

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO  
.....  
INSTITUT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
.....

OFFICE NATIONAL DE L'EAU  
ET DE L'ASSAINISSEMENT

Filière : Génie biologique



### MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

Présenté pour obtenir le diplôme de Licence professionnelle en Génie biologique

Option : Agro-alimentaire

Par

Kabako SOULAMA

Thème :

## INFLUENCE DU PH SUR LA CHLORATION DE L'EAU A LA STATION ONEA DE NASSO



Soutenu le 30 avril 2011 devant le jury d'examen composé de :

Président : Professeur Hamidou BOLY, Professeur, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso

Membres : Docteur Saran TRAORE, Directrice de mémoire, ISNV/Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso

Monsieur Adama SANOU, Maître de stage, responsable du laboratoire ONEA/BOBO

## **REMERCIEMENTS ET DEDICACE**

A travers ce mémoire, nous remercions toutes celles et tous ceux qui d'une manière ou d'une autre, ont apporté leurs contributions à la réalisation de ce travail. Nous adressons nos sincères remerciements au Directeur régional de l'ONEA/Bobo pour nous avoir permis d'intégrer l'agence ONEA pour la réalisation de ce stage. Nous disons un merci particulier à Monsieur Adama SANOU, responsable du laboratoire d'analyse régional de l'ONEA/Bobo, qui a bien voulu accepter de nous encadrer. Nous saluons par là la qualité de l'encadrement scientifique, méthodique et le suivi rigoureux et intellectuel dont il nous a fait bénéficier. Nos remerciements vont également à l'endroit de Monsieur Lassina CISSE, responsable de la station, à Monsieur François BAMBARA, responsable de la production, ainsi qu'à Monsieur Soumaïla KONATE et Mademoiselle Rachelle BABINE, pour leur sympathie et leur franche collaboration. On ne saura terminer sans dire merci à tous nos formateurs de l'Université polytechnique de Bobo-Dioulasso et particulièrement aux membres du jury composé du Professeur Hamidou BOLY, Président du jury, du Docteur Saran TRAORE, Directrice de mémoire et de Monsieur Adama SANOU, Maître de stage.

Ce mémoire de fin de cycle est dédié à ma mère, à mon père, à ma sœur Madeleine et à toute la famille SOULAMA.

## Résumé

L'hypochlorite de sodium (eau de javel) est un produit chimique très efficace pour la désinfection bactériologique de l'eau. La réussite de ce traitement passe par la maîtrise d'un certain nombre de paramètres dont le pH, la turbidité, la dose du chlore et le temps de contact ainsi que la température. Dans le cas de la station ONEA de Nasso, les analyses de laboratoire portées sur l'eau brute montrent qu'elle a un pH acide dont la moyenne est de 6. Il s'avère que, le pouvoir germicide du chlore est très faible dans les eaux alcalines ( $\text{pH} > 8$ ). Par contre, dans les eaux acides ( $\text{pH} < 7$ ), la désinfection par la chloration est d'une efficacité remarquable ; mais nous courrons un risque de corrosion du matériel de traitement oxydable. Le pH idéal pour une bonne chloration est celui qui tourne autour de la neutralité. Ainsi, à un tel pH on aura une désinfection efficace tout en minimisant les risques de corrosion. La station de traitement de Nasso qui dispose d'une eau brute acide et agressive, est dans l'obligation de porter une correction au pH afin d'obtenir un bon traitement de l'eau. Cette correction, passe par deux phases. Une première phase d'aération de l'eau brute dans les ruisseaux, où l'eau perd une bonne quantité de son  $\text{CO}_2$  agressif qui lui donnait son aspect agressif. Une seconde phase permet de neutraliser le reste du  $\text{CO}_2$  agressif à travers une filtration de l'eau sur un lit de carbonate de calcium. L'étude expérimentale donne un pH moyen de 7,4 de l'eau à la sortie des filtres. A ce pH, on a un bon traitement bactériologique de l'eau par le biais de la chloration. L'analyse de l'eau du réseau de distribution montre une absence totale de coliformes totaux et fécaux. Cela traduit avec beaucoup de satisfaction l'efficacité du traitement de l'eau par la chloration dans la station ONEA de Nasso.

## **TABLE DES MATIERES**

Remerciements et dédicace .....	I
Résumé.....	II
Avant-propos .....	V
Liste des sigles.....	VI
Liste des figures .....	VII
Liste des photos.....	VIII
Liste des tableaux.....	IX

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
--------------------------	----------

### **CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

I.1- Historique de l'ONEA.....	3
I.2- Historique de l'ONEA/BOBO .....	3
I.3- Statut et forme juridique.....	4
I.4- Objectifs et missions sociales .....	5
I.5 Organigramme de l'ONEA.....	6

### **CHAPITRE II : METHODOLOGIE**

II.1- Présentation du matériel de la section production d'eau potable.....	7
II.1.1- Ressource en eau disponible.....	7
II.1.2- Dispositif de traitement, de pompage et de contrôle.....	7
II.2- Paramètres relatifs aux eaux brutes.....	9
II.2.1- Paramètres physico-chimiques.....	9
II.2.2- Paramètres microbiologiques.....	10
II.3- Méthode de traitement de l'eau à la station ONEA de Nasso.....	11
II.3.1- Généralités sur la chloration de l'eau.....	11
II.3.2- Etude de la demande en chlore de l'eau à la station ONEA de Nasso.....	12
II.4- Traitement appliqué à l'eau à la station ONEA de Nasso.....	13
II.4.1- Captage et adduction .....	13
II.4.2- Aération .....	14
II.4.3- Filtration et minéralisation .....	15
II.4.4- Chloration.....	16
II.5- Détermination d'une plage optimale de pH de l'eau pour une chloration efficace à la station ONEA de Nasso.....	17
II.6- Désinfection de l'eau .....	18

II.6.1- Mode d'action de l'hypochlorite de sodium (NaOCl) dans la désinfection de l'eau .....	18
II.6.2- Facteurs influençant la chloration .....	19
II.6.2.1- Potentiel d'hydrogène (pH) .....	19
II.6.2.2- Dose de chlore et le temps de contact.....	20
II.6.2.3- Turbidité.....	20
II.6.2.4- Température.....	21
II.7- Efficacité de la chloration à la station ONEA de Nasso .....	21
II.7.1- Analyse des paramètres physico-chimiques .....	21
II.7.1.1-Echantillonnage de l'eau.....	21
II.7.1.2- Mesure du pH, de la température et de la conductivité.....	23
II.7.1.3- Mesure de l'alcalinité.....	23
II.7.1.4- Mesure du titre hydrotimétrique (dureté).....	25
II.7.1.5- Mesure du titre calcique (T Ca).....	26
II.7.1.6- Dosage du chlore résiduel.....	27
II.7.1.7- Mesure de la turbidité.....	28
II.7.2- Analyse des paramètres microbiologiques.....	28
II.7.2.1- Technique de filtration.....	29
II.7.2.2- Numération des coliformes.....	30
<b><u>CHAPITRE III : RESULTATS - DISCUSSIONS</u></b>	
III.1- Résultats.....	32
III.2- Discussions.....	37
III.2.1- pH.....	37
III.2.2- Turbidité.....	38
III.2.3- Conductivité.....	38
III.2.4- Titre alcalimétrique complet (TAC).....	39
III.2.5- Chlore résiduel.....	39
III.2.6- Qualité microbiologique.....	39
<b>CONCLUSION ET SUGGESTIONS.....</b>	<b>41</b>
Références bibliographiques.....	43
Sites web.....	44
<b>ANNEXE.....</b>	<b>i</b>

## **Avant-propos**

En septembre 1995, avec la décentralisation de l'enseignement supérieur, il a été transféré à Bobo-Dioulasso, 3 écoles d'enseignement technique supérieur pour former le Centre Universitaire polytechnique de Bobo-Dioulasso en abrégé CUPB. Il s'agit notamment de :

- L'Institut Universitaire de Technologie (IUT)
- L'Institut de Développement Rural (IDR)
- L'Ecole Supérieure d'Informatique (ESI)

Le Centre polytechnique a pris son autonomie au cours de l'année académique 1997-1998 pour devenir la 2<sup>ème</sup> Université publique du Burkina Faso sous la dénomination de l'Université polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB).

En 2005, deux nouveaux instituts ou écoles ont été créés ; il s'agit de l'Institut des sciences exactes et appliquées (ISEA), l'Institut des sciences de la nature et de la vie (ISNV) et enfin en 2006 celle de l'Institut supérieur des sciences de la santé (INSSA). L'ISNV est l'institut où nous exerçons notre formation. Il est constitué de 2 filières à savoir : la filière DEUG-agronomique et la filière Génie biologique option Agro-alimentaire. La filière Génie biologique offre une formation professionnelle aux étudiants en agro-alimentaire sur une durée de trois ans. La formation est donc couronnée d'une licence professionnelle en agroalimentaire à l'issue de la présentation d'un mémoire soutenu devant un jury. C'est dans cette optique que nous avons effectué du 1<sup>er</sup> mars au 31 août 2010 ce stage de fin d'étude dans le laboratoire régional d'analyse de l'ONEA/BOBO.

### Liste des sigles

UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'Education, la science et la culture.

EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique.

ISO: International Organization for Standardization.

SN-citec : Société Nouvelle Huilerie et Savonnerie Citec

SOFIB : Société de Fabrication Industrielle de BARRO et Compagnie

BRAKINA: Brasseries du Burkina Faso

INSD: Institut National de la Statistique et de la Démographie

ECOLOC : programme de relance des économies locales en Afrique de l'Ouest

**Liste des figures**

Figure 1 : Mode d'action de l'acide hypochloreux sur une cellule bactérienne.....19

Figure 2 : Histogramme représentant le pH de l'eau traitée comparé à la norme nationale...34

Figure 3 : Histogramme de la turbidité de l'eau brute et de l'eau traitée comparée à la norme nationale.....35

Figure 4: Histogramme représentant l'état de la minéralisation de l'eau brute et de l'eau traitée.....35



**Liste des photos**

Photo 1 : captage et adduction de l'eau brute de la source ONEA I vers la station.....13  
Photo 2 : Aération de l'eau à contre-courant dans un ruisseleur.....14  
Photo 3 : Filtration et minéralisation de l'eau aérée à travers le lit de carbonate de calcium..15

**Liste des tableaux**

Tableau 1: Plage des valeurs du titre hydrotimétrique en France.....	25
Tableau 2 : Caractéristique physico-chimique et microbiologique de l'eau brute.....	32
Tableau 3 : caractéristique physico-chimique de l'eau après filtration.....	33
Tableau 4 : Résultats d'analyses de l'eau traitée à la station ONEA de Nasso.....	34
Tableau 5 : Normes nationale de potabilité.....	36

## **INTRODUCTION**

L'eau demeure la source vitale la plus essentielle chez l'Homme, les animaux aussi bien que chez les végétaux. Elle est la plaque tournante de toute activité de l'Homme sur la terre. Présente dans les océans aussi bien sur la terre que sous la terre seule une infime partie de cette eau est utilisable pour la vie terrestre. Selon GUILLERET (1998 et 1999), cette précieuse ressource recouvre 70% de l'espace planétaire, et 97% de cette eau se trouvent dans les océans avec une forte salinité, ce qui rend difficile sa consommation par l'Homme et les végétaux terrestres. Deux pour cent du reste se trouvent immobilisés sous forme solide dans les calottes polaires. Seul 1% du total à l'état d'eau douce contenue dans les rivières, les barrages, les lacs, et sous les réserves souterraines est utilisable pour assurer les besoins de l'Homme. L'eau potable reste un droit fondamental pour tous les humains. Pourtant elle est inégalement répartie à l'échelle planétaire. Ainsi la question d'eau potable en qualité et en quantité suffisantes pour tous, demeure une priorité pour de nombreux pays dans le monde entier. Selon le rapport UNESCO/OMS (2010), 87% de la population mondiale soit 5,9 milliards de personnes ont accès à l'eau potable et 13% de la population soit 884 millions manquent d'eau potable. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime à 1,7 million par an les décès dus à la consommation d'eau insalubre. Les objectifs du millénaire pour le développement (OMD) fixés par l'Organisation des Nations Unies (ONU) pour 2015, concernant l'accès à l'eau potable et l'assainissement ne seraient vraisemblablement pas atteints. Dans les pays en voie de développement, le problème est beaucoup plus crucial. Près de la moitié de la population urbaine en Afrique souffre au moins d'une maladie imputable au manque d'eau potable et de service approprié d'assainissement, affirme Coly (2010). La population de la ville de Bobo-Dioulasso était estimée à 435 543 habitants selon les données du dernier recensement de l'INSD (2006). Aujourd'hui, Bobo-Dioulasso compte plus de 600.000 habitants (ECOLOC Bobo-Dioulasso, 2000). Une telle population a besoin d'une eau en quantité et en qualité suffisantes. Alors il s'avère plus que nécessaire d'avoir un dispositif performant pour le traitement de l'eau afin de répondre aux besoins pressants de la population.

Si l'eau souterraine, utilisée le plus souvent pour la boisson est à l'origine, de bonne qualité, il n'en est pas toujours de même après son exploitation, son transport et son stockage. Le traitement de l'eau par le chlore a fréquemment démontré son efficacité. Ainsi, dans les pays européens il a mis un coup d'arrêt aux grandes épidémies, et à l'heure actuelle la chloration demeure la seule solution envisageable dans les pays en voie de développement

dont le Burkina Faso. Cependant la réussite de la chloration est conditionnée par un certain nombre de facteurs dont le pH de l'eau avant son traitement. C'est ainsi que, l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA), s'est donné pour mission d'assurer la production d'une eau en qualité et en quantité suffisantes, d'assurer la promotion de l'assainissement pour satisfaire les besoins des Burkinabè. C'est dans ce cadre que se situe la présente étude intitulée : « Influence du pH sur la chloration de l'eau à la station ONEA de Nasso » dont l'objectif général est de déterminer un pH optimal de l'eau brute afin que le traitement bactériologique au moyen de l'hypochlorite de sodium puisse porter un effet positif. Les objectifs spécifiques consistent à suivre la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau traitée et à évaluer la qualité du traitement appliquée à l'eau à la station de Nasso.

La présente étude a été subdivisée en 3 chapitres dont un premier chapitre nous donne la synthèse bibliographique. Dans le second chapitre il est question de la méthodologie utilisée au cours de notre travail. Enfin le troisième chapitre présente les résultats suivis d'une discussion et des suggestions.

## **CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

### **I.1- Historique de l'ONEA**

Depuis le temps colonial, l'Energie de l'Afrique Occidentale Française (EAOF) assurait à la fois la gestion de l'eau et de l'électricité (SANOU, 2003). En 1960, l'indépendance du pays a apporté beaucoup de changements dans l'entreprise. C'est ainsi qu'en 1960 il fût créée la Société Africaine d'Electricité (S.AF.Elect) chargée de la gestion de l'eau et de l'énergie. Le 1<sup>er</sup> janvier 1970 il eut une séparation notable entre la gestion des tâches relatives à l'eau et l'énergie auparavant assurée par la S.AF.Elect. De cette séparation la Société Nationale de l'Eau (S.N.E) vit le jour et elle fût chargée uniquement de la gestion de l'eau et est indépendante de la S.AF.Elect. La S.N.E bénéficiera du statut juridique de Société Anonyme (S.A) de droit privé.

