



**THEME : ETUDE QUALITATIVE DES EAUX DE FORAGES MANUELS  
REALISES DANS LA ZONE PERIURBAINE DE LA VILLE DE  
N'DJAMENA/TCHAD**

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

Présenté et soutenu publiquement le 05 12 2015 par

**Allhabo Ahamat Alhabo**

---

**Travaux dirigés par :**

**M. Boukary SAWADOGO**

Ingénieur de Recherche au Laboratoire Eau Dépollution Ecosystème et Santé (LEDES)/ 2iE

**Mme Fatimé Ouala Kanika**

Chef de Division qualité eau au laboratoire des analyses des eaux au Ministère de l'Hydraulique (Tchad)

*Jury d'évaluation du stage :*

Président : Dr Franck LALANNE

Membres et correcteurs : Dr Héra KAROUI  
Dr Anderson ANDRIANSA  
M. Boukary SAWADOGO

**Promotion [20014/2015]**

## **DEDICACE**

*Je dédie ce travail à ma grand-mère Zénaba Hissein.*

*A ma mère Ramlah Saoussal et Mon père Ahmat Alhabo.*

*A mes frères Hissein Ahmat et Mht-Allamine Ahmat.*

*A mes sœurs Ardjoune Ahmat, Zenaba Ahmat et Mariam Ahmat.*

*A mes oncles Abdelkérîm Doutoum et Adoum Barbî.*

*A mes tantes Mirésilé Alhabo et Mariam Abdallah.*

*A mes cousins Alhabo Bachar Ahmat Youssouf, Adoum Fadalallah,  
Mahmout Abdelwahid, Atteib Abdelkérîm, Hassan Issou, et Moussa  
Djibrine.*

*A Zara Mahamat Khassim.*

*A tous mes amis et à la 6<sup>ème</sup> promotion ENTIP.*

## **REMERCIEMENTS**

Avant tout, nous rendons grâce à **ALLAH** de nous avoir accordé la vie et la santé.

Je tiens dans un premier temps à remercier toutes les personnes qui m'ont soutenu et encouragé durant ma formation. Je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont contribué à l'obtention de ce stage et à son encadrement.

Ma gratitude va tout particulièrement à :

- Mon enseignant et mon tuteur pédagogique **M. Boukary SAWADO** pour l'encadrement et la disponibilité ;
- Madame **Fatimé Kanika**, Chef de Division qualité eau LNE, pour m'avoir offert l'opportunité d'effectuer ce stage dans sa structure et aussi pour l'attention et l'encadrement dont j'ai bénéficié ;
- Tout le personnel du LNE pour leur collaboration ;
- **Au président de jury**, ainsi qu'à tous **les membres du jury** pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger et de contribuer à l'amélioration de ce travail ;
- Messieurs **Moukhtar Aldjibert et Moussa Tior-hié SOMA**, pour leur soutien et accompagnement;

Je souhaite également adresser mes remerciements :

- Au tous les **Khandaharistes**
- Au corps enseignant de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement pour la qualité de la formation reçue;

Enfin, que tous ceux qui ont contribué de prêt ou de loin à l'élaboration de ce travail, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

---

## **RESUME**

La ville de N'Djamena n'est pas totalement couverte par le réseau de distribution d'eau potable. Pour satisfaire les besoins en eau des populations des zones périurbaines il a été procédé à la réalisation des forages manuels. Ces ouvrages sont prisés pour leur coût et la disponibilité de la ressource et de la main d'œuvre. Pour une meilleure protection des consommateurs, une connaissance de la qualité des eaux de ces forages s'avèrent indispensable. Le présent travail vise donc à évaluer la qualité des eaux de forages manuels réalisés dans la zone périurbaine de la ville de N'Djamena. L'étude est faite sur tous les arrondissements qui n'ont pas accès au réseau de distribution de la Société Tchadienne d'Eau. Au total 25 forages ont été ciblés pour leur forte fréquentation. L'échantillonnage et l'analyse ont été effectués selon le protocole du Laboratoire National des Eaux (LNE) du Tchad. Au total 16 paramètres physico-chimiques ont été déterminés, avec les outils analytiques du LNE et ont été comparés à la norme tchadienne de potabilité des eaux de consommation. 24 % des eaux analysées ont un pH inférieur à la norme; 8 % ont une teneur en fer supérieure à la norme et 4 % renferment une concentration en ammonium supérieure à la norme. Par ailleurs, sur le plan microbiologique les résultats indiquent que la plupart des eaux sont fortement contaminées. 44 % des échantillons contiennent des *E. coli* et 84 % des entérocoques. Cette étude nous enseigne donc que la réalisation de ces ouvrages doit être confiée à des structures spécialisées. En sus un traitement de ces eaux est recommandé pour la protection des consommateurs.

