



EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DE FORAGES REHABILITES EN VUE DE LEUR BRANCHEMENT SUR LE RESEAU DE DISTRIBUTION DE L'EAU POTABLE DE L'ONEA : CAS DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU (BURKINA FASO).

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET
DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : EAU ET ASSAINISSEMENT**

Présenté et soutenu publiquement le 19/01/2016 par

Moukhtar AL-DJIBERT

Travaux dirigés par :

Mr. Boukary SAWADOGO, 2iE

Mr. Wendlassida Olivier YAMEOGO, ONEA

Jury d'évaluation du stage :

Dr. Franck LALANNE : Président

Dr. Hela KAROUI : Membre

Mr. Boukary SAWADOGO: Directeur du memoire 2iE

Mr. Wendlassida Olivier YAMEOGO: Maître de stage ONEA

Promotion

[2014/2015]

DEDICACE

C'est dans l'allégresse que je saisis cette opportunité pour dédier ce mémoire à :

A ma Mère : **Soukaraye Assamah Issa** pour sa patience, son amour et sa chaleur maternelle.

REMERCIEMENTS

Nous tenons d'abord à remercier :

- Monsieur **Boukary SAWADO** pour son encadrement, sa disponibilité et sa patience;
- Monsieur **Olivier Wendlassida YAMEOGO** pour son suivi et accompagnement durant notre période de stage au laboratoire central de l'ONEA;
- Monsieur **D. Francis KERE**, responsable service qualité eau, pour nous avoir offert l'opportunité d'effectuer ce stage au laboratoire central de l'ONEA;
- Messieurs **Jean SOUBEIGA, Jean DIARRA, Marcel KANTANGBA, Christophe GUISSOU, Isai BOMBIRI, Mme OUEDRAOGO et tous les autres**, agents du laboratoire central de l'ONEA pour leur disponibilité et leur contribution;
- Tout le personnel du laboratoire central de l'ONEA pour leur collaboration;
- Le corps enseignant de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement pour la formation reçue ;
- Notre grande famille pour son soutien financier et matériel, la petite famille en particulier ma femme chérie **Mas-ouda Ousmane** pour sa compréhension durant ma longue absence en dehors du pays;
- Nos amis et collègues: **Moussa SOMA, Benoit OUEDRAOGO, Benjamin KABORE, Ahmat Djabar, Issa Al-djibert, Ahmat Aldjibert, Alhabo Ahmat, Bichara Alkhalil Nassir Abakar, Hamida Moustapha, Mahamat Alkhalil** etc. ;

Enfin, que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

LISTE DES ABREVIATIONS

- 2iE** : Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
- AEP** : Approvisionnement en Eau Potable
- AEPS** : Adduction d'Eau Potable Simplifié
- AFD** : Agence Française de Développement
- AFNOR** : Agence Française de Normalisation
- CF** : Coliformes Fécaux
- CNRS** : Centre National de la Recherche Scientifique
- DEX** : Direction de l'Exploitation
- DGAEUE** : Direction Générale de l'Assainissement des Eaux Usées et Excrétas
- DGRE** : Direction Générale des Ressources en Eau
- EDTA** : Acide Ethylène Diamine Tétracétique
- FAAS** : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à Flamme
- GIRE** : Gestion Intégrée de Ressources en Eau
- ISO** : International Standard Organisation
- MAEE** : Ministère des Affaires Etrangères et Européennes
- NF** : Norme Française
- NTU** : Unités Néphélométriques de Turbidité
- OMD** : Objectif de Milliaire pour le Développement
- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- ONEA** : Office National de l'Eau et de l'Assainissement
- PAGIRE** : Plan d'Action Intégrée des Ressources en Eau
- PEHD** : Polyéthylène Haute Densité
- pH** : Potentiel d'Hydrogène
- PN-AEPA** : Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable
- PNE** : Programme National de l'Eau
- PNSR** : Programme National du Secteur Rural
- PSNA** : Politique et Stratégie Nationale d'Assainissement
- TOD** : Texte d'Orientation de la Décentralisation
- TSD** : Solides Totaux Dissous
- UFC** : Unité Formant Colonies

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Evolution de la population de Ouagadougou de 1996-2015 -----	7
Tableau 2 : répartition et débit des forages réhabilités -----	23
Tableau 3 : Paramètres de l'eau -----	24
Tableau 4 : Teneurs en éléments toxiques -----	38

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : présentation du site de prélèvement -----	16
Figure 2 : Conductimètre portatif-----	18
Figure 3 : Turbidimètre de laboratoire-----	18
Figure 4 : pH-mètre-----	19
Figure 5 : Dispositif de filtration -----	19
Figure 6 : Volumétrie -----	20
Figure 7 : Spectrophotométrie DR3800 -----	21
Figure 8 : Spectrophotomètre à Flamme-----	21
Figure 9 : Environnement d'implantation de quelques forages -----	23
Figure 10 : Cartographie des forages réhabilités -----	25
Figure 11 : Variation de TAC -----	26
Figure 12 : Variation de TH-----	27
Figure 13 : Variation de Calcium et Magnésium-----	28
Figure 14 : Teneurs en ions chlorures -----	29
Figure 15 : Teneurs en Résidu sec-----	30
Figure 16 : Teneurs en Nitrates -----	31
Figure 17 : Teneurs en Nitrites -----	32
Figure 18 : Teneurs en Sodium -----	33
Figure 19 : Teneurs en Orthophosphates -----	33
Figure 20 : Teneurs en Potassium -----	34
Figure 21 : Teneurs en Fer total -----	35
Figure 22 : Teneurs en Sulfates -----	36
Figure 23 : Teneurs en Coliformes Fécaux -----	37
Figure 24 : Variation des Streptocoques fécaux-----	37
Figure 25 : Contribution des forages réhabilités -----	39

RESUME

La démographie galopante des villes africaines en général et Ouagadougou en particulier (capitale du Burkina Faso), entraîne une pénurie d'eau dans les zones urbaines et périurbaines. A Ouagadougou les installations actuelles de production d'eau potable ne permettent pas toujours de satisfaire la demande en eau de consommation. En attendant leur extension avec la phase II du programme Ziga, l'ONEA qui a en charge de l'approvisionnement en eau potable a réhabilité trente et un (31) forages en vu de baisser le déficit en eau potable. Mais avant leur raccordement au réseau de distribution, il est impératif d'évaluer la qualité leurs eaux d'où l'objet de cette étude.

Au total trente et un (31) forages ont été réhabilités répertoriés et sont repartis dans 9 arrondissements de la commune de Ouagadougou.

D'abord, une cartographie de localisation de trente et un (31) forages réhabilités a été élaborée afin de connaître avec précision le positionnement de chaque forage sur la carte de la ville de Ouagadougou. Ensuite les paramètres physico-chimiques et microbiologiques ont été analysés. Des traces de métaux lourds ont été détectées avec des concentrations : 7,3µg/L pour l'arsenic, 0,5µg/L pour le cadmium et 0,05µg/L pour le plomb. Toutes ces valeurs restent très faibles par rapport aux directives de l'OMS. Il a en outre été dénombré des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux dans plus de 90% des forages réhabilités. Les eaux de ces forages ne sont donc pas conformes aux normes de potabilité en vigueur au Burkina Faso pour les eaux de consommation. Il a donc été proposé des techniques de réhabilitation adaptées à la situation actuelle des forages et une désinfection pour l'élimination des germes détectés.

En terme de besoins en eau potable ces forages réhabilités produisent 9813,6 m³/j soit environ 5,85 % de l'eau potable qui seront injectés dans le réseau de distribution. Le raccordement de ces forages diminuera considérablement les besoins en eau de consommation. Un suivi par télégestion pourrait assurer une injection automatique des eaux de ces forages dans le réseau de distribution afin d'assurer de pression de distribution acceptable dans l'ensemble du réseau.

Mots clés : Eau potable, forages réhabilités, qualité des eaux de consommation, ONEA, Ouagadougou.

ABSTRACT

In general, the fast growing population of African cities and in particular of Ouagadougou (capital of Burkina Faso) brings about a water shortage in urban and suburban areas. In Ouagadougou, production facilities of drinking water are not always able to meet the demand. Waiting for their extension with the phase II of Ziga, the ONEA which is in charge of drinking water supply in the city has rehabilitated boreholes in order to fill the drinking water deficit. But before their connection to the distribution system, it is necessary to assess the quality of the waters which is the purpose of this study.

A total of 31 boreholes were rehabilitated, listed and shared between 9 districts in the municipality of Ouagadougou.

First, a mapping location of boreholes rehabilitated was developed in order to know the exact positioning of each drill on the map of the city of Ouagadougou. Then the physico-chemical parameters were analysed.

Traces of heavy metals were detected with a concentration of $7,3\mu\text{g} / \text{L}$ for the arsenic, $0,5\mu\text{g} / \text{L}$ for the cadmium and $0,05\mu\text{g} / \text{L}$ for the lead. All these values are still very low compared to the WHO guidelines. Faecal coliforms and faecal streptococci were also counted in 90% of rehabilitated boreholes. The waters of these boreholes are not consistent with the drinking water standards applicable in Burkina Faso for consuming waters. Adapted rehabilitation techniques were therefore proposed to the current situation of drilling and disinfection for the removal of detected germs.

In term of needs in drinking water these boreholes produce $9813,6 \text{ m}^3/\text{day}$ or about 5,85% that will be injected into the distribution network.

The adjusting of these boreholes will decrease the needs considerably in water of consumption.

A follow-up teleprocessing could provide an automatic injection water of these boreholes into the distribution network to make sure the pressure of distribution is acceptable across the network.

Keywords: Drinking water, boreholes rehabilitated, quality of the consumption waters, ONEA, Ouagadougou .

TABLE DES MATIERES

<i>DEDICACE</i>	<i>i</i>
<i>REMERCIEMENTS</i>	<i>ii</i>
<i>LISTE DES ABREVIATIONS</i>	<i>iii</i>
<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	<i>iv</i>
<i>LISTE DES FIGURES</i>	<i>v</i>
<i>RESUME</i>	<i>vi</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>vii</i>
<i>TABLE DES MATIERES</i>	<i>viii</i>
<i>INTRODUCTION</i>	<i>1</i>
<i>CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE</i>	<i>3</i>
1.1. GENERALITES SUR L'EAU POTABLE	3
1.1.1. Importance de l'eau	3
1.1.2. Terminologie	3
1.1.2.1. Eau potable	3
1.1.2.2. Forage	3
1.1.2.3. Approvisionnement en Eau Potable (AEP)	3
1.1.2.4. Approvisionnement d'Eau Potable Simplifié (AEPS)	4
1.1.2.5. Taux d'accès à l'eau potable.....	4
Le taux d'accès à l'eau potable est la proportion de la population des agglomérations urbaine ou rural ayant accès aux services d'eau potable par raccordement direct au service ou par borne fontaine ou PEA. .	4
1.2. REHABILITATION	4
1.2.1. Etapes de la réhabilitation.....	4
1.2.1.1. Evaluer les dégâts	4
1.2.1.1. Réparation du forage et de la pompe	5
1.2.1.2. Désinfection et remise en marche du forage et de la pompe.....	5
1.2. CADRE JURIDIQUE ET INSTITUTIONNEL DE LA GESTION DE L'EAU POTABLE AU BURKINA FASO	5
1.2.1. Cadre juridique	5
1.2.2. Cadre institutionnel.....	6
1.3. CADRE THEORIQUE DE L'ETUDE	7

1.3.1. Situations géographique et administrative de la ville de Ouagadougou	7
1.3.2. Climat et végétation de la ville de Ouagadougou	7
1.3.3. Géologie et hydrogéologie de Ouagadougou.....	8
1.4. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL.....	8
1.4.1. Généralités sur l'ONEA.....	8
1.4.2. Organisation et missions de l'ONEA.....	9
1.4.2.1. Organisation	9
1.5. RESSOURCES EN EAUX AU BURKINA FASO.....	10
1.6. ACCES A L'EAU POTABLE AU BURKINA FASO.....	10
1.6.1. Distribution de l'eau potable	10
1.6.2. Mode de gestion du service de l'eau et de l'assainissement	11
1.7. PARAMÈTRES DE L'EAU POTABLE.....	11
1.7.1. Paramètres microbiologiques.....	12
1.7.2. Paramètres Organoleptiques	12
1.7.3. Paramètres physico-chimiques	12
<i>CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....</i>	<i>16</i>
2.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	16
2.2. METHODOLOGIE GENERALE DE L'ETUDE.....	16
2.2.1. Choix du thème.....	16
2.2.2. Outils de traitement de données.....	17
2.2.3. Méthodes d'échantillonnage.....	17
2.2.4. Méthodes d'analyses.....	17
<i>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION.....</i>	<i>23</i>
3.1. ETAT DES LIEUX ET RÉHABILITATION DES FORAGES	23
3.1.1. Etat de lieux.....	23
3.1.2. Réhabilitation des forages.....	23
3.2. PARAMETRES PHYSIQUES DE L'EAU.....	24
3.3. PARAMETRES CHIMIQUES DE L'EAU	26
3.3.1 Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	26
3.3.2. Dureté totale	26
3.3.3. Variation de Calcium et Magnésium	27
3.3.5. Chlorure.....	29
3.3.7. Résidus secs.....	29
3.4. COMPOSITION MINERALOGIQUE DE L'EAU.....	30
3.4.1. Nitrates	30
3.4.2. Nitrites	31

3.4.3. Sodium.....	32
3.2.4. Teneurs en Ortho-phosphates	33
3.4.5. Potassium.....	34
3.4.6. Fer total.....	35
3.3.6. Sulfates	35
3.3. PARAMÈTRES BACTÉRIOLOGIQUES	36
3.3.1. Coliformes Fécaux.....	36
3.3.2. Streptocoques Fécaux	37
3.4. TENEUR EN ÉLÉMENTS TOXIQUES	38
4.1.CONTRIBUTION DES FORAGES RÉHABILITÉS DANS LE RÉSEAU D'AEP..	39
<i>CONCLUSION.....</i>	<i>41</i>
<i>RECOMMANDATIONS.....</i>	<i>42</i>
<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	<i>43</i>
<i>ANNEXES</i>	<i>xi</i>
ANNEXE 1 : Procédures de prélèvement des échantillons	xi
ANNEXE 2 : Procédure d'analyse par volumétrie	xii
ANNEXE 3 : PROTOCOLE POUR LA MÉTHODE PAR SPECTROPHOTOMÉTRIE D'ABSORPTION MOLECULAIRE.....	xiii
Annexe 4 : Protocole d'analyse par la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à Flamme (SAAF).....	xiv
Annexe 5 : Norme du burkina faso.....	xv

INTRODUCTION

Les directives de l'OMS (2004) indiquent qu'une eau de boisson saine ne doit pas présenter un risque pour la santé des consommateurs. Aussi l'eau douce est un élément indispensable pour la vie des êtres vivants. Une eau de bonne qualité et de quantité suffisante contribue énormément au maintien de la santé. Par conséquent l'eau de consommation humaine doit être exempte bactériologiques nuisibles (OMS, 2003).

Dans les pays en voie développement, l'accès à l'eau potable demeure un obstacle majeur au développement. D'après MONJOUR (2000) le facteur aggravant de cette insuffisance reste la forte urbanisation et le développement économique dans les grandes villes du tiers monde.

Vu que l'accès à l'eau potable est un droit reconnu par la Constitution de 1991 du Burkina Faso, l'Office National de l'Eau et de l'assainissement (ONEA) a été mis en place pour répondre aux besoins de la population en eau potable. A cet effet, en 2010 le Burkina Faso a mis en place le Programme National du Secteur Rural (PNSR) pour réaliser la cible 1 des OMD à savoir, « réduire de moitié d'ici 2015, le pourcentage de la population n'ayant pas accès à une eau potable de qualité et de façon durable ».

Selon le rapport d'activités de l'ONEA (2014), le taux d'accès à l'eau potable est de 88% dans l'ensemble du Burkina Faso et 95% pour la commune de Ouagadougou.

Dans la ville de Ouagadougou la production d'eau de consommation est assurée par l'ONEA grâce aux deux (02) grandes stations de traitement: Ziga et Paspanga. Ces stations utilisent essentiellement les eaux du barrage de Ziga (station de Ziga), du barrage N°3 de Ouagadougou et du barrage de Loumbila (station de Paspanga). Avant la mise en place du barrage de Ziga, l'ONEA, en plus des barrages N°3 et de Loumbila, utilisait un certains nombre de forages à pompe immergée pour l'approvisionnement en eau potable de la population de Ouagadougou.

Avec la construction du barrage de Ziga, l'ONEA, espérant répondre aux besoins en eau potable de la population de Ouagadougou, avait cessé de faire fonctionner les forages à pompe immergée. Mais quelques années plus tard, face à la démographie croissante et à la forte urbanisation de la commune de Ouagadougou, les besoins en eau potable sont de plus en plus croissants dépassant ainsi l'offre disponible.

Une des solutions intermédiaire pour réduire le déficit en eau potable est l'utilisation des eaux de forage. Cela passe donc par la réhabilitation des forages à pompe immergée mise en arrêt et l'injection de leurs eaux dans le réseau de distribution d'eau potable en attendant la finalisation de la phase II du barrage de Ziga. Mais une question se pose sur la qualité des

eaux issues de ces forages d'où la caractérisation de ces eaux avant leur injection dans le réseau. L'évaluation de la qualité de l'eau des forages réhabilités permet de vérifier leur potabilité. C'est dans ce cadre que le présent travail a été initié. Comme objectif principal, cette étude vise à évaluer la qualité de l'eau des forages réhabilités par l'ONEA dans la ville de Ouagadougou pour renforcer l'offre de fourniture d'eau potable.