Le 13 janvier 1970, il eut une signature de convention pour la gestion des services de distribution d'eau entre la S.N.E et l'Etat de la Haute Volta aujourd'hui Burkina Faso. En 1976 une politique nationale de l'eau fût élaborée et en 1977 la gestion de l'eau fût transférée dans le domaine public suivi de la création de l'Office Nationale de l'Eau (O.N.E) le 24 avril 1977 avec un statut d'Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial (E.P.C.I.C). Le 1<sup>er</sup> novembre 1977 les activités de l'O.N.E débutèrent par la gestion du système d'approvisionnement en eau potable. En 1984/1985 il fût ajouté le volet assainissement dans les activités de l'O.N.E, qui deviendra ainsi le 10 octobre 1984 l'Office Nationale de l'Eau et de l'Assainissement (O.N.E.A) et héritera du statut juridique de l'O.N.E le 28 juillet 1985, par le décret n° 85/387/CNR/PRES/Eau.

### **I.2- Historique de l'ONEA/BOBO**

Bobo-Dioulasso, 2<sup>ème</sup> ville et capitale économique du Burkina Faso, est alimentée en eau potable depuis le temps colonial. Les premières installations furent 2 châteaux de 3000m<sup>3</sup> chacun dont le château de la gare ferroviaire (secteur n°9) et celui de la zone cotonnière sis près du théâtre de l'amitié (secteur n°5). Au fil des années d'autres ouvrages virent le jour. En 1948/1951 : construction d'une station de pompage à Nasso et installation d'une canalisation de refoulement. 1958/1959 : réalisation d'un forage dans la cours de la centrale électrique de la SO.NA.B.EL Bobo I et construction d'un réservoir de 1000 m<sup>3</sup> à Bolomakoté (secteur n°5). 1973/1975 : construction d'un château de 500 m<sup>3</sup> à Sarfalao, d'une station de traitement d'eau à Nasso et de 2 réservoirs de 1500 m<sup>3</sup> à Bolomakoté. 1992/1993 : construction d'un château de 1500 m<sup>3</sup> à Lafiabougou (secteur n°20). 1998 /2000 : construction d'une nouvelle station de

traitement de pompage et de relevage à Nasso ; les travaux prirent fin les 23 et 24 mars 2000 et le 14 avril de la même année la nouvelle station a été inaugurée. Le système d'alimentation de la ville en eau potable fût ainsi renforcé. Cette nouvelle station peut être pilotée de quatre manières possibles :

- automatisme pur dit API (Automate Industriel Programmable) ;
- automatisme par relais ;
- semi-automatisme ;
- manuel.

Emplacement géographique des différents châteaux dans la ville de Bobo-Dioulasso :



Plan du secteur n° 22 de Bobo-Dioulasso, localité du château de Bama et celui du secteur n° 21.



Plan du secteur n° 20 (Lafiabougou localité du château de Lafiabougou)



Plan des secteurs n° 9 et 10 et 11 localité du château de Kua.



Plan du secteur n° 17, localité de la station de relevage de Bolomakoté et le château de Sarfalao

### I.3- Statut et forme juridique

Créée par décret N° 85/387/CNR/PRES/Eau du 28/07/1985, l'ONEA bénéficie du statut de société d'état depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1996. Il est placé sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques (MAHRH). Son capital s'élève à 3.080.000.000 F CFA reparté en actions de 10.000 F CFA entièrement détenu par l'Etat Burkinabè. L'ONEA est régit par la loi N°025 /99/AN du 16 novembre 1999, portant réglementation des sociétés à capitaux publiques. C'est une société commerciale immatriculée au Registre de Commerce et de Crédit Mobilier (RCCM) N° BFOUA 2001/B977. Son siège social est situé à OUAGADUGOU. L'ONEA a eu une certification de l'Organisation Française pour la Normalisation (AFNOR) en janvier 2010. La certification couvre un bon nombre de ses activités dont la maîtrise d'ouvrage, le contrôle et la fourniture d'eau potable, la gestion clientèle, la prestation en assainissement, y compris le processus de management et de support associé à l'ensemble des autres agences et états. Pour toutes ses activités, l'ONEA a été évalué et jugé être conforme aux exigences requises par la norme ISO 9001 version 2008 en janvier 2010 (Inf eau, bulletin trimestriel interne de l'ONEA-N°27-mars 2010).

### I.4- Objectifs et missions sociales

Les missions spécifiques de l'ONEA sont:

➤ la création, la gestion et la protection des installations de captage, d'adduction, de traitement et de distribution d'eau potable ;

➤ la création, la promotion, l'amélioration et la gestion des installations d'assainissement collectif, individuel ou autonome pour l'évacuation des eaux usées.

En plus de ces missions spécifiques, l'ONEA s'est fixé 17 objectifs pour l'année 2010 dont:

➤ maintenir un rendement global des installations à 80% ;

➤ accroître le taux d'accès à l'eau potable de 75% à 76% dans les centres existants ;

➤ obtenir un taux de conformité bactériologique de 99% et de 96% pour le taux de conformité physico-chimique.

➤ maîtriser la gestion de tous les processus en vue de maintenir la certification à la norme ISO 9001 version 2008.

L'ONEA peut également participer de manière directe ou indirecte à toutes les activités ou opérations touchant à son secteur d'activité. Il se doit d'améliorer et d'étendre son réseau de distribution d'eau potable pour répondre aux attentes des consommateurs qui sont de plus en plus grandissantes. Cela entre en droite ligne dans son programme "*eau potable pour tous*". C'est ainsi que la société a entrepris la construction des bornes fontaines (BF) qui sont aujourd'hui au nombre de 329 dans la ville de Bobo-Dioulasso et les postes d'eau autonomes (PEA). Elle a également entrepris une politique d'expansion interne ; ce qui a permis d'atteindre aujourd'hui 36 centres de production et de distribution d'eau entièrement équipés de système d'adduction d'eau.

## **1.5- Organigramme**

Au niveau de l'ONEA il existe une structuration suivant un organigramme linéaire (voir annexe 1 et 2) permettant aux différents membres de l'entreprise de visualiser les relations de pouvoir et de mécanisme de coordination formelle. Il permet également aux étrangers de comprendre l'organisation et le fonctionnement de l'entreprise.



## **CHAPITRE II : METHODOLOGIE**

### **II.1- Présentation du matériel de la section production d'eau potable**

#### **II.1.1- Ressources en eau disponibles**

L'ONEA ravitaille la ville de Bobo-Dioulasso en eau potable grâce aux sources naturelles qu'il exploite. Ce sont:

ONEA.I : c'est une source localisée dans la forêt classée du Kou à une vingtaine de kilomètres à l'Ouest de la ville. Elle est munie de 3 pompes électriques de  $750\text{m}^3/\text{h}$ , chacune plongée à 5 m de profondeur. Seules 2 sont fonctionnelles avec un débit de  $1350\text{m}^3/\text{h}$ . La troisième est en réserve. Les forages F1 et F2: ils ont une profondeur de 200 m chacun et équipés d'un tubage en acier inoxydable et de deux pompes électriques d'un débit maximal de  $250\text{m}^3/\text{h}$  chacune, plongé à 24m de profondeur pour F1 et de 36m pour F2. L'ONEA dispose en plus de ces ressources, d'autres ressources inexploitées : l'ONEA II et les 2 sources éventuelles voisines de la Guinguette. Sur le plan énergétique, la station est dépendante à 100% de la Société Nationale d'Electricité du Burkina (SONABEL).

#### **II.1.2- Dispositif de traitement, de pompage et de contrôle**

- **La station de Nasso** est dotée d'une station de traitement et d'une station de pompage.
  - ✓ La station de traitement d'eau brute est équipée de :
    - six ruisseleurs pour l'aération de l'eau ;
    - six filtres contenant du haut en bas du carbonate de calcium et du sable ;
    - trois pompes d'eau de lavage d'une capacité de  $450\text{m}^3/\text{h}$  et 2 compresseurs d'air de lavage ;
      - deux électrolyseurs pour la production de l'hypochlorite de sodium (eau de javel, NaOCl) à base du sel de cuisine (NaCl) ;
      - six pompes d'injection de NaOCl pour la désinfection des eaux brutes après filtration ;
      - un magasin de stockage du carbonate de calcium.
  - ✓ La station de pompage a pour but de stocker l'eau traitée et de la pomper vers la ville. Elle est munie :
    - d'une bache de stockage d'une capacité de  $1500\text{m}^3$  ;
    - de 4 pompes de surface avec un débit de  $385\text{m}^3/\text{h}$  chacune et qui refoulent l'eau stockée de la bache vers le réservoir de Bolomakoté ( $4000\text{m}^3$ ) et vers le château de Lafiabougou ( $1500\text{m}^3$ ) ;

o de 3 pompes de surface d'un débit de 350 m<sup>3</sup>/h chacune qui refoulent l'eau vers le réservoir de Bama (3000 m<sup>3</sup>).

- **La station de relevage de Bolomakoté** dispose de 3 réservoirs dont 2 de 1500 m<sup>3</sup> et 1 de 1000 m<sup>3</sup>; 5 pompes dont 3 de 185 m<sup>3</sup>/h pompant l'eau vers le château de Kua (1500 m<sup>3</sup>) et 2 de 165 m<sup>3</sup>/h chacune, refoulant l'eau vers le château de Sarfalao (500 m<sup>3</sup>).

- **La station de relevage de Bama**, installée en 2000 a une capacité de 3000 m<sup>3</sup>. Elle ravitaille beaucoup de localités de la ville en eau potable dont les secteurs n°9, 10, 12, 13, 21 et 22. Les châteaux d'eau de la zone cotonnière et de la gare ferroviaire sont hors services.

- **Le laboratoire de contrôle de qualité de l'eau** sis à Bolomakoté secteur n° 5, près de l'Université Catholique de l'Afrique de l'Ouest/Unité Universitaire de Bobo-Dioulasso (U.C.A.O/U.U.B), compte:

❖ une section chimie générale I qui a abrité l'analyse des paramètres physico-chimiques dont le pH, le chlore résiduel, la conductivité, le titre alcalimétrique complet, la dureté de la présente étude. Dans cette section, les équipements de laboratoires utilisés étaient : un pH-mètre, la verrerie (tube à essais, pipettes, erlenmeyer, fioles jaugées, bouteilles, burette), un réfrigérateur, les balances analytiques, un agitateur magnétique.

❖ une section chimie générale II équipée d'un spectrophotomètre pour l'analyse des différents ions (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>...), un turbidimètre, une étuve.

❖ une section microbiologique chargée de l'analyse des paramètres bactériologiques. Dans cette section, les matériels utilisés sont constitués d'un réfrigérateur, des boîtes de pétri, 2 étuves, un autoclave, un distillateur, une pompe à vide, une rampe de filtration, les membranes de filtration.

❖ une section de contrôle des eaux usées. Les eaux usées rejetées par les industries de la ville de Bobo-Dioulasso telles que la BRAKINA, la SN-citec, la SOFIB, l'abattoir frigorifique et l'hôpital Sourou SANOU sont collectées dans un réseau d'égout jusqu'à la station de traitement par lagunage, sis à Dogonan. Ces eaux transitent dans deux bassins anaérobies en parallèles puis dans un bassin facultatif en série avec les deux autres. Grâce au pouvoir oxydant des microorganismes on assiste à une épuration de ces eaux usées. Dans cette section les paramètres de pollution ont été analysés afin de voir si les industries respectent les normes de rejet dans le réseau d'égout ou si les eaux issues du bassin facultatif respectent les normes de rejet dans la nature.

❖ une base de données qui permet d'enregistrer, de stocker et de traiter les résultats des analyses. Au sein de la station, existe un mini laboratoire de chimie générale, qui vérifie

quotidiennement et à longueur de journée le taux de chlore résiduel, le pH et la température de l'eau refoulée vers la ville.

## II.2 – Paramètres relatifs aux eaux brutes

### II.2.1- Paramètres physico-chimiques

Les eaux captées et traitées à la station ONEA de Nasso sont essentiellement d'origine souterraine. Elles peuvent cependant contenir certains minéraux tels que les ions  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Mn}^{2+}$  à des concentrations souvent indésirables. Des analyses sont effectuées quotidiennement sur l'eau brute pour la rendre potable. Ainsi un échantillonnage quotidien est effectué au niveau des différentes sources. Il consiste à prélever 1000ml d'eau dans un flacon en verre généralement le matin entre 8h et 11h 30mn. Le laboratoire fait ces prélèvements le matin afin de pouvoir mener toutes les analyses quotidiennes relatives à l'eau avant la fin de la journée. Il est important d'analyser les échantillons les 24h qui suivent le prélèvement car la qualité microbiologique de l'eau peut subir une modification. Les échantillons sont conservés dans une glacière et acheminés au laboratoire. Le pH, la température, la conductivité, la turbidité, le titre hydrotimétrique, le titre alcalimétrique complet et le titre alcalimétrique simple ont été évalués. En plus des analyses physico-chimiques, des analyses microbiologiques ont été faites sur l'eau brute.

**La source ONEA I :** L'eau de cette source ne présente aucun risque quant à sa teneur en fer et en manganèse. Cependant elle a une forte teneur en  $\text{CO}_2$  (160 mg/l); ceci contribue à un abaissement de son pH (5,55 à 5,80), d'où son aspect agressif. Cette eau présente aussi une faible conductivité dont la moyenne est de 52,6  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Ceci traduit sans doute sa faible teneur en sels minéraux dissouts. Le paramètre turbidité est fort appréciable car l'eau captée est limpide avec une turbidité moyenne de 0,17 NTU (Unité Néphélométrique de Turbidité) alors que la norme est inférieure à 5 NTU. L'agressivité de cette eau présente un véritable problème pour la réussite du traitement à venir. En effet, à un tel pH, cette eau est susceptible de subir une désinfection rapide et efficace au moyen de l'hypochlorite de sodium ( $\text{NaOCl}$ ). Mais on développe du même coup un gros risque de corrosion de toutes les parties métalliques de l'installation, notamment la tuyauterie qui est en acier. De plus, pendant la phase de minéralisation de l'eau par le biais de sa filtration à travers le lit de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ), la consommation de la matière filtrante s'accroît. Cela s'explique par le fait que l'eau agressive est plus prédisposée à dissoudre le  $\text{CaCO}_3$ . Alors, il est nécessaire d'apporter une correction au pH de l'eau avant sa désinfection.

