eau est flocculée dans une cuve.

Par la suite , l'eau passe dans les décanteurs au fond desquels les floccs se déposent et forment des boues. A la suite de cette décantation l'eau est acheminée vers des filtres à sable dont la granulométrie est supérieure ou égale à 0,85  $\mu\text{m}$ . Cette couche permet de retenir les traces de turbidité.

Avant d'être mise à la disposition des usagers l'eau suit une dernière chloration avec addition du chlore résiduel libre.

### **5.3. Le laboratoire de l'usine de traitement**

Le laboratoire fait le contrôle de la turbidité et du pH de l'eau brute, à différents niveaux de traitement. Le contrôle de chlore libre au niveau des différents étages se fait tous les jours ainsi que le Jar-Test. Le contrôle de chlore libre est réalisé dans les quartiers.

## **6. Les laboratoires de contrôle de qualité des eaux de consommation à Bamako**

### **6.1 Le Laboratoire National de la Santé**

#### **▼ Création**

En juin 1990, le Laboratoire National de la Santé ( L.N.S ) a été créé par Ordonnance N° 90-34/ P-RM sous le statut de service rattaché à la Direction Nationale de la Santé Publique (D.N.S.P ).

Après une décennie de fonctionnement en tant que service rattaché à la D.N.S.P, l'analyse de la situation du L.N.S a permis de déceler les préjudices causés à son dynamisme.

Afin de remédier à ces difficultés et contraintes, le gouvernement a décidé de l'ériger en Etablissement Public à caractère Scientifique et technologique ( E.P.S.T )

Ainsi, l'ordonnance N° 00- 40 / P - RM du 20 septembre 2000 crée le L.N.S. EPST et le décret N° 586 / P – RM du 23 novembre 2000 fixe son organisation et ses modalités de fonctionnement.

#### **▼ Le Personnel**

##### **Direction :**

Elle comprend :

- Un Directeur Général (Pharmacien agrégé de chimie thérapeutique)
- un Vétérinaire ( ingénieur d'élevage)
- deux secrétaires
- un agent comptable
- Un électromécanicien, deux chauffeurs.

##### **Section contrôle de qualité des médicaments**

- Un Pharmacien spécialiste de toxicologie,
- deux Pharmaciens
- quatre techniciens chimistes.

##### **Section contrôle de qualité des Aliments, Boissons et Eaux**

- Un Ingénieur chimiste
- deux technologues alimentaires,
- cinq microbiologistes,
- quatre techniciens de laboratoire.

### ▼ **Mission**

Le laboratoire national de la santé a pour mission de contrôler la qualité des médicaments, aliments, boissons ou toutes autres substances importées ou produites en République du Mali et destinées à des fins thérapeutiques, diététiques ou alimentaires en vue de la sauvegarde de la santé des populations humaines et animales.

A ce titre, il est chargé de :

- donner son avis technique pour l'autorisation de l'usage de tout produit, médicament, aliment ou boisson à usage thérapeutique, diététique ou alimentaire ;
- participer à la formation universitaire et post-universitaire ;
- entreprendre des activités de recherches scientifiques et techniques ;
- contribuer à l'élaboration des normes et veiller à leur application.
- prélever et analyser des échantillons dans toute unité de production, d'importation, de distribution ou de conservation de médicaments, eaux, boissons diverses, aliments et toutes autres substances introduites dans l'organisme humain et animal dans un but thérapeutique, nutritionnel ou autre et concourant à l'amélioration ou à la détérioration de l'état de santé de l'homme et de l'animal ;

### c) **Fonction**

Le laboratoire national de la santé contrôle :

- La qualité physico-chimique et bactériologique des eaux du réseau de Bamako ainsi que les principales villes des régions.
- La qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines ( forage, puits ) des particuliers.
- Analyse des eaux usées.
- La qualité de l'eau du fleuve Niger en amont de la station de traitement de Djikoroni-Para.

## **6.2. Le Laboratoire de la Qualité des Eaux de la Direction Nationale de l'Hydraulique**

### ▼ **Création**

Le Laboratoire de la qualité des Eaux créé officiellement par l'ordonnance n° 90- 51/P-RM du 04 septembre 1990, est un service rattaché à la Direction National de l'hydraulique.

### ▼ **Mission**

Le laboratoire de la qualité des eaux a pour mission de déterminer, de gérer et de protéger la qualité des eaux du territoire national.

A cet effet, il est chargé :

- de l'échantillonnage et de l'analyse physico-chimique, bactériologique des eaux ainsi que du suivi de leur qualité
- de l'analyse des dépôts et des sédiments
- des études hydrochimiques et hydrodynamiques sur l'origine et l'évolution des nappes d'eau .

#### ▼ **Fonction**

Le laboratoire effectue à Bamako des prélèvements deux fois par semaine (environ 10 échantillons par sortie) pour la recherche du chlore libre.

## **7. Le mode de protection des eaux de boisson**

### **7.1. Les eaux souterraines**

#### **Emplacement des installations d'évacuation des excréta**

En ce qui concerne l'emplacement des installations d'évacuation des excréta par rapport aux sources d'approvisionnement en eau, il y a lieu de suivre les règles suivantes :

- Eviter de placer les latrines ou autres installations d'évacuation des excréta en amont d'un puits.
- Prévoir, entre le puits et les latrines ou autres installations d'évacuation des excréta, une distance d'au moins 15 m.
- Le fond de la latrine doit être situé à 1,5 m au moins au dessus de la nappe aquifère, à condition que le sol soit homogène.
- Toute construction d'installations d'évacuation des excréta dans des zones contenant des roches fissurées ou des formations calcaires doit être précédée d'une enquête minutieuse, car la pollution peut être transportée directement par les failles jusqu'aux puits lointains ou d'autres sources d'eau de boisson.
- L'emplacement doit être sec, bien drainé et situé au dessus du niveau de crue (12)

### **7.2. L'eau du réseau**

#### **Contrôle de la production et de la qualité de l'eau de boisson**

Un réseau de distribution d'eau doit pouvoir assurer en permanence, le captage, la production et la distribution d'une eau propre à la consommation humaine.

La désinfection doit être considérée comme obligatoire pour tous les réseaux d'adduction d'eau de surface, même s'il s'agit d'une eau de haute qualité non polluée, car il faut toujours prévoir plus d'une barrière à la transmission des infections d'origine hydrique.

Dans les grands réseaux de distribution bien gérés, l'absence d'*E. coli* et de bactéries coliformes peut être garantie avec un degré de confiance élevé par le maintien du chlore résiduel libre dans les réseaux de distribution.

On peut éviter cette pénétration des germes coliformes en :

- couvrant les réservoirs d'eaux traitées
- désinfectant les réseaux de distribution
- appliquant des normes de plomberie modernes. (9)

La surveillance de la qualité de l'eau de boisson comporte deux volets :

- Le contrôle régulier de la qualité pour vérifier que le traitement et la distribution sont conformes aux objectifs établis et à la réglementation.
- La 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 microbiologique.

L'échantillonnage devra avoir lieu au moins, toutes les deux semaines si l'eau est d'origine souterraine, et chaque semaine s'il s'agit d'une eau de surface. La fréquence d'échantillonnage doit être plus grande lorsque le réseau dessert une population importante car le nombre de personnes à risque est alors plus élevé. (18)

## **8. Les dispositions légales**

Bien qu'il n'existe pas de norme nationale d'eau de boisson, des dispositions relatives au cadre juridique législatif et réglementaire prennent en compte les aspects liés à la protection et à la lutte contre la pollution des eaux, il s'agit de la loi N° 02-006/ du 31 janvier 2002 portant code de l'eau. On peut citer quelques articles du code de l'eau..

**Article 16** : Toute personne physique ou morale, publique ou privée exerçant une activité, source de pollution ou pouvant présenter des dangers pour la ressource en eau et l'hygiène du milieu doit envisager toute mesure propre à enrayer ou prévenir le danger constaté ou présumé.