De manière spécifique, il s'agira de :

- faire l'état des lieux des ouvrages réhabilités;
- réaliser une caractérisation des paramètres physico-chimique et microbiologique de l'eau des forages réhabilités ;
- proposer un plan de connexion de ces ouvrages au réseau tenant compte des caractéristiques des eaux et des ouvrages.

Ainsi le plan de notre rédaction est constitué d'une synthèse bibliographique, de matériel et méthodes suivi des résultats et discussion et enfin une conclusion et quelques recommandations.

Hypothèses

Pour atteindre les objectifs, les hypothèses suivantes ont été formulées :

- Les caractéristiques physico-chimique et bactériologique des eaux des forages réhabilités sont conformes à la norme du Burkina;
- Les ouvrages réhabilités peuvent être connectés au réseau de distribution de l'ONEA.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. GENERALITES SUR L'EAU POTABLE

1.1.1. Importance de l'eau

La molécule de l'eau est la seule à pouvoir être présente sous trois (03) états sur la terre : solide, liquide et gazeuse. L'eau peut changer d'un état à un autre sans intervention humaine. Ces changements d'états dépendent essentiellement de la température et de la pression mais aussi des composés chimiques présents dans l'atmosphère (Musy, 2004).

L'eau constitue 70% du poids de corps humain. Elle est aussi utilisée pour de nombreux usages essentiels tels que la boisson, la préparation de repas, l'hygiène corporelle, les loisirs, les fabrications dans l'industrie, l'irrigation des cultures, l'abreuvement de bétail et les pratiques socioculturelles.

1.1.2. Terminologie

1.1.2.1. Eau potable

Selon la définition qui est donnée par les directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), une eau potable est une eau saine, ne présentant aucun risque notable pour la santé d'une personne qui la consommerait sur toute la durée de sa vie, compte tenu des variations de sensibilité éventuelles entre les différents stades de la vie (OMS, 2004).

1.1.2.2. Forage

Le forage est défini comme un ouvrage de petit diamètre destiné à capter des aquifères profonds. Il est équipé d'un tubage et d'une superstructure, et est prévu pour recevoir un dispositif de pompage. Quelques types de forage

❖ **Forage sans tubage** : en général, il est plus facile et moins onéreux de remplacer un forage sans tubage que de le réhabiliter.

❖ **Forage avec tubage** Par contre, pour les forages avec tubage, qui sont beaucoup plus chers à équiper et qui nécessitent l'utilisation d'équipement de forage, il est souvent préférable de réhabiliter.

1.1.2.3. Approvisionnement en Eau Potable (AEP)

L'Approvisionnement en Eau Potable (AEP) est un ensemble d'opérations visant à mobiliser une ressource en eau, si nécessaire la traiter qualitativement pour la rendre propre à la consommation humaine, et transporter en divers points de consommation publics ou privés.

1.1.2.4. Approvisionnement d'Eau Potable Simplifié (AEPS)

Les Approvisionnements en Eau Potable Simplifié (AEPS) sont composés essentiellement des mini-réseaux d'AEP et les Postes d'Eau Autonomes (PEA).

1.1.2.5. Taux d'accès à l'eau potable

Le taux d'accès à l'eau potable est la proportion de la population des agglomérations urbaine ou rural ayant accès aux services d'eau potable par raccordement direct au service ou par borne fontaine ou PEA.

L'OMS définit la notion d'accès à l'eau en termes de distance et de quantité d'eau disponible par jour et par personne. Sur cette base elle fixe une distance raisonnable de 200 mètres et une quantité de 20 litres pour la satisfaction des besoins de base (boisson, douche etc.).

1.2. REHABILITATION

La réhabilitation de forages est une approche d'urgence conçue pour permettre la production d'une eau de qualité similaire à celle produite auparavant (OMS, 2013).

Généralement les forages sont résistants aux catastrophes naturelles ou humaines. Par conséquent même si les aménagements externes sont détériorés, le faible diamètre des forages les protège contre l'infiltration des eaux de surface et contre la dégradation de la pompe immergée (OMS, 2013).

1.2.1. Etapes de la réhabilitation

1.2.1.1. Evaluer les dégâts

- ❖ Faire une enquête au près des utilisateurs sur les besoins et les dégâts réels liés au manque d'eau potable;
- ❖ Obtenir toutes les informations nécessaires sur les matériaux utilisés pour le tubage, la profondeur totale et la profondeur jusqu'à la crépine ainsi que le débit ;
- ❖ Identifier les pompes qui étaient utilisées fréquemment pour l'eau de boisson et qui fournissaient une grande quantité d'eau avant la catastrophe et qui seront facilement réparables ;
- ❖ Dans l'environnement des forages à réhabiliter, vérifier qu'il n'y pas de contamination ou de pollution des eaux souterraines ;
- ❖ Evaluer la nature des dommages à la surface du forage ainsi que l'état du joint d'étanchéité et la dalle de la surface ;

- ❖ Enlever et remplacer la pompe immergée et la colonne d'exhaure du forage : identifier tous les dommages et repérer si des particules fines sont présentes dans la colonne.

1.2.1.1. Réparation du forage et de la pompe

- ❖ Injecter de l'eau sous haute pression pour évacuer les sédiments du forage ;
- ❖ Vérifier, si le tubage est plié ou tordu, dans ces cas il sera impossible d'installer la pompe correctement ; il faut donc couper la partie endommagée du tubage et y souder une nouvelle section ;
- ❖ Remonter la pompe et réinstaller les éléments du forage. Vérifier que la pompe fonctionne, que l'eau pompée est bien claire et sans particules et que le débit de l'eau est acceptable. Si l'eau contient toujours des sédiments, retirer la pompe et nettoyer le forage à grande eau une nouvelle fois ;
- ❖ Réparer le joint d'étanchéité en argile en haut du forage ainsi que le canal d'évacuation afin d'éviter une contamination par l'intrusion d'eau de surface.

1.2.1.2. Désinfection et remise en marche du forage et de la pompe

Suite à sa réhabilitation, le forage et toutes ses composantes doivent être désinfectés pour assurer un approvisionnement en eau potable. Faire fonctionner la pompe pendant environ vingt-quatre heures (24H) afin d'éliminer toute contamination de l'eau souterraine causée par la catastrophe ou par le processus d'injection d'eau sous haute pression.

La méthode de désinfection la plus répandue est celle de la chloration. Le composé chloré le plus souvent utilisé est l'hypochlorite de calcium concentré (HTH) en poudre ou granulé contenant 60-80 % de chlore actif.

1.2. CADRE JURIDIQUE ET INSTITUTIONNEL DE LA GESTION DE L'EAU POTABLE AU BURKINA FASO

1.2.1. Cadre juridique

En ce qui concerne le secteur de l'eau et de l'assainissement au Burkina Faso, plusieurs lois et programmes ont été adoptés :

- 1991 : l'accès à l'eau potable est reconnu comme un droit dans la Constitution du Burkina Faso ;
- 1998 : la Politique Nationale de l'Eau (PNE) a été adoptée. L'objectif visé par cette politique est de contribuer au développement durable en apportant des solutions appropriées aux problèmes liés à l'eau. Il y a aussi les « Textes d'Orientation de la

Décentralisation » ou TOD, concernant le transfert de compétences aux collectivités territoriales ;

- 2000 : le Décret n°2000-514/PRES/PM/MEE a été adopté le 03 novembre 2000 portant réforme du système de gestion de l'eau potable en milieu rural et semi urbain ;
- 2001 : la loi portant sur la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) a été adoptée au Burkina Faso ;
- 2003 : le Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PAGIRE) a été aussi adopté ;
- 2006 : le Gouvernement a adopté le Programme National d'Approvisionnement en Eau potable et d'Assainissement (PN-AEPA), qui constitue le cadre de référence et fédérateur de toutes les interventions en Approvisionnement en Eau Potable et en Assainissement (AEPA) en milieu urbain et rural;
- 2007 : la Politique Nationale et la Stratégie Nationale d'Assainissement (PSNA) ont vu le jour et portent sur une conception plus large de l'assainissement que celle utilisée dans le secteur AEPA ;
- 2004 : la réforme sur la décentralisation implique le transfert des compétences et des ressources de l'Etat aux communes, désormais responsable de la gestion du service de l'eau potable et de l'assainissement sur leur territoire.
- 2009 : la réflexion conduite face au contexte de décentralisation au Burkina Faso a eu une coopération tripartite entre collectivités locales : région Limousin / région du plateau / réseau des communes de l'Oubritenga pour résoudre le problème de l'accès à l'eau potable et à l'assainissement;
- 2009 : L'actualisation de la Politique Nationale de l'Eau (PNE) a eu lieu ;
- 2010 : le Programme National du Secteur Rural (PNSR) est conçu pour être mis en œuvre dans l'esprit de la déclaration de Paris sur l'efficacité de l'aide au développement. Egalement le PNSR est la principale référence sur laquelle s'appuie le Burkina Faso pour réaliser la cible 1 de l'Objectif du Millénaire pour le Développement (OMD) à savoir, « réduire de moitié d'ici 2015, le pourcentage de la population n'ayant pas accès à une eau potable de qualité et de façon durable».

1.2.2. Cadre institutionnel

Le ministère de l'agriculture des ressources hydrauliques de l'assainissement et de la sécurité

alimentaire est en charge de la définition de la politique nationale d'eau et d'assainissement à travers quelques directions centrales: la DGRE (Direction Générale des Ressources en Eau) et la DGAEUE (Direction Générale de l'Assainissement, des Eaux Usées et Excrétas), responsables du pilotage du PN AEPA au niveau national.

L'ONEA est la structure en charge d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement en milieu urbain et périurbain. Le Service Qualité Eau de l'ONEA, en charge des autocontrôles de la qualité de l'eau produite et distribuée par l'ONEA, offre aux clients de nombreuses prestations telles que le contrôle des eaux usées, contrôle de la qualité des eaux naturelles (puits, forage, barrages, lacs, fleuves, rivières, eau potable) et études spécifiques.

1.3. CADRE THEORIQUE DE L'ETUDE

1.3.1. Situations géographique et administrative de la ville de Ouagadougou

Ouagadougou, chef-lieu de la province du Kadiogo est la capitale politique et administrative du Burkina Faso. Sa superficie est de 2 857, 124 Km². La loi 2009-066 du 29-12-2009 portant découpage de la ville de Ouagadougou a scindé ladite ville en douze (12) arrondissements. Chaque arrondissement à son tour est découpé en secteurs. Ainsi, le nombre total de secteurs que compte Ouagadougou est de 55 (Annuaire statistique/ville de Ouagadougou, 2011). Le tableau 1 présente l'évolution de la population de Ouagadougou de 1996 à 2015.

Tableau 1: Evolution de la population de Ouagadougou de 1996-2015

Année	1996	2000	2005	2010	2015
Population	709736	1031590	1646330	2627420	4193160

Source : projection faite sous la base de données de l'INSD, (2007).

1.3.2. Climat et végétation de la ville de Ouagadougou

Le climat de la ville de Ouagadougou est de type tropical et est dominé par deux grandes saisons: la saison sèche de mars à juin et la saison des pluies de juillet à septembre (INSD, 2007).

Selon la direction de la météorologie nationale, la ville de Ouagadougou se trouve dans une zone soudano-sahélienne. Sa température minimale est de 19 °C (décembre et janvier) et la température maximale atteint parfois 40 °C entre avril et mai. Les précipitations moyennes annuelles sont d'environ 800mm et l'humidité relative varie entre 21% (Février) et 79% (Août).

En ce qui concerne son paysage les arbres tels que le baobab, l'eucalyptus, le néré, le flamboyant, sont les plus fréquemment rencontrés. A part quelques espaces verts aménagés de part et d'autre dans la ville, il existe une forêt classée dit "Bois de Boulogne" ou "Parc de Bangreogo" située en aval du barrage N°3 de Ouagadougou.

1.3.3. Géologie et hydrogéologie de Ouagadougou

Selon Ouandaogo (2008), Ouagadougou se trouve dans une zone géologique de socle cristallin et cristallophyllien du Paléo-Protérozoïque. Son profil complet comprend une cuirasse latéritique alumino-ferrugineuse traversant des altérites argileuses et des arènes grenues.

Sur le plan hydrogéologique on distingue :

- la nappe peu profonde (3 à 15 m) exploitée par des puits de grand diamètre et des puisards qui sont très vulnérables à la pollution;
- la nappe profonde constituée par les arènes grenues et le socle cristallin fissuré et fracturé. Du fait de sa dominante argileuse, cette nappe se caractérise par une porosité d'interstice significative et une perméabilité relativement faible. La plupart des forages réalisés dans la ville de Ouagadougou atteint ce niveau et ont un bon débit (Ouandaogo, 2008).

Les minéralisations totales des eaux sont très variables, avec des conductivités électriques qui vont de 100 à 1300 $\mu\text{s/cm}$. Les conductivités au-delà de 350 $\mu\text{s/cm}$ pour ce type de milieu sont les conséquences des apports anthropiques des matières organiques et accusent une pollution par les chlorures et les nitrates (Suzanne, 2013).

Sur le plan hydrochimique, les forages qui ont un aquifère inférieur présentent un faciès bicarbonaté calcique et magnésien hérité de la seule hydrolyse des silicates, tandis que les puits de la nappe superficielle présentent un faciès chloruré et nitrate à tendance sodique témoignant de pollutions domestiques et maraîchères. Dès le début de la saison des pluies, les puits présentent des augmentations très importantes de leurs éléments anthropiques (NO_3^- , Cl^- , Na^+). (Suzanne, 2009).

1.4. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

1.4.1. Généralités sur l'ONEA

L'Office Nationale de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA) est une société d'Etat chargée de la production et de la distribution de l'eau potable ainsi que de la promotion de

l'assainissement des eaux usées et excréta des centres urbains et semi-urbains du Burkina Faso. Elle fut créée le 22 juillet 1985 par décret n°85/387/CNR/PRES/EAU pour pallier aux problèmes de pollution et d'assainissement liés à l'accroissement de la consommation d'eau et le manque d'infrastructure adéquates qui se posait en 1984. Son siège social est situé sur l'avenue de l'ONEA, porte N°220, à Pissy 01 BP 170 Ouagadougou 01. L'ONEA a obtenu en 2015, le renouvellement de sa certification ISO 9001 version 2008 sur l'ensemble de ses activités, sur tous les sites et pour une durée de 03 ans.

1.4.2. Organisation et missions de l'ONEA

1.4.2.1. Organisation

L'ONEA est administré par un conseil d'administration et une direction générale:

- une Direction Générale qui regroupant huit (8) Directions centrales entre autres la Direction de l'Exploitation (DEX) ;
- la DEX comprend quatre Directions Régionales (Direction Régionale de Ouagadougou (DRO); Direction Régionale de Bobo-Dioulasso (DRB), Direction Régionale de Nord-Est (DRNE), Direction Régionale du Nord-Ouest (DRNO) ;
- Les services de la DEX sont : le service maintenance et le service Qualité Eau dont dépend le Laboratoire Central de Ouagadougou (LCO).

1.4.2.2. Missions

- Les missions de l'ONEA sont multiples et variées. On peut citer entre autres ;
- la création, la gestion et la protection des installations de captage, d'adduction, de traitement et de distribution d'eau potable pour les besoins urbains et industriels;
- la création, la promotion et l'amélioration ainsi que la gestion des installations d'assainissement collectif, individuel ou autonome pour l'évaluation des eaux usées en milieu urbain et semi urbain.

1.4.2.3. Laboratoire Central de l'ONEA

Le laboratoire central de l'ONEA, lieu où se déroule notre étude est chargé de faire :

- le contrôle de la potabilité de l'eau de boisson produite et distribuée par l'ONEA ;
- le contrôle de la qualité des eaux de puits et forages ;
- le contrôle de la qualité des eaux de surface ;
- le contrôle de la qualité des eaux usées et épurées ;
- l'étude et le bilan de pollution industrielle et agricole ;
- l'optimisation du traitement des eaux potables et usées.

1.5. RESSOURCES EN EAUX AU BURKINA FASO

L'essentiel des ressources en eau du Burkina Faso provient des pluies qui engendrent le ruissellement et la recharge des nappes souterraines. En moyenne, la pluviométrie annuelle varie entre moins de 600 mm et un peu plus de 900 mm (PNSR, 2011). Les pluies apportent chaque année environ 207 milliards de m³ d'eau, générant ainsi un écoulement moyen de surface estimé à environ 8,79 milliards de m³ et une infiltration d'environ 32 milliards de m³. L'eau de surface a un potentiel moyen de 4,29 milliards de m³ en année très sèche. Les eaux de surfaces sont mobilisées dans une dizaine des barrages avec une capacité de stockage d'environ cinq (05) milliards de mètre cube. Les principaux bassins hydrographiques nationaux sont : les bassins versants de la Comoé, du Niger, du Nakambé et du Mouhoun.

Les réserves en eaux souterraines des formations aquifères dans les socles cristallins (82% du territoire) et les zones sédimentaires sont estimées à 402 milliards de mètre cube. L'eau utile renouvelable annuellement est évaluée à 41 milliards de mètre cube. Ces eaux souterraines paraissent dans leur grande partie de bonne qualité mais les concentrations élevées en nitrates (plus de 100 mg/L) et en chlorures ont été observées dans certaines régions (PNSR, 2011). L'Arsenic (As) : L'arsenic est présent dans les roches éruptives et métamorphiques. Il est ensuite réparti lors de l'altération des roches (AFSSA, 2004). Les effets dus à l'arsenic sont nombreux : lésions de la peau, gangrène, maladies cardiovasculaires ou pulmonaires, hypertension et cancers. La valeur permise par l'OMS pour la teneur en arsenic dans l'eau potable est de 10 µg/L.