Si au cours de la correction du pH, celui-ci atteint 8, on aura à traiter une eau incrustante capable de réagir avec le  $\text{CaCO}_3$  en produisant un dépôt de calcaire appelé tartre. De plus on note une diminution du pouvoir germicide du chlore même si la dose est élevée. La condition essentielle pour réussir le traitement de l'eau, passe par la maîtrise de son pH. Pour obtenir une désinfection rapide et efficace de l'eau brute au moyen de l'hypochlorite de sodium et une protection du matériel tout en faisant des économies en carbonate de calcium, il convient de traiter l'eau à des valeurs de pH proche de la neutralité. En principe, nous ne devrions pas rencontrer de difficultés pour faire varier le pH de cette eau car elle a un faible titre alcalimétrique complet (TAC) ainsi que le titre hydrotimétrique (TH). Le TH et le TAC représentent le pouvoir tampon de l'eau par rapport au pH. Alors, plus le TAC est faible et plus il sera facile de faire varier le pH et inversement.

**Les forages F1 et F2 :** les caractéristiques physico-chimiques de l'eau de ces forages ne diffèrent pas trop de celles de l'eau provenant de la source ONEA I. A un pH moyen de 6,20 les eaux sont toujours agressives et sont également chargées en  $\text{CO}_2$  agressif. Le forage F1 est légèrement conducteur avec une conductivité de  $95 \mu\text{s}/\text{cm}$  tandis que le forage F2, présente une conductivité de  $113 \mu\text{s}/\text{cm}$ . Cela est sans doute dû au fait que le sol traversé par l'eau est d'une bonne composition minéralogique, indice d'une minéralisation acceptable de cette source. La turbidité moyenne de 0,07NTU de ces 2 forages est appréciable.

### II.2.2-Paramètres microbiologiques

L'eau souterraine est en proie à la pollution insidieuse qui est difficile à déceler. En ce qui concerne le cas de Nasso, l'eau ne court aucun risque de pollution par des métaux lourds tels que le plomb, l'arsenic, le chrome, l'aluminium...

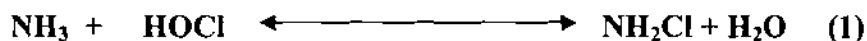
Par contre, la présence de certains indicateurs tels que les coliformes totaux et fécaux notamment *Escherichia coli* révèlent la présence possible des germes pathogènes dans l'eau brute. La recherche de ces germes témoins se fait par la méthode de filtration. L'échantillonnage s'est fait dans des bouteilles stérilisées de 250ml. Un échantillon de 100ml a été filtré à travers une membrane filtrante dont le diamètre des pores mesure  $0,45 \mu\text{m}$ . Ensuite la membrane est déposée dans une boîte de pétri contenant un milieu nutritif, le milieu chromocult coliforme Agar ES. L'incubation a été faite à  $36^\circ\text{C}$  pendant 24h. Les coliformes fécaux présumés se présentent sous forme de colonies bleues à violettes. Toutes les colonies de rouge à saumon et de bleue à violette représentent les coliformes totaux. Les différents coliformes présumés subissent un test de confirmation afin d'obtenir le résultat

définitif de l'analyse microbiologique. La mise en œuvre de ces germes témoins dans l'eau est beaucoup plus facile, plus rapide et plus économique. Ces germes témoins sont plus résistants aux agents de désinfection que les germes pathogènes. Cependant leur absence ne signifie pas que l'eau est exempte de microorganismes, mais simplement que l'eau considérée ne contient pas de bactéries pathogènes.

## II.3- Méthode de traitement de l'eau à la station ONEA de Nasso

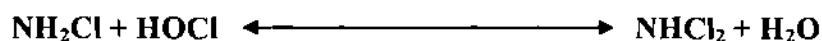
### II.3.1- Généralités sur la chloration

De nombreuses méthodes existent pour la désinfection de l'eau dont la désinfection au moyen des rayons ultra violets, de l'ozone, du permanganate de potassium... De toutes ces méthodes, le traitement par la chloration demeure la plus facile et la plus utilisée. En effet, le chlore et ses composés, tels que l'hypochlorite de sodium (eau de javel) et l'hypochlorite de calcium sont relativement faciles à obtenir avec un prix abordable sur le marché et leur action stérilisante est durable (effet rémanent). Le chlore est en fait un désinfectant efficace utilisé pour réduire ou éliminer les microorganismes tels que les bactéries et les virus présents dans l'eau. Son action rémanente assure une protection de l'eau contre toute éventuelle contamination dans le réseau de distribution. L'ajout du chlore à l'eau de boisson a permis de réduire considérablement les risques de transmission des maladies hydriques telles que le choléra, la fièvre typhoïde et les gastro-entérites. En plus d'agir comme un désinfectant, le chlore est également un puissant oxydant qui oxyde certains minéraux tels que le fer, le manganèse, le plomb entraînant ainsi leur élimination par précipitation. Le chlore permet aussi d'éliminer l'ammoniaque et les matières organiques qui se trouvent en excès dans l'eau, surtout dans les eaux de surface où leur concentration est élevée. Au cours des réactions qui se produisent, du chlore combiné se forme comprenant les chloramines et les organohalogénés connus sur le nom de trihalométhane (THM) qui, à forte teneur sont cancérigènes. Les équations réactionnelles sont les suivantes:

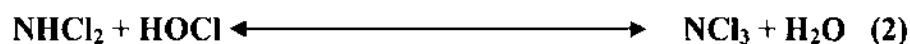


**Ammoniaque + acide hypochloreux**  $\rightleftharpoons$  **monochloramine + eau.**

Les chloramines sont des composés organiques azotés possédant un groupe -NCl qui après hydrolyse libèrent l'acide hypochloreux selon l'équation:



**Monochloramine + acide hypochloreux**  $\rightleftharpoons$  **dichloramine + eau**



**Dichloramine + acide hypochloreux**  $\rightleftharpoons$  **trichloramine + eau**

Ces réactions se poursuivent jusqu'à la formation de nitrate qui reste dans l'eau ( $\text{NO}_3^-$ ), de l'azote ( $\text{N}_2$ ) et du trichlorure d'azote ( $\text{NCl}_3$ ). Ces deux derniers composés sont volatiles. La présence de chloramines dans l'eau potable est liée à une insuffisance de chloration lors du traitement des eaux brutes. En ce qui concerne la station de Nasso, les risques de présence des trihalométhanes (THM) dans l'eau sont minimales. Ceci s'explique par le fait que l'eau brute est de source souterraine dont la teneur en ammoniacale et en matière organique est très faible. Une filtration de l'eau à travers des filtres à charbon actif contribue à réduire fortement la concentration des THM. L'action du chlore peut être influencée par des facteurs tels le pH de l'eau, la température, le temps de contact entre l'acide hypochloreux et les microorganismes et enfin la turbidité.

### II.3.2- Etude de la demande en chlore de l'eau à la station ONEA de Nasso.

Pour avoir une désinfection efficace d'une eau, il convient d'abord de mener une étude de sa demande en chlore. Ceci est très important car à travers cette étude, on parvient à déterminer exactement, la quantité de chlore qu'il faut pour détruire une flore microbienne contenue dans une quantité d'eau donnée. Cette quantité de chlore doit assurer l'oxydation des matières organiques et inorganiques qui peuvent éventuellement s'y trouver. Pour une action rémanente, un taux de traitement en chlore a été fixé. Ce taux de traitement correspond à la quantité de chlore exacte, qu'il faudra pour désinfecter l'eau, tout en gardant un taux de chlore résiduel, qui assurera sa protection dans le réseau de distribution, jusqu'au robinet du consommateur.

**Protocole expérimental :** A un échantillon de 1000ml d'eau brute après filtration a été ajouté 1ml d'hypochlorite de sodium ( $\text{NaOCl}$ ). Après avoir bien homogénéisé le mélange, 100ml d'échantillon a été prélevé immédiatement et dosé en vue de déterminer sa teneur en chlore résiduel. Pour cela, on a versé 5 ml de tampon ( $\text{pH} = 6,5$ ) et 5 ml de DPD ( $\text{N,N}$ -Diéthyl-PhénylèneDiamine) dans un erlenmeyer aux quels on a ajouté 100ml d'échantillon ; le mélange devient rouge. Le tout a été titré avec la solution de sulfate d'ammonium et de fer (sel de Mohr) à  $2,82\text{mmol/l}$ . Soit  $V_1$  le volume de la solution de sel de Mohr versée pour atteindre la décoloration. Dans le cas précis  $V_1 = 5,95$  ml. Après 1 heure l'échantillon a été de nouveau dosé. Le volume  $V_2$  de la solution de sel de Mohr versé pour parvenir à la

décoloration est 5,75 ml. Les titres en chlore résiduel dans les deux cas a été déterminé en partant de la relation suivante :  $N1 \cdot V1 = N2 \cdot V2$

Soient : N1, la normalité du chlore résiduel ; V1, le volume de l'échantillon (100ml) ; N2, la normalité de la solution de sulfate d'ammonium et de fer (2,82mmol/l) et V2, le volume de solution de Fer II versé.

$$N1 = (N2 \cdot V2) / V1.$$

## II.4-Traitement appliqué à l'eau à la station ONEA de Nasso

### II.4 .1- Captage et adduction

Les eaux traitées à la station de Nasso sont captées à la source ONEA I et au niveau des deux forages F1 et F2. Au niveau de la source ONEA I, la station dispose de 3 pompes électriques immergées à 5m de profondeur avec un débit de 750 m<sup>3</sup>/h chacune.



Photo1 : Captage et adduction de l'eau brute de la source ONEA I vers la station de traitement (station de traitement d'eau de Nasso)

Quant aux deux forages ils sont munis chacun d'une pompe électrique de 250m<sup>3</sup>/h. A l'entrée de la station de traitement, les conduites de refoulement d'eau des forages F1 et F2 se raccordent à la conduite d'eau de la source ONEA I. Ainsi, les eaux de ces différentes sources se mélangent. L'adduction des eaux brutes vers la station de traitement se fait en fonction du niveau de remplissage du réservoir intermédiaire qui est de 1500m<sup>3</sup>. Pour cela, des clapets anti-retour sont placés au niveau de chaque conduite. Des ventouses et des soupapes assurent l'évacuation de l'air dans les conduites et empêchent les coups de dépression en cas d'arrêt des pompes.

## II.4.2- Aération

L'aération consiste à réduire la teneur en  $\text{CO}_2$  de 80 à 85% de l'eau brute. Théoriquement, nous obtenons 20 mg de  $\text{CO}_2$  par litre d'eau en partant d'une valeur de 160mg/l. Cela se passe dans les ruisseleurs. En effet les eaux brutes parvenant au niveau de la station avec un débit total de 1850  $\text{m}^3/\text{h}$  se répartissent dans 6 unités identiques appelées ruisseleurs en raison de 308  $\text{m}^3/\text{h}$  chacun. Chaque ruisseleur de forme cylindrique est doté d'une couche d'anneau permettant ainsi une diminution de la vitesse des eaux à l'arrivée. La conception des ruisseleurs leurs dotait d'un ventilateur radial chacun permettant ainsi une aération à contre-courant des eaux qui y sont pulvérisées. Mais il s'est avéré que ces eaux, après filtration à travers le lit de carbonate de calcium, sortaient avec un pH élevé environ 8. Ceci contribuait à une forte réduction du pouvoir germicide du chlore pendant la phase de désinfection. Alors, pour ramener le pH autour de la neutralité après filtration, il a été convenable de mettre en arrêt l'aération par ventilation de l'eau dans trois ruisseleurs (n° 4, 5 et 6). Elle a été maintenue dans les trois autres ruisseleurs (n°1, 2 et 3). Dans les ruisseleurs où la ventilation est à l'arrêt, l'aération de l'eau se fait par un échange avec le courant d'air ambiant contenu dans les ruisseleurs. Ceci est possible car nous avons une ouverture au niveau du toit de chaque ruisseleur. Les eaux sortent des ruisseleurs partiellement désacidifiées avec un pH acide environ 6. Elles se répartissent dans les filtres correspondants en suivant les rigoles de distribution placées transversalement en-dessous de chaque ruisseleur. La rigole est en fait un petit canal creux par lequel s'écouler l'eau.



Photo 2 : Aération de l'eau à contre-courant dans un ruisseleur (station de traitement d'eau de Nasso).



### II.4.3- Filtration et minéralisation

➤ **Filtration** : L'objectif de la filtration est de retenir une grande partie des matières en suspension. Elle se fait à travers une couche de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). Le  $\text{CaCO}_3$  est remplie à 1 mètre de hauteur en partant du bas dans les 6 filtres à béton ouvert correspondant exactement aux 6 ruisseaux. En-dessous de cette couche filtrante, se trouve du gravier siliceux remplie à 20cm de hauteur. En-dessous de tout ce dispositif filtrant se trouve tapir au fond une tubulure en polyéthylène (60 tubulures/m<sup>2</sup>). Ces tubulures servent aussi à retenir tous les corps étrangers et la boue. Tous les 6 filtres reçoivent d'une manière mensuelle un chargement en carbonate de calcium. Ils sont munis d'un système automatique permettant leur rinçage après deux semaines de filtration. Il s'agit d'un rinçage à contre-courant combinant, eau et air. Les eaux de lavage sont collectées dans un bassin aménagé hors de la station.

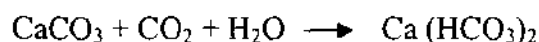
➤ **Minéralisation** : Les eaux sortant des ruisseaux sont partiellement désacidifiées. Déversées dans les filtres à béton ouvert pour filtration, elles subissent une minéralisation. On note une élévation de leur teneur en sel minéraux et une réduction de leur teneur en  $\text{CO}_2$ , grâce à une réaction entre le  $\text{CO}_2$  agressif et le  $\text{CaCO}_3$ . Ces réactions mènent à l'équilibre calco-carbonique de l'eau. A cet équilibre, la teneur en  $\text{CO}_2$  libre de l'eau est appelée "  $\text{CO}_2$  équilibrant".

Si la concentration réelle en  $\text{CO}_2$  devient supérieure à celle du "  $\text{CO}_2$  équilibrant", l'excès est appelé "  $\text{CO}_2$  agressif" et peut dissoudre le calcaire ; une telle eau est agressive. La dissolution du calcaire se poursuit jusqu'à obtention de l'équilibre.

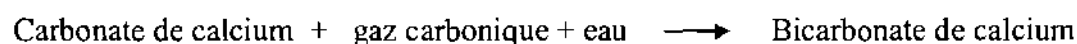


Photo 3 : Filtration et minéralisation de l'eau aérée à travers le lit de carbonate de calcium (station de traitement d'eau de Nasso).