Tout pollueur doit supporter les coûts de ses activités polluantes.

**Article 24** : Des périmètres de protection sont institués par déclaration d'utilité publique en vue de préserver des points de prélèvements des eaux destinées à la consommation humaine, des risques de pollution provenant des activités exercées à proximité.

La déclaration d'utilité publique détermine les interdictions ou réglementations à l'intérieur des périmètres de protection immédiate, rapprochée ou éloignée.

Le périmètre de protection peut être modifié si de nouvelles circonstances en font reconnaître la nécessité.

**Article 25** : En cas de privation de jouissance du fait de l'article 24 aliéna 2, les propriétaires ou occupants des terrains dans les périmètres sont indemnisés. (22)

## **8.1. Les normes de la qualité des eaux de boisson**

Par définition une eau de consommation ne doit pas contenir de germes des maladies à transport hydrique, de substances toxiques, ni des quantités excessives de matières minérales et organiques.

Elle doit, par ailleurs, être limpide, incolore et ne présenter aucun goût ou odeur désagréable. Les qualités requises sont donc d'ordre physique, chimique et bactériologique.(23)

### **8.1.1. Qualités physico- chimiques**

Une eau livrée à la consommation ne doit pas être trouble ni colorée. Cependant, à part les eaux souterraines et celles de certaines sources, la couleur et la turbidité sont des conditions qu'on retrouve généralement dans l'eau brute et qui ne peuvent être modifiées que par un traitement. Le consommateur exige aussi que l'eau n'ait ni goût ni odeur pouvant être décelés. (7)

Il convient de rappeler que pour l'instant sont pratiquée au Mali, les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S) relatives à la qualité de l'eau de boisson . Les directives de l'O.M.S sont les suivantes :

**Tableau 10 : Extrait des valeurs guides de l'O.M.S. 1998 pour les principaux paramètres caractérisant les eaux de consommations (Qualité physico-chimique)**

Constituant ou caractéristique	Unité	Valeur indicative
Couleur	Unités de couleur vraie (UCV)	15
Durété	mg/L (de $\text{CaCO}_3$ )	500
PH	-	De 6,5 à 8,5
Sulfates	mg/L ( $\text{SO}_4$ )	400
Température	-	Valeur non fixée
Turbidité	Unité néphélométrique de turbidité (UNT)	5
Nitrates	(mg/L $\text{NO}_3$ )	44
Nitrites	(mg/L $\text{NO}_2$ )	3
Phosphates	(mg/L $\text{P}_2\text{O}_5$ )	-

### 8.1. 2 Qualité bactériologique

L'eau contaminée par les excréta est susceptible de transmettre des maladies gastro-intestinales.

Les germes de ces maladies sont très peu nombreux comparés à la multitude d'autres germes d'origine intestinale. Pour cette raison, il n'est pas pratique de rechercher à déterminer la présence de bactéries pathogènes dans l'eau contaminée. La qualité bactériologique de l'eau ne se mesure donc pas directement, mais plutôt par la présence d'organismes indicateurs de pollution, les bactéries du groupe coliforme, qui vivent normalement dans les intestins. La présence de ces bactéries dans l'eau démontre que celle-ci a été polluée par des déchets d'origine humaine ou animale.

Comme ces déchets pourraient provenir de personnes souffrant de maladies intestinales ou de porteurs de germes de ces maladies, il s'ensuit que, dans l'eau qui en a été polluée, il est probable qu'il existe, outre les bactéries coliformes, des bactéries intestinales pathogènes. Certaines proportions ont été établies entre les nombres de ces deux groupes de bactéries, si bien qu'une eau de bonne qualité bactériologique est donc une eau satisfaisant certains critères. (7)

**Tableau 11 : Valeurs indicatives concernant la qualité bactériologique**

<b>Microorganisme</b>	<b>Unité</b>	<b>Valeur indicative</b>	<b>Remarques</b>
<b>A. Avec adduction</b>			
<b>A.1 Eau traitée prélevée à l'entrée du réseau</b>			
Coliformes fécaux	Nombre/100 ml	0	Turbidité<1UNTpour La désinfection au chlore, pH<8 de préférence Chlore libre résiduel de 0,2 à 0,5mg/L après un minimum de 30 minute de contact
Coliformes	Nombre/100 ml	0	
<b>A. 2 Eau non traitée à l'entrée du réseau</b>			
Coliformes fécaux	Nombre/100 ml	0	Dans 98% des échantillons examinés au cours de l'année, dans le cas des gros débits et d'échantillons prélevés en nombre suffisant occasionnellement, mais jamais dans des prélèvements consécutifs
Coliformes	Nombre/100 ml	0	
Coliformes	Nombre/100 ml	3	
<b>A. 3 Eau prélevée dans le réseau</b>			
Coliformes fécaux	Nombre/100 ml	0	Dans 95% des échantillons examinés au cours de l'année, dans le cas de gros débits et d'échantillons prélevés en nombre suffisant
Coliformes	Nombre/100 ml	0	
Coliformes	Nombre/100 ml	3	
<b>B. Sans adduction</b>			
Coliformes fécaux	Nombre/100 ml	0	Ne doit pas se reproduire fréquemment ; si cette valeur s'obtient fréquemment et que l'assainissement s'avère impossible changer de source
Coliformes	Nombre/100 ml	10	
<b>C. Eau de boisson en bouteille</b>			
Coliformes fécaux	Nombre/100 ml	0	La source doit être exempte de contamination fécale
Coliformes	Nombre/100 ml	0	
<b>D. Approvisionnements de secours en eau potable</b>			
Coliformes fécaux	Nombre/100 ml	0	Avertir le public de faire bouillir l'eau au cas où l'on n'arrive pas à respecter les valeurs indicatives
Coliformes	Nombre/100 ml	0	

## **1. Lieux de prélèvements**

Pour les eaux souterraines les prélèvements sont faits dans les quartiers de la ville de Bamako à la demande des particuliers.

Pour les eaux du réseau, nous avons effectué des prélèvements à la station de pompage au niveau du captage, de la zone normale, de la zone basse et parmi les robinets les plus utilisés de la ville de Bamako.

## **2. Type et période d'étude**

Ce travail est une étude rétro prospective à Bamako sur une période allant de janvier 2000 à juillet 2001 :

- étude rétrospective s'est déroulée sur une période de 12 mois allant de janvier à décembre 2000.
- étude prospective s'est déroulée sur une période de 7 mois janvier à juillet 2001

## **3. Prélèvements des échantillons**

### **a) Les eaux souterraines**

Les prélèvements d'eaux de puits ont été effectués à l'aide d'une puisette munie d'une corde.

Les forages et la source ont été prélevés à la pompe ou à l'usine.

Les échantillons ont été mis dans les flacons en verre de 500 ml après stérilisation.

Dans certains cas les échantillons ont été acheminés dans les flacons plastiques ou sachets plastiques par les particuliers

### **b) Les eaux du réseau**

Dans un flacon stérile contenant du thiosulfate on procède en premier lieu au prélèvement de l'échantillon destiné à l'analyse bactériologique après avoir flambé le robinet.

Dans un second temps le prélèvement de l'échantillon pour l'analyse physico-chimique se fait dans un flacon stérile sans le thiosulfate .

Les prélèvements ont été effectués une fois par semaine.

## **4. Lieu d'étude : le Laboratoire National de la Santé**

Toutes les analyses ont été réalisées au sein du Laboratoire National de la Santé

## **5. Les renseignements à fournir pour une analyse d'eau**

Ces renseignements sont :

- L'identité du préleveur
- Le lieu et la localisation précise du prélèvement

- La date et l'heure du prélèvement
- Le demandeur de l'analyse ( Particulier ou Autorité )
- Le motif de la demande d'analyse (analyse initiale ou contrôle périodique, pollution, intoxication, épidémie, etc.).
- Les usages de l'eau (boisson, lavage, fins domestiques, incendie, industrie etc. ...).