### **Mots Clés:**

- 
- 1. eau potable**
  - 2. forage manuel**
  - 3. qualité des eaux de consommation**
  - 4. pollution**
  - 5. N'Djamena**

---

## **ABSTRACT**

N'Djamena city is not completely covered by the drinking water distribution network. In order to meet the needs in drinkable water of the suburban people, some manual drillings have been made. These facilities are widely used because of their low costs and the availability of the resource and the work force. In order to protect the consumers, there is an essential to know the quality of waters from manual drillings. This report aims to evaluate the quality of waters from manual drillings made in the suburban area of N'Djamena city. The study concerned all the districts that do not have access to the distribution network of national water society, Société Tchadienne d'Eau. A total of 25 drillings have been targeted for their high usage. Sampling and analysis have been achieved according to the protocol of National Waters Laboratory in French Laboratoire National des Eaux (LNE) of Chad. A total of 16 physicochemical parameters have been determined, with analytical tools of LNE and compared to the Chadian standard of drinkable water. Twenty Four percent (24 %) of analyzed waters have a pH lower than the standard. 8% have an iron content higher than the standard, and 4% contain a concentration of ammonium higher than the standard. Moreover, on a microbiological basis the results show that most of the waters is highly contaminated. Forty four percent (44 %) of samples contain E. coli and 84% of enterocoques. We learn from this study that the making of these facilities must be given to specialists in this domain. In addition, a water treatment is required to protect the consumers.

### **Key words:**

- 
- 1. Drinking water**
  - 2. Manual drilling**
  - 3. Quality of drinking water**
  - 4. Pollution**
  - 5. N'djamena**

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**DCDH** : Direction de la Connaissance du Domaine Hydraulique  
**AEP** : Adduction d'Eau Potable  
**CCA**: Chromocult Coliform Agar  
**CCNUCC** : Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques  
**CNAR** : Centre National d'Appui à la Recherche  
**CNGE** : Comité National de Gestion se l'Environnement  
**CNRS** : Centre National de la Recherche Scientifiques  
**EC** : Conductivité Electrique  
**EDTA** : Acide Ethylène Diamine Tétracétique  
**EN** : Européenne Norme  
**FCFA** : Franc de Communauté Financière Africaine  
**HCNE** : Haut Comité National de l'Eau  
**ISO** : International Standard Organisation  
**LNE** : Laboratoire National des Eaux  
**MAE** : Ministère de l'Agriculture et de l'Environnement  
**MATDLL** : Ministère de l'Administration de Territoire de Développement  
**MATUH** : Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Urbanisme et de l'Habitat  
**MEE** : Ministère de l'Environnement et de l'Eau  
**MHUR** : Ministères de l'Hydraulique Urbaine et Rurale.  
**MUHAFD**: Ministere de l'Urbanisme, de l'Habitat, des Affaires Foncières et du Domaine  
**MSP** : Ministère de la Santé Publique  
**NF** : Norme Française  
**NTU** : Unités Néphélométriques de Turbidité  
**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé  
**PEHD** : Polyéthylène Haute Densité  
**RCA** : République Centrafricaine  
**RGPH**: Recensement Général de la Population et de l'Habitat  
**SDEA** : Schéma Directeur des Eaux et d'Assainissement  
**STE** : Société Tchadienne d'Eau  
**TSD** : Solide Totaux Dissouts  
**UFC** : Unité Formant Colonie