1.6. ACCES A L'EAU POTABLE AU BURKINA FASO

Au Burkina Faso l'approvisionnement en eau potable en milieu urbain et semi-urbain est assuré par l'ONEA. En milieu rural, les forages équipés de pompes ou des puits modernes sont mis à la disposition des populations pour faciliter l'accès à l'eau potable et réduire la corvée d'eau. Ainsi le taux d'accès à l'eau de consommation au Burkina Faso est estimé à 88% et 95% pour la commune de la ville de Ouagadougou (ONEA, 2014). Cette couverture est assurée à partir des eaux de surface et des souterraines.

1.6.1. Distribution de l'eau potable

La distribution de l'eau potable dans les grands centres du Burkina Faso et en particulier dans

la ville de Ouagadougou est assurée par l'ONEA. Dans cette ville les eaux distribuées proviennent essentiellement des eaux de surface. Dans les villages, la population se sert des forages équipés de pompes ou des puits modernes (PNSR, 2011).

Avant d'être consommées, les eaux de surface sont traitées plusieurs fois en fonction de leurs origines avant leur distribution pour la consommation humaines.

Le traitement pratiqué est le traitement physico-chimique qui consiste dans un premier temps à éliminer les matières grossières par dégrillage. Ensuite viennent les étapes de clarification comportant la coagulation-floculation, de décantation, de filtration et de désinfection au chlore. Les eaux ainsi traitées sont refoulées dans les réservoirs et les conduites de distribution.

Quant aux eaux souterraines, elles sont naturellement claires et limpides, par conséquent leur traitement consiste essentiellement en une désinfection.

Pour assurer le maintien de la qualité des eaux de consommation dans la ville de Ouagadougou, l'ONEA à travers son laboratoire central a mis en place un système d'évaluation à trois (03) niveaux de contrôle : le contrôle interne permanent sur les unités de production ; le contrôle interne sur plusieurs points du réseau de distribution et le contrôle externe quotidien exercé par l'organisme légal de contrôle, en l'occurrence de Laboratoire National de Santé Publique (LNSP).

1.6.2. Mode de gestion du service de l'eau et de l'assainissement

Dans les principaux centres urbains, la gestion de l'eau potable et de l'assainissement est concédée par l'Etat à l'ONEA. Pour les centres dont la population est inférieure à 10 000 habitants, la gestion est déléguée à un opérateur associatif ou privé (contrat d'affermage avec la commune).

En milieu rural, la gestion du service de l'eau est déléguée à une association d'usagers chargée de superviser l'ensemble des points d'eau du village ou du quartier. L'assainissement collectif est géré par la commune et l'assainissement individuel (investissement et fonctionnement) est à la charge des familles. La collecte et le traitement des boues sont gérés par la commune (PN-AEPA, 2011).

1.7. PARAMÈTRES DE L'EAU POTABLE

L'ONEA est responsable du contrôle de la qualité des eaux qu'il distribue sur l'ensemble de ses centres et est tenu de s'assurer à tout moment de la conformité de celles-ci vis-à-vis des normes en vigueur.

1.7.1. Paramètres microbiologiques

Une eau de bonne qualité ne doit pas contenir des agents pathogènes (bactéries, protozoaires, virus, etc). La présence des coliformes fécaux ou des streptocoques fécaux est un signe de contamination fécale (animale ou humaine). L'existence de ces microorganismes pathogènes dans l'eau peut engendrer des maladies d'origine hydrique (Ouandaogo, 2008).

1.7.2. Paramètres Organoleptiques

Les paramètres organoleptiques sont : la couleur, l'odeur et la saveur. La couleur de l'eau résulte essentiellement de particules colloïdales en suspension, peu ou pas décantables.

L'importance de la couleur est surtout d'ordre organoleptique, c'est à dire capable de produire un effet sensoriel. Elle peut être l'indice d'une pollution par diverses substances chimiques (Potelon et al, 1993).

Alors que l'odeur et la saveur sont dues à la présence de matières organiques en décomposition (Rodier, 2009).

L'odeur a pour origine principale la présence de substances organiques volatiles ou de certains gaz : d'origine biologique, les odeurs révèlent la présence de microorganismes qui peuvent signifier une augmentation de la concentration en germes pathogènes; elles peuvent aussi provenir de pollutions issues des activités humaines (Potelon et al, 1993).

L'apparition de goût provient souvent d'une croissance de microorganismes à l'intérieur du système de distribution ou bien d'une contamination occasionnelle par les matériaux utilisés pour la construction ou l'entretien du réseau (Potelon et al, 1993).

1.7.3. Paramètres physico-chimiques

Les eaux douces sont majoritairement constituées d'anions et de cations: les ions bicarbonates, chlorures, nitrates, sulfates, phosphates, calcium, magnésium, potassium et sodium (BANTON et al, 1997). Il y a aussi des oligoéléments comme le fer, le manganèse, le zinc, le fluor...

Les contaminants chimiques de l'eau (arsenic, plomb...) peuvent à long terme engendrer des maladies cancérigènes (OMS, 2006). Le suivi de la qualité physico-chimique de l'eau destinée à la consommation est nécessaire pour s'assurer que leurs teneurs respectent les directives de l'OMS.

- La température joue un rôle très important dans la solubilité des sels et des gaz, sur la conductivité électrique et le pH (OMS, 2006). Son unité est le Degré Celsius (°C). L'OMS recommande une valeur limite de 25°C pour les eaux de consommation.

- Le pH (potentiel d'Hydrogène) : Il conditionne les équilibres physico-chimiques et dépend de la teneur en ions acides ou basiques du milieu. Dans le réseau, le pH est important pour le contrôle de la corrosion, l'agressivité de l'eau, l'action du désinfectant et la précipitation des éléments dissous. Le pH de l'eau potable doit être compris entre 6,5 et 8,5 (OMS, 2006).
- La turbidité : la turbidité indique la présence des matières en suspension (argile, boue, limon, particules, plancton) dans l'eau. Ainsi elle réduit l'efficacité des désinfectants. La turbidité est exprimée en Unité Néphélométrie de Turbidité (NTU). La turbidité doit être inférieure à ≤ 5 NTU pour les eaux de consommation humaine (OMS, 2004).
- La Conductivité: Elle permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau et se mesure à l'aide d'un conductimètre, son unité de mesure est le micron siemens par centimètre ($\mu\text{s}/\text{cm}$).
- La dureté totale ou Titre Hydrotimétrique (TH) : la dureté totale est la somme des concentrations calcique (TCa^{2+}) et magnésique (TMg^{2+}) dans une eau. Elle s'exprime en $\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{L}$, en mg/L de CaCO_3 ou en degré français ($^{\circ}\text{F}$). Selon la norme du Burkina Faso, la dureté totale d'une eau potable ne doit pas excéder 10 $\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{L}$. Elle varie selon les types d'eau :
 - Eau très douce $0 < \text{TH} < 1,2 \text{ m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{L}$;
 - Eau douce $1,2 < \text{TH} < 3,0 \text{ m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{L}$;
 - Eau moyennement douce $3,0 < \text{TH} < 6,0 \text{ m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{L}$;
 - Eau dure $\text{TH} > 10 \text{ m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{L}$.
- Le calcium (Ca^{2+}) : il ne présente pas un risque pour l'organisme, car il doit être régulièrement approvisionné en calcium à raison de 0,7 à 2 mg/jour. La norme du Burkina recommande une concentration limite en calcium 100mg/L.
- Le magnésium (Mg^{2+}) : il est indispensable à la production des hormones et intervient dans le système enzymatique. A partir de 100 mg/L, il confère un goût amer à l'eau. La concentration limite acceptable est de 50 mg/L (OMS, 2004).
- Les chlorures (Cl^-): De façon générale, les ions chlorures sont présents dans toutes les eaux naturelles à des concentrations variables. Dans les eaux de surface, les ions chlorures sont présents à faible concentration par contre dans les eaux souterraines, les teneurs en ions chlorures peuvent atteindre quelques grammes par litre au contact de certaines formations géologiques, (Potelon et al, 1993).

- Les O-phosphates (PO_4^{3-}) : Le phosphore est un élément assez rare mais indispensable à tout être vivant. Bien que non toxiques, les ions phosphates présents dans l'eau peuvent occasionner des troubles digestifs à cause de leur effet tampon.
- Les nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-) : ils sont à faible quantité dans les eaux de boisson. Leurs excès dans l'eau de consommation provoquent une méthémoglobinémie (inhibition du transport de l'oxygène par l'hémoglobine) entraînant le plus souvent une asphyxie chez le nourrisson. Dans l'eau potable l'OMS recommande 50 mg/L pour les nitrates et 0,9 mg/L pour les nitrites.
- Le Fer (Fe) : il intervient dans la composition de l'hémoglobine et des enzymes jouant un rôle capital dans de nombreuses réactions métaboliques. Le fer occupe environ 5% de la croûte terrestre. Dans les eaux de distribution, il provient le plus souvent de la corrosion des conduites d'aménages ou d'emploi de sels de fer pour les traitements de coagulation-floculation (Rodier, 2009). L'ingestion de grande quantité de fer conduit à l'hémochromatose, affection dans laquelle les mécanismes régulateurs normaux fonctionnent de manière insuffisante, ce qui conduit à des lésions tissulaires par charge ferrique.

1.7.4. Eléments toxiques

- Le Manganèse (Mn) : il est nécessaire à l'Homme pour la croissance et le métabolisme. Les besoins journaliers sont estimés de 2 à 5mg/j pour l'adulte et à moins de 1,5mg/j pour l'enfant. Les intoxications par le manganèse sont extrêmement rares (Rodier, 2009). Toutefois, en raison de risque de taches sur les appareils sanitaires, l'OMS préconise une valeur limite de 100µg/L.
- L'Arsenic (As) : L'arsenic est présent dans les roches éruptives et métamorphiques. Il est ensuite réparti lors de l'altération des roches (AFSSA, 2004). Les effets dus à l'arsenic sont nombreux : lésions de la peau, gangrène, maladies cardiovasculaires ou pulmonaires, hypertension et cancers. La valeur permise par l'OMS pour la teneur en arsenic dans l'eau potable est de 10 µg/L.
- Le Plomb (Pb) : Dans les eaux de distribution, la présence du plomb peut être d'origine industrielle, minière ou provenir de la dissolution du plomb qui entre dans la composition de la tuyauterie. Le plomb est un élément toxique par ingestion et un poison par accumulation. La norme de l'OMS recommande des valeurs inférieures à 0,01 µg/L.

- Le Cadmium (Cd) : élément extrêmement toxique qui s'accumule dans les reins et provoque leur dysfonctionnement même à faible concentration. L'OMS exige pour la consommation humaine de l'eau potable la concentration en Cadmium ne doit pas dépasser 3µg/L.

1.7.5. Quelques maladies d'origine hydriques

L'eau est indispensable à la vie car, au-delà de la boisson, elle est utilisée pour de nombreuses activités telles que la cuisson des aliments, le lavage, ou l'évacuation des matières fécales. Cependant, elle reste un vecteur essentiel de maladie, en particulier dans les pays en voie de développement où sa qualité déficiente contribue à la persistance d'épidémies particulièrement dévastatrices (Potelon et al., 1993).

L'OMS considère que chaque année, dans le monde, 3,2 millions d'enfants meurent de maladies diarrhéiques.

Les micro-organismes dans les eaux souillées par les déjections animales et humaines et leur transmission à l'Homme se fait par simple ingestion d'eau infectée.

Certaines bactéries, notamment les colibacilles sont responsables de colibacillose et les vibrons cholériques responsables du cholera. Les protozoaires comme les amibes sont des parasites du corps humain et responsables de fortes diarrhées. Ces pertes d'eau causées par la diarrhée peuvent conduire à une déshydratation importante de l'organisme et entraîner la mort. La fièvre typhoïde est due, à des bactéries du genre salmonella qui, outre des troubles digestifs, provoque une forte fièvre. La dracunculose provoquée par le ver de Guinée est transmise à l'Homme par l'absorption d'eau contaminée (Poda et al., 1998).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

2.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

L'étude a été effectuée au Burkina Faso dans la ville de Ouagadougou. Sa localisation géographique est située entre les parallèles 12°30' et 12°25' de latitude nord et les méridiens 1°27 et 1°35 de longitude Ouest. (figure 1) et a concerné 31 forages réhabilités pour répondre aux besoins en eau de consommation de la population Ouagalaise. Les forages sont repartis dans neuf (09) arrondissements de la ville. Pour évaluer la qualité des eaux issues de ces forages, des prélèvements ont été effectués et analysés au laboratoire central de l'ONEA à Ouagadougou.

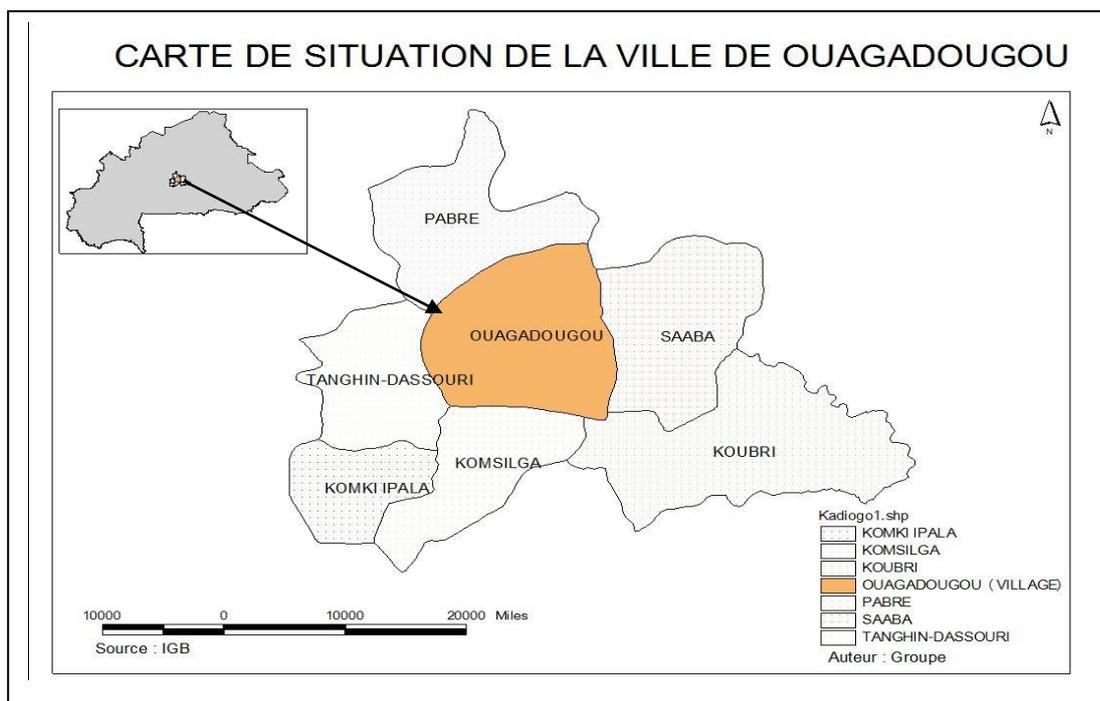


Figure 1 : présentation du site de prélèvement

2.2. METHODOLOGIE GENERALE DE L'ETUDE

2.2.1. Choix du thème

En vue d'appliquer nos connaissances théoriques et pratiques acquises durant notre cursus à l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE), filière Environnement option Eau et Assainissement, un stage de fin d'étude aboutissant à la rédaction et la soutenance d'un mémoire est obligatoire. C'est dans ce cadre qu'un thème sur la qualité de l'eau potable en relation avec le déficit auquel est confronté l'ONEA a été dégagé. Il faut noter que l'élargissement de la ville de Ouagadougou associé à une démographie galopante, ont augmenté les besoins en eau potable de la population. Cela a créé donc d'énormes difficultés

dans l'approvisionnement en eau potable des populations d'autant plus que l'accès à l'eau potable est un droit reconnu (Constitution du Burkina Faso, 1991).

Pour compenser provisoirement ce déficit l'ONEA a opté pour la mise en service de ces forages abandonnés donc une connaissance de la qualité de ces eaux s'avère nécessaire ; d'où l'objet de la présente étude.

2.2.2. Outils de traitement de données

Après la collecte des informations en relation avec notre thème, les coordonnées géographiques sur la localisation des forages ont été prises avec un GPS 38 GARMIN et traitées plus tard avec le logiciel Arc View GIS 3.2.

Les grilles d'évaluation de nos résultats sont basées sur les directives de l'OMS en vigueur au Burkina Faso. Les données ont été traitées avec Microsoft Excel 2010.

2.2.3. Méthodes d'échantillonnage

2.2.3.1. Choix des points de prélèvement

La ville de Ouagadougou compte cent vingt (120) forages autonomes mis en arrêt dont une centaine doivent être réhabilités. Jusqu'au moment où nous rédigeons ce manuscrit trente et un (31) forages ont été réhabilités. Les prélèvements pour les analyses ont donc concerné ces ouvrages réhabilités pour des analyses des paramètres microbiologiques, physico-chimiques et des métaux lourds. Au total soixante deux (62) échantillons ont été analysés.

2.2.3.2. Prélèvement des échantillons

Sur chaque forage, un pompage abondant est effectué pour renouveler l'eau. Les prélèvements ont été effectués dans tous les forages concernés. Avant de procéder aux prélèvements, tous les flacons ont été étiquetés selon la nature des paramètres recherchés en indiquant sur chaque flacon le nom de l'échantillon, la date et le lieu de prélèvement.