## **6. Matériels et méthodes d'analyse**

### **6.1 Matériels et réactifs (voir photo 1)**

#### **6.1.1 Paramètres physico-chimiques**

##### **a) Matériels**

Flacons de 500 ml

Fioles en verre et en plastique

Ballons de 100 ml

Béchers de 50 ml

Erlenmeyers

Burette de 10 ml ou 25 ml

Cuvettes de 25 ml et 10 ml

Pipettes de 2 ml

Poires

Ciseaux

Plaque chauffante

Calotte

Pissettes

Eprouvettes de 50 ml

Agitateur magnétique

Barreau magnétique

Papier hygiénique

Baguette

##### **b) Réactifs**

Réactifs en sachets ou en gélules (pour chaque paramètre)

Solution tampon ammoniacale

Titriplex

Tampon d'oxalate de potassium 4%

Eau déminéralisée

Noir eriochrome

**c) Appareillages**

Conductivimètres HANNA

PHmètre

Spectrophotomètre DR 2010

**6.1.2. Paramètres bactériologiques**

**a) Matériels**

Papier Aluminium

Allume gaz

Marqueur

Boîtes de Pétri

Coton

Papier hygiénique

Pipette pasteur de 1ml ou de 2 ml

Ballons

Tube de 10 ml

Portoir

Spatule

Béchers de 250 ml ou 100 ml

**b) Réactifs**

Thiosulfate de sodium

Eau déminéralisée

Milieux de cultures

Alcool à 90°C et à 70°C

**c) Appareillages**

Autoclave

Hotte

Etuve

Microscope électronique

Balance électronique

Flamme d'un bec Bensen

## **6.2. Méthodes d'analyse**

### **Paramètres physico-chimiques**

- Ils se divisent en deux groupes : ceux dosés par la méthode spectrophotométrique : DR/2010 HACH (voir photo 2 )
- les autres dosés à partir d'appareillages divers. (voir photo 3)

### **Méthode spectrophotométrique : DR/2010 HACH**

#### **a) Principe**

A une longueur d'onde fixe la concentration d'une substance est proportionnelle à sa densité optique.

#### **b) Description du spectrophotomètre**

Le spectrophotomètre modèle DR/2010 HACH est un appareil simple faisceau commandé par micropresseur pour l'analyse au laboratoire ou sur le terrain. C'est un spectrophotomètre qui utilise le visible "UV". Le spectrophotomètre fonctionne sur batterie ou sur secteur.

Si l'appareil doit être alimenté sur secteur, raccorder la fiche du câble au transformateur, chargeur à la prise "power" l'arrière de l'appareil.

#### **c) Dosage des paramètres**

##### **✓ Turbidité ( gamme : 0 à 4400 Fau )**

#### **Principe**

La détermination de la turbidité mesure une propriété optique de l'eau qui résulte de la dispersion et de l'absorption de la lumière par les particules de matières en suspension présentes. La quantité de turbidité mesurée dépend de variables telles que la taille, la forme et les propriétés de réfraction des particules.

#### **Mode opératoire**

Mettre l'appareil sous tension

Entrer le numéro "750" du programme mémorisé pour la turbidité .

Ajuster la longueur d'onde à 860 nm.  
Placer le blanc (25 ml d'eau distillée ).  
Ajuster le zéro de l'appareil en appuyant sur la touche "zéro" .  
Retirer le blanc et placer 25 ml de l'échantillon.  
Appuyer " READ " et le résultat en NTU s'affiche.

✓ **Couleur : ( gamme : 0 – 500 unités)**

**Principe de la méthode**

La couleur est exprimée en couleur " apparente " ou en couleur " vraie " .  
La couleur apparente inclue celle due aux substances dissoutes et aux matières en suspension. En filtrant ou en centrifugeant l'échantillon on détermine la couleur vraie.

**Mode opératoire**

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

✓ **Chlore libre : (gamme :0 à 2,00 mg/L)**

**Principe**

Le chlore présent dans l'échantillon sous forme d'acide hypochloreux et/ou d'ion hypochlorite (chlore libre ou chlore libre disponible) réagit immédiatement avec le DPD (N,N – diéthyl-p- phénylène – diamine) en même temps que le chlore libre présent dans l'échantillon pour former une coloration rouge proportionnelle à la concentration du 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 "zéro".  
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 échantillon plus réactif dans le puits de mesure.  
Appuyer "READ" et le résultat en mg/L Cl<sub>2</sub> s'affiche. (voir photo 3)

✓ **Chlore total** : ( gamme : 0 à 2,00 mg/L )

Le principe et le mode opératoire sont identiques avec ceux du chlore libre , on utilise le DPD pour chlore total à la place du DPD pour chlore libre . Toute fois le mélange doit être agité pendant 20 secondes et laisser pendant une période de réaction de 3 minutes.

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

✓ **Sulfates** : ( gamme : 0 à 70 mg/L)

**Principe**

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

**Mode opératoire**

Mettre l'appareil sous tension.  
Entrer le numéro "680" du programme mémorisé pour les sulfates  
Ajuster la longueur d'onde à 450 nm.  
Remplir une cuvette de 25 ml avec l'échantillon  
Ajouter le contenu d'un sachet de réactif Sulfa Ver 4  
Laisser pendant une période de réaction de 5 minutes ( en présence de sulfate une coloration blanche se développe).  
Remplir une autre cuvette avec 25 ml de l'échantillon ( blanc )  
Placer le blanc dans le puits de mesure ;  
Ajuster le zéro de l'appareil en appuyant sur la touche "zéro".  
Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure ;  
Appuyer "READ", et le résultat en mg/L de sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) s'affiche.

▼ **Nitrites** : ( gamme : 0 à 0,300 mg/L N-NO<sup>2-</sup> )

**Principe**

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

**Mode opératoire**

Mettre l'appareil sous tension.

Entrer le numéro " 371" du programme mémorisé pour les nitrites

Ajuster la longueur d'onde à 507 nm.

Remplir une cuvette avec 25 ml de l'échantillon,

Ajouter le contenu d'un sachet de réactif Nitri Ver 3

Agiter pour dissoudre et laisser au repos pendant 20 minutes

En présence des nitrites une coloration rose se développe

Remplir une autre cuvette avec 25 ml de l'échantillon (blanc)

Placer le blanc dans le puits de mesure.

Ajuster le zéro de l'appareil en appuyant sur la touche "zéro"

Retirer le blanc et placer l'échantillon préparé.

Appuyer "READ" et le résultat en mg/L NO<sub>2</sub><sup>-</sup> s'affiche.

Ce résultat en mg/L multiplié par 3,3 (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/N) correspond à la concentration en nitrite.

▼ **Nitrates** : ( gamme : 0 à 30,0 mg/L N- NO<sup>3-</sup> )

**Principe**

Le cadmium métallique réduit le nitrate dans l'échantillon en nitrite. L'ion nitrite réagit en milieu acide avec l'acide sulfanilique pour former un sel de diazonium intermédiaire. Ce sel réagit avec l'acide gentisique pour former une solution de couleur ambre proportionnelle à la quantité de nitrate présente dans l'eau.

**Mode opératoire**

Mettre l'appareil sous tension

Entrer le numéro "355" du programme mémorisé pour les nitrates

Ajuster la longueur d'onde à 500 nm.

Remplir une cuvette avec 25 ml de l'échantillon

Ajouter le contenu d'un sachet de réactif Nitra Ver 5.

Agiter vigoureusement la cuvette pendant une minute puis laisser au repos pendant 5 minutes. En présence de nitrate une coloration ambre se développe ;

Remplir une autre cuvette avec 25 ml de l'échantillon ( le blanc)

Placer le blanc dans le puits de mesure,

Ajuster le zéro de l'appareil en appuyant sur la touche "zéro".

Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure ;

Appuyer "READ" et le résultat en mg/L  $\text{NO}_2^-$  s'affiche.

Ce résultat en mg/L multiplié par 4,4 ( $\text{NO}_3^-/\text{N}$ ) correspond à la concentration en nitrate.

### ✓ **Phosphates** : ortho ( gamme : 0 à 2,50 mg/L $\text{PO}_4^{3-}$ )

#### **Principe**

L'orthophosphate réagit avec le molybdate en milieu acide pour produire un complexe phosphomolybdate. L'acide ascorbique réduit le complexe, donnant une coloration intense de bleu de molybdène.

#### **Mode opératoire**

Mettre l'appareil sous tension

Entrer le numéro "490" du programme mémorisé pour les phosphates

Ajuster la longueur d'onde à 890 nm

Remplir une cuvette avec 25 ml de l'échantillon ;

Ajouter le contenu d'un sachet de réactif Phos Ver 3

Agiter immédiatement pour mélanger

Laisser au repos pendant 2 minutes. En présence de phosphate, une coloration bleue se forme

Placer le blanc ( 25 ml de l'échantillon ) dans le puits de mesure

Ajuster le zéro de l'appareil en appuyant sur la touche "zéro".

Retirer le blanc et placer 25 ml de l'échantillon préparé

Appuyer sur "READ" et le résultat en mg/L de phosphate s'affiche.

#### **Les autres paramètres physico-chimiques**

##### ✓ **La température**

Elle se fait à l'aide d'une sonde de température qui est connectée au pHmètre

## ✓ **Le pH**

Sa mesure se fait selon deux méthodes : colorimétrique et électrométrique .

Méthode colorimétrique: tremper la bandelette de papier indicateur détachée pendant quelques secondes dans la solution à examiner. Comparer la coloration de la bandelette avec l'échelle des couleurs.

Méthode électrométrique : le pHmètre fonctionne grâce à une source d'énergie (pile, secteur...).

Appuyer sur la touche "ON" pour mettre l'appareil sous tension

Immerger la sonde de pH dans un bécher contenant la solution étalon pH 7 à 25°

Quand le chiffre ``7,0'' apparaît sur l'écran.

Retirer la sonde et la rincer avec de l'eau distillée

Sécher et la plonger dans l'échantillon. La valeur du pH est directement affichée.

Plonger la sonde de température.

Appuyer sur la touche de variation des paramètres pour avoir la valeur de la température

## **La conductivité**

### **Principe**

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

### **Mode opératoire**

Le conductivimètre utilisé dispose d'un compensateur de température et d'un correcteur de la constante de cellule.

### **Compensation de la température**

La conductivité d'une solution est affectée par la température de la solution . Donc il est nécessaire de lier les mesures de conductivité à une température de référence : 25°C pour l'appareil HANNA.

Pour chaque degré de déviation de la température de référence un circuit de compensation de température règle la valeur de mesure à un certain pourcentage pour fournir une conductivité équivalente à ce qu'elle devrait être à la température de référence.

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

L'unité de mesure de la conductivité est le Siemens. Dans les solutions aqueuses on utilise fréquemment le millisiemens/centimètre ou le microsiemens/centimètre.

#### **▼ Dureté (voir photo 4)**

La dureté d'une eau, fonction de la teneur de cette eau en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , se détermine par le dosage de ces ions.

Le dosage global de  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  conduit à la dureté totale. Les dosages séparés permettent d'apprécier la dureté calcique et la dureté magnésienne.

### **Mode opératoire**

#### **Détermination de la dureté totale**

Dans une fiole conique de 150 ml, introduire 50 ml, exactement mesurés, d'eau à analyser. Ajouter environ ; 2,5 ml de tampon ammoniacal, 1 ml de solution de complexonate de magnésium à 1% et 2 ou 3 gouttes de solution alcoolique récente de Noir Eriochrome T.

Chauffer à une température de l'ordre de  $40^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}$  et titrer par la solution de complexon III 0,01 M jusqu'au virage de l'indicateur du rouge au bleu. Pour apprécier plus facilement le virage il est recommandé de comparer la teinte de l'échantillon à celle d'un témoin constitué par 50 ml d'eau distillée additionnés de 2,5 ml de tampon et d'une quantité de noir eriochrome identique à celle utilisée pour le dosage.

#### **• Dureté magnésienne**

Dans une fiole jaugée à 100 –110 ml, mesurer 100 ml d'eau à analyser.

Compléter à 110 ml avec une solution d'oxalate d'ammonium à 5%.

Agiter, laisser reposer au moins 30 minutes et filtrer. En opérant sur 50 ml, exactement mesurés, de filtrat, titrer  $\text{Mg}^{2+}$  éventuellement présent en procédant comme précédemment (l'addition de complexonate de magnésium est alors inutile).

### **Calculs**

#### **• Dureté totale**

Sachant que 1 ml de solution de complexon III 0,01 M correspond à 0,05 milliéquivalents de  $\text{Ca}^{2+}$  ou  $\text{Mg}^{2+}$ , calculer la dureté totale en milliéquivalents de  $\text{Ca}^{2+}$  (ou  $\text{Mg}^{2+}$ ) par litre d'eau analysée.

Sachant que 1 milliéquivalent de  $\text{Ca}^{2+}$  ou  $\text{Mg}^{2+}$  correspondant à 50 mg de  $\text{CaCO}_3$  exprimer la dureté totale en degrés français.

- **Dureté magnésienne**

Sachant que le milliéquivalent de  $Mg^{2+}$  est 12,16 mg , et tenant compte de la dilution effectuée pour la précipitation du cadmium, calculer la dureté magnésienne en milliéquivalents et en milligrammes de  $Mg^{2+}$  par litre d'eau analysée.

- **Dureté calcique**

Déduire des résultats précédents la dureté calcique en milliéquivalents de  $Ca^{2+}$  par litre d'eau analysée. Sachant que le milliéquivalent de  $Ca^{2+}$  est 20,04 mg, exprimer ce résultat en milligrammes de  $Ca^{2+}$  par litre. (24)

### **6.2.2. Paramètres bactériologiques ( voir photo 5 et 6 )**

✓ **Recherche des germes aérobis mésophiles (G.a.m ) :**

- **sur P.C.A ( gélose Plate Count Agar )**

Ensemencer sur gélose PCA en simple couche 1 ml de la solution mère et 1 ml de différentes dilutions au 1/10 et au 1/100.

Incuber 72 heures à 30°C.

**Résultat** : compter le nombre de colonies brunes dans la boîte ( voir photo 9 )

- **Sur Fluo cult. (voir photo 6)**

Ensemencer 1 ml de solution mère dans 9 ml de bouillon dans un tube et incuber à 37°C pendant 24 heures.

**Résultat** : les tubes positifs présentent des troubles.(voir photo 7)

✓ **Recherche de coliformes totaux et coliformes « thermotolérants » :**

- **sur gélose lactosée au desoxycholate.**

Ensemencer sur gélose lactosée au desoxycholate en simple couche. (voir photo 5)

1ml de la solution mère et 1ml de la dilution au 1/10 et au 1/100 pour la recherche des :

coliformes totaux : incuber 24 heures à 30°C

Coliformes fécaux ou thermotolérants : Incuber 24 heures à 44°C.

**Résultat** : compter le nombre de colonies rouges dont le diamètre est d'environ 0,5 millimètre.(voir photo 8)

✓ **Recherche et de dénombrement des streptocoques fécaux :**

- **sur bouillon de Rothe.**

Mettre 1 ml d'échantillon dans 9 ml de bouillon de Rothe incuber à 37°C pendant 24 à 48 heures.

**Résultat** : Les tubes positifs présentant un trouble, seront obligatoirement soumis au test de confirmation sur bouillon de Litsky (voir photo 7)

- **Sur bouillon de Litsky**

Transférer une “öse” bouchée de culture positive prélevée sur bouillon de Rothe dans un tube de milieu de Litsky.