---

---

## TABLE DES MATIERES

Dédicace.....	i
Remerciements.....	ii
Résumé .....	iii
Abstract.....	iv
liste des abréviations .....	v
TABLE DES MATIERES .....	vi
LISTE DES TABLEAUX .....	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
Introduction .....	1
Hypothèses de travail.....	3
CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE .....	4
<b>I.1. DEFINITIONS ET TERMINOLOGIE.....</b>	<b>4</b>
I.1.1. Eau potable.....	4
I.1.2. Forage.....	4
<b>I.2. Ressources en eau .....</b>	<b>5</b>
I.2.1. Ressources en eau dans le monde.....	5
I.2.2. Ressources en eau au Tchad.....	5
I.2.3. Cadre Juridique et institutionnel de l'eau au Tchad.....	6
• Cadre Institutionnel.....	6
I.2.4. Ressources en eau à N'Djamena .....	7
<b>I.3. Paramètres de la qualité des eaux de consommation .....</b>	<b>8</b>
I.3.1. Paramètres microbiologiques .....	9
I.3.2. Les indicateurs de contamination fécale.....	9
I.3.3. Paramètres physico-chimiques .....	11
I.3.4. Maladies hydriques .....	12
Chapitre II : Matériel et Méthodes.....	15
<b>II.1. Cadre de l'étude .....</b>	<b>15</b>

---

II.1.1 Présentation de la zone d'étude.....	15
II.1.2. Présentation du laboratoire d'accueil .....	14
<b>II.2. Méthodologie .....</b>	<b>16</b>
II.2.1. Zone de prélèvement.....	15
II.2.2. Echantillonnage .....	16
II.2.3. Mesures des paramètres .....	17
II.2.3.1. Paramètres microbiologiques .....	17
II.2.3.2. Paramètres physico-chimiques.....	18
a.    pH .....	18
<b>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS .....</b>	<b>21</b>
<b>III.1. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES.....</b>	<b>21</b>
III.1.1. pH.....	21
III.1.2. Conductivité .....	22
III.1.3. Turbidité .....	23
III.1.4. Taux de Solide Dissous (TSD) .....	24
III.1.5. Fer.....	25
III.1.6. Concentration en ion calcium $Ca^{2+}$ .....	27
III.1.7. Magnesium $Mg^{2+}$ .....	28
III.1.8. Sodium $Na^{+}$ .....	28
III.1.9. Potassium $K^{+}$ .....	29
III.1.10. Chlorure ( $Cl^{-}$ ).....	30
III.1.11. Sulfate $SO_4^{2-}$ .....	31
III.1.12. Nitrate $NO_3^{-}$ .....	32
III.1.13. Ammonium $NH_4^{+}$ .....	33
<b>III.2. PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES .....</b>	<b>35</b>
III.2.1. Coliformes fécaux.....	35
III.2.2. Entérocoques .....	36
<b>Conclusion.....</b>	<b>39</b>
<b>Recommandations - Perspectives.....</b>	<b>40</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>41</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>X</b>

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau I : récapitulatif des recherches à faire dans un échantillon à analyser: -----	9
Tableau II : Caractéristiques d'un indicateur idéal de contamination fécale-----	10
Tableau III : Principales maladies d'origine hydrique et leurs agents responsables -----	13
Tableau IV : La dureté totale ou le titre hydrotimétrique (TH) -----	33

---

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1 : Répartition d'eau douce dans le monde-----	5
Figure 2: Réseau de l'AEP de N'Djamena (schéma Directeur de l'eau, 2007)-----	7
Figure 3 : découpage administrative de la ville de N'Djamena -----	16
Figure 4 : variation de pH dans chaque arrondissement -----	21
Figure 5 : variation de la conductivité dans chaque arrondissement -----	23
Figure 6 : variation de la conductivité dans chaque arrondissement -----	24
Figure 7 : variation du TDS dans chaque arrondissement -----	25
Figure 8 : relation entre la conductivité et le TDS -----	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 9 : variation de concentration de Fe <sup>2+</sup> dans chaque arrondissement -----	26
Figure 10 : variation de Ca <sup>2+</sup> dans chaque arrondissement -----	27
Figure 11 : variation de Mg <sup>2+</sup> dans chaque arrondissement -----	28
Figure 12 : variation de Na <sup>+</sup> dans chaque arrondissement -----	29
Figure 13 : variation de K <sup>+</sup> dans chaque arrondissement -----	29
Figure 14 : variation de Cl <sup>-</sup> dans chaque arrondissement -----	30
Figure 15 : variation de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> dans chaque arrondissement -----	31
Figure 16 : variation de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> dans chaque arrondissement -----	32
Figure 17 : variation de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> dans chaque arrondissement -----	33
Figure 18 : variations de Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> et SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en fonction de TSD	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 19 : variation du nombre de <i>E. coli</i> en fonction de chaque quartier -----	35
Figure 20 : variation du nombre des entérocoques en fonction de chaque quartier -----	37

## **INTRODUCTION**

Peuplé de près de 11,5 millions d'habitants (RGPH2, 2009), le Tchad est l'un des pays le moins développé sur le plan d'adduction d'eau potable avec un taux d'accès à l'eau potable de 46 % (Ministère de l'Hydraulique et du Développement Rural, 2013). La population s'approvisionne en eau à travers le réseau de distribution de la Société Tchadienne des Eaux (STE), les puits et les forages, parfois effectuant une longue distance (Mahamat, 2015).