L'eau de chaque forage a été prélevée dans des bocaux en polyéthylène haute densité (PEHD) de 1000 mL pour les analyses des paramètres physico-chimiques. Pour les analyses des paramètres bactériologiques dans des bocaux en verre borosilicatés de 250 mL. Les procédures de prélèvement des échantillons pour les différentes analyses des paramètres sont rapportées en *Annexe 1*.

2.2.4. Méthodes d'analyses

2.2.4.1. Analyse des paramètres physiques

La conductivité électrique, le pH et la température ont été mesurés sur le terrain. Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre étanche portatif à microprocesseur de type HI 9024 C muni

d'une électrode, et la conductivité avec un conductimètre portatif multi-gamme étanche équipé d'un dispositif de compensation automatique de température.

Le dosage des bicarbonates a été effectué dès l'arrivée au laboratoire et les analyses chimiques des éléments majeurs dans les 24 heures qui ont suivi le prélèvement.

- **Analyse de la température et de la conductivité :**



Figure 2 : Conductimètre portatif

la température et la conductivité électrique (EC) ont été mesurées à l'aide d'un conductimètre multifonction en immergeant directement la sonde de l'appareil dans l'échantillon. La sonde est rincée à l'eau distillée avant et après chaque mesure afin d'optimiser son fonctionnement et selon la méthode d'électrochimie.

- **Analyse de la turbidité :**



Figure 3 : Turbidimètre de laboratoire

Pour mesurer la turbidité, un turbidimètre WTW Turb550 a été utilisé. L'échantillon à analyser est mis dans la cuve du turbidimètre préalablement rincée à l'eau distillée et nettoyée avec un papier d'essuyage.

- **Analyse du pH :**



Figure 4 : pH-mètre

le pH des échantillons est déterminé à l'aide d'un pH-mètre WTW INOLAB pH 730 et selon la méthode d'électrochimie. La sonde de l'appareil est immergée directement dans l'échantillon après rinçage à l'eau distillée.

2.2.4.2. Analyses des paramètres microbiologiques



Figure 5 : Dispositif de filtration

Les microorganismes recherchés sont les conformes fécaux et les streptocoques fécaux qui sont des indicateurs de pollution fécale.

La méthode utilisée pour la détermination des micro-organismes est la méthode de filtration sur fibre de verre. Cette consiste à nettoyer la hotte à l'alcool, les entonnoirs de filtrations et les pinces sont stérilisés avec le chalumeau. Ensuite nous plaçons aseptiquement la membrane filtrante de 0,45µm entre l'entonnoir et sa base, refroidir les entonnoirs avec 25 mL de ringer puis filtrer. Ensuite, après la filtration de l'échantillon à travers la membrane, la pompe est arrêtée. L'entonnoir est enlevé et la membrane est retirée à l'aide d'une pince et déposée sur le milieu de culture coulé dans une boîte de Pétri. Il faut veiller à ce qu'aucune bulle d'air ne s'interpose entre la membrane et la gélose. Les milieux de culture préalablement préparés sont : pour les coliformes fécaux le Chromocult Agar ES et pour les streptocoques fécaux le mEntreococcus. Les milieux contenant les différentes membranes sont incubés à 37°C±2°C pendant 48h pour les streptocoques fécaux et à 44°C±0,5°C pendant 24h pour les coliformes fécaux.

Après incubation, les colonies bleues foncées à violettes qui apparaissent sur la boîte de Pétri correspondent aux coliformes fécaux tandis que les colonies roses seront caractéristiques des streptocoques fécaux.

2.2.4.3. Analyse des titres particuliers de l'eau

Les paramètres chimiques analysés sont : le TAC, le TA, le chlore libre, les sulfates, le fer, le calcium, le sodium, le potassium, le magnésium, les nitrates, les nitrites, et les ortho-phosphates.

- **Analyse du TAC, du TA, de Ca²⁺ et de Mg²⁺**

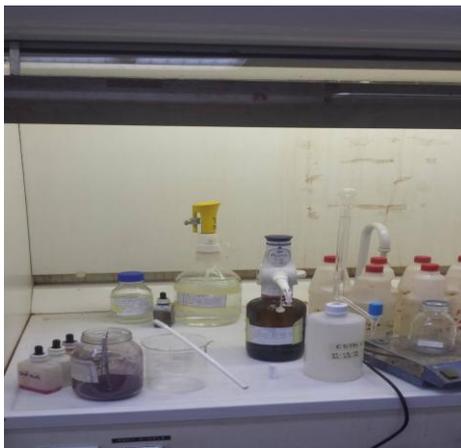


Figure 6 : Volumétrie

le TAC ou le Titre Alcalimétrique Complet, la concentrations des ions Ca²⁺ et des ions Mg²⁺ ont été déterminés par la méthode de volumétrie. La procédure est décrite en *Annexe 2*.

- **Détermination des ions**



Figure 7: Spectrophotométrie DR3800

les ions nitrites (NO_2^-), les nitrates (NO_3^-), le fer total, les sulfates (SO_4^{2-}) et les phosphates (PO_4^{3-}) ont été déterminés par la méthode de spectrophotométrie d'absorption moléculaire à l'aide d'un spectrophotomètre DR 3800. Le protocole de la méthode est décrite en *Annexe 3*.

2.2.4.4. Analyse des métaux lourds

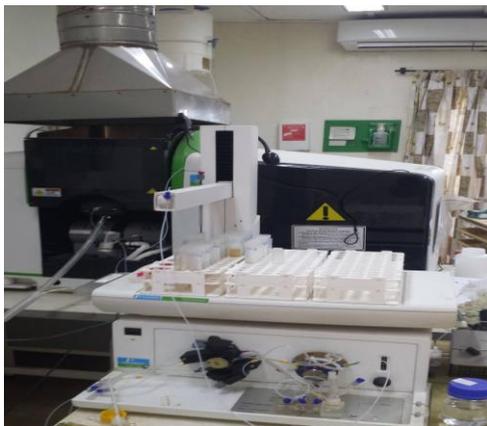


Figure 8 : Spectrophotomètre à Flamme

Pour les métaux lourds, la méthode de la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à flamme (FAAS) a été utilisée (*Annexe 4*).

La détermination de la concentration d'un métal lourd dans un échantillon d'eau par absorption atomique à la flamme est basée sur l'absorption de lumière par les atomes libres, c'est-à-dire lorsque celui-ci voit son énergie varier au cours d'un passage d'un de ses électrons d'une orbite électronique à une autre.

Étalonnage : Préparation de la solution d'acide nitrique 2%

Dans une fiole jaugée de 1000ml remplie à moitié avec de l'eau milli-Q, verser 20ml d'acide nitrique concentré. Compléter au trait de jauge avec l'eau milli-Q. Cette solution sera utilisée pour toutes dilutions.

Préparation de la solution fille d'étalon de l'élément recherché à 100mg/L

- Solution étalon mère de l'élément recherché à 1000mg/L 10mL
- Solution d'acide nitrique à 2% (v/v) qsp 100mL

Dans une fiole jaugée de 100mL contenant la solution d'acide nitrique 2%, verser 10mL de solution étalon mère de l'élément recherché à 1000mg/L Compléter au trait de jauge avec la solution d'acide nitrique 2%. Cette solution sera utilisée pour la préparation des solutions étalons.

Etablissement de la courbe d'étalonnage

- solution étalon fille de l'élément recherché à 100mg/L
- solution d'acide nitrique à 2% (v/v) qsp 100mL

Dans des fioles jaugées de 100mL contenant la solution d'acide nitrique 2%, verser respectivement 0, 1, 2, 4, et 8ml de la solution étalon fille de l'élément recherché à 100mg/L Compléter au trait de jauge avec la solution d'acide nitrique 2%. Ces solutions ont des concentrations respectives de 0,1, 2, 4, et 8 mg/L de Cu et serviront au tracé de la courbe d'étalonnage au spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

Dans cette partie, il sera question de commenter les différents résultats obtenus lors des analyses et de les comparer aux normes en vigueur de mêmes qu'aux résultats obtenus par d'autres auteurs sur des thématiques similaires.

3.1. ETAT DES LIEUX ET RÉHABILITATION DES FORAGES

3.1.1. Etat de lieux

La réhabilitation des ouvrages a nécessité des visites de terrain et étude détaillée des caractéristiques (état, débit, situation géographique) des ouvrages. Ces derniers sont dissimulés dans plusieurs endroits de la ville. Bon nombre de ces forages sont implantés dans des zones d'habitation insalubres ou inondables (figure 9). Une cartographie de ces ouvrages a été réalisée (figure 9). Elle a permis de mettre à jour les données et disposer d'informations en temps réel pour l'injection de ces eaux dans le réseau. Le tableau 2 fournit une répartition et débit des forages réhabilités.



Figure 9 : Environnement d'implantation de quelques forages

3.1.2. Réhabilitation des forages

La réhabilitation des forages a été assurée par l'entreprise de la place (SANNA'S PRODUCTION) sous la supervision de l'ONEA. Les choix des forages à réhabiliter a été fait suite à des plaintes de consommateurs déposées à la Direction Générale de l'ONEA. Les zones périphériques et les baisses de pression sensibles ou de forte concentration de population font parties des critères de choix de forges réhabilités.

En ce qui concerne le déroulement de réhabilitation d'abord une visite de terrain et un

recensement de forges éligibles ont été effectués. Au total trente et un (31) forges sont identifiées et localisés géographiquement. Plusieurs sites de forage ont été illégalement occupés par des populations. Les démarches pour leur déguerpissement ont été entreprises mais des résistances demeurent. La réhabilitation proprement dite a commencé par :

- Nettoyage des périmètres de protection ;
- Renouvellement du coffret électrique et mise en place d'un système de télégestion (suivi de fonctionnement à distance) ;
- Mise en place de pompes neuves ;
- Installation des connexions électrique et hydraulique ;
- Construction d'une superstructure pour la protection des ouvrages ;
- Mise en place d'une équipe de suivi par l'ONEA.

Avant la mise en route des différents forages réhabilités des essais de pompages ont été faits afin de déterminer les débits et évaluer la turbidité des eaux.

EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DE FORAGES REHABILITES EN VUE DE LEUR BRANCHEMENT
SUR LE RESEAU DE DISTRIBUTION DE L'EAU POTABLE DE L'ONEA : CAS DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU (BURKINA FASO).

Tableau 2 : répartition et débit des forages réhabilités

Arrondissement	Secteur	Forage	Débit (m ³ /h)	Localisation
1 ^{er}	5	QP18	8	N:66 02 69 E: 13 65 475
2eme		TH35	9	N: 65 70 44 E: 13 66 785
	7	TH40	15	N:65 72 31 E: 13 66 267
3eme	12	Qp31	9	N:65 48 41 E: 13 65 628
	15	Qp63	9	N:65 49 11 E: 13 69 554
	16	Qp33	6	N: 65 62 98 E:13 70 929
4eme		PEA3	8	N: 65 77 12 E: 13 71 115
	17	Qp86	8	N: 66 02 34 E:13 70 707
		Qp67	8	N: 66 04 69 E:13 69 684
		Qp47	12	N: 66 13 88 E:13 70 677
		Qp73	14	N: 66 05 72 E:13 69 694
	18	Qp114	15	N: 66 20 53 E: 1371554
		Qp49	9	N: 66 25 91 E:13 71 638
	19	Qp77	8	N: 66 49 26 E:13 72 344
5eme		Qp109	15	N :65 66 36 E :1368890
	22	Qp103	13	N: 66 44 57 E: 13 68 854
		PEA7	15	N: 66 52 85 E: 13 67 831
	24	Qp30	6	N:66 30 86 E: 13 65 195

EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DE FORAGES REHABILITES EN VUE DE LEUR BRANCHEMENT
 SUR LE RESEAU DE DISTRIBUTION DE L'EAU POTABLE DE L'ONEA : CAS DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU (BURKINA FASO).

6eme	29	Qp84	13	N: 65 92 13 E: 13 61 854
		FT13/PEA15	15	N 66 76 99 E: 13 70 395
10eme	43	Qp99	15	N: 12° 20' 38,8" E: 1°32' 51,2"
		Qp40	11	N: 66 67 77 E: 13 70 245
		FT31	9	N :66 76 99 E :1 370 395
11eme	46	FT39	15	N:66 54 61 E: 13 65 470
		PEA16	14	N:66 87 05 E: 13 64 184
		Qp66	8	N:66 42 64 E: 13 65 220
12eme	52	Qp81	14	N:66 07 10 E: 13 62 543
		Qp13	15	N: 66 16 96 E: 13 62 610
		F	10	N: 12° 20' 30" 5 E: 1°32'48,8"
	53	SE8	15	N: 66 49 19 E: 13 60 968
		SE4	13	N: 66 41 30 E: 13 61 336

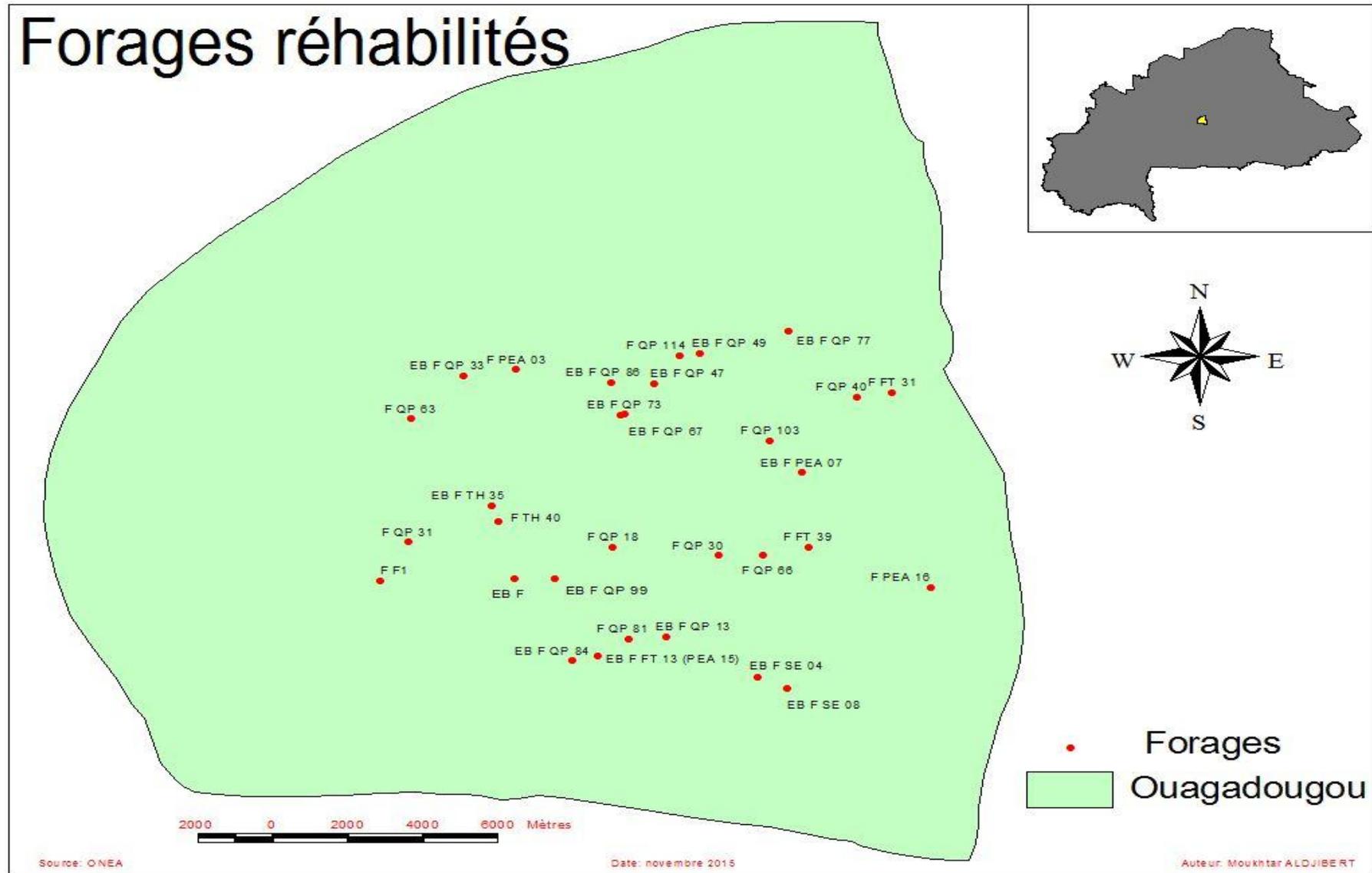


Figure 10 : Cartographie des forages réhabilités

Il ressort que selon le débit (tableau 2), le forage TH35 a le plus grand débit ($36\text{m}^3/\text{h}$) tandis que QP47 a le plus faible ($6\text{m}^3/\text{h}$). Pour les profondeurs, le forage QP86 a 54 m de profondeur alors que FT31 n'a que 23 m.

3.2. PARAMETRES PHYSIQUES DE L'EAU

Les paramètres tels que la température, le pH, la turbidité la conductivité et le bicarbonate ont été déterminés et les résultats sont rapportés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Paramètres de l'eau

Paramètres	Maximum	Moyenne	Minimum	Norme
Température (T °C)	33,9	30,6	27	25
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	613	358	179,1	2500
pH	7,2	6,4	6,2	6,5-8,5
Turbidité (NTU)	3,9	2,5	0,56	≤ 5
Bicarbonates (mg/L)	222	155	0	Pas de valeur

Le forage QP63 a enregistré la plus faible valeur de la température ($27\text{ }^\circ\text{C}$) tandis que le forage QP109 a enregistré la plus forte valeur ($33,9\text{ }^\circ\text{C}$).