Incuber à 37°C pendant 24 à 48 heures.

**Résultat** : les tubes positifs présentent un léger trouble et dépôt violet dans le fond du tube.

Faire la numération en faisant la méthode du nombre le plus probable.

**Note** : pour chaque analyse on fait un blanc pour comparer le résultat.

**Intérêt de la numération des colonies.**

- Elle peut servir à évaluer le contenu bactérien général de l'eau. On n'obtient pas le nombre de micro-organismes présents, mais simplement le nombre de ceux qui sont à même de former des colonies visibles sur le milieu nutritif et dans des conditions données de culture.
- La numération est utile pour évaluer l'efficacité des traitements, particulièrement de la coagulation, de la filtration et de la désinfection. L'objectif étant de limiter au maximum la densité des microorganismes dans l'eau traitée.
- Elle peut également servir à apprécier la propreté et l'intégrité des réseaux et à déterminer si l'eau se prête à la production d'aliments et de boissons. Finalement, l'intérêt principal de la numération réside dans la comparaison des résultats obtenus sur des prélèvements réguliers à partir de la même source, ce qui permet de déceler tout écart significatif par rapport à la plage normale de valeurs.

**7. Collecte, saisie et analyse des données**

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

## **CHAPITRE IV**

### **RESULTATS**

# RESULTATS

Nous avons déterminé la composition physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de la ville de Bamako afin d'apprécier leur qualité dans les zones ( les eaux du réseau ) et dans les communes ( les eaux souterraines).

Les échantillons étaient constitués de 34 prélèvements d'eau souterraine et 118 prélèvements d'eau de réseau.

## 1. Répartition des échantillons par an.

**Tableau 12 : répartition des échantillons par an.**

Année/Type	2000		2001		Total	
	N	%	N	%	N	%
Eaux souterraines	11	7,24	23	15,13	34	22,37
Eaux du réseau	41	<b>26,97</b>	77	<b>50,66</b>	118	77,63
Total	52	<b>34,21</b>	100	<b>65,79</b>	152	100,0

N : fréquence

% : pourcentage de l'effectif sur les 152 échantillons

Nous avons eu 52 échantillons soit 34,21% en 2000 et 100 échantillons soit 65,79% en 2001.

## 2. Répartition selon le motif d'analyse.

**Tableau 13 : répartition des eaux selon le motif d'analyse .**

Motif	2000		2001		total	
	N	% eff	N	% eff	N	%
Analyse initiale	4	7,69			4	2,63
Contrôle bactériologique	2	3,85			2	1,32
Contrôle de qualité			6	6,00	6	3,95
Contrôle périodique	45	<b>86,54</b>	79	<b>79,00</b>	124	<b>81,58</b>
Polluants chimiques			14	14,00	14	9,21
Substances étrangères	1	1,92	1	1	2	1,31
Total	52	100,00	100	100,00	152	100,0

% eff : pourcentage de l'effectif par année.

Le motif le plus dominant a été celui du contrôle périodique avec une fréquence de 124 échantillons soit 81,58% .

### **3. Répartition par type de récipients.**

**Tableau 14 : répartition des eaux par type de récipient**

<b>Récipient</b>	<b>Fréquence</b>	<b>%</b>
Flacon en verre	143	<b>94,08</b>
Flacon en plastique	8	5,26
Sachet en plastique	1	0,66
Total	152	100,0

Le récipient le plus utilisé a été le flacon en verre avec 143 échantillons soit 94,08%.

### **4. Répartition par volume d'eau prélevée**

**Tableau 15 : répartition des eaux par volume de prélèvement .**

<b>Volume en ml d'eau</b>	<b>Fréquence</b>	<b>%</b>
25	1	0,66
500	4	2,63
1000	141	<b>92,76</b>
1500	6	3,95
Total	152	100,0

Le volume le plus prélevé a été 1000 ml pour 141 échantillons soit 92,76%

## **5. Répartition selon la qualification du préleveur**

**Tableau 16 : répartition des eaux par qualification du préleveur.**

<b>Qualification du préleveur</b>	<b>Fréquence</b>	<b>%</b>
Technicien	140	<b>92,10</b>
Usine	2	1,31
Inconnu	6	3,94
Médecin	1	0,65
Transporteur	1	0,65
Ingénieur	2	1,31
Total	152	100,0

La qualification dominante a été celle du technicien avec une fréquence de 140 soit 92,10%.

## **6. Répartition selon le type d'eau**

**Tableau 17: répartition des eaux par type .**

<b>Année/Type d'eau</b>	<b>Fréquence</b>	<b>pourcentage</b>
Forage	12	7,89
Puits	21	13,82
Réservoir	9	5,92
Robinet	<b>72</b>	<b>47,37</b>
Source	1	0,66
Station	37	24,34
Total	152	100,0

Les prélèvements d'eau de robinet ont été les plus importants avec 72 échantillons soit 47,37%.

## 7. Répartition en fonction du lieu de prélèvement.

**Tableau 18:** répartition des eaux par lieu de prélèvement.

Lieu de prélèvement	Fréquence	%
Commune I	6	3,95
Commune II	21	13,81
Commune III	<b>44</b>	<b>28,95</b>
Commune IV	<b>50</b>	<b>32,89</b>
Commune V	4	2,63
Commune VI	25	16,45
Inconnu	2	1,32
Total	152	100,0

Les communes III et IV ont été les lieux les plus concernés avec des fréquences respectives de 50 et 44 échantillons soit 32,89% et 28,95% .

## 8. Répartition des eaux souterraines par lieu de prélèvement.

**tableau 19:** répartition des eaux souterraines par lieu de prélèvement.

Commune	2000			2001			total	
	forage	puits	source	Forage	puits	source	N	% E.S.
	N	N	N	N	N	N		
Commune I		1			3		4	11,77
Commune II		3			1		4	11,77
Commune III				1		1	2	5,88
Commune IV	1						1	2,94
Commune V								
Commune VI	4			6	11		<b>21</b>	<b>61,76</b>
Inconnu		2					2	5,88
Total	5	6		7	15	1	34	100,00

%E.S. : pourcentage d'Eaux Souterraines

Dans notre étude la commune VI est dominante avec une fréquence de 21 soit 61,76 % E.S.

## 9. Répartition des eaux souterraines par type

**Tableau 20:** répartition des eaux souterraines par type d'eau, conformité et année.

Type d'eau	2000				2001			
	Conforme		Non conforme		Conforme		Non conforme	
	N	%2000	N	%2000	N	%2001	N	%2001
Forage	2	<b>40,00</b>	3	<b>60,00</b>	7	<b>100,00</b>		
Source					1	<b>100,00</b>		
Puits			6	<b>100,00</b>			15	<b>100,00</b>

C :commune

%2000 : pourcentage de l'effectif 2000 par type d'eaux souterraines.

%2001 : pourcentage de l'effectif 2001 par type d'eaux souterraines

pour les forages : les eaux non conformes représentent 60% en 2000

par contre en 2001 toutes le eaux de forages ont été conformes.

Le seul échantillon d'eau de source était conforme.

Tous les échantillons d'eaux de puits étaient non conformes en 2000 et 2001.

## 10. Répartition des eaux du réseau par zone. (voir annexe)

**tableau 21:** répartition des eaux du réseau par zone .

Zone	Fréquence	% R
Basse	37	31,35
Etage korofina	1	0,85
Normale	80	<b>67,80</b>
Total	118	100,00

% R : pourcentage d'échantillon au niveau du réseau.

Les eaux de réseau ont été prélevées en majorité dans la zone normale avec 80 échantillons soit 67,80% R.