Si la concentration en CO<sub>2</sub> est inférieure à celle du CO<sub>2</sub> équilibrant, il y aura précipitation des carbonates sous forme de tartre ; donc formation d'une eau incrustante. A travers ces 2 points, nous pouvons dire qu'une eau équilibrée est une eau qui mise en contact avec du calcaire garde ses caractéristiques intactes. C'est à dire que, la présence de calcaire dans l'eau ne provoque aucune réaction chimique qui puisse influencer les teneurs de l'eau en calcium, en CO<sub>2</sub> libre, en bicarbonates et en carbonates. A Nasso, L'équilibre de l'eau résulte de l'équilibre calco-carbonique selon la réaction chimique suivante :



C'est à dire plus simplement :



#### II.4.4- La chloration

La chloration est la purification de l'eau au moyen de l'hypochlorite de sodium (NaOCl) communément appelé "eau de javel " après filtration. Le chlore contenu dans cette solution, a des pouvoirs germicides qui assurent la désinfection de l'eau. Il est aussi un puissant oxydant qui permet l'oxydation de certains composés minéraux tels que le fer dissous, le manganèse dissous, l'arsenic dissous, l'hydrogène sulfuré, les nitrites. Le chlore réagit avec les substances organiques présentes dans l'eau telles que le carbone organique dissous, les tanins, les lignines et la matière azotée. Au cours de ces réactions, nous avons la formation de chlore combiné comprenant les organohalogénés et les chloramines. La station de traitement de Nasso dispose de 2 électrolyseurs de type OSEC pour la production de NaOCl. En effet, cette solution de NaOCl est produite à partir de la décomposition électrolytique d'une saumure obtenue par mélange d'eau adoucie avec du sel de cuisine (NaCl). Le mélange se fait selon le rapport de 3,5kg de sel par litre d'eau adoucie. La cellule de l'électrolyseur qui travaille de façon continue produit du dihydrogène (H<sub>2</sub>) et du NaOCl ayant une teneur en chlore actif de 5 à 7g/l. Cette solution est stockée dans une bache. L'injection dans l'eau se fait directement dans la conduite principale d'eau filtrée grâce aux 6 pompes d'injection d'hypochlorite de sodium. Le dosage se fait en fonction du débit d'eau arrivant à la station. Le taux de traitement en chlore est fixé à 1,5 mg/l et un automate programmé permet de régulariser et de maintenir le dosage. Ainsi par exemple, la mise en arrêt des pompes électriques des 2 forages entraine automatiquement l'arrêt de 2 pompes doseuses. Ainsi quel qu'en soit le débit d'eau qui arrive à la station, le taux de traitement en chlore est respecté.

## II.5- Détermination d'une plage optimale de pH de l'eau, pour une chloration efficace à la station ONEA de Nasso

Le chlore est l'un des produits chimiques dotés d'un pouvoir bactéricide puissant à effet rémanent dans l'eau. Il est très efficace pour la désinfection de l'eau. Cependant son action est fortement influencée par le pH, la turbidité de l'eau et bien d'autres facteurs tels que la température de l'eau et le temps de contact entre les microorganismes et le chlore. Dans l'eau, le chlore réagit en établissant un équilibre acide/base entre l'acide hypochloreux et l'ion hypochlorite ( $\text{HOCl}/\text{ClO}^-$ ). L'acide hypochloreux est l'élément du chlore le plus actif sur les microorganismes. Cependant cet équilibre est fortement influencé par le pH de l'eau.

Si le pH est acide (5 à 6) ; nous aurons une forte teneur en acide hypochloreux environ 100 %. Dans ce cas, la désinfection sera rapide et efficace. Mais à un tel pH, on développe un grand risque de corrosion, des matériaux d'installation de traitement, faits en matière oxydable, telles que le fer et l'acier. On note aussi, une consommation accrue du carbonate de calcium par l'eau pour atteindre l'équilibre calco-carbonique. C'est le cas exact que présente la station de traitement de Nasso.

Si le pH de l'eau est basique (8), on aura peu de production d'acide hypochloreux RODIER, 1996. Ceci influe directement sur la réussite du traitement car il faudra augmenter la dose de traitement en chlore ainsi que le temps de contact. Une telle eau pose 2 problèmes :

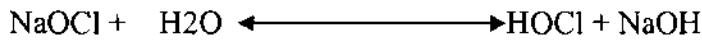
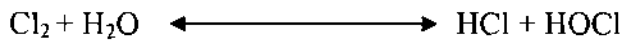
- l'inefficacité du chlore dans la désinfection ;
- l'entartrage des tuyauteries par le dépôt de calcaire pendant la phase d'équilibre de l'eau.

Pour obtenir une désinfection rapide et efficace au moyen de l'hypochlorite de sodium, et faire des économies en matière filtrante ; il serait raisonnable de traiter l'eau à des pH proches de la neutralité. Au cours de la chloration d'une eau à un tel pH, il y a un équilibre entre l'acide hypochloreux ( $\text{HOCl}$ ) et l'ion hypochlorite ( $\text{ClO}^-$ ). Dans cette condition, on assiste à un léger entartrage des conduites ce qui les protège ainsi contre la corrosion. C'est dans cette optique que la station de traitement de Nasso œuvre afin de ramener le pH de l'eau agressive autour de la neutralité avant toute chloration. Le dispositif de traitement mis en place à savoir l'aération, la filtration et la minéralisation permet d'obtenir une eau équilibrée résultant de l'équilibre calco-carbonique avec un pH de 7,40. A ce pH, il y a une chloration efficace tout en assurant une protection du matériel métallique contre la corrosion. De même, des économies en carbonate de calcium sont effectuées pendant la phase d'équilibre calco-carbonique de l'eau.

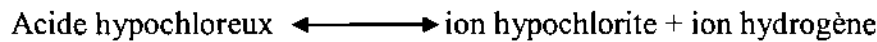
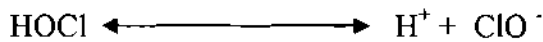
## II.6- Désinfection de l'eau

### II.6.1- Mode d'action de l'hypochlorite de sodium (NaOCl) dans la désinfection de l'eau

Le chlore tue les microorganismes pathogènes, pendant un temps de contact suffisant. Cependant, aux doses habituelles il demeure inefficace contre les kystes amibiens et les œufs de certains parasites intestinaux. Il a également plusieurs rôles, secondaires mais importants : l'oxydation du fer, du manganèse, du sulfure d'hydrogène et la destruction de certains composés organiques. L'action du chlore est fonction du pH de l'eau avec laquelle il est en contact. Lorsque du chlore est introduit dans l'eau sous forme gazeuse ( $\text{Cl}_2$ ), d'hypochlorite de sodium ou d'hypochlorite de calcium, on assiste à la formation, de l'acide chlorhydrique (HCl) et de l'acide hypochloreux ou chlore actif.



L'acide hypochloreux subira une hydrolyse en fonction de l'équilibre suivant :



L'ion hydrogène ( $\text{H}^+$ ) est caractéristique du pH ; toute modification du pH influe sur le rapport entre HOCl et  $\text{ClO}^-$ . Dans l'eau, plus le pH est acide (pH bas et  $[\text{H}^+]$  élevée); plus la concentration en HOCl est forte et inversement. C'est essentiellement l'acide hypochloreux qui est le composé le plus actif dans les mécanismes de la désinfection. C'est pourquoi, il est aussi appelé "chlore actif". Il est majoritaire en milieu acide. L'ion hypochlorite est peu oxydant et peu bactéricide. L'acide hypochloreux est un bactéricide puissant. Il ne porte pas de charge électrique et sa forme ressemble à celle de l'eau. La membrane cytoplasmique de la cellule bactérienne le laisse donc passer en même temps que l'eau, contrairement au  $\text{ClO}^-$  qui ne pénètre pas du fait de sa charge négative. En fait, le  $\text{ClO}^-$  est repoussé car l'intérieur de la membrane cytoplasmique est aussi chargée négativement. A l'intérieur de la cellule, HOCl bloque toute activité enzymatique, et entraîne ainsi la mort de la cellule.

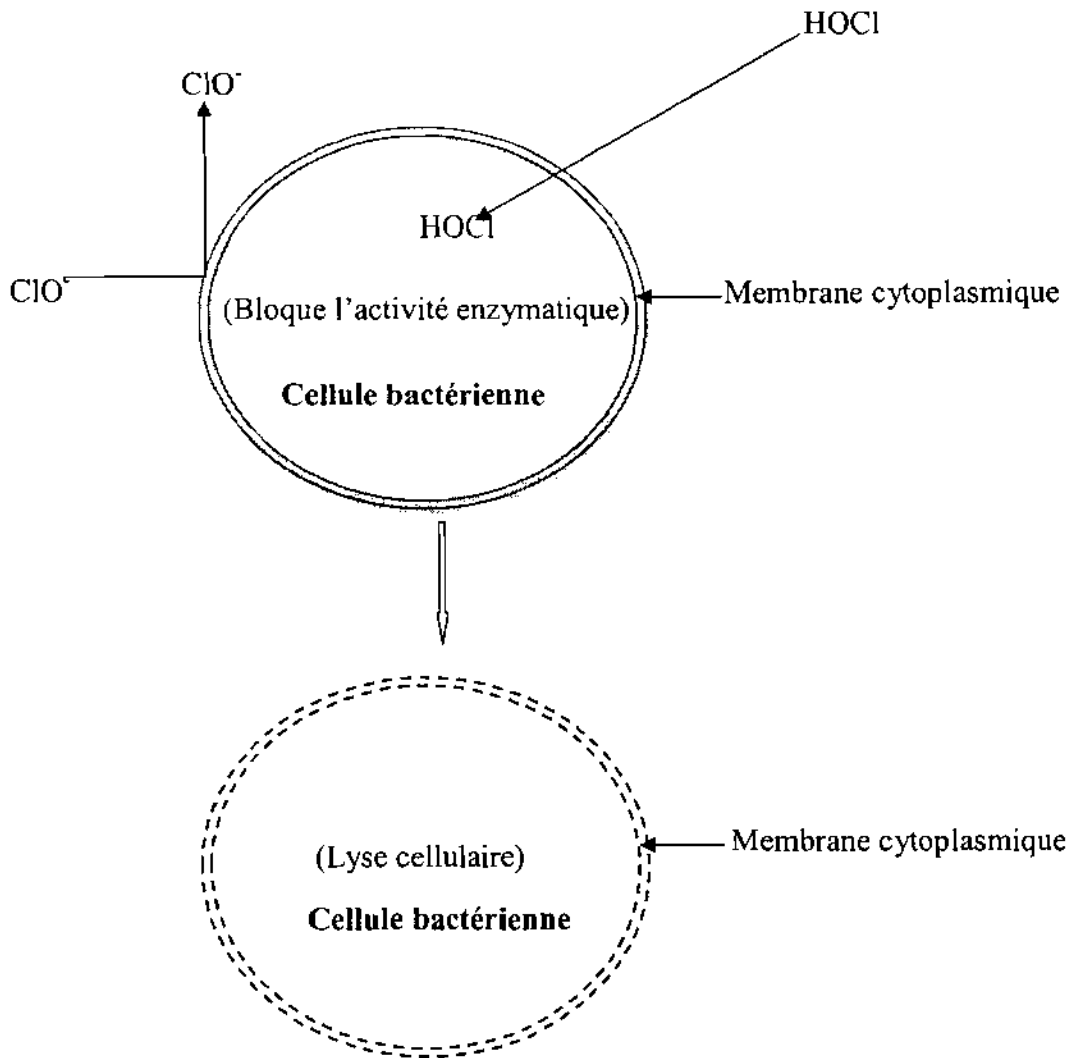


Figure 1 : Mode d'action de l'acide hypochloreux sur une cellule bactérienne

La quantité de chlore nécessaire dépend de la nature des composés à détruire et leur concentration. Suivant les formes que prennent les microorganismes, le chlore est plus ou moins actif. Une concentration de 1/10 de chlore actif (HOCl) permet de détruire 99 % des bactéries témoins telles qu'*Escherichia coli* en moins de 2 minutes de temps de contact, alors qu'un temps de contact de 100 minutes sera nécessaire en présence de ClO<sup>-</sup> (GRONDIN ; 2005). L'acide hypochloreux a une activité 100 fois supérieure à celle de l'ion hypochlorite. Ce pendant 4 paramètres influencent fortement l'efficacité de la chloration : le pH, la dose de chlore et le temps de contact, la turbidité et la température.

## II.6.2- Facteurs influençant la chloration

### II.6.2.1- Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est un paramètre clé dans la désinfection. Dans l'eau, il existe un équilibre entre HOCl, H<sup>+</sup> et ClO<sup>-</sup>. La dissociation de HOCl en ions H<sup>+</sup> et ClO<sup>-</sup> est conditionnée par le pH de l'eau.

Si le pH est acide ; c'est à dire que le milieu est concentré en ion hydrogène H<sup>+</sup> la dissociation de HOCl sera donc négligeable. Ainsi nous pouvons avoir 100 % de chlore actif (HOCl).

Si le pH est basique c'est-à-dire pauvre en ions H<sup>+</sup> ; la réaction de dissociation de HOCl sera accrue. Ainsi on aura un milieu pauvre en HOCl par exemple avec un pH = 9 ; on a 10% de HOCl, 90 % de ClO<sup>-</sup> (GRONDIN ; 2005).

Ceci influence négativement sur la désinfection de l'eau car HOCl qui est l'élément le plus actif au cours de la désinfection est en faible quantité.

### **II.6.2.2- Dose de chlore et le temps de contact**

La variation du temps de contact, permet de jouer sur la dose requise de chlore pour une désinfection efficace. Pour un pH donné, si on augmente la dose de chlore, ainsi on pourra diminuer le temps de contact. Par contre si on diminue la dose, il faudra augmenter le temps de contact. De même le temps de contact varie en fonction du pH. A Nasso, l'étude de la demande en chlore a révélé qu'il faut 0,20mg de chlore par litre d'eau. Le taux de traitement étant fixé à 1,50mg/l, il faudra un temps de contact minimum de 30 minutes pour obtenir une eau bien désinfectée.

### **II.6.2.3- Turbidité**

La présence de matières en suspensions (MES) favorise la protection des microorganismes contre l'action biocide du chlore. La mesure de la turbidité exprimée en Unité Néphélométrique de Turbidité (NTU), donne une idée sur la teneur des matières en suspensions. Le pouvoir germicide du chlore diminue fortement quand la turbidité de l'eau est supérieure à 5 NTU. Dans ces conditions, les bactéries pathogènes et celles d'origine fécale s'introduisent dans ces particules en suspension et ainsi, elles se protègent contre l'action désinfectante du chlore. L'OMS recommande qu'avant tout traitement, la turbidité moyenne de l'eau soit de 1 NTU mais qui peut occasionnellement dépasser cette valeur sans jamais atteindre 5 NTU. Dans la station de traitement de Nasso, il n'y a aucun risque en ce qui concerne l'influence négative de la turbidité de l'eau sur la réussite de la désinfection. En

effet l'eau est limpide dès la source. Après aération et filtration à travers le lit de carbonate de calcium, sa turbidité est toujours faible (0,1 NTU).