Le Tchad est subdivisé en 23 régions. La région de N'Djamena dont le chef-lieu est N'Djamena, compte une population de plus de 951.000 habitants, seuls 29 % des habitants avaient l'accès à un robinet dans le logement et 10 % dans la parcelle, tandis que le 71 % restant s'approvisionnent en eau de robinet publique ou en forage privé (INSEED, 2010). La ville s'étend sur 10 arrondissements. Elle est la région la plus peuplée du Tchad (RGPH2, 2009).

L'adduction d'eau potable dans la ville de N'Djamena, la capitale du Tchad, est assurée par la STE. Celle-ci ne couvre qu'une partie de la ville en l'occurrence des arrondissements 3, 4, 5, 6 et 8. De ce fait, la population des autres arrondissements de la ville s'approvisionne à l'aide d'eau des forages réalisés soit par des entreprises (mécaniques) soit manuellement et des puits. Les forages réalisés par les entreprises coûtent relativement plus chers de 2.650.000 à 7.000.000 F CFA (avec une profondeur comprise entre 50 et 100m (Zaria, 2013). Par contre les forages manuels (forés à la main) sont relativement moins chers (750.000 à 1.200.000 F CFA) par rapport aux précédents avec des profondeurs oscillant entre 20 et 40 m (Ngoulsou et al, 2013). Ce sont ces types de forage qui sont mis en œuvre par la population à raison de leur faible coût de réalisation. Certes, les forages procurent de l'eau à la population qui en a fortement besoin, mais il s'avère important de s'assurer que ces eaux ne présentent pas des risques pour la santé des habitants. C'est dans cette optique que l'Etat tchadien à travers son Ministère de la Santé Publique (MSP), a entrepris d'analyser les eaux des forages manuels des arrondissements 1, 2, 7, 9 et 10.

Il s'agira tout au long de ce travail, de faire une analyse qualitative des eaux de forages manuels des arrondissements 1, 2, 7, 9 et 10.

L'objectif général de cette étude est de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux de forage consommées par les populations en zone péri-urbaine.

De façon spécifique, il sera question :

- d'analyser les paramètres physico-chimiques de l'eau ;
- d'analyser les paramètres microbiologiques ;
- de comparer les résultats obtenus par rapport aux valeurs fixées par la norme nationale tchadienne pour l'eau/directives de l'OMS avant de proposer des recommandations.

Le présent travail va comporter :

Chapitre 1 : revue bibliographique,

Chapitre 2 : matériel et méthodes,

Chapitre 3 : résultats et discussions,

Une conclusion suivie des recommandations et de la référence bibliographique.

## **HYPOTHESES DE TRAVAIL**

Un certain nombre d'hypothèses ont été formulé dans le cadre de ce travail.

- Les eaux de forages manuels consommées par la population sont de bonne qualité ;
- Les eaux de forage consommées par la population ont des caractéristiques physico-chimiques conformes aux normes nationales tchadienne/directives de l'OMS ;
- Les eaux de forage consommées par la population ont des caractéristiques microbiologiques conformes aux normes nationales tchadienne/directives de l'OMS.

## CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

### I.1. DEFINITIONS ET TERMINOLOGIE

#### I.1.1. Eau potable

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).

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).

D'après la loi N°016/PR/1999 du 18 Août 1999 portant code de l'eau au Tchad et le Décret N°615/PR/PM/MSP/2010 dans son article 3 portant définition nationale de l'eau potable au Tchad définissent : « une eau, est considérée être potable et pouvoir être distribuée à une collectivité en vue de l'alimentation humaine, ne doit pas être susceptible de porter atteinte à la santé de ceux qui la consomment et ne doit pas présenter d'indice physico-chimique, bactériologique et biologique de pollution, ni de concentration en substance toxique ou indésirable supérieur aux normes » Annexe I.

Le fait qu'une eau soit potable (conforme aux normes) ne signifie pas qu'elle est exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur (cas de certaines substances chimiques). Les germes pathogènes et les parasites, ne doivent pas être présents dans l'eau de consommation même en faible concentration. Par contre, la présence de certaines substances est nécessaire, comme les oligo-éléments indispensables à l'organisme. Une eau potable doit être agréable à boire, claire, inodore et de bon goût (CNRS, 2004).