## 11. Répartition selon la qualification du préleveur et la conformité des eaux..

**Tableau 22** : répartition des eaux par qualification du préleveur et par conformité.

Qualification du préleveur	Conforme		Non conforme		total	
	N	%	N	%	N	%
Technicien	99	<b>65,13</b>	41	26,97	140	92,10
Usine	2	1,32			2	1,31
Inconnu			6	3,94	6	3,94
Médecin			1	0,65	1	0,65
Transporteur			1	0,65	1	0,65
Ingénieur			2	1,31	2	1,31
Total	101	66,45	51	33,55	152	100,0

Dans notre étude 65,13% des eaux prélevées par les techniciens ont été conformes, par contre toutes les eaux prélevées par les inconnus ont été non conformes.

## 12. Répartition des eaux du réseau selon la conformité.

**Tableau 23** : répartition des eaux du réseau par zone et par conformité .

Année/Zone	2000				2001				Total
	Conforme		Non conforme		Conforme		Non conforme		
	N	% 2000	N	% 2000	N	% 2001	N	% 2001	
Basse	12	<b>85,71</b>	2	14,29	16	69,57	7	30,43	37
Etage korofina	1	100,00							1
Normale	19	73,08	7	26,92	43	<b>79,63</b>	11	20,37	80
Total	32	78,05	9	21,95	59	76,62	18	23,38	118

%2000 : pourcentage de l'effectif 2000 par type.

% 2001: pourcentage de l'effectif 2001 par type.

Les eaux conformes de la zone basse étaient majoritaires dans 85,71% de l'effectif en 2000. celles de la zone normale étaient conformes pour 79,63% en 2001.

**Tableau 24 : répartition des eaux du réseau par type et par conformité .**

Année/Type	2000				2001			
	Conforme		Non conforme		conforme		Non conforme	
	N	%2000	N	%2000	N	%2001	N	%2001
Réservoir	6	<b>75</b>	2	25	1	<b>100,00</b>		
Robinet	13	76,47	4	23,53	43	<b>78,18</b>	12	21,82
Station	13	<b>81,25</b>	3	18,75	15	71,43	6	28,57
Total	32	78,05	9	21,95	59	76,62	18	23,38

Les eaux des réservoirs étaient conformes pour 75% en 2000, le seul échantillon de 2001 était conforme.

La conformité pour les eaux de robinet était du même ordre de grandeur : 76,47% en 2000 et 78,18% en 2001.

Les eaux de la station sont conformes pour 81,25% en 2000 et 71,43% en 2001.

### **13. Répartition par type d'eau selon la conformité en 2000.**

**Tableau 25 : répartition par type d'eau et par conformité en 2000**

Type d'eau	Conforme		Non conforme		total
	N	%2000	N	%2000	
Forage	2	40,00	3	60,00	5
Puits			6	100,00	6
Réservoir	6	75,00	2	25,00	8
Robinet	13	<b>76,47</b>	4	<b>23,53</b>	17
Station	13	<b>81,25</b>	3	18,75	16
Total	34	<b>65,38</b>	18	<b>34,62</b>	52

Dans notre étude les fréquences des eaux de la station ont été prédominantes avec 81,25% de l'effectif pour les conformes et 18,75% de l'effectif pour les non conformes.

$$X^2_C = 15,78 \quad X^2_t = 15,08 ; \quad \alpha = 0,01$$

La différence est significative.

#### 14. Répartition par type d'eau et par conformité en 2001

**Tableau 26 : répartition par type d'eau et par conformité en 2001**

Type d'eau	Conforme		Non conforme		total
	N	%2001	N	%2001	N
Forage	7	<b>100,00</b>			7
Puits			15	<b>100,00</b>	15
Réservoir	1	100,00			1
Robinet	43	<b>78,18</b>	12	<b>21,82</b>	55
Source	1	100,00			1
Station	15	71,43	6	28,57	21
Total	67	<b>67</b>	33	<b>33</b>	100

Dans notre étude les fréquences des eaux de forage et robinet ont été prédominantes soit respectivement 100,00% et 78,18% pour les conformes et 21,82% des eaux de robinets pour les non conformes.

$$X^2_c = 38,18 \quad X^2_t = 15,08 \quad \alpha = 0,01$$

La différence est significative.

#### 15. Répartition selon l'effectif de chaque type d'eau et par conformité en 2000-2001.

**Tableau 27 : répartition par conformité selon l'effectif de chaque type d'eau en 2000-2001.**

Type	Conforme		Non conforme		Total
	N	%eff	N	%eff	N
Forage	9	75,00	3	25,00	12
Puits	0	0	21	<b>100,00</b>	21
Réservoir	7	<b>77,78</b>	2	22,22	9
Robinet	56	<b>77,78</b>	16	22,22	72
Source	1	100,00	0	0	1
Station	28	75,68	9	24,32	37
total	101	<b>66,45</b>	51	<b>33,55</b>	152

%eff: pourcentage par effectif de chaque type d'eau en 2000-2001

Dans notre étude les pourcentages des eaux de robinet et des réservoirs ont été prédominantes avec 77,78%eff chacun

$$.X^2_c = 48,56 \quad X^2_t = 15,08 \quad \alpha = 0,01$$

La différence est significative.



## COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS

Nous avons analysé dans notre étude, 152 échantillons dont 52 en 2000 et 100 en 2001.

✓ Dans notre étude les eaux du réseau ont été majoritaires avec 26,97% en 2000 et 50,66% en 2001.

Ces pourcentages élevés sont dus au contrôle régulier des eaux du réseau par le L.N.S. par contre la majorité des eaux souterraines proviennent des particuliers qui désirent contrôler leur eau de puits ou de forage pour l'analyse initiale ou après constat d'une anomalie.

✓ Le motif le plus fréquent était le contrôle périodique avec 81,58%

Les motifs les moins fréquents étaient : le contrôle bactériologique et la recherche des substances étrangères.

✓ Les flacons en verre étaient les plus utilisés avec 94,08%. Car les récipients du L.N.S pour le contrôle périodique sont des flacons en verre de 500 ml .

Par contre le sachet plastique qui était moins fréquent contenait de l'eau de puits d'un particulier.

✓ Le volume d'eau le plus fréquent a été 1000 ml soit 92,76% .

cela est dû au fait que le L.N.S utilise pour chaque prélèvement deux flacons en verre de 500 ml. Le premier flacon servira à l'analyse bactériologique tandis que le second est utilisé pour l'analyse physico-chimique.

✓ 92,10% des prélèvements soit 140 échantillons ont été effectués par des techniciens.

Dans l'organigramme du L.N.S. ce sont les techniciens qui font en général les prélèvements d'échantillon.

Les échantillons étaient souvent apportés par des particuliers (transporteur, médecin, ..)

Les inconnus sont des personnes non identifiées en 2000.

✓ La fréquence des eaux de robinet est plus élevée que les autres types d'eaux avec 47,37% des échantillons. Car à chaque sortie hebdomadaire le nombre de robinet prélevé dans les quartiers était supérieur aux autres types d'eaux. Par contre l'eau de source a été prélevée une seule fois.

Les eaux de puits prélevées étaient toutes non conformes aussi bien en 2000 qu'en 2001.

La majorité des eaux a été prélevée en communes III et IV soit respectivement 28,95% et 32,89% .

Ceci s'explique par la présence de la station de traitement en commune IV et le nombre des bornes fontaines des quartiers desservis par cette station en communes III et IV.

✓ Les prélèvements d'eaux souterraines ont le plus concerné la commune VI avec une fréquence de 61,76% E.S parce qu'il y avait en ce moment un problème de contamination de la nappe phréatique dans ce quartier.

✓ En 2000, les forages et puits présentaient une non conformité élevée avec respectivement 60,00% et 100,00% de l'effectif.

En effet pour les eaux de forages, les échantillons prélevés avant le traitement ont été tous non conformes, alors que ceux prélevés après le traitement se sont révélés tous conformes aussi bien en 2000 qu'en 2001.

✓ En 2001 toutes les eaux de forages et de source analysées ont été conformes, tandis que celles des puits ont été non conformes.