#### **II.6.2.4- Température**

La rapidité de l'effet bactéricide du chlore est proportionnelle à la température de l'eau. Cette stérilisation est plus efficace dans des eaux à température élevée (>25°C). En revanche, le chlore est plus stable dans l'eau froide, donc subsiste plus longtemps, ce qui compense dans une certaine mesure la lenteur de la réaction. En ce qui concerne le cas de Nasso, l'eau présente une température moyenne de 28,30°C favorable à la chloration. A faible concentration, l'ingestion du chlore ne présente apparemment pas de danger, car il est neutralisé par la salive. Toutefois, l'OMS recommande de ne jamais dépasser une concentration de 5 mg par litre.

En récapitulatif, nous pouvons retenir que le chlore sous forme d'hypochlorite de sodium est un bactéricide puissant à effet rémanent. La forme la plus active est l'acide hypochloreux (HOCl). L'action du chlore est fonction du pH de l'eau, de la dose et du temps de contact, de la turbidité de l'eau et de sa température. L'eau traitée à la station de Nasso est stockée dans une bache de 1500 m<sup>3</sup>. Un dispositif de pompage assure sa distribution dans les différents châteaux et les stations de relevages de la ville. De ces châteaux et station de relevage, toute la ville de Bobo-Dioulasso est desservie. Dans la suite du travail, il sera question d'évaluer l'efficacité de la chloration à la station de Nasso à travers des analyses sur l'eau à la sortie de la station et dans le réseau de distribution de la ville.

### **II.7- Efficacité de la chloration à la station ONEA de Nasso**

L'évaluation de l'efficacité de la chloration, se fait à travers l'analyse des paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau après chloration. La connaissance de ces paramètres est incontournable dans l'évaluation de la qualité de potabilité de l'eau. Ainsi, l'étude a été focalisée sur les paramètres tels que : le pH, la conductivité, la turbidité, la température, le chlore résiduel et les paramètres microbiologiques. L'étude s'est basée sur l'eau à la sortie de la station jusqu'au robinet du consommateur.

#### **II.7.1-Analyse des paramètres physico-chimiques**

##### **II.7.1.1- Echantillonnage de l'eau**

L'échantillonnage, se fait selon le type d'analyse à mener au cours du contrôle de la qualité de l'eau traitée. L'échantillonnage a porté sur 20 bornes fontaines à raison de 4 bornes fontaines par jour et cela pendant 5 jours dans la semaine pendant un mois. Un prélèvement quotidien entre 8h et 11h 30mn dans la matinée, est opéré sur 4 bornes fontaines (BF) et sur le réservoir de Bolomakoté. Trois sorties hebdomadaires sont effectuées sur la station de traitement de Nasso en vue de prélever l'eau brute à la source et l'eau à la sortie de la station de traitement. La solution d'hypochlorite de sodium est également prélevée, pour déterminer sa teneur en chlore actif et l'eau adoucie pour suivre le fonctionnement des électrolyseurs. A cela, il faut ajouter qu'un prélèvement est fait durant la semaine au niveau des châteaux de Lafiabougou, de Kua, de Sarfalao, du réseau de l'Université polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB) et ainsi qu'au niveau du réservoir de Bama.

Pour effectuer les analyses physico-chimiques, le prélèvement se fait à l'aide de flacons en polyéthylène ou en verre de 1000 ml. Pour cela on fait couler l'eau 1 minute au niveau du robinet avant tout prélèvement. Ces flacons ont été soigneusement lavés à l'aide d'un détergent non toxique (OMO), rincés avec de l'eau distillée puis séchés.

Pour l'analyse microbiologique, beaucoup de précautions ont été prises pour minimiser les contaminations extérieures lors du prélèvement. Pour cela, des bouteilles en verre de 250 ml ont été utilisées. Après lavage, séchage et rinçage à l'eau distillée; ces bouteilles ont été rigoureusement stérilisées dans un autoclave à 121°C pendant 15mn. Bien avant leur stérilisation, on verse 1ml de thiosulfate (0,5N) à l'intérieur de chaque bouteille. L'usage du thiosulfate consiste à inhiber l'action du chlore résiduel des échantillons. Ainsi du point de prélèvement jusqu'au laboratoire d'analyse, le chlore ne pourra pas s'attaquer aux éventuels microorganismes pouvant s'y trouver. Lors du prélèvement, des précautions sont aussi prises. Le bec du robinet est préalablement flambé à l'aide d'un chalumeau. Au cours du prélèvement, on évite tout acte pouvant contribuer à la souillure des échantillons. Par exemple parler, toucher le bouchon de la bouteille avec les doigts. Tous les échantillons sont conservés dans une glacière pour l'acheminement au laboratoire afin de procéder à leur analyse. Chaque flacon porte les indications suivantes, le lieu et l'heure de prélèvement correspondant à chaque échantillon.

La connaissance de la teneur des paramètres physico-chimiques dans une eau de boisson, est incontournable dans l'évaluation du caractère potable. Les valeurs de ces paramètres doivent être conformes à la norme nationale. Ces paramètres sont le pH, la



conductivité, la température, le chlore résiduel, la dureté, ainsi que la concentration des ions  $\text{Ca}^{2+}$ , l'alcalimétrie complète (TAC).

### II.7.1.2- Mesure du pH, de la température et de la conductivité.

Le pH revêt une importance particulière dans le traitement des eaux. Il joue un rôle prépondérant dans l'équilibre calco-carbonique. De plus sa détermination est très importante pendant la phase de chloration de l'eau. Le pH requis pour une chloration efficace est celui là qui est proche de la neutralité. A cette valeur on aura une purification de l'eau et un léger entartage des tuyaux ; les protégeant ainsi contre la corrosion.

**Mode opératoire :** L'appareil utilisé comporte plusieurs fonctions. Il nous mesure aussi la conductivité et la température de l'eau. Le protocole est le suivant :

- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée puis avec l'échantillon d'eau
- Remplir le vase de mesure avec l'échantillon d'eau
- Plonger l'électrode dans le vase contenant l'échantillon
- Lire directement la valeur du pH et de la température sur l'écran.

En ce qui concerne la conductivité, elle donne une idée sur le niveau de la minéralisation de l'eau. Plus l'eau est conductrice et plus elle est minéralisée. Pour la déterminer, on règle l'appareil sur la fonction de la conductivité et en utilisant l'électrode typique à ce paramètre, on mesure ainsi la conductivité de l'eau comme on l'a fait pour le pH.

### II.7.1.3- Mesure de l'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence d'ions hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ), de carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et de bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), dans une moindre mesure aux ions phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) et silicates ( $\text{HSiO}_3^-$ ), ou encore aux espèces moléculaires des acides faibles. Elle est augmentée par des apports d'origine urbaine (phosphates, ammoniacque, matières organiques) ou industrielle (produits basiques ou acides). Le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC) traduisent l'alcalinité d'une eau. La connaissance de ces valeurs est essentielle pour l'étude de l'agressivité d'une eau. Le traitement de l'eau doit permettre de favoriser un léger revêtement des tuyauteries en calcaire. Ceci constituera une couche de calcaire protectrice de ces matériaux métalliques qui les évite ainsi des risques de corrosion donc de pollution de l'eau par des métaux lourds (fer). Dans le cas d'une eau douce (peu minéralisée) contenant un excès de  $\text{CO}_2$  telle que l'eau brute de Nasso, il convient d'ajouter du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) pour donner à l'eau une certaine teneur en bicarbonate de

calcium ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) afin qu'elle soit capable de déposer une couche protectrice carbonatée sur les conduites. Si l'eau est dépourvue de  $\text{CO}_2$ , il faut en injecter sous forme gazeuse et ajouter du carbonate de calcium pour neutraliser l'eau afin de supprimer son agressivité.

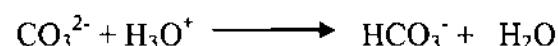
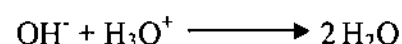
- Le titre alcalimétrique simple (TA) mesure la concentration de l'eau en ion hydroxyde  $\text{OH}^-$  et 1/2 de carbonate caustique ( $\text{CO}_3^{2-}$ )
- Le titre alcalimétrique complet (TAC) permet de mesurer la totalité des alcalis libres à savoir les carbonates  $\text{CO}_3^{2-}$ , les hydrogénocarbonates  $\text{HCO}_3^-$ , les hydroxydes  $\text{OH}^-$  et toutes les fonctions basiques fortes ou faibles.

Méthode de référence pour l'analyse du TA et du TAC:

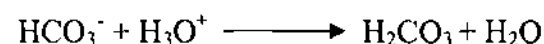
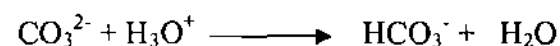
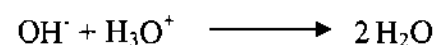
Les échantillons sont analysés le plus tôt possible après leur prélèvement et au plus tard les 24h qui suivent.

Principe : Il est fondé sur la neutralisation des fonctions basiques par un acide minéral dilué (acide chlorhydrique). Les équations qui interviennent au cours du dosage sont les suivantes :

Pour le TA :



Pour le TAC :



La valeur du pH fournit d'importantes informations pour la conduite du dosage. En effet :

- Si le  $\text{pH} > 8,3$ , le  $\text{TA} > 0$ , dose TA, et TAC ;
- Si  $4,5 < \text{pH} < 8,3$  ; le  $\text{TA} = 0$  ; l'échantillon ne contient pas de base forte, mais des bases faibles. Alors on dose uniquement TAC ;
- Si  $\text{pH} < 4,5$ ,  $\text{TA} = 0$  et  $\text{TAC} = 0$ .

Mesure du TA :

**Protocole d'analyse:** On prélève 100 ml de l'échantillon dans un erlenmeyer auxquels on n'ajoute 1 goutte de thiosulfate, 0,1 N. On agite et on laisse reposer quelques minutes ; puis on ajoute 1 à 2 gouttes de phénolphtaléine :

- Si aucune coloration n'apparaît alors,  $\text{pH} < 8,3$ , donc  $\text{TA} = 0$  ;
- Si une coloration rose apparaît, alors  $\text{pH} > 8,3$ , alors  $\text{TA} > 0$ . Le dosage se fait avec de l'acide chlorhydrique (HCl) à 0,04 M en agitant le mélange jusqu'à décoloration complète de la solution.

En ce qui concerne les eaux brutes et les eaux à la sortie de la station de traitement de Nasso, le pH < 8,3 et TA est toujours nul.

Mesure du TAC :

**Protocole d'analyse :** On verse 100ml d'échantillon dans un erlenmeyer et on n'y ajoute 3 à 4 d'un indicateur mixte (rouge de phénol). L'eau prend une coloration bleue. On titre l'ensemble avec une solution d'acide chlorhydrique (HCl) jusqu'au virage à la coloration rouge. Ensuite, on lit le volume de l'acide utilisé (Va).

Expression des résultats

Soient :

Ca : la normalité de l'acide chlorhydrique ; Ca = 0,04M ;

Va : le volume de l'acide utilisé ;

Cb : la normalité recherchée ;

Vb : le volume de la prise d'essai ; Vb = 100 ml ;

Ca = Na

Cb = (Ca. Va)/Vb

TAC (N) = (0,04.Va)/100ml

TAC (meq/l) = 1000. TAC (N)

TAC (meq) = 5. TAC (°F)

TAC (°F) = 0,2 TAC (meq) = 0,1. TAC (mmol/l).

#### **II.7.1.4- Mesure du titre hydrotimétrique (dureté)**

Le titre hydrotimétrique (T.H) ou dureté de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. La dureté d'une eau est un critère essentiel pour prévenir l'entartrage des conduites d'eau dans l'industrie. La dureté est due à la forte concentration des ions calcium (Ca<sup>2+</sup>) et magnésium (Mg<sup>2+</sup>) évaluée par le titre hydrotimétrique (T.H). Ainsi, leurs concentrations élevées rendent l'eau dure. La France fixe les plages de valeur de dureté comme suite :

Tableau 1 : Plage des valeurs du titre hydrotimétrique en France:

TH (°F)	0 – 7	7 – 15	15 - 25	25 – 42	>42
Eau	Très douce	Douce	Moyennement	Dure	Très dure

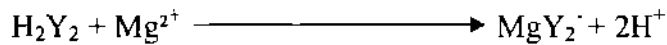
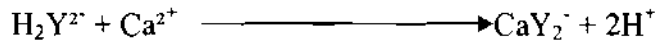
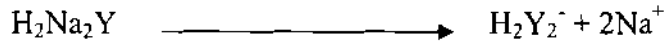
Une eau de dureté moyenne, apporte quotidiennement une grande partie de nos besoins en calcium et magnésium.

## Détermination du TH :

### ▪ Principe

La dureté se détermine par un dosage complexométrique. L'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA,  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$ ), forme avec les ions  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$  des complexes  $\text{CaY}^{2-}$  et  $\text{MgY}^{2-}$ . En présence du Noir Erichrome .T (N.E.T) comme indicateur coloré.

La réaction chimique donne :



### ▪ Manipulation

Dans un erlenmeyer, on verse 50ml d'échantillon d'eau, puis 4ml de solution tampon (pH= 10). La solution prend une coloration violette. On titre l'ensemble avec de l'EDTA à 0,01M jusqu'à virage au bleu, en présence d'une goutte de NET comme indicateur coloré.

### ▪ Expression des résultats

Soient :  $V_1$ , le volume de la prise d'essais (50ml);  $N_1$ , la dureté totale recherchée en normalité;  $N_2$ , la normalité de l'EDTA (0,01N);  $V_2$ , le volume de l'EDTA en ml.

On a  $N_1 = (0,01 \cdot V_2)/50$

TH (méq/l) = 1000. $N_1$  (normalité)

TH (méq) = 5.TH (°F).

## II.7.1.5- Mesure du titre calcique (T Ca)

### ▪ Principe

La détermination des ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$  passe par une réaction de complexométrie avec une solution de sels di sodique d'EDTA à pH compris entre 12 et 13. L'acide calccone carboxylique qui forme un complexe rouge avec le calcium est utilisé comme indicateur coloré. Le magnésium sera précipité sous forme d'hydroxyde et n'aura pas d'interférence au cours du dosage. Lors du dosage les ions calcium réagissent avec l'EDTA. Tout d'abord les ions libres, puis viennent ceux qui se combinent avec l'indicateur. La coloration vire alors du rouge à la couleur bleue claire.