Les variations de température constatées pourraient être dues à l'effet du rayonnement solaire journalier sur la nappe. Toutes ces valeurs dépassent la norme préconisée par l'OMS qui est de $25\text{ }^\circ\text{C}$. Les eaux souterraines sont à température relativement constante toute l'année, $12\text{ }^\circ\text{C}$ à $15\text{ }^\circ\text{C}$ environ lorsque leur environnement n'est pas modifié. L'augmentation de la température peut entraîner la croissance et la survie des micro-organismes induisant ainsi des problèmes de saveur, de couleur, de corrosion d'une part, et d'autre part, une augmentation de la vitesse de formation des trihalométhanes (THM) avec une eau traitée au chlore (Potelon et al., 1993).

Les pH obtenus varient entre 6,2 et 7,2. La valeur minimum est obtenue aux forages TH35, FT 13/ (PEA 15) et F QP 84 (6,2) tandis que le forage QP 66 affichait une valeur maximale de 7,2.

Le pH est un paramètre qui permet de définir si un milieu est acide ou basique. Le contrôle de ce paramètre est très important pendant le traitement (coagulation et désinfection), mais aussi pendant le transport dans le réseau de distribution d'eau potable car elle permet de maximiser l'efficacité du traitement et de contrôler la corrosion du réseau.

Les valeurs du pH enregistrées au cours de cette étude sont conformes aux directives de l'OMS qui recommande que le pH soit compris entre 6,5 et 8,5. Treize (13) forages ont des valeurs de pH comprises entre 6,2 et 6,4 ; les eaux des ces forages sont légèrement acides. Cette acidité pourrait être due au profil latéritique alumino-ferrugineuse de cuirasse surmontant des altérites argileuses et les arènes grenues du sol de Ouagadougou (Suzanne, 2008).

Pour ce qui est des eaux des autres forages prélevés elles ne montrent pas de variations notables et ont tendance à être neutres. Donc elle ne présente un risque majeur le réseau de distribution.

La conductivité est proportionnelle au degré de minéralisation (teneur globale en espèces minérales généralement ionisées) et varie en fonction de la température.

Les valeurs de la conductivité obtenues tout au long de ce travail ont varié entre 179,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 613 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces valeurs ont été enregistrées respectivement au niveau des forages QP 66 et (QP 31, QP77 et PEA7). Les valeurs enregistrées pendant les analyses sont très inférieures à la valeur limite (400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) de la norme en vigueur au Burkina Faso. Ce qui montre vraisemblablement une faible minéralisation de ces eaux de forage.

Les risques sanitaires de la turbidité, ne sont pas directement liés à la présence des particules en suspension mais aux bactéries, kystes, parasites et surtout virus qui s'y fixent et sont ainsi protégés des désinfectants, favorisant la survie des germes et leur prolifération ultérieure dans les réservoirs et le réseau de distribution. La turbidité a varié de 0,56 à 3,9 NTU. La plus petite valeur a été observée au forage QP109 et la plus grande au forage QP103. Tous les forages ont une turbidité inférieure à la norme en vigueur au Burkina Faso ($\leq 5\text{NTU}$). A cet effet ces eaux présente une turbidité très faible donc elles sans danger pour les consommateurs.

Les teneurs en bicarbonate varient de 0 mg/L à 222 mg/L, la valeur maximale est observée au forage QP77 et la valeur minimale au forage SE04.

Les teneurs en bicarbonates restent inférieures à celles trouvées par Suzanne (2013) dans les eaux de forages de la ville de Ouagadougou comprises entre 17 mg/L et 378 mg/L. Les ions bicarbonates majoritairement présents dans les eaux naturelles et leur origine provient de la dissolution du carbonate de calcium par l'intervention de l'anhydride carbonique dissous dans l'eau et provenant de l'air atmosphérique (Rodier, 2009).

3.3. PARAMETRES CHIMIQUES DE L'EAU

3.3.1 Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

La figure 11 affiche les variations du TAC. Il faut noter que les valeurs sont comprises entre 0,8 et 3,5 meq/L. La valeur minimale a été observée au niveau du forage TH40 et la plus grande au niveau du forage QP77.

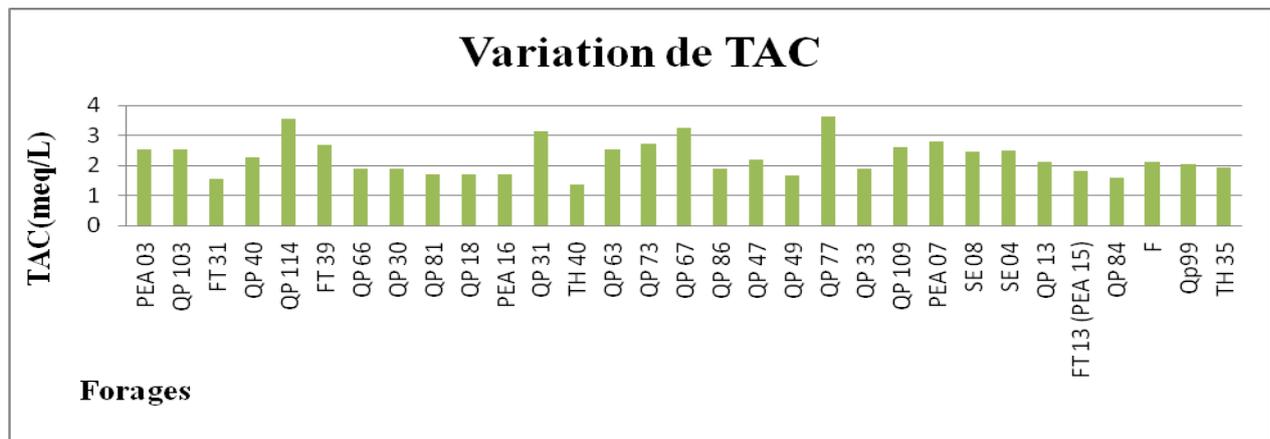


Figure 11 : Variation de TAC

Le Titre Alcalimétrique (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 puisqu'ils dépendent de l'équilibre calco-carbonique. Avec une eau agressive, les canalisations sont dénudées de leur couche protectrice, et la corrosion est facilitée. Ceci peut conduire à des dépôts, des colorations et plus graves, à la dissolution de métaux (plomb) des branchements. Si, au contraire l'eau est trop incrustante, les tuyaux se bouchent par entartrage.

Selon Potelon (1993), lorsque le pH et le TAC augmentent, l'eau est agressive ; s'ils diminuent, l'eau est entartrante.

Au regard des valeurs du TAC et celles du pH (6,2 à 7,2), les eaux des forages analysés sont non agressives.

3.3.2. Dureté totale

Les valeurs de la dureté totale (TH) qui ont été obtenues dans ce travail sont comprises entre 0,7 et 2,5 meq/L soit (3,5°F et 12,5°F) (figure 12). Ce sont les forages PEA16, FT13 et QP99 qui ont enregistré la faible dureté alors que le forage QP49 affichait la plus grande valeur.

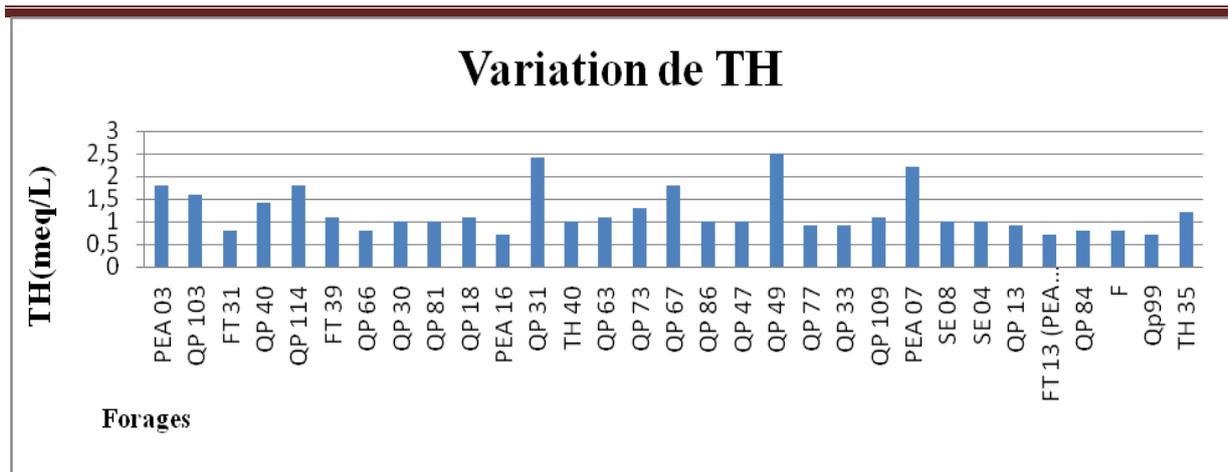


Figure 12 : Variation de TH

La dureté ou Titre Hydrotimétrique (TH) d'une eau correspond essentiellement à la présence de sels de calcium et de magnésium. Elle est directement liée à la nature géologique des terrains traversés. Ainsi, un sol calcaire ou crayeux donnera une eau "dure" (donc fortement minéralisée en calcium et magnésium), alors qu'une eau traversant un sol cristallin (granitique) comme le sable sera "douce" (Potelon et al., 1993).

La dureté peut exprime en meq/L, en mg/L de CaCo₃ ou en degré français (F°).

Selon Potelon (1993), lorsque le TH est compris entre 0 et 6°F : l'eau est très douce et entre 6 et 15 °F, l'eau est dite douce.

De ce point de vu dureté, les eaux de forages qui ont fait l'objet de cette étude sont douces.

3.3.3. Variation de Calcium et Magnésium

La figure 13 présente la variation du calcium et du magnésium dans les échantillons d'eau de forage analysés. Il ressort que la concentration en ions calcium (Ca²⁺) a varié de 10 à 60 mg/L. Ces valeurs sont respectivement obtenues dans les forages QP13 et QP114.

En ce qui concerne la teneur en ions Mg²⁺, elle varie de 8mg/L à 31mg/L (figure 13). Les forages (QP99, PEA16 et F) ont enregistré la plus petite concentration en Mg²⁺ et les forages (PEA 03, QP49) ont donné la plus grande concentration.

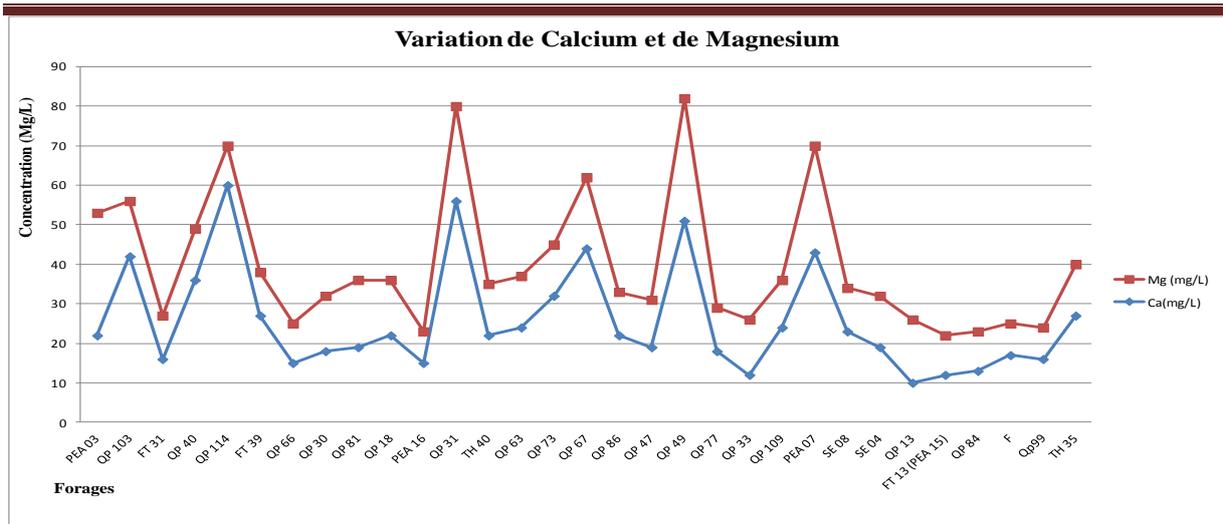


Figure 13 : Variation de Calcium et Magnésium

Le calcium (Ca) et le magnésium (Mg) sont des éléments que l'on retrouve abondamment dans le sol et la roche; ils sont essentiels à la santé de l'être humain mais peuvent aussi être dangereux.

En effet, Le calcium possède des effets bénéfiques mais à des concentrations supérieures à 100mg/L, il peut avoir des effets négatifs sur l'absorption d'autres minéraux essentiels pour le corps. Quant au magnésium avec une concentration au de là de 50mg/L, il peut procurer à l'eau potable un goût désagréable (Potelon et al., 1993).

Les valeurs de calcium observées dans les différents forages sont en deçà de 100mg/L, valeur limite préconisée par les directives de l'OMS. Par ailleurs, les résultats obtenus restent légèrement supérieurs à ceux de Suzanne (2009) qui avait trouvé des valeurs comprises entre 9,7 et 40,39mg/L lors de ses travaux dans la même zone d'étude. Cette faible concentration de calcium pourrait s'expliquer par le fait que la grande majorité des sols à Ouagadougou est constituée par des roches latéritiques alumino-ferrugineux et non par des roches calcaires (Ouandago, 2008) ; par conséquent, ces eaux présentent moins de danger pour les matériaux de même que pour les consommateurs.

Les valeurs de Magnesium obtenues sont supérieures à la norme OMS qui limite la concentration en Mg^{2+} à 50mg/L. Comparativement aux résultats de Suzanne (2009) qui avait obtenu des valeurs oscillant entre 1,44mg/L et 17,7mg/L, nos valeurs restent supérieures. Heureusement l'augmentation de la teneur en Mg^{2+} est sans risque pour la consommation humaine car c'est à partir de 100mg/L que le magnésium procure à l'eau une saveur amère pour des sujets sensibles (Potelon et al., 1993). Donc les eaux de ces forages ne présentent aucun signe d'odeur.

3.3.5. Chlorure

Pour ce qui concerne la teneur en ions chlorures (Cl^-), il faut noter une variation de 0 à 52mg/L (figure 14). Les forages (QP33, QP99 et SE04) présentent la faible concentration tandis que le forage PEA 07 la plus grande.

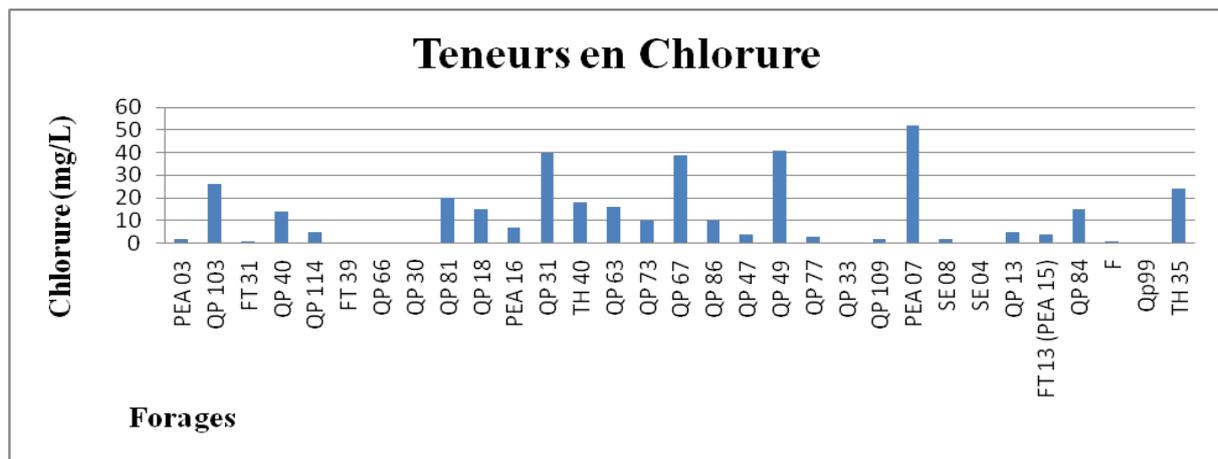


Figure 14 : Teneurs en ions chlorures

Le chlore est employé pour désinfecter l'eau avant de la mettre dans le système de distribution. Le chlore résiduel libre est le chlore qui demeure dans l'eau après une période de séjour donnée et qui est capable de réagir comme acide hypochloreux (HClO) ou ion hypochlorite (ClO^-). Des concentrations élevées de chlorures nuisent au goût de l'eau en lui conférant une saveur salée, surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium. Mais le seuil gustatif demeure très variable selon les individus (Potelon et al., 1993).

En se basant sur les directives de l'OMS, la concentration en Cl^- ne devrait pas dépasser les 250 mg/L. Il est donc à remarquer que les différentes valeurs qui ont été enregistrées dans ce travail sont conformes aux recommandations de l'OMS et par conséquent, ces eaux présentent moins de risques pour les ouvrages ainsi que pour les consommateurs.

3.3.7. Résidus secs

Les teneurs en Résidu sec varient de façon significative en fonction du point de prélèvement. La concentration la plus élevée (494mg/L) est observée au forage QP31 et la valeur minimale (<0,2mg/L) est enregistrée dans plusieurs forages (QP73, Qp67, Qp86, Qp47, Qp49, Qp77, Qp33, Qp109, PEA7, SE8, SE4, Qp13, FT13, Qp84, F, Qp99 et TH35) (figure 15).