Une étude intitulée « L'eau à Bamako » menée par un groupe de travail de février – mars 1990 a montré qu'il est donc normal de mettre en doute la qualité de l'eau puisée d'autant plus que la nappe est menacée par les infiltrations des puisards creusés à proximité des puits. (25)

Les raisons de la détérioration de la qualité de ces eaux sont:

- le non respect des normes de constructions Ce qui a pour conséquence la contamination de la nappe phréatique par les latrines.
- les activités menées au tour du puits ou encore d'autres activités qui polluent les nappes alimentant les puits.

✓ La majorité des eaux du réseau a été prélevée dans la zone normale soit 67,80%. Ceci s'explique par le fait que la zone normale dessert plus de quartiers que les autres zones (zone basse et Etage Korofina).

✓ 65,13% des eaux prélevées par les techniciens et tous les échantillons prélevés à l'usine ont été conformes .

Par contre toutes les eaux prélevées par les inconnus ont été non conformes.

Ceci peut s'expliquer par le fait que :

d'une part les techniciens respectaient les conditions de prélèvement des échantillons.

d'autre part la mauvaise qualité de l'eau même si les conditions de prélèvement ont été respectées.

▼ La majorité des eaux conformes a été celles de la zone basse en 2000 soit 85,71% et de la zone normale en 2001 soit 79,63%.

A l'Etage Korofina il n'y a eu qu'un seul prélèvement ce qui est insuffisant pour évaluer la conformité des eaux de cette zone.

▼ Les prélèvements au niveau de la station ont été conformes dans 81,25% en 2000 et 71,43% en 2001.

Les taux de conformité pour les échantillons de robinet étaient respectivement de 76,47% en 2000 et 78,18% en 2001. Ce qui montre que la qualité des eaux analysées étaient meilleures en 2001 qu'en 2000.

75% des eaux de réservoir ont été conformes en 2000. Le seul échantillon d'eau de réservoir de 2001 a été aussi conforme

▼ En 2000 les eaux conformes de la station ont été majoritaires soit 81,25% que les autres types d'eaux alors que la non conformité des puits et des forages était élevée soit respectivement 100,00% et 60%.

La différence entre conformité et non conformité est significative ce qui veut dire que l'eau consommée en 2000 a été statistiquement conforme.

▼ En 2001 les eaux conformes des forages et robinets ont été majoritaires soit respectivement 100,00% et 78,18% par contre toutes les eaux de puits étaient non conformes .

▼ Les fréquences des eaux de robinet et réservoir conformes ont été plus élevées en 2000-2001 soit 77,78% chacun.

Par contre toutes les eaux de puits prélevées durant les deux années ont été non conformes.

L'ensemble des eaux prélevées durant l'étude ont été conformes dans 66,45% et non conformes dans 33,55%.

La différence de qualité est significative ; ce qui veut dire que les échantillons enrôlés dans notre étude restent conformes dans l'ensemble.

Le taux de non conformité reste élevé avec 33,55% soit 51 échantillons sur 152. Ce taux élevé pourrait s'expliquer par :

- le non respect des conditions de prélèvement (stérilité du récipient de l'échantillon,...)
- la non qualification du préleveur.
- les puits non aménagés et mal entretenus.

- le non respect des périmètres de protections.
- Le problème de la qualité de l'eau de réseau dépend du degré de vétusté du réseau de distribution et du manque d'isolation des conduites. (25)
- le taux de traitement insuffisant.
- à la filtration mal faite, quand les sables ne sont pas bien lavés.
- manque de chicane dans certains réservoirs.

# CHAPITRE V

## COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS

## Conclusion

A la fin de notre étude qui a concerné 152 échantillons d'eau de consommation à Bamako de janvier 2000 à juillet 2001 nous avons fait les constats suivants :

- ✓ les eaux du réseau ont été majoritaires avec 26,97% en 2000 et 50,66% en 2001.
- ✓ les contrôles périodiques ont été plus fréquents que les autres motifs avec 81,58%.
- ✓ 92,08% des récipients utilisés étaient des flacons en verre .
- ✓ le volume d'eau le plus prélevée a été celui de 1000 ml soit 92,76%.
- ✓ les techniciens ont effectué 92,10% de prélèvements .
- ✓ nombreux de nos échantillons ont été les eaux de robinet soit 47,37%.
- ✓ les échantillons provenant des communes III et IV sont les plus nombreux soit respectivement 28,95% et 32,89%.
- ✓ la majorité des eaux souterraines a été prélevée en commune VI soit 61,76% E.S.
- ✓ parmi les eaux souterraines, les eaux de forage ont été conformes pour 40,00% de l'effectif en 2000 et 100,00% de l'effectif en 2001 ; contre une non conformité de 60,00% de l'effectif en 2000.

le seul échantillon d'eau de source s'est révélée conforme en 2001.

toutes les eaux de puits ont été non conformes durant l'étude.

- ✓ La majorité des eaux du réseau a été prélevée dans la zone normale soit 67,80%.
- ✓ 65,13% des eaux prélevées par les techniciens et tous les échantillons prélevés à l'usine ont été conformes.
- ✓ Toutes les eaux prélevées par les inconnus ont été non conformes .
- ✓ Les prélèvements au niveau de la station ont été conformes dans 81,25% en 2000 et 71,43% en 2001.
- ✓ En 2000 les eaux conformes de la station ont été majoritaires soit 81,25% que les autres types d'eaux.
- ✓ En 2001 les eaux conformes des forages et robinets ont été majoritaires soit respectivement 100,00% et 78,18% par contre toutes les eaux de puits étaient non conformes.
- ✓ Au terme de notre étude, les échantillons d'eau prélevés ont été conformes dans 66,45% et non conformes pour 33,55%.

La différence de conformité a été significative (  $X^2_c = 48,56 > X^2_t = 15,08$  ), ce qui montre que l'eau analysée est globalement conforme . Mais il faut noter que le taux de non conformité reste élevée, ce qui peut s'expliquer par le fait que :

- pour les approvisionnements sans adduction et les eaux non traitées, la qualité de l'eau et le risque de contamination sont variables selon la saison et les conditions locales.
- les conditions de prélèvement des échantillons ne sont pas toujours respectées.

Ainsi nous formulons les recommandations suivantes.

# **CHAPITRE VI**

## **CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

# Recommandations

## Aux préleveurs

- ✓ Respecter les conditions de prélèvement d'eau.

## Aux autorités du pays

- ✓ Sensibiliser la population sur les dangers pour la santé et l'environnement de dépôts des ordures ménagères, des eaux vannes dans les caniveaux.
- ✓ Mettre au point un système de traitement des eaux artisanales.
- ✓ Elaborer des normes nationales de la qualité des eaux de consommation.
- ✓ Exiger le respect de la distance entre puits et latrines dans les maisons en cours de construction.
- ✓ Faire respecter les règles d'hygiène au niveau des points de forage .
- ✓ Sensibiliser la population sur l'analyse des eaux de puits et de forages avant leur consommation.
- ✓ Analyser l'eau dans le moindre délais après pollution ou constat d'autres anomalies.
- ✓ Encourager des études en matière de la qualité des eaux de consommation

## A la station de pompage et de traitement de l'Energie Du Mali

- ✓ Contrôler la qualité des produits avant leur utilisation après stockage.
- ✓ Faire un jar-test de l'eau chaque fois qu'il y a un changement de la qualité de l'eau (pluie, ouverture du barrage etc. ...)
- ✓ Améliorer le système de traitement par l'insertion d'une phase d'injection de charbon actif avant décantation qui est efficace contre les polluants et micro-polluants organiques.
- ✓ Construire des réservoirs contenant des chicanes ou mettre des chicanes dans les anciens réservoirs; afin que l'eau puisse être bien mélangée avec le chlore.
- ✓ Améliorer la filtration en lavant correctement les filtres chaque fois.