### ▪ Mode opératoire

Dans un erlenmeyer, on verse 50ml de l'échantillon, et on y ajoute 2ml d'une solution d'hydroxyde de sodium, puis on dose immédiatement l'ensemble à l'aide de l'EDTA en agitant constamment en présence de 0,2g d'acide calccone carboxylique. Le virage

est atteint lorsque la couleur devient nettement bleue. La couleur ne doit pas changer par addition d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

▪ **Expression des résultats**

Soient : V1, le volume de la prise d'essais (50ml); N1, la concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  (N); V2, le volume en ml de l'EDTA utilisé; N2, la normalité de l'EDTA avec  $N2 = 0,01 \text{ N}$  ;

$$N1 (\text{N}) = (0,01 \cdot V2)/50$$

$$T \text{ Ca (még/l)} = 1000 \cdot N1$$

$$T \text{ Ca (még/l)} = 5 \cdot T \text{ Ca (°F)}$$

$$T \text{ Ca (°F)} = 0,2 \cdot T \text{ Ca (még/l)}$$

### II.7.1.6- Dosage du chlore résiduel

▪ **Principe**

Le chlore libre ou le chlore résiduel, est le chlore qui se trouve dans l'eau sous forme d'acide hypochloreux ( $\text{HOCl}$ ) et d'ions hypochlorites ( $\text{ClO}^-$ ). C'est le chlore qui reste dans l'eau après la désinfection. Il réagit avec le N, N-diéthylphénylène-1, 4-diamine (DPD) pour former une coloration rouge brique dont l'intensité est proportionnelle à la concentration du chlore. La présence du chlore résiduel dans l'eau de boisson est très importante car sans chlore résiduel, il n'y a pas d'action rémanente.

▪ **Réactifs utilisés :**

Tampon pH 6,5 ;

Solution de DPD à 1,1g/l ;

Solution de titrage : solution de sulfate de fer (solution de sel de Mohr).

▪ **Mode opératoire**

Dans un erlenmeyer, on verse 5ml de DPD et 5ml de solution tampon pH 6,5. On ajoute ensuite 100ml de l'échantillon. L'eau se colore en rouge brique. On titre l'ensemble avec une solution de sulfate de fer II ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dont la concentration est 2,82 m mol/l jusqu'à obtenir une solution incolore.

▪ **Expression des résultats**

On a toujours  $N1 \cdot V1 = N2 \cdot V2$

Soient : N1, la normalité du chlore libre ; V1, le volume de l'échantillon ; N2, la normalité de la solution de sulfate de Fer II et V2, le volume de solution de sulfate de Fer II utilisé

$$N1 = (N2 \cdot V2)/V1.$$

### **II.7.1.7- Mesure de la turbidité**

La turbidité d'une eau, c'est-à-dire son aspect plus ou moins trouble, est due à la présence de matières en suspension (MES) très fines telles que l'argile, les limons, les matières organiques. Elle est mesurée à l'aide d'un turbidimètre en Unité Néphélométrique de Turbidité (NTU).

▪ **Mode opératoire :**

Remplir le tube de mesure avec l'échantillon et l'introduire dans la chambre du turbidimètre. Fermer la chambre et activer la lecture en appuyant sur la touche "READ". La valeur s'affiche directement sur l'écran.

### **II.7.2- Analyse des paramètres microbiologiques**

Le contrôle de la qualité microbiologique d'une eau présente une grande importance dans l'évaluation de sa qualité potable. En effet, le problème de santé que pose la consommation d'une eau impropre sur le plan microbiologique, est plus immédiat que celui d'une eau dont les normes physico-chimiques seraient dépassées. Dans ce dernier cas, le danger est évalué dans un temps suffisamment long et aussi en fonction des quantités de métaux lourds absorbés par le biais de l'eau de boisson. Dans une eau de consommation, on peut rencontrer 3 principaux types de micro-organismes: les bactéries, les virus et les protozoaires. Ils peuvent exister à l'état naturel ou résulter d'une contamination par la matière fécale d'origine humaine ou animale. Certains d'entre eux sont source de maladies très mortelles telle que le cholera chez les humains. Le traitement de l'eau a pour but principal d'éliminer ces microorganismes en vue de réduire le risque de maladie. S'il est impossible d'éliminer complètement le risque de maladie d'origine hydrique, l'adoption d'une approche à barrières multiples, de la source au robinet, permet de réduire le nombre de micro-organismes dans l'eau potable. Cette approche englobe la protection de la source d'eau dans la mesure du possible, de l'emploi de méthodes de traitement appropriées et efficaces (la chloration) de l'eau, de l'entretien du réseau de distribution et de la vérification régulière de la qualité de l'eau potable. Pour cela des analyses quotidiennes sont portées sur différents échantillons dans le but de déterminer des indicateurs de pollution microbienne, d'origine fécale. Ces indicateurs de pollution sont les coliformes totaux et les coliformes fécaux ou thermo tolérants.

**Les Coliformes totaux :**

Les bactéries coliformes existent dans les matières fécales mais peuvent également se développer dans certains milieux naturels tels que le sol, les végétaux. L'absence de

coliformes totaux ne signifie pas nécessairement que l'eau ne présente pas de risque pathogène.

#### **Les Coliformes fécaux ou thermo tolérants :**

Ces coliformes sont capables de se développer à 44°C alors qu'aucune croissance n'est observée à cette température pour les souches non fécales. La principale bactérie coliforme spécifiquement d'origine fécale est *Escherichia coli*. Cette bactérie apparaît toujours en grande quantité dans les déjections animales et humaines et ne se trouve qu'exceptionnellement dans le sol et les eaux qui n'ont pas fait l'objet d'une pollution fécale. Les coliformes fécaux ou thermo tolérants constituent un bon test de contamination des eaux par les matières fécales.

Pour qu'un microorganisme puisse être considéré comme indicateur de contamination, il doit impérativement remplir les 3 critères suivants :

✓ Il doit être présent en même temps que les pathogènes et numériquement supérieur à ces derniers afin de faciliter l'analyse des échantillons. Ainsi, le nombre de microorganismes indicateurs devrait être proportionnel au taux de pollution fécale.

✓ Il doit avoir une croissance supérieure à celle des pathogènes éventuellement présent dans l'échantillon et doit présenter des propriétés culturales et biochimiques uniformes et stables. De plus, il doit être facile, à identifier et à énumérer en analyse de routine.

✓ Enfin, il est souhaitable qu'il soit plus résistant aux agents de désinfection tel que l'hypochlorite de sodium que les pathogènes afin que sa destruction marque avec certitude celle des pathogènes.

L'échantillon doit être représentatif du milieu dans lequel il est prélevé tout en prenant le soin auparavant de préciser le lieu et l'heure de prélèvement sur la bouteille. Il doit être placé dans un récipient stérile et le manipuler aseptiquement. Ces précautions sont prises dans le but de fournir des résultats fiables.

#### **II.7.2.1- Technique de filtration.**

En analyse de routine, la recherche des coliformes est effectuée par la technique de filtration à travers des membranes filtrantes dont les pores sont de 0,45µm de diamètre. Pour cela on utilise une rampe de filtration munie de 3 entonnoirs reliés à une pompe à vide. Le protocole est le suivant :

A l'aide d'une flamme de chalumeau on stérilise les pincettes, les entonnoirs et les mailles du filtre à rampe. Ensuite, on dépose une membrane filtrante sur chaque maille du filtre à rampe ;

puis on place les entonnoirs. On verse 25ml d'une solution de Ringer dans chaque entonnoir puis on démarre la pompe à vide pour le rinçage des membranes et pour favoriser l'adhésion des éventuels microorganismes à ces membranes. L'échantillon est agité 5 fois puis on verse 100 ml dans chaque entonnoir et on remet en marche la pompe à vide. Après filtration totale de l'échantillon, on rince toujours les filtres des membranes avec la solution de Ringer. A l'aide d'une pincette préalablement stérilisée, on récupère la membrane filtrante et on la dépose dans une boîte de pétri contenant un bouillon gélosé de chromocult coliforme Agar ES. Ce milieu de culture est ultra sélectif pour la recherche des bactéries coliformes et spécialement *Escherichia coli*.

#### II.7.2.2- Numération des coliformes.

Le milieu de culture ainsiensemencé est incubé à 36°C pendant 24h. Les coliformes de type *E. coli* c'est-à-dire les thermo tolérants prennent une coloration bleu-foncée ou violette. Toutes les colonies présentées chacune par une coloration « bleue à violette » et « rouge à saumon » ont été notées comme étant des coliformes totaux. La densité des coliformes totaux et d'*E. coli* s'exprime en nombre de colonies par 100ml d'eau filtrée. Les résultats de l'analyse microbiologique sont donnés après un test de confirmation des colonies énumérées. Pour la confirmation, des coliformes totaux et fécaux, sont repiqués dans des tubes contenant un bouillon de lauryl tryptose broth auxquels on a ajouté un tube de durham en forme de cloche. Mais auparavant, les tubes et leur contenu ont été stérilisés pendant 15mn à 121°C. Le repiquage se fait après refroidissement des tubes à la température ambiante à l'aide d'une pipette pasteur. Les coliformes totaux et fécaux confirmés, produisent un gaz après une incubation à 36°C pour les totaux et à 44°C pour les fécaux pendant 22h. La production de gaz est caractérisée par l'apparition d'un vide dans au moins 1/3 du volume de la cloche de durham. La confirmation des coliformes fécaux peut se faire aussi dans des tubes contenant un bouillon d'eau de tryptone. Dans ce milieu *E. coli* produit de l'indole après une incubation pendant 22h à 44°C. L'indole est mis en évidence par l'apparition d'un anneau rouge à la surface du bouillon. Mais cet anneau rouge apparaît après l'ajout de 2 à 3 gouttes du réactif de COVACS. Pour la confirmation, il faut repiquer tout au moins 5 colonies si toutes fois les colonies énumérées excèdent le chiffre 5. La formule qui permet d'exprimer le résultat s'énonce comme suite :

$$C = \frac{A * N * Vs}{B * Vt}$$



Avec C : nombre de colonies dans 100ml d'eau analysée, A : nombre de colonies caractéristiques et /ou confirmés, B : nombre de colonies repiquer pour confirmation, N : nombre de colonies présumées, Vt : volume total de l'échantillon ou d'une dilution de celui-ci exprimé en millilitre (ml), Vs : volume auquel le résultat se rapport (100ml).

## **CHAPITRE III – RESULTATS - DISCUSSION**

### **III.1- Résultats**

Pour mener à bien le traitement de l'eau brute à la station ONEA de Nasso, il est nécessaire que des analyses soient faites sur cette eau brute afin de montrer sa caractéristique. Dans le tableau ci-dessous, les résultats des analyses ont été consignés. Les résultats sont en fait les valeurs moyennes des analyses quotidiennes portées sur l'eau durant les mois de mai et juin.

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de l'eau brute

	Conductivité µs/cm	Température °C	pH	Turbidité NTU	TAC méq/l	Coli. Fécaux N/100ml	Coli. Totaux N/100ml
Eau brute source ONEA I	52,60	29,5	5,69	0,17	0,51	0	2
Forage F1	113	28,33	6,13	0,04	1,29	0	0
Forage F2	95	29,33	6,27	0,10	1,01	0	0

La caractéristique que présente l'eau brute de Nasso (ONEA I et les forages F1 et F2) laisse voir qu'elle ne répond pas aux critères d'une eau potable. A la station, le traitement bactériologique est assuré par l'hypochlorite de sodium. Ainsi, pour avoir une bonne chloration de l'eau, il faut d'abord mener une étude de sa demande en chlore. A la station ONEA de Nasso, l'étude menée sur l'eau brute a montré qu'il faut 0,20mg de chlore par litre d'eau pour parvenir à une désinfection efficace et assurer une oxydation de toute matière organique et inorganique. Pour avoir un taux de chlore résiduel dans l'eau qui respect la norme nationale, le taux de traitement en chlore a été fixé à 1,5mg/l.

Le dispositif mis en place au niveau de la station pour apporter une correction au pH et à l'état de minéralisation de l'eau s'avère efficace. Les résultats d'analyse de laboratoire concernant l'eau à la sortie des filtres sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : caractéristique physico-chimique de l'eau après filtration.

Point de prélèvement	pH	Conductivité μs/cm	Température °C
Filtre 1 (aéré)	7,90	85	28
Filtre 2 (aéré)	7,40	105	29
Filtre 4 (non aéré)	7,10	140	29
Filtre 5 (non aéré)	7,05	115	28
Filtre 1 (aéré)	8,05	80	28
Filtre 2 (aéré)	7,35	105	28
Filtre 4 (non aéré)	7,20	135	27,50
Filtre 5 (non aéré)	7,05	120	28,50
Filtre 1 (aéré)	7,85	120	29
Filtre 2 (aéré)	7,25	105	28,50
Filtre 4 (non aéré)	7,05	120	28,50
Filtre 5 (non aéré)	7,15	125	28
Moyenne	7,40	112,27	28,30

L'eau à la sortie des filtres, subie une chloration. Elle est stockée dans une bache intermédiaire avant son pompage vers la ville. Les résultats consignés dans le tableau ci-dessous et exprimés à travers les histogrammes se rapportent aux analyses relatives aux échantillons de l'eau traitée ; notamment la sortie de la station, la station de relevage de Bolomakoté et les échantillons de 4 bornes fontaines. Ces résultats sont ceux des mois de mai et juin 2010.

Tableau 4 : Résultats d'analyses de l'eau traitée à la station ONEA de Nasso.

	TAC méq/l	Cl <sub>2</sub> mg/l	Temp °C	Coli.T N/100ml	Coli.F N/100ml
Normes Nationales	-	0,5 - 5	-	0	0
Sortie Station	1,28	1,32	29,40	0	0
Station de relevage de Bolomakoté	1,26	1,38	29	0	0
Bornes fontaines	1,30	1,40	30	0	0

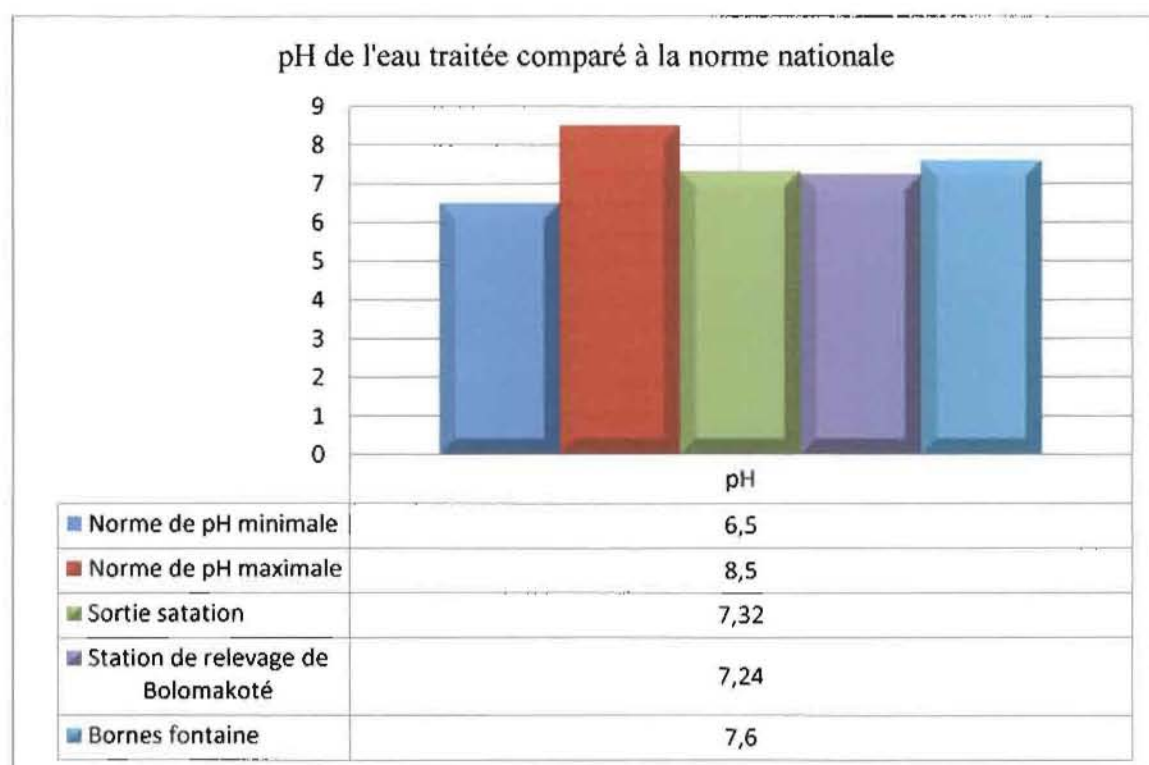


Figure 2 : Histogramme représentant le pH de l'eau traitée comparé à la norme nationale

Le second histogramme exprime la turbidité de l'eau traitée et de l'eau brute. Les valeurs sont comparées à celles de la norme nationale.