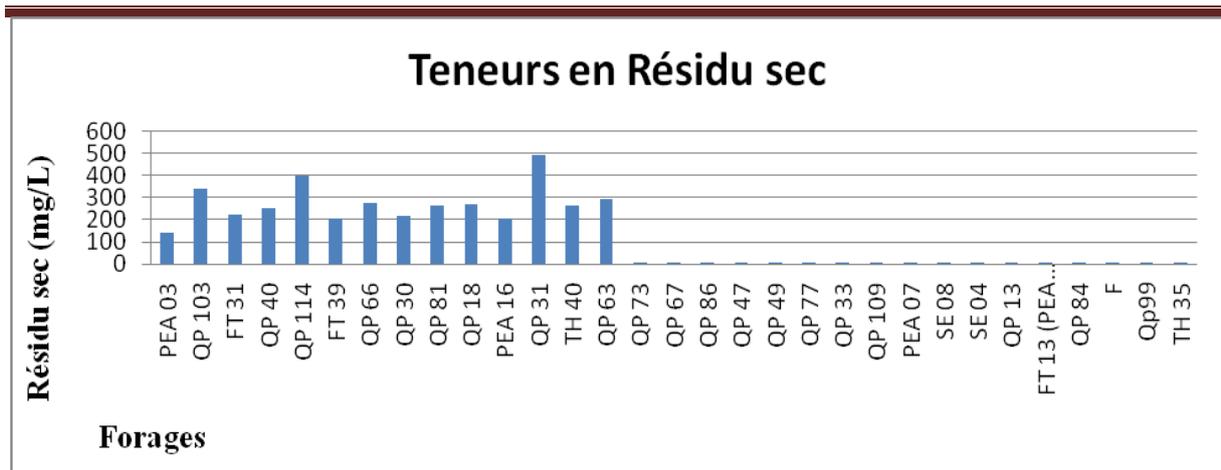


Figure 15 : Teneurs en Résidu sec

Les résidus secs permettent d'apprécier la minéralisation d'une eau. Toutes les valeurs obtenues sont toutes conformes aux normes OMS qui fixent une concentration de 1500mg/L à ne pas dépasser. Ce forage serait situé dans une zone à dominance roches sédimentaires (Suzanne, 2009). La minéralisation est généralement plus élevée dans les eaux souterraines que superficielles. En plus de ces origines naturelles, les effluents liés aux activités humaines peuvent contribuer à l'augmentation de la minéralisation (Potelon et al ., 1993) Toutes les valeurs obtenues sont conformes à la norme de Burkina Faso qui fixe une concentration de 1500mg/L à ne pas dépasser.

Il y aurait donc dans les eaux analysées une très faible proportion en solides dissous et par conséquent, la consommation de ces eaux peut être sans danger pour l'Homme.

3.4. COMPOSITION MINERALOGIQUE DE L'EAU

3.4.1. Nitrates

La concentration en ions nitrates (NO_3^-) a varié de 0,2 mg/L à 16,4 mg/L. Le forage QP 99 a enregistré la valeur minimum (0,2 mg/L) et le forage PEA 07 la valeur maximum (16,4 mg/L) comme présenté sur la figure 17.

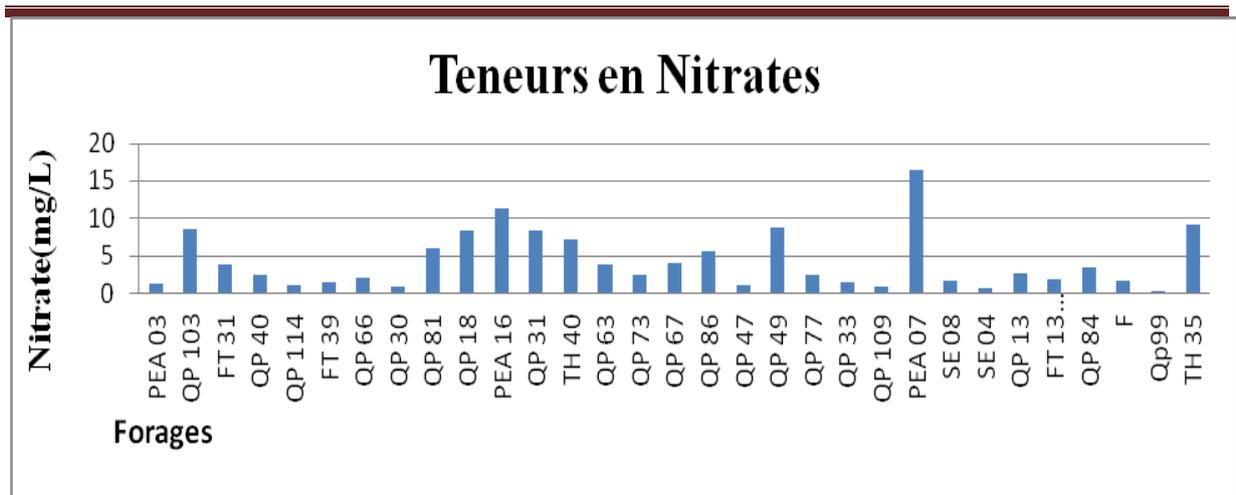


Figure 16 : Teneurs en Nitrates

Les nitrates sont présents naturellement dans les eaux. Les apports excessifs ou mal maîtrisés d'engrais azotés provoquent une augmentation des nitrates dans les ressources.

Ainsi les nitrates se transforment en nitrites dans l'estomac. Ces nitrites peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine du sang en méthémoglobine, impropre à fixer l'oxygène. Par conséquent il y aura le phénomène de cyanoses, notamment chez les nourrissons.

Les directives de l'OMS stipulent que pour une eau potable, sa concentration en ions nitrates ne doit pas dépasser 50 mg/L. Seule la concentration obtenue au niveau du forage PEA 07 n'est pas conforme à la norme. Cette augmentation de la teneur en ions nitrates serait due aux apports anthropiques des matières organiques et accusent une pollution ou à la géologie du sol (Suzanne, 2013). Les concentrations en nitrates obtenues par le même auteur varient entre 00 et 52mg/L qui sont supérieures aux nôtres.

Vu cette légère augmentation de concentration en nitrates, ces eaux peuvent être consommées par les nourrissons.

3.4.2. Nitrites

La concentration en ions nitrites (NO_2^-) observée sur la plupart des échantillons analysés donne des valeurs comprises entre 0,00 et 0,047 mg/L respectivement dans Qp81 et Qp99 (figure 17).

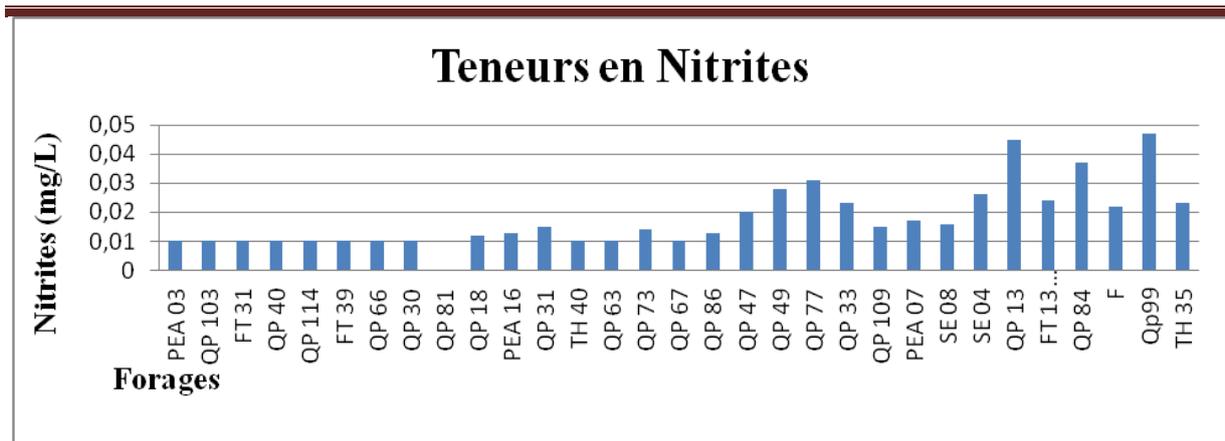


Figure 17: Teneurs en Nitrites

Les nitrites (NO_2^-) proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante.

Les nitrites sont répandus dans le sol, dans les eaux et dans les plantes mais en quantités relativement faibles. Il est toutefois important de signaler que les eaux en contact avec certains terrains et certaines conduites peuvent contenir des nitrites indépendamment de toute souillure.

Les valeurs obtenues sont toutes conformes et très inférieures à la limite fixée par la norme du Burkina Faso qui est de 0,9mg/L. Donc ces eaux sont sans danger majeur pour les consommateurs.

3.4.3. Sodium

La figure 18 présente la variation de la teneur en ions sodium (Na^+) dans les échantillons analysés. Les valeurs oscillent entre 1 et 27mg/L. La plus faible concentration a été obtenue dans les eaux du forage QP73 tandis que la plus forte dans celles du forage QP49.

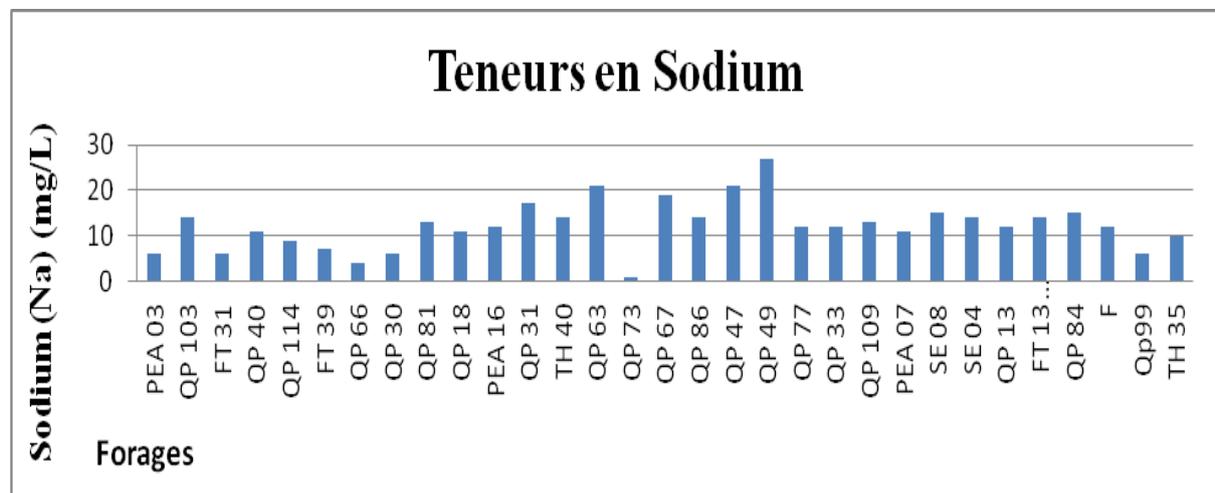


Figure 18 : Teneurs en Sodium

Le Sodium se retrouve dans la majorité des eaux (souterraines et de surface). Son excès peut provenir d'apports industriels ou domestiques et du lessivage. Une ingestion excessive de chlorure de sodium provoque des vomissements entraînant l'élimination d'une grande partie du sel (Potelon et al., 1993).

Les valeurs obtenues sont très faibles au regard des directives de l'OMS qui stipule que pour une eau destinée à la consommation, la concentration en sodium ne doit pas excéder 200mg/L. Les valeurs obtenues par Ouandaogo (2008) sont comprises entre 4,25 et 25mg/L et sont dans une gamme comparable à la nôtre. Au vu de ces résultats, les eaux issues de ces forages peuvent être consommées aisément.

3.2.4. Teneurs en Ortho-phosphates

Les eaux des forages analysées présentent une teneur en O-Phosphate comprise entre 0,2 et 15,1mg/L. La concentration minimale est obtenue au niveau de forage QP114 tandis que le forage QP66 affiche la concentration maximale comme indiqué sur la figure 19.

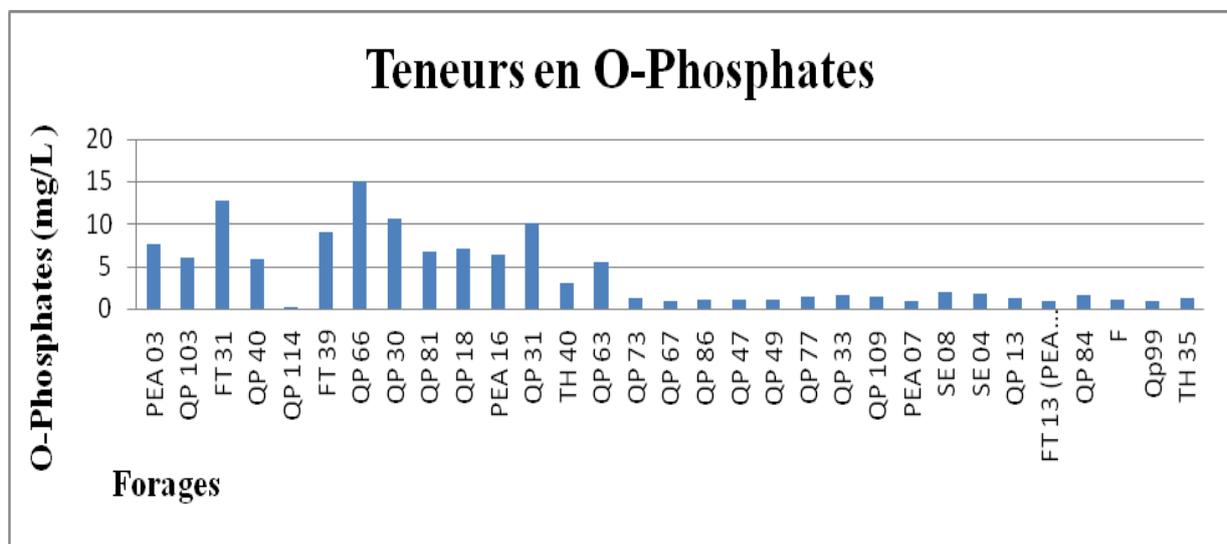


Figure 19: Teneurs en Orthophosphates

Le phosphore existe sous forme minérale ou organique. Les ions phosphates contenus dans les eaux de surface ou de nappes peuvent être d'origine de produit de décomposition de la matière organique, lessivage des minéraux, mais aussi aux rejets industriels (agro-alimentaires, laveries, ateliers de traitement de surfaces), domestiques (polyphosphates des détergents) ou agricoles (engrais, pesticides).

Le phosphore est un élément essentiel pour le métabolisme humain, dont les besoins quotidiens sont de l'ordre de 1 à 3 grammes. Sa carence peut entraîner faiblesse, anorexie et douleurs osseuses (Potelon et al., 1993). Les teneurs en Orthophosphates obtenues sont toutes supérieures à la norme en vigueur au Burkina Faso excepté le forage QP114 (0,2mg/L). Ces forages seraient situés dans une zone à dominance roches sédimentaires (Suzanne, 2013).

3.4.5. Potassium

Le dosage des ions potassium (K_+) dans les eaux de forages qui ont été analysées au cours de ce travail, a révélé que les eaux du forage QP73 ont la plus faible concentration d'environ 0,1 mg/L. Par contre, les eaux du forage PEA 07 enregistrent la plus forte concentration de 31,6 mg/L (figure 20).

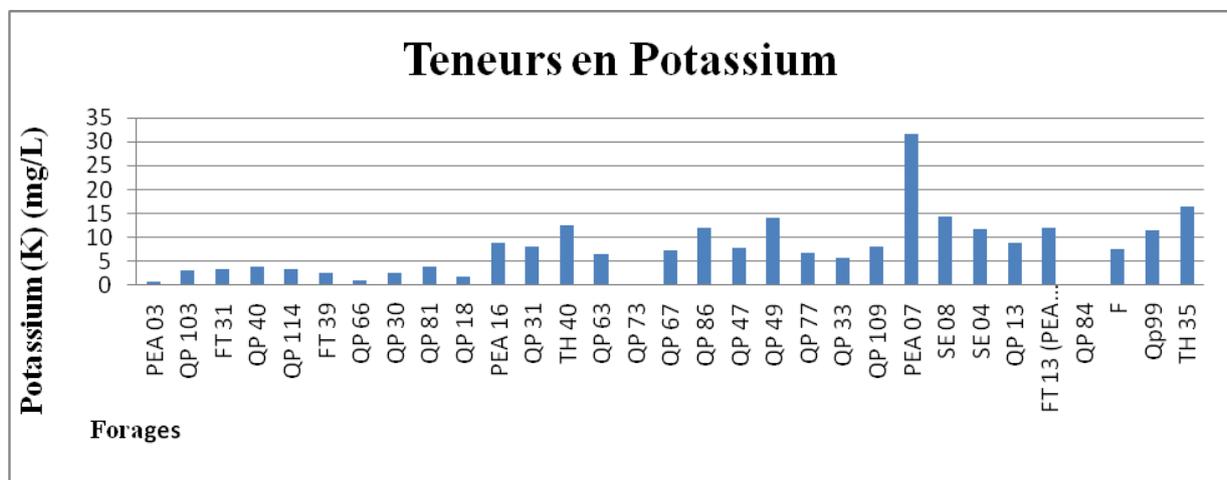


Figure 20 : Teneurs en Potassium

Le potassium est un élément naturel des eaux et peut aussi provenir des industries extractives et des utilisations d'engrais.

Le potassium joue un rôle essentiel de transmission de l'influx nerveux chez l'Homme où les besoins de l'organisme sont de l'ordre de 3 à 4 grammes par jour. Sa déficience induira une faiblesse musculaire (Potelon et al., 1993).