## Au Laboratoire National de la Santé

- ✓ Dresser un programme de prélèvements hebdomadaires.
- ✓ Faire des prélèvements en aval de chaque zone de refoulement en ville ainsi qu'à la station .
- ✓ Préciser les lieux de prélèvements.

## BIBLIOGRAPHIE

1. **SAFEGE**  
Préparation d'un future projet d'AEP de Bamako  
Lot 3- Plan directeur d' A.E.P de Bamako  
Plan d'investissement décennal version définitive octobre 2001.
2. **Ministère des mines de l'énergie et de l'hydraulique.**  
Rapport sur la qualité de l'eau distribuée à Bamako  
Octobre 1998
3. **Ministère des mines de l'énergie et de l'hydraulique N°0516 GMP96**  
Alimentation en eau potable des quartiers périphériques de Bamako, 1996.
4. **Ministère des mines de l'énergie et de l'hydraulique**  
Etude des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable de l'agglomération de Bamako, Mai 1996
5. **O.M.S.**  
Directives de qualité pour l'eau de boisson.  
Vol. 3 : contrôle de la qualité de l'eau de boisson destinée à l'approvisionnement des petites collectivités. Genève 1986
6. **Revue « le Faro N°10 ».** Bamako 2001.
7. **Lanox J.N , Roy M.L**  
Manuel du technicien Sanitaire.
8. **Dejoux C.**  
"Pollution des eaux continentales africaines"  
Editions ORSTOM
9. **Cox. Charles R.**  
Techniques et contrôle du traitement des eaux.  
O.M.S Genève 1967
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. **Drapeau A.J. ; Jankovic S.**  
Manuel de microbiologie de l'environnement  
O.M.S., Genève. (1977)
12. **Allassan 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

13. **Rodier J.**  
L'analyse de l'eau  
Eaux naturelles- eaux résiduelles- eau de mer, 7<sup>ème</sup> édition  
Dunod 1984
  
14. **Semega A.**  
Etude de la qualité des eaux usées de la Tannerie de l'Afrique de l'Ouest.  
Thèse- Pharmacie- Bamako, 2000 N°21.
  
15. **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
  
16. **Mouchet. P& Dauthuille. P**  
Rencontre technique au Mali de la société Energie du Mali et de la société Dégremont  
Bamako, 14 Mars 1997
  
17. **Banque mondiale**  
Technologies appropriées pour l'approvisionnement en eau et l'assainissement.  
**Aspect sanitaires de la gestion des excréta et des eaux ménagères**  
Point des techniques actuelles Mai 1982.
  
18. **Programme international sur la sécurité chimique**  
Directives de qualité pour l'eau de boisson deuxième édition volume 2.  
Critères d'hygiène et documentation à l'appui
  
19. **SERHOS**  
Projet d'Alimentation en eau potable des quartiers périphériques de Bamako, 1996.
20. **Trousse Delagua**  
Manuel de formation en procédure de contrôle de la qualité de l'eau
  
21. **Yatabary N. T. D.**  
Audit d'environnement dans le complexe de production d'eau potable de Bamako (Mali) 1994.
22. **Loi N°02 006/ du 31janvier 2002** portant code de l'eau.
  
23. **O.M.S**  
Surveillance de la qualité de l'eau de boisson. Genève 1977
  
24. **Hydrologie**  
Université Paris Sud  
N°9 – 1964
  
25. **Ballo A., Diallo S., Pallier G., Traoré S.**  
L'eau à Bamako.  
Février – Mars 1990.

# RESUME

La ville de Bamako est alimentée grâce au réseau E.D.M (Energie Du Mali ), aux puits et forages.

Le contrôle régulier de l'eau permet de suivre la qualité de l'eau de façon régulière.

Ces raisons nous ont poussé à entreprendre une étude retro – prospective de 2000 à 2001 réalisée dans la ville de Bamako. Au cours de notre étude, nous avons analysé 52 échantillons de Janvier à Décembre 2000 et 100 échantillons de Janvier à juillet 2001.

Nous nous sommes fixés comme.

## **Objectif général**

- Ø Déterminer les qualités physico-chimiques et bactériologiques des eaux de consommation de la ville de Bamako

## **Objectifs spécifiques**

- Ø Etudier les sources d'approvisionnements d'eaux de consommation de la ville de Bamako.
- Ø Evaluer les méthodes de prélèvement et d'acheminement des échantillons au laboratoire d'analyse.
- Ø Déterminer des éléments présentant des risques de pollution des eaux de consommation.
- Ø Faire une étude comparative de la qualité des eaux de consommation de Bamako en 2000 et en 2001.

Nous avons prélevé des échantillons au niveau des puits, des forages, des zones à la station, réservoirs et robinets.

Pour le prélèvement les récipients utilisés étaient des flacons en verre, en plastiques....  
Tous les échantillons ont été analysés au L.N.S.

Certains paramètres physico-chimiques ont été déterminés par la méthode spectrophotométrique et électronique, d'autres ont subi des dosages par titrage (durété).

Les paramètres bactériologiques ont été déterminés à partir de l'ensemencement sur milieu de culture spécifique ou non.

Nous avons enregistré les résultats suivants :

- ✓ les 152 échantillons ont été repartis en eau souterraine soit 34 échantillons et eau de réseau soit 118 échantillons.
- ✓ Les eaux du réseau ont été majoritaires avec 26,97% en 2000 et 77,63% en 2001.
- ✓ 81,58% des motifs ont été le contrôle périodique.
- ✓ 92,08,1% des récipients utilisés étaient des flacons en verre.
- ✓ 92,76 % des volumes d'eaux prélevés étaient de 1000 ml.
- ✓ Les techniciens ont effectués 92,10% de prélèvement.
- ✓ les eaux de robinet étaient les plus nombreux soit 47,37%.

- ✓ De nombreux échantillons ont été prélevés en communes III et IV soit respectivement 28,95% et 32,89%.
- ✓ La majorité des eaux souterraines ont été prélevées en commune VI soit 61,76% E.S.
- ✓ Parmi les eaux souterraines, les eaux de forage ont été conformes pour 40,00% de l'effectif en 2000 et 100,00% de l'effectif en 2001 ; contre une non conformité de 60,00% de l'effectif en 2000.
- ✓ Le seul échantillon d'eau de source s'est révélée conforme en 2001.
- ✓ Toutes les eaux de puits ont été non conformes durant l'étude.
- ✓ La majorité des eaux du réseau ont été prélevées dans la zone normale soit 67,80%.
- ✓ 65,13% des eaux prélevées par les techniciens et tous les échantillons prélevés à l'usine ont été conformes.
- ✓ Toutes les eaux prélevées par les inconnus ont été non conformes.
- ✓ Les prélèvements au niveau de la station ont été conformes dans 81,25% en 2000 et 71,43% en 2001.
- ✓ En 2000 les eaux conformes de la station ont été majoritaires soit 81,25% que les autres types d'eaux.
- ✓ En 2001 les eaux conformes des forages et robinets ont été majoritaires soit respectivement 100,00% et 78,18 par contre toutes les eaux de puits étaient non conformes.
- ✓ Au cours de notre étude, les échantillons d'eaux prélevées ont été conformes dans 66,45% et non conformes pour 33,55%.
- ✓ La différence de conformité a été significative, ce qui montre que l'eau analysée est globalement conforme.

Mais on note que le taux de non conformité reste élevé, ce qui peut s'expliquer par le fait que :

- pour les approvisionnements sans adduction et les eaux non traitées, la qualité de l'eau et le risque de contamination sont variables selon la saison et les conditions locales.
- Les conditions de prélèvement des échantillons ne sont pas toujours respectées.
- Le problème de la qualité de l'eau de réseau dépend du degré de vétusté du réseau de distribution et du manque d'isolation des conduites.(25)

**Mots clés** : eau – qualité .

# **ANNEXES**