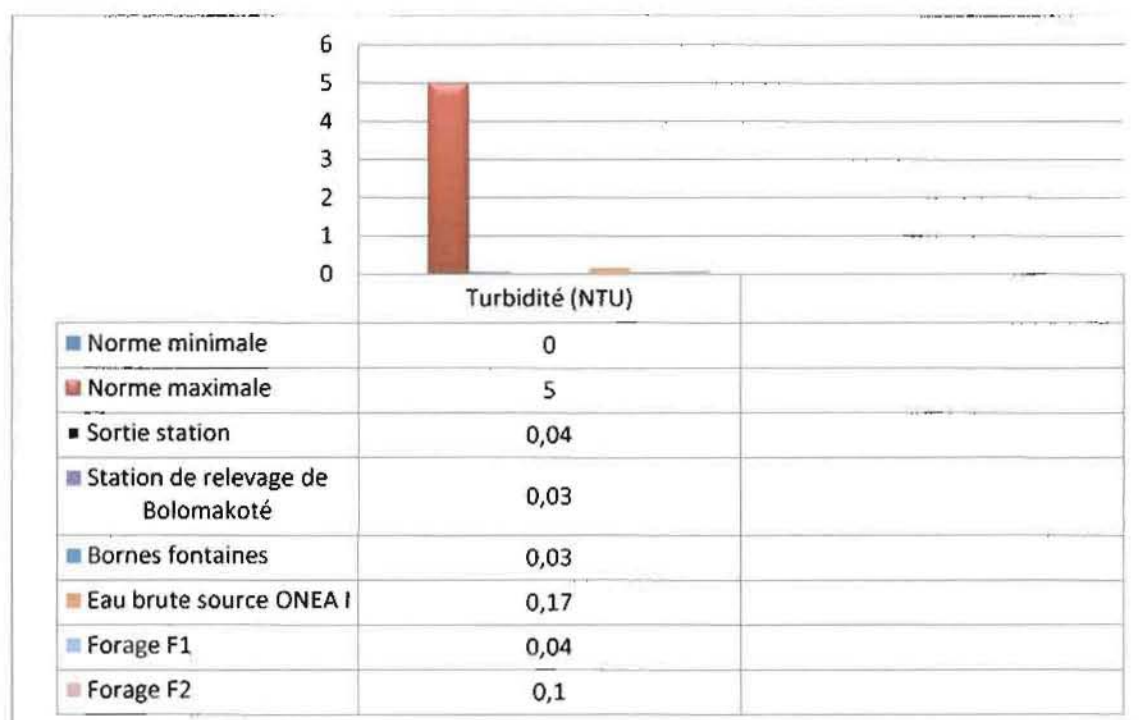


Figure 3 : Histogramme de la turbidité de l'eau brute et de l'eau traitée comparée à la norme nationale.

L'état de la minéralisation de l'eau traitée est exprimé à travers l'histogramme ci-dessous.

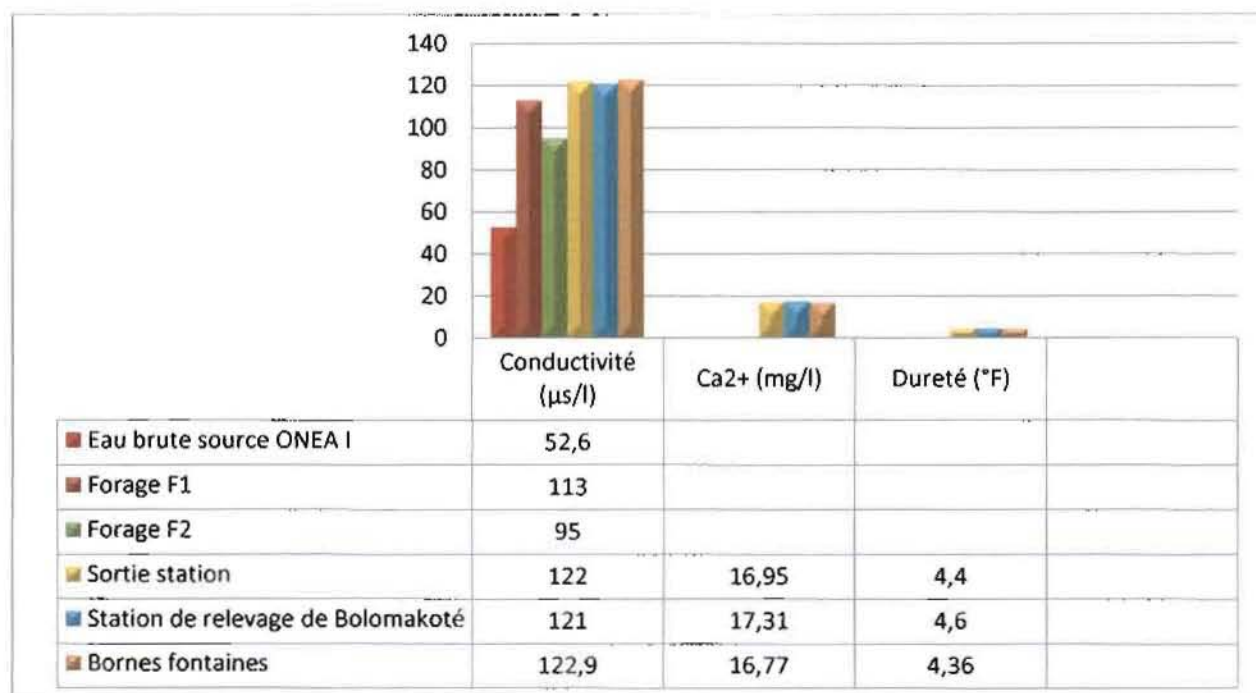


Figure 4: Histogramme représentant l'état de la minéralisation de l'eau brute et de l'eau traitée.

La norme nationale de potabilité est l'instrument qui permet de juger l'efficacité du traitement de l'eau. Elle a été représentée dans le tableau ci-dessous. Cette norme tire sa source de la norme de potabilité de l'OMS.

Tableau 5 : Normes nationales de potabilité

Variables	Valeurs recommandées par la norme nationale
PH	6,5 < pH < 8,5
Chlore résiduel	0,5 ≤ Cl <sub>2</sub> ≤ 5 (mg/l)
Turbidité	< 5 (NTU)
Aluminium (Al)	0,2 (mg/l)
Fluorure (F)	≤ 1,5 (mg/l)
Sulfates (SO <sub>4</sub> )	250 (mg/l)
Fer total (Fe)	0,3 (mg/l)
Sodium (Na)	200 (mg/l)
Potassium (K)	50 (mg/l)
Plomb (Pb )	0,01 (mg/l)
Arsenic (AsO <sub>4</sub> )	0,01 (mg/l)
Mercure (Hg )	0,001 (mg/l)
Zinc (Zn)	3 (mg/l)
Pesticides totaux	0,00005 (mg/l)
Coliformes totaux	0/100ml (N/100ml)
Coliformes fécaux	0/100ml (N/100ml)

## III.2- Discussions

Dans cette partie, il s'agit d'évaluer l'efficacité du traitement de l'eau brute à la station ONEA de Nasso. L'objectif du traitement est la production d'une eau potable en qualité et en quantité suffisantes pour la ville de Bobo-Dioulasso. Cette eau doit être conforme à la norme nationale récapitulée dans le tableau ci-dessus. Nous croyons communément, mais à tort qu'un traitement efficace supprime toute pollution bactérienne. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes de potabilité ne signifie pas qu'elle est exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas porter préjudice à la santé du consommateur.

### III. 2.1- pH

La caractérisation des eaux brutes traitées à la station ONEA de Nasso, a révélé que l'eau brute est agressive. Le pH est inférieur à la valeur minimale de la norme qui est de 6,5. Cette agressivité est sans doute liée à la forte teneur de ces eaux en CO<sub>2</sub> (160mg/l). Le traitement appliqué à cette eau à savoir l'aération et la filtration de l'eau à travers un lit de CaCO<sub>3</sub> a contribué fortement à améliorer ce paramètre. Ainsi en se référant aux résultats des mois de mai et juin ; résultats extrapolables sur toute l'année, nous pouvons dire que la station a atteint son objectif principal qui est la production d'une eau potable.

**L'eau à la sortie de la station de traitement :** Le traitement affecté à l'eau brute concernant la correction du pH s'est avéré très efficace. On note un pH moyen de 7,32 et il varie entre 7,10 et 7,60. En observant la figure 2 ci-dessus, on constate que cette eau est en parfaite conformité avec la norme nationale. Son pH est bien compris entre 6,5 et 8,5 comme le veut la norme nationale. A ce pH neutre, l'eau est plate et agréable à boire.

**La station de relevage de Bolomakoté :** Cette station sert de relais à la station mère de Nasso. Elle ravitaille les châteaux de Sarfalao et Kua. C'est dans ce centre que se trouve le laboratoire d'analyse. Les résultats des analyses reflètent ceux de l'eau à la sortie de la station de traitement. Il n'est pas étonnant d'obtenir de tels résultats car c'est la même eau issue de la station de traitement qui transite jusqu'à la station de relevage de Bolomakoté. On remarque avec satisfaction que l'eau au niveau de la station de relevage de Bolomakoté est conforme à la norme nationale en ce qui concerne le pH. Elle présente un pH moyen de 7,24.

**Les bornes fontaines :** L'analyse des eaux des bornes fontaines permet de savoir si l'eau parvient au dernier consommateur tout en gardant les mêmes qualités qu'en sortant de la station de traitement. L'étude portée sur les 4 bornes fontaines (BF : 03 ; 71 ; 236 ; 276) a

donné des résultats satisfaisants en ce qui concerne le pH. Ces résultats sont extrapolables sur toutes les bornes fontaines. Les bornes fontaines de la ville sont desservies par les châteaux de Lafiabougou, Kua, Sarfalao et le réservoir de Bama. L'eau arrive chez le consommateur avec un pH de 7,6. Elle est conforme à la norme.

### **III.2.2- Turbidité**

La figure 3 permet de percevoir la qualité appréciable de l'eau traitée à la station ONEA de Nasso concernant le paramètre turbidité. Selon la norme, la turbidité doit être strictement inférieure à 5NTU. En observant l'histogramme, on retient que l'eau depuis la source a une très faible turbidité (0,17NTU pour l'eau source ONEA.I) comparée à la norme. Jusqu'aux bornes fontaines, ce paramètre garde sa qualité avec une moyenne de 0,03NTU.

### **III.2.3- Conductivité**

La conductivité est l'aptitude d'une eau à permettre le passage du courant électrique. La conductivité qui est l'inverse de la résistivité, est proportionnelle à la concentration en minéraux dissous ionisés. Les eaux brutes source ONEA.I et le forage F2 présentent des eaux très faiblement minéralisées dont les moyennes respectives sont 52,69 $\mu$ s/cm et 95  $\mu$ s/cm. Ce paramètre montre une amélioration très remarquable après le traitement. Elle est nettement supérieure à 120 $\mu$ s/cm pour l'eau traitée et ce jusqu'aux bornes fontaines. La minéralisation de l'eau au moyen du CaCO<sub>3</sub> a été efficace. En effet sa teneur en minéraux dissous ionisés a augmenté. Une telle eau est sans doute bénéfique pour la santé du consommateur car sa teneur en calcium (Ca<sup>2+</sup>) est considérable. L'observation de l'histogramme de la figure 4 donne une moyenne en calcium de 16,95 mg/l pour l'eau à la sortie de la station, 17,31 pour la station de relevage de Bolomakoté. Les bornes fontaines présentent une moyenne de 16,77mg/l. L'eau est très douce car sa dureté est nettement inférieure à 7 °F de la sortie station jusqu'aux bornes fontaines. La dureté d'une eau est sans conséquence sur la santé humaine. Le calcium et le magnésium sont des constituants majeurs de notre organisme et une eau demeure potable quel que soit son titre hydrotimétrique (TH). Une eau dure aurait même un effet protecteur vis-à-vis des maladies cardio-vasculaires. Par contre, une eau douce, généralement agressive, peut se révéler nocive du fait de sa capacité à solubiliser les métaux dits lourds, dont beaucoup sont toxiques et engendrent des pathologies sévères telles l'hydrargyrisme (intoxication par le mercure) ou le saturnisme (intoxication par le plomb). Une eau dure présente des inconvénients d'ordre domestique en raison de la précipitation du calcaire pendant le



chauffage. On peut éviter la formation de tartre en éliminant le calcium par adoucissement. En outre, le calcaire diminue l'efficacité des détergents. Les doses conseillées sur le mode d'emploi des lessives sont valables pour une eau moyennement dure (environ 15°F).

#### **III.2.4- Titre alcalimétrique complet (TAC)**

Pour ce paramètre, on note une quasi-présence à tous les niveaux. Le titre alcalimétrique simple (TA) des eaux de Nasso est nul car elles sont pauvres en ion hydroxyde (OH<sup>-</sup>). Alors le TAC représente l'alcalinité de l'eau. Il est souhaitable que l'eau ait un certain titre alcalimétrique supérieur à 1 méq/l, c'est-à-dire une certaine teneur en ions carbonates (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) et de bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) nécessaire pour pouvoir provoquer un dépôt de pellicule de carbonate de calcium pendant la phase d'équilibre calco-carbonique. Le dépôt de calcaire jouera un rôle important pour la protection des tuyaux contre la corrosion. L'eau brute source ONEA.I présente un faible TAC (0,51méq/l) ; cela est lié à son aspect fort agressif. C'est un facteur compromettant dans le traitement en ce sens qu'une telle eau ne pourra pas déposer du tartre pour protéger les tuyaux de la corrosion. Mais on constate que la correction du pH donne une solution à ce problème. L'eau à la sortie de la station jusqu'au robinet du consommateur a un TAC appréciable. La moyenne est de 1,28méq/l à la sortie de la station et de 1,3 au niveau des bornes fontaines.