En se basant sur les directives de l'OMS, la concentration en ions potassium ne doit pas excéder 12 mg/L dans les eaux de consommation.

L'analyse des eaux de certains forages tels que TH40, QP86, QP49, PEA7 et TH35 a révélé des quantités anormales de potassium allant de 12,1 à 31,6 mg/L. Cette situation peut être expliquée par la nature des sols qui abrite ces forages. Par exemple, le forage PEA7 repose sur un sol amphibolite (Ouandaogo, 2008). Ces teneurs bien que dépassant la norme ne présenteraient pas d'effets néfastes sur la santé de l'Homme car selon Potelon

(1993), même une ingestion d'eau contenant plus de 1000 mg/L de potassium est jugé sans effets physiologiques pour l'Homme.

3.4.6. Fer total

La figure 21 montre la teneur en fer dans les différents forages échantillonnés. Il est constaté que dans 9 forages la concentration en fer est très élevée (QP103, QP40, FT39, QP30, QP18, PEA16, QP31, TH40 et FT13 de concentration respective 0,7 ; 0,4 ; 0,4 ; 0,4 ; 2,2 ; 0,35 ; 1,5 ; 0,8 et 5 mg/L) et la concentration maximale (5 mg/L) est observée dans le forge FT13. Tandis que les forages FT31 et TH35 enregistrent la concentration minimale de 0,01 mg/L.

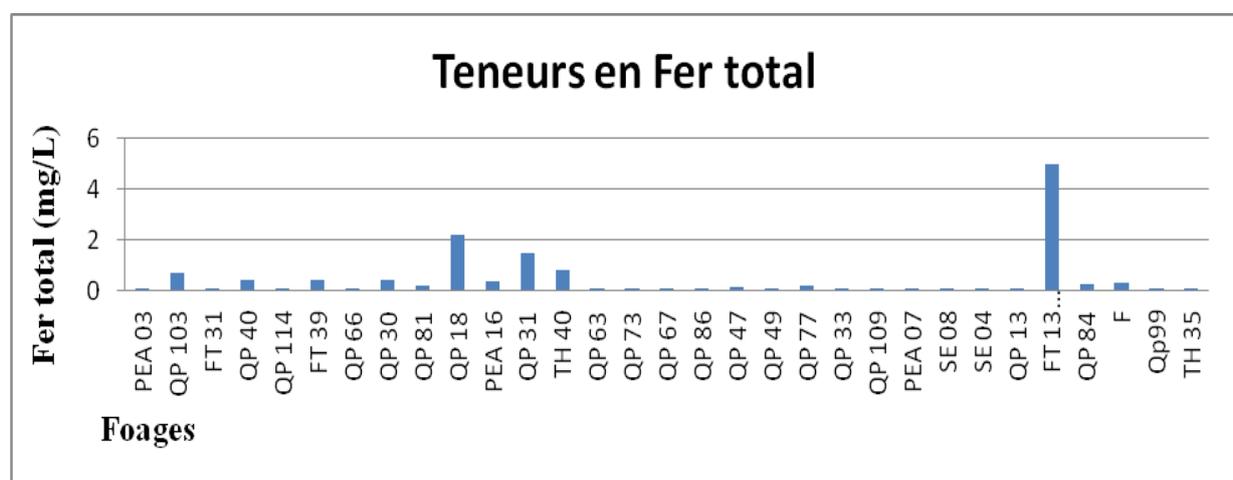


Figure 21: Teneurs en Fer total

Les valeurs de la concentration en fer qui ont été citées plus haut ne sont pas conformes vis-à-vis des directives de l'OMS qui indiquent que, pour une eau potable la concentration en fer ne doit pas excéder 0,3 mg/L. La présence de fer en quantité élevée dans ces forages serait due à un lessivage de terrain avec dissolution des roches du sous sol. Selon Ouandaogo (2008) en présence de fissurations dans les roches mères, l'eau a tendance à se charger facilement en ions majoritaires de celles-ci. En effet, ces forages sont situés dans des zones granitiques à caractère fissuré avec des profondeurs dépassant 30 m. En plus, la corrosion de certains matériaux due à l'arrêt prolongé des forages peut contribuer à la hausse du fer dans les eaux analysées.

3.3.6. Sulfates

La figure 22 illustre les concentrations en ions sulfates (SO_4^{2-}) des échantillons d'eau de forage analysés. Ces concentrations se situent entre 00 et 25mg/L. Les forages

(FT13/PEA115, QP99, F, QP33, QP47 et QP40) présentent les plus faibles valeurs alors que le forage (QP67) enregistre la plus grande valeur.

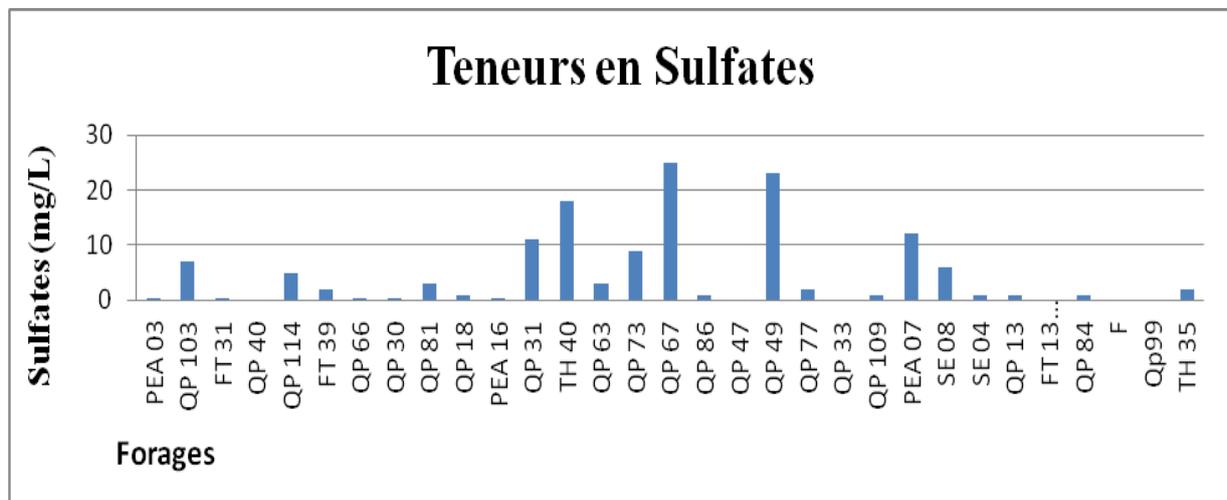


Figure 22 : Teneurs en Sulfates

Les sulfates sont liés aux cations majeurs: calcium, magnésium et sodium. A part ceux du plomb, du baryum et du strontium, la plupart des sulfates sont solubles dans l'eau. Ils peuvent néanmoins être réduits en sulfure, volatilisés dans l'air en hydrogène sulfuré (H₂S), précipités en sel insoluble ou assimilés par des organismes vivants.

Les ions sulfates sont par eux-mêmes peu toxiques. Des doses comprises entre 1 et 2 grammes ont un léger effet purgatif chez l'adulte. Cependant, des concentrations inférieures peuvent affecter les enfants et les nouveaux consommateurs d'eau en causant des troubles gastro-intestinaux et diarrhéiques.

Les valeurs obtenues sont toutes très inférieures à la limite fixée par les directives de l'OMS qui est de 250mg/L. Sur cette base, les eaux analysées semblent être propres à la consommation et présenteront moins de risques par rapport à la corrosion des systèmes de distribution.

3.3. PARAMÈTRES BACTÉRIOLOGIQUES

3.3.1. Coliformes Fécaux

La figure 23 présente les concentrations en Coliformes Fécaux qui varient de 0 UFC/100mL à 115 UFC/100mL. La valeur minimale (0 UFC/100mL) est observée au niveau des forages (PEA103, F, QP47 et SE4) et la valeur maximale est trouvée dans les forages (QP103, FT39, QP66, QP30, QP81, QP18, PEA16, QP16, QP67 et TH35).

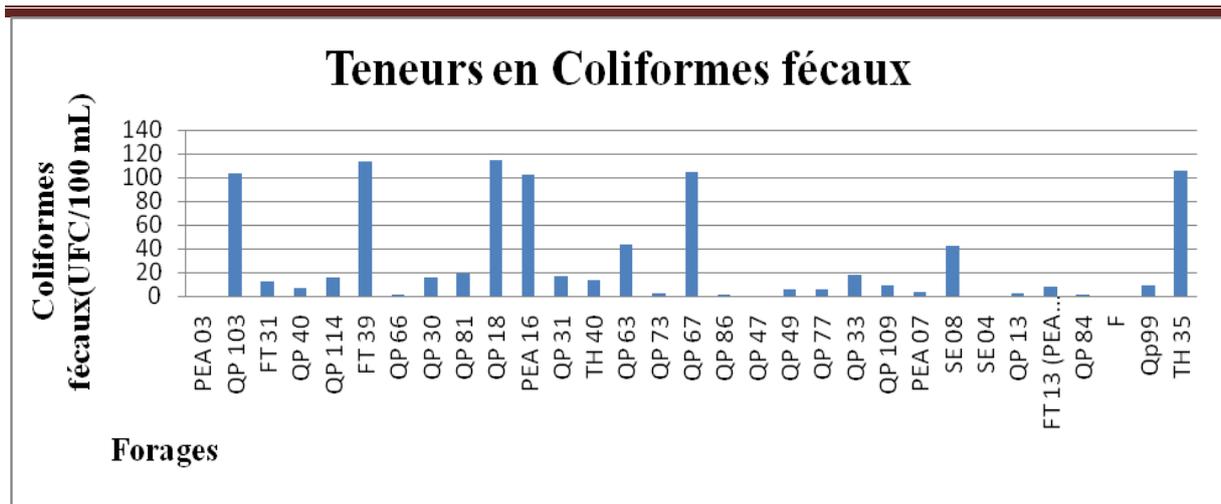


Figure 23 : Teneurs en Coliformes Fécaux

A l'exception des forages (PEA103, F, QP47 et SE04), les eaux des autres forages ne respectent pas les directives de l'OMS. Cette non-conformité serait due à une contamination des eaux brutes souterraines par infiltration des eaux de ruissellement. En effet, les microorganismes peuvent pénétrer dans le sol via les eaux de surface et de ruissellement (Gounot, 1994 ; Camara, 2011). A cet effet une désinfection au chlore afin d'éliminer ces microorganismes.

3.3.2. Streptocoques Fécaux

Les concentrations des streptocoques fécaux sont présentées sur la figure 24. Elles varient de 0 à 123UFC/100mL. La valeur minimale (0UFC/100mL) est observée aux forages (PEA103, QP31, SE08, SE04, QP109 et F) tandis que la valeur maximale (123UFC/100mL) est enregistrée dans les forages (QP103, QP114, QP66, QP 63, PEA7 et FT 13/PEA 15).

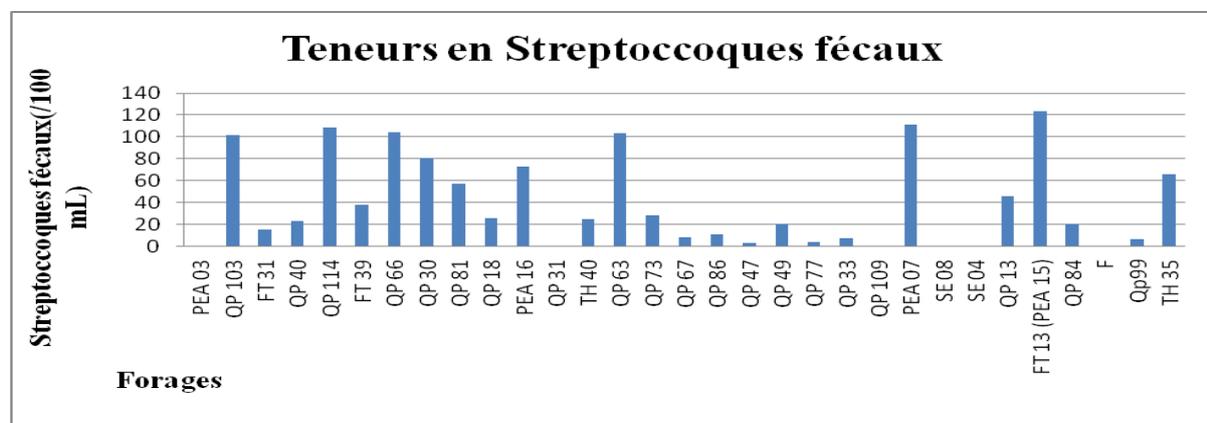


Figure 24 : Variation des Streptocoques fécaux

Presque la quasi-totalité des forages présente des valeurs non-conformes à la norme qui est de 0 UFC/100mL exigée par la norme du Burkina Faso. Cette situation pourrait être due au phénomène d'infiltration des eaux de surface et de ruissellement qui chargent pour la plupart des cas, les nappes et cela confirme les résultats trouvés par Camara (2011). Donc un traitement au chlore est nécessaire pour éradiquer ces germes.

3.4. TENEUR EN ÉLÉMENTS TOXIQUES

Les valeurs des éléments toxiques analysés sont présentées dans le tableau ci-dessus.

Tableau 4 : Teneurs en éléments toxiques

Élément (mg/L)	Minimum	Moyenne	Maximum	Norme
Manganèse	0,0064	0,04	0,23	0,5mg/L
Arsenic	0,005	2,5	7,3	10µg/L
Cadmium	0,019	0,02	0,5	3µg/L
Plomb	0,01	0,02	0,05	10µg/L

Les concentrations de manganèse dans le tableau 4 varient de 0,0064mg/L à 0,23 mg/L. Pour ce qui concerne la valeur minimale, elle est observée au forage QP73 (0,0064mg/L) et la valeur maximale au niveau du forage FT31.

Les teneurs en Arsenic varient de 0,005 à 7,3µg/L (tableau 5). Les forages FT 31, QP 40, QP 114, FT 39, QP 66, QP 30, QP 81, QP 18, QP 31 et PEA 16 ont donné la petite valeur et le forage QP13 a enregistré la plus grande concentration. Toutes les valeurs enregistrées sont conformes aux directives de l'OMS qui fixe la concentration limite à 10µg/L.

La concentration en cadmium a varié de 0,019µg/L à 0,5µg/L. La valeur minimale (0,019µg/L) est observée au niveau du forage QP77)et la valeur maximale 0,5µg/L au niveau des forages F, PEA7, QP73, QP81, FT39 et QP103.

Les directives de l'OMS indiquent une teneur limite de 3µg/L dans les eaux de consommation. Par rapport à cette directive, toutes les concentrations y sont conformes ; ainsi le risque de dommages sanitaires pour l'homme serait très faible.

En ce qui concerne la concentration en Plomb, elle varie de 0,01 µg/L à 0,05µg/L. La valeur minimale est enregistrée au forage QP67 et la valeur maximale est observée dans les forages PEA7 et FT31.En se basant sur la valeur recommandée par les directives de l'OMS

(10 μ g/L), on constate que toutes les valeurs obtenues dans les différents forages sont conformes à ladite directive.

En ce qui concerne la qualité des eaux issues des forages réhabilités, elle est satisfaisante mais toutefois il faut un traitement au chlore avant leur injection dans le réseau de distribution de l'eau potable pour assurer la potabilité complète de ces eaux.

4.1.CONTRIBUTION DES FORAGES RÉHABILITÉS DANS LE RÉSEAU D'AEP

La figure 25 résume les consommations journalières, le déficit à combler et la contribution des forages réhabilités.

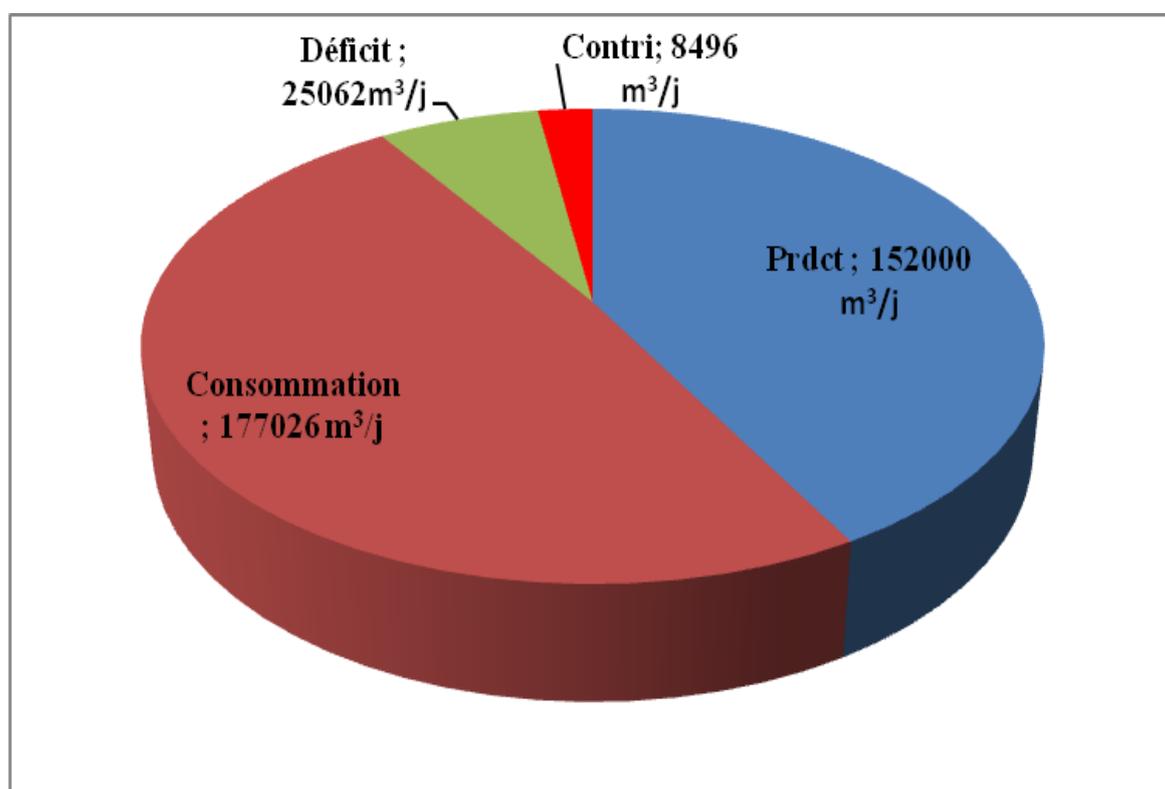


Figure 25: Contribution des forages réhabilités

La production journalière en eau potable pour la ville de Ouagadougou est estimée à 152 000m³/j. La consommation journalière comprenant toutes consommations confondues (domestiques, industrielles, usine et bornes fontaines) est estimée à 17 7 026 m³ d'eau soit un pourcentage de 85,85% de production. Le déficit en eau s'élève à 25062 m³/j d'eau, soit 14,15% de déficit en eau dans la ville de Ouagadougou. En ce qui concerne la contribution des forages réhabilités en eau potable, elle est évaluée à 8496 m³/j d'eau soit environ 6,45 % de contribution qui seront injectés dans le réseau de distribution de l'eau potable.