#### **III.2.5- Chlore résiduel**

De la sortie de la station de traitement en passant par la station de relevage de Bolomakoté jusqu'aux bornes fontaines, la teneur en chlore libre reste supérieure à 1mg/l. Le chlore résiduel contenu dans l'eau traitée pourra assurer l'action rémanente du pouvoir germicide du chlore. L'eau à la sortie de la station présente une teneur moyenne de 1,32mg/l. Les valeurs évoluent entre 1,1 mg/l et 1,5mg/l. Ces valeurs sont en adéquation avec la norme nationale (0,5 ≤ Cl<sub>2</sub> ≤ 5mg/l). Une telle eau est protégée contre toute éventuelle infection microbienne durant le temps de distribution dans le réseau jusqu'aux consommateurs. Elle parvient chez le consommateur avec une moyenne de 1,4mg/l.

#### **III.2.6- Qualité microbiologique**

En partant d'une eau brute impure sur le plan bactériologique avec une moyenne de 2 coliformes totaux dans 100ml, on aboutit après un traitement, à une eau pure ne contenant aucune bactérie coliforme dans 100ml. L'absence totale de coliformes s'observe dans tout le

réseau de distribution de la sortie station jusqu'aux bornes fontaines. Cette eau saine, est en parfaite conformité avec la norme nationale qui exige une absence totale de colonies fécales et totales dans 100ml d'eau traitée. Cette eau est bénéfique pour le consommateur en se sens qu'elle ne présente aucun danger pour sa santé. Ces résultats satisfaisants reflètent la réussite de la chloration appliquée au cours du traitement de l'eau à la station de Nasso. Maintenant, il appartient aussi à l'utilisateur du robinet de œuvrer fortement pour que l'eau puisse garder ses propriétés et sa propreté. En effet il doit la recueillir dans un récipient propre tout en respectant les règles d'hygiène tout autour du robinet.

## CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Au terme de ce stage effectué autour du thème « *Influence du pH sur la chloration de l'eau à la station ONEA de Nasso* » au Laboratoire d'analyse régional de l'ONEA/BOBO, on a acquis beaucoup d'éclaircissements sur divers points. Non seulement ce stage a permis de mieux connaître la maison ONEA/BOBO, mais en plus il a permis de comprendre les techniques utilisées par la station de traitement pour ramener l'eau brute insalubre à une eau potable, conforme aux normes nationales qui sont en vigueur au Burkina Faso. Ainsi, on a aiguisé nos connaissances dans le domaine de traitement et de contrôle de la qualité de l'eau. On note avec satisfaction les efforts que la station de traitement consentit pour mettre à la disposition de la population de Bobo-Dioulasso, une eau de qualité irréprochable selon la norme nationale. Pour pérenniser cette qualité de l'eau, le consommateur doit jouer pleinement sa part de responsabilité qui est d'assurer l'hygiène autour du robinet, des ustensiles utilisés pour le prélèvement de l'eau et même pour son stockage. Il doit éviter tout acte pouvant contribuer à la dégradation de cette précieuse qualité. Des analyses de laboratoire, il ressort que l'eau traitée à la station ONEA de Nasso et distribuée dans la ville de Bobo-Dioulasso présente une bonne qualité physico-chimique et microbiologique. Avec le développement industriel de la ville de Bobo-Dioulasso, surtout des industries chimiques telles que SAPHYTO et WINNER, nous suggérons à l'ONEA de sensibiliser ces derniers afin qu'ils puissent prendre leurs responsabilités pour éviter toute pollution chimique de la nappe phréatique. Au vue de tous ces risques de pollution de la nappe phréatique, il serait nécessaire que le laboratoire régional de Bobo-Dioulasso soit plus équipé afin de pouvoir procéder à une analyse complète de tous les paramètres entrant dans l'évaluation de la qualité de l'eau tels que les pesticides et les métaux indésirables. Certes, beaucoup d'efforts sont faits quant au contrôle qualité de l'eau. Cependant, vue la forte demande en chlore des flacons en polyéthylène, nous suggérons au laboratoire l'usage des flacons en verre pour tous les prélèvements visant à déterminer la teneur de l'eau en chlore résiduel. Le chargement d'un filtre à béton ouvert nécessite 3,75 tonnes de  $\text{CaCO}_3$  soit 22,5 tonnes pour les 6 filtres. Nous pensons qu'au niveau de la station de traitement, il serait bénéfique sur le plan économique de prolonger le temps mis pour renouveler le chargement des filtres en  $\text{CaCO}_3$  à un mois et demi au lieu d'un mois. On avance cette idée car on a constaté que la conductivité de l'eau au début du chargement et à la fin du mois ne variait pas considérablement. Elle reste autour de  $120\mu\text{s}/\text{cm}$  ce qui laisse voir que sa minéralisation reste statique. Mais tout compte fait, nous suggérons qu'une étude soit faite en vue de déterminer le temps exact qu'il faut avant de

renouveler le chargement des filtres en  $\text{CaCO}_3$ . En fin, vue l'accroissement galopant de la ville, il serait souhaitable que l'ONEA/BOBO songe à augmenter sa production d'eau potable tout en élargissant son réseau de distribution, pour répondre aux besoins éventuels de la population.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIES**

GUILLERET JRF 1998/1999; Chimie des eaux.

SANOU Adama ; 2003 ; AEP-Bobo-Dioulasso ; ONEA Bobo-Dioulasso, section production, présentation des installations, recueil de données sur l'ONEA et le système d'assainissement.

Pierre Marie GRONDIN ; Chloration en milieu rural dans les pays en voie de développement, Juin 1996 et réédition 2005

Jean RODIER ; Analyse de l'eau 8<sup>ème</sup> édition DUNOD, Paris, 1996.

UNESCO/OMS ; 2010

Coly ; 2010 ; Afrique, assainissement, eau potable, maladies liées à l'eau, OMS.

## **SITES WEB**

<http://www.lenntech.fr/desinfection/desinfectants-chlore>. Consulté le 04/10/2010

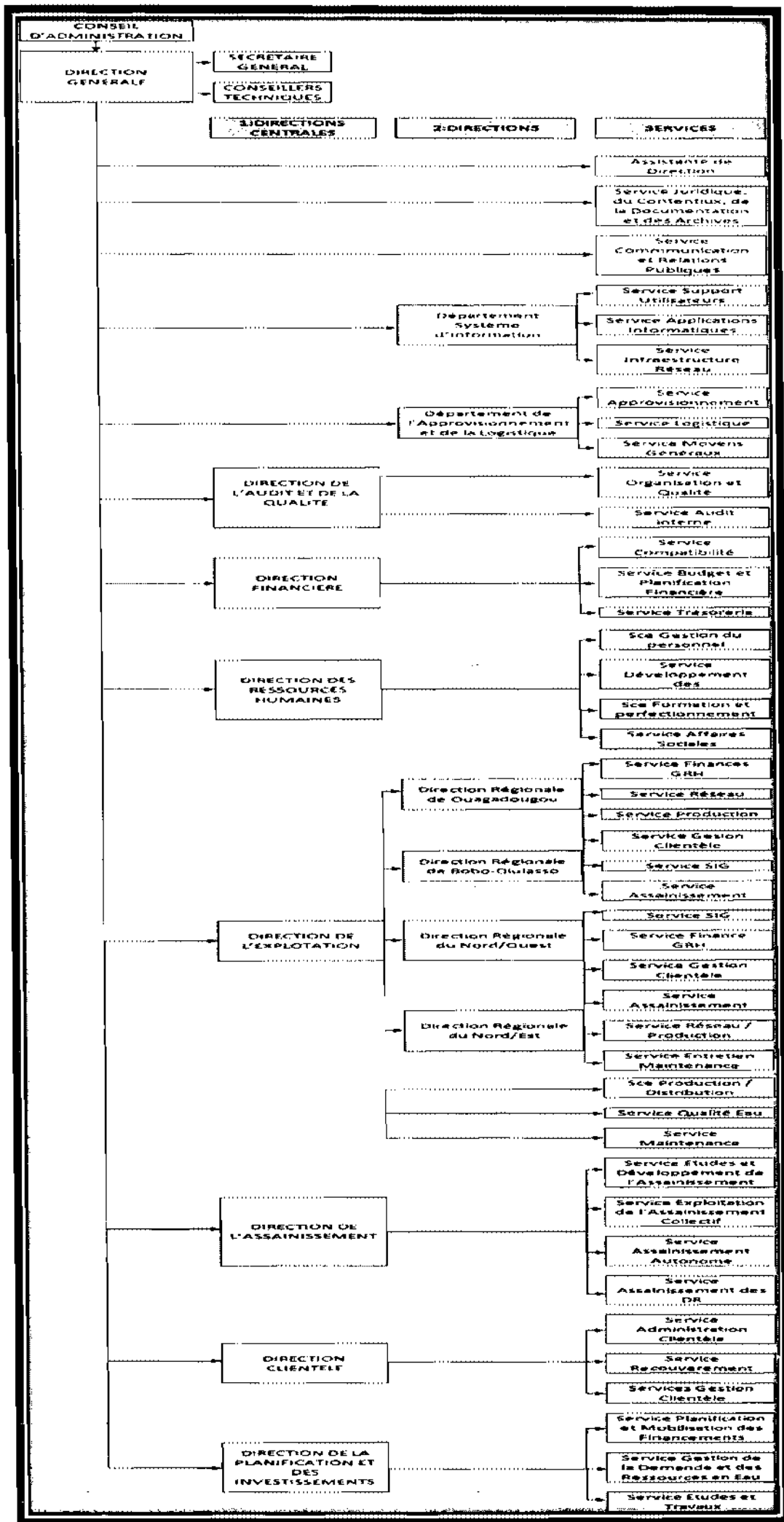
<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/ph/index-fra.php#n7> Consulté le 21/07/2010

[http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Eau\\_potable&action=](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Eau_potable&action=). Consulté le 03/05/2010

<http://www.pseau.org> Consulté le 31/05/2010

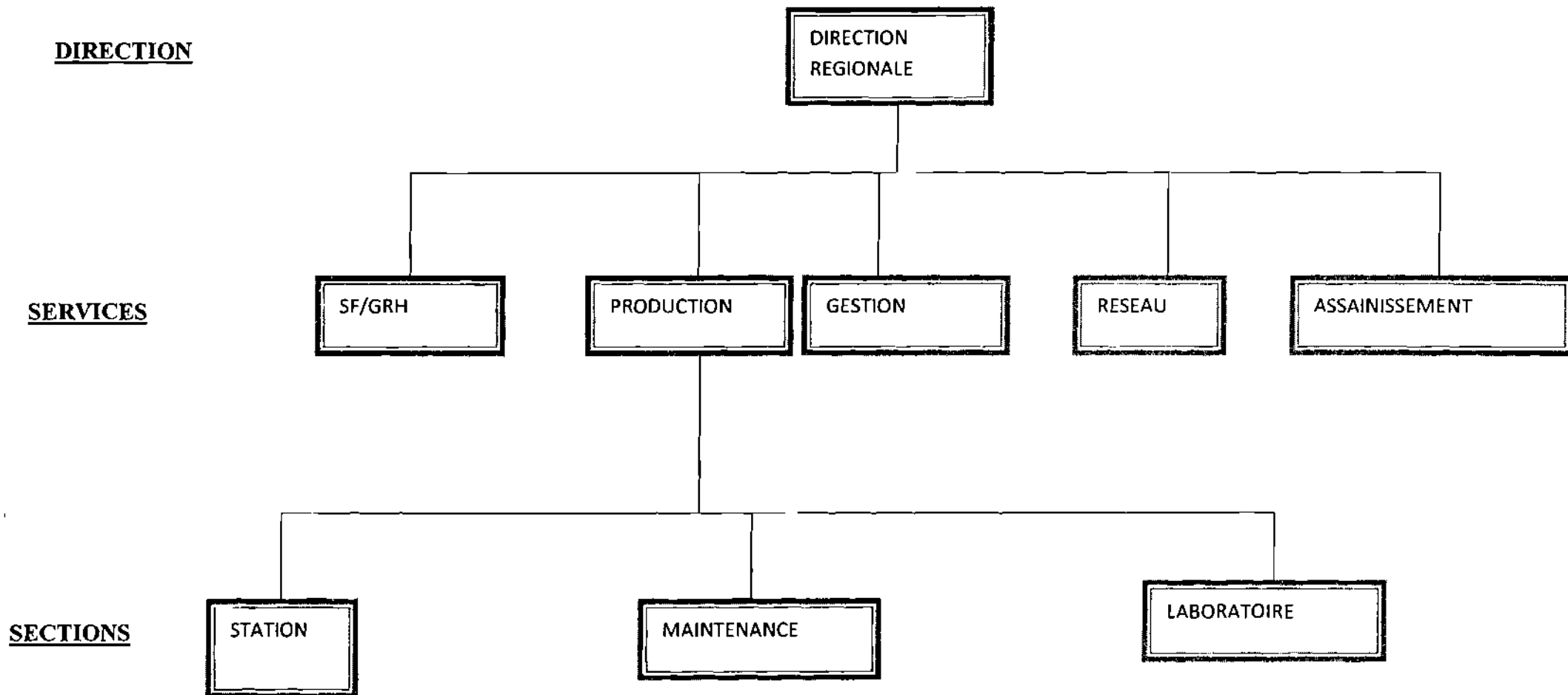
<http://www.lavilladys.com/rubrique,bobodioulasso,299078.htmlharger/drivers/>  
consulté le 2/06/2011

<http://ecolefrancaise-bobodioulasso.com/map.html>. Consulté le 23/07/2011



Annexe 1 : Organigramme général de l'ONEA

**Annexe 2 : Organigramme de l'ONEA/BOBO**





Annexe 3 : Tableau des maladies hydriques et leurs agents causaux

AMILLE	GENRE	ESPECE	MALADIE
<i>Vibrionaceae</i>	<i>Vibrio</i>	<i>Vibrio cholerae</i> Autres vibrios	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Choléra</li> <li>- Gastroentérite</li> <li>- Diarrhée</li> <li>- Septicémie</li> </ul>
<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Salmonella</i>	<i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella paratyphi</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fièvre typhoïde</li> <li>- Fièvre paratyphoïde</li> </ul>
	<i>Shigella</i>	<i>Shigella dysenteriae</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dysenterie bacillaire ou shigellose</li> <li>- Gastroentérite</li> <li>- Diarrhées</li> </ul>
	<i>Escherichia</i>	<i>Escherichia coli</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gastroentérites</li> <li>- Diarrhées</li> </ul>
	<i>Yersinia</i>	<i>Yersinia enterocolitica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diarrhée chez enfant et septicémie chez l'adulte</li> </ul>