Le raccordement de ces forages diminuera considérablement le déficit pratiquement de 6,45 % par rapport aux estimations. Cet apport sera donc très utile pour la diminution des plaintes et la satisfaction des besoins en eau.

Pour une meilleure prise en compte de cette ressource additionnelle, un plan de connexion de ces ouvrages doit être initié et mise en route après validation par le service en charge de l'exploitation. Il pourra en effet tenir compte des zones de forte demande, des heures de pointes, de la nécessité d'injection du chlore et des tournées de maintenance régulière pour assurer un bon fonctionnement des équipements.

Après avoir raccordé les forages réhabilités le fonctionnement sera assuré de façon automatique c'est-à-dire s'il ya une baisse de pression en deçà d'un bar dans le réseau à proximité d'un forage réhabilité, l'injection ces eaux sera déclenchée.

CONCLUSION

La satisfaction des besoins en eau potable des populations contribue à une amélioration du niveau de vie globale et requiert d'importants sacrifices. En attendant des solutions plus pérennes, les mesures d'urgences adoptées par l'ONEA offre une bouffée d'oxygène aux consommateurs.

L'analyse de données géographiques disponibles a montré que les 31 forages réhabilités et qui ont fait l'objet de l'étude sont repartis dans 9 arrondissements (tableau 2) de la commune de Ouagadougou et cela pris en compte les zones dans lesquelles la quantité de l'eau desservie est insuffisante.

La contribution des forages réhabilités en eau potable, s'élève à 9813,6 m³/j des eaux potables qui seront injectés dans le réseau de distribution.

Les paramètres physico-chimiques, microbiologiques et les quelques éléments toxiques ont été évalués.

Sur le plan physico-chimique la qualité des eaux brutes est acceptable. En ce qui concerne les paramètres bactériologiques : les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux ne respectent pas les valeurs recommandées par les directives de l'OMS donc un traitement au chlore sera nécessaire pour éliminer ces germes afin d'assurer la potabilité complète de ces eaux et permettre la connexion des forages dans le réseau de distribution de l'eau de consommation.

Les éléments toxiques analysés sont tous inférieures à la norme en vigueur au Burkina Faso.

En ce qui concerne la contribution des forages réhabilités en eau potable, elle est évaluée à 9813,6 m³/j soit environ 5,85 % d'eau potable produite qui seront injectés dans le réseau de distribution.

Le raccordement de ces forages diminuera les déficits d'eau et réduire les coupures dans la distribution en eau de consommation dans certaines zones.

Après le raccordement des forages réhabilités leur fonctionnement sera assuré de façon automatique à l'aide d'un système de télégestion. Ce qui réduira la charge liée au fonctionnement.

RECOMMANDATIONS

Au terme de ce travail, un certain nombre de recommandations peuvent être formulés en vu de garantir davantage la santé des consommateurs et améliorer la desserte en eau par le réseau de l'ONEA dans l'ensemble des zones de la capitale. Parmi ces recommandations, nous pouvons citer :

- Une désinfection adéquate de ces eaux afin de les exempter de toutes contaminations microbiennes et prévenir d'éventuels risque d'épidémies ;
- Une évaluation de la qualité de l'ensemble des eaux qui circulera dans le réseau après branchement des forages réhabilités ;
- La mise en place d'un système de veille pour assurer un suivi permanent de la qualité des eaux de forages réhabilités et la maintenance des équipements;
- La détermination de la teneur en pesticide contenue éventuellement dans ces eaux vu que certains forages sont à proximité des sites de maraîchage ;
- Le déplacement des habitations qui sont situées à côté des forages car contribuent à l'insalubrité de l'environnement immédiat desdits forages et a la vulnérabilité de la nappe ou les soumettre à un cahier de charge extrêmement regardant sur la protection de périmètre abritant les forages ;
- La mise en place d'un périmètre de sécurité pour la protection de la qualité des eaux et protéger les ouvrages contre l'actions d'entités étrangères ;
- Après la réalisation de la Phase II de Ziga, confier la gestion des forages à un prestataire privé comme les gestionnaires des bornes fontaines publiques afin de maitriser la charge en ressources humaines.

BIBLIOGRAPHIE

AFSSA, 2004. Evaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement des limites et les références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Paris, AFSSA. 96p.

Banton, O., Bangoy, M. ; 1997. Hydrogéologie, multi science environnementale des eaux souterraines, AUPELF-UREF et Presses de l'Université du Québec.

Camara.O. ; 2011, pollution microbiologique des eaux souterraines dans le quartier Tanghin de Ouagadougou : états des lieux et perspectives, mémoire pour l'obtention du master en ingénierie de l'eau et de l'environnement option : environnement, 2iE, Ouagadougou/Burkina Faso, 67P.

Gounot A.M., (1994). Microbial ecology of groundwater. Dans : GIBERT J. & STANFORD J. (Éditeurs), Groundwater Ecology. Academic Press, San Diego, 189-219P.

http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/fr/index.html

Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD). ; 2007. Recensement général de la population et de l'habitat (RGPH), INSD/Burkina Faso.

Ministère de l'Agriculture et des Ressources Halieutiques., 2011. Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et d'Assainissement à l'horizon 2015, rapport sectoriel régional. Bilan annuel au 31 Décembre 2010, 22p.

Monjour L., 2000. Désinfection et chloration de l'eau dans les pays du tiers-monde. Paris : East. nouvelles, *Cah. Nutri. Diet.*, 28, 341-9.

Musy A., (2004). Hydrologie. 1er éd., Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.

Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA)., 2014. Rapport d'activités Grand Public, Ouagadougou Burkina Faso, 84p.

Organisation Mondiale de la Sante (OMS)., 2003. L'eau pour les hommes, l'eau pour la vie, Paris, Unesco-Wwap.

Organisation Mondiale de la Sante (OMS), 2004. Liens entre l'eau, l'assainissement, l'hygiène et la santé FAITS ET CHIFFRES, 2 p.

OUANDAOGO-YAMEOGO S., 2008. Ressources en eau souterraine du grand centre urbain de Ouagadougou, qualité et vulnérabilité. Thèse de Doctorat, Univ. d'Avignon, France, 245 p.

Potelon.L.J.; K.Zysman.; 1993; guide d'analyses des eaux ; DOSSIER D'EXPERT paris ; 214P.

Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et d'Assainissement, 15 FÉVRIER 2011. Rapport Sectoriel Régional Bilan Annuel au 31 Décembre 2010. CRP/PN-AEPA du 15 Février 2011, 55p.

Programme National du Secteur Rural (PNSR), 2011. Document du programme. 67p..

Rodier J. ; (2009). L'analyse de l'eau : Chimie, Physico-chimie, Bactériologie, Biologie 8^{ème} édition. Dunod Paris 1135 P.

Sauret. ; 2005. Mémoire de fin d'études d'ingénieur géologue IST, Caractérisation Hydrochimique Et Qualite Des Eaux Souterraines Du Mouhoun : Provinces Des Banwa, Des Bales, Du Mouhoun Et De La Kossi, Burkina Faso, 63p.

Suzanne O-Y., Bernard B., Julien N., et Alain N. S. ; 2013. Caractérisation du fonctionnement des aquifères de socle dans la région de Ouagadougou à partir d'une étude de la qualité chimique des eaux » Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 26, n° 3, 2013, p. 173-191. 1Laboratoire d'Hydrogéologie, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 10 BP 13398 Ouagadougou 10, Burkina Faso.

Suzanne Y., Bernard B., Alain N. Savadogo3. ; 2009. Qualité et vulnérabilité des ressources en eau souterraine du centre urbain de Ouagadougou au Burkina Faso, Ouagadougou, 6P.

ANNEXES

ANNEXE 1 : PROCÉDURES DE PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS

Paramètres physico-chimiques et métaux lourds : la réalisation d'un prélèvement pour ce type de paramètres il faut suffisamment remplir les bouteilles en Polyéthylène Haute Densité (PEHD) d'un litre. Après la phase de prélèvement les flacons sont placés dans une glacière isotherme pour leur transport au laboratoire pour éviter le contact avec le milieu ambiant qui peut modifier certains paramètres de l'eau.

Paramètres microbiologiques : il faut bien nettoyer les bords des robinets puis stériliser les robinets par flamage et le milieu environnant à l'aide d'un chalumeau. Pendant le prélèvement nous tenons la flamme près du robinet pour stériliser le milieu Remplir à $\frac{3}{4}$ le flacon de 250mL préalablement stérilisés à l'autoclave à 121°C pendant 45mn et contenant du thiosulfate de sodium qui inhibe le rôle du chlore dans l'eau dans le but de préserver les germes fécaux éventuellement présents dans l'eau distribuée.

NB : il ne faut pas remplir le flacon lors du prélèvement car le 1ml de thiosulfate de sodium est mis en raison de 200mL d'eau à prélever pour inhiber l'action de chlore afin de permettre la survie des microorganismes si éventuellement ils existent.

ANNEXE 2 : PROCÉDURE D'ANALYSE PAR VOLUMÉTRIE

Dans 100mL d'échantillon mettre 2 à 3 gouttes de l'indicateur mixte et doser avec l'acide chlorhydrique (HCl) à 0,02N le virage passe du bleu au vert claire. Le volume lu sur la pipette est multiplié par le facteur de correction qui est de 0.2 pour obtenir la teneur en TAC.

Si le pH de l'échantillon est supérieur à 8,3 déterminer le TA. Le TA est obtenu par la méthode suivante : dans 100mL d'échantillon ajouter 2 a 3 gouttes de solution phénolphthaléine le tout doser au HCl à 0,02 le virage passe du rose au bleu. Le volume de HCl pipete est multiplié par 0,2 pour obtenir la teneur de TA dans l'eau de boisson.

Analyse du calcium et du magnésium : Pour la détermination du calcium et du magnésium il faut d'abord déterminer la dureté total (TH) : $TH = TCa^{2+} + TMg^{2+}$. Ainsi mettre dans 50mL d'échantillon ajouter 2 gouttes de noir Eriochrome T et 4mL de pH 10. La solution ainsi préparée est disposée sur un agitateur et dosée avec de l'EDTA (sel disodique d'Acide Ethylene Diamine Tetraacetique).le virage passe du rose au bleu. Le TH est obtenu en multipliant le volume de l'EDTA pipeté par 0.2. Le résultat est exprimé en mmol/L.

La concentration de TH en mg/L= TH en mmol/L \times masse molaire(24,31)

Une fois le TH obtenu la concentration en calcium est déterminé en prélevant 50ml de l'échantillon, en ajoutant 2 pincés d'acide calccone et de 12mL de NAOH, ensuite déposée la solution sur l'agitateur et doser à l'EDTA. Le virage passe du violet au bleu. La teneur en Ca^{2+} est égale au volume de l'EDTA multiplié par 0,2. La teneur en magnésium= TH en mg/L - Ca^{2+} en mg/L.

ANNEXE 3 : PROTOCOLE POUR LA MÉTHODE PAR SPECTROPHOTOMÉTRIE D'ABSORPTION MOLECULAIRE

- Mettre l'appareil sous tension et attendre quelques secondes pour l'étalonnage automatique du signal
- Appuyer sur le programme Hach
- Sélectionner le programme correspondant à l'ion que l'on désire analyser
- Appuyer sur démarrer
- Transférer la quantité de référence à analyser dans un halène
- Transférer le contenu d'une pochette de réactif correspondant à l'ion dans l'halène
- Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur ok, une période de réaction correspondant à l'ion à analyser apparait. Par exemple : 5mn pour nitrate, le chrome et le fer, 20mn pour les nitrites, 3mn pour les sulfates et 2mn pour les phosphates. Durant la période de réaction une agitation du flacon préalablement fermé avec la paraffine est effectuée.
- Lorsque la minuterie retentit, transférer de l'échantillon dans une cuve ronde et propre pour faire le <<blanc>>.
- Essuyer l'extérieur de la cuve et l'introduire dans le compartiment du spectrophotomètre
- Appuyer sur zéro, l'indication suivante apparait : 0,0mg/l
- Ensuite vider la cuve contenant le blanc et mettre l'échantillon préparé contenant le réactif.
- Essuyer l'extérieur de la cuve et l'introduire dans le compartiment du spectrophotomètre appuyer sur lire et noter la valeur qui s'affiche.

ANNEXE 4 : PROTOCOLE D'ANALYSE PAR LA SPECTROPHOTOMETRIE D'ABSORPTION ATOMIQUE A FLAMME (SAAF)

Un opérateur se chargera de faire passer les échantillons en suivant le mode opératoire suivant :

Mettre le spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme en marche. Allumer la lampe HCL de Cu et la laisser se chauffer pendant environ une demi-heure. Cette opération peut se faire avant la préparation des solutions d'étalonnage. Sélectionner la méthode et introduire les solutions étalons préparées. Ouvrir la bouteille d'acétylène. Mettre le compresseur d'air en marche. Démarrer l'extracteur de fumées. Allumer la flamme. Ajuster le nébuliseur avec la concentration spécifique du cuivre fourni par le fabricant. Passer les échantillons en débutant par le moins concentré. Après s'être assuré de la linéarité de la courbe, passer le blanc (0 mg/L) puis les échantillons et noter les concentrations obtenues. Après l'analyse, l'opérateur arrêtera le spectrophotomètre.

Le spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme donne directement les concentrations en Cu exprimées en mg/L.

ANNEXE 5 : NORME DU BURKINA FASO

NORMES ORGANOLEPTIQUES

Paramètres	Unités	Limites maximales	Commentaires
Coloration	mg/l echt. Pt	15	
Odeur	Dil.à 25°C	-	Doit être acceptable
	Dil. 12°C		
Turbidité	NTU	5	
Saveur	Dil à 25°C	-	Doit être acceptable

a. NORMES MICROBIOLOGIQUES

Paramètres	Limites maximales
1. Coliformes totaux	0/100 ml
2. Coliformes thermo tolérants ou Escherichia	0/100 ml
3. Germes totaux	2/10 (37°C) ml (*) 20/100 (22°C)/ml (*)
4. Streptocoques fécaux	0/100 ml
5. Salmonelles	0/5l
6. Bactéries anaérobies sulfito-réductrices	1/20 ml
(*) à la production/ en distribution	

b. NORMES PHYSICO-CHIMIQUES

Paramètres	Unités	Limites maximales
pH		6,5-8,5
Résidu sec (180°)	mg/L	1500
Conductivité (20°)	µs/cm	2500
Bore	mg/L	0,3
Chlorures	mg/L	250

EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DE FORAGES REHABILITES EN VUE DE LEUR BRANCHEMENT
SUR LE RESEAU DE DISTRIBUTION DE L'EAU POTABLE DE L'ONEA : CAS DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU
(BURKINA FASO).

Sulfates	mg/L	250
Magnésium	mg/L	50
Sodium	mg/L	200
Potassium	mg/L	12
Nitrates	mg/L	50
Nitrites	mg/L	2
Calcium	mg/L	100

c.NORMES DE PARAMETRES INDISERABLES

Paramètres	Unités	Limites maximales
Aluminium	mg/L	0.2
Fer dissous	mg/L	0.3
Manganèse	mg/L	0.5
Cuivre	mg/L	2
Zinc	mg/L	3

d.NORMES DE PARAMETRES TOXIQUES

Paramètres	Unités	Limites maximales
Antimoine	mg/L	0.005
Arsenic	mg/L	0.01
Baryum	mg/L	0.7
Cadmium	mg/L	0.003
Cyanures	mg/L	0.07
Chrome total	mg/L	0.05
Fluorure	mg/L	0.7
Mercure	mg/L	0.001
Nickel	mg/L	0.02
Plomb	mg/L	0.01
Sélénium	mg/L	0.01

e. NORMES DE PARAMETRES POLLUANT

Paramètres	Unités	Limites maximales
Ammonium	mg/L	0.5
Oxydabilité au KMnO ₄	mg/L	5
Sulfure d'hydrogène	mg/L	0 .05
Azote Kjeldahl	mg/L	1 (en N) N de NO₃ etNO₂ exclus