#### I.1.2. Forage

Un forage est une technique de réaliser un trou cylindrique de petit diamètre horizontal, verticalement ou oblique par percussion ou par rotation ([www.wikiwater.fr](http://www.wikiwater.fr) 21/02/2015). C'est une technique ancienne qui date de plus de 3000 ans. Elle est d'origine chinoise où des morceaux de bambous attachés à un poids lourd permettaient de forer des puits d'eau.

Il existe deux grandes approches du forage :

- Le forage manuel, réalisé avec des outils manuels dont la profondeur peut aller jusqu'à 40 m (Ngoulsou et al, 2013) ;
- Le forage mécanisé réalisé par des outils mécaniques, peut creuser des grandes profondeurs ([www.wikiwater.fr](http://www.wikiwater.fr) 21/06/2015).

## I.2. RESSOURCES EN EAU

### I.2.1. Ressources en eau dans le monde

La terre est constituée de 71,11 % d'eau dont 97 % sont des eaux salées des mers et des océans et les 3 % sont des eaux douces (figure 1). Dans ces 3 %, seulement 0,4 % sont disponibles comme eaux douces accessibles pour assurer les besoins en eau pour la boisson et les activités ménagères. Mais avec l'augmentation des sources de pollution : industrielle, agricole et domestique, la dégradation de la qualité de ces eaux douces augmente graduellement chaque année (Nebel et Wright, 1996 ; Ndounla, 2007).

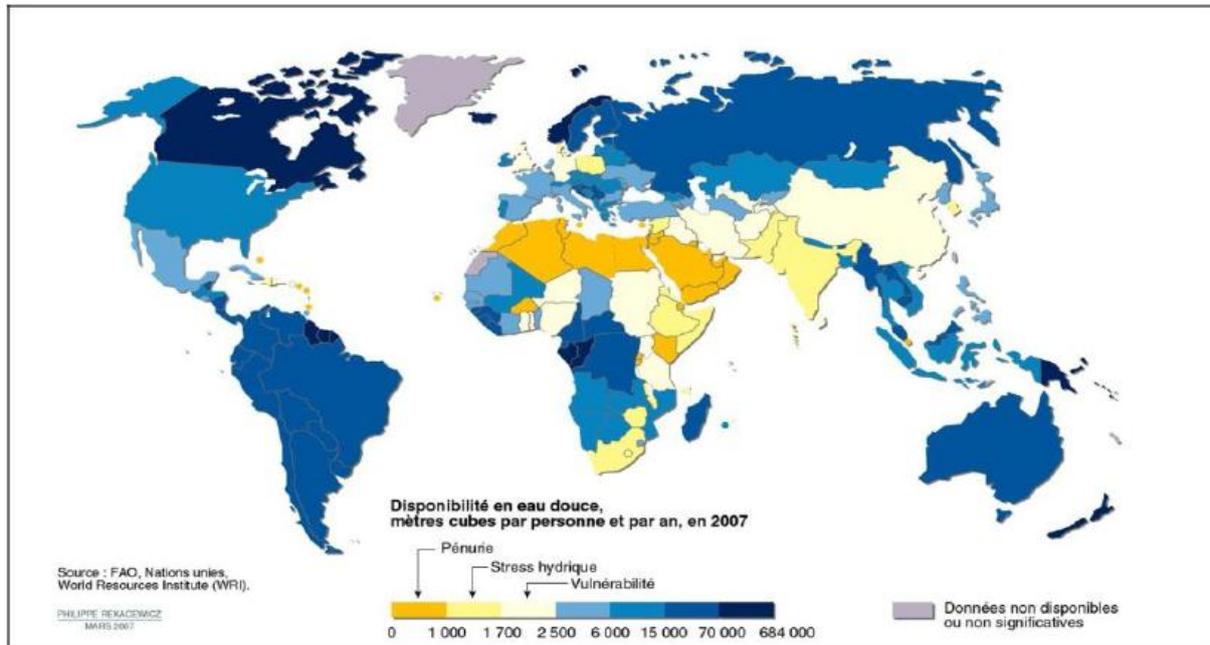


Figure 1 : Répartition d'eau douce dans le monde

### I.2.2. Ressources en eau au Tchad

Vaste de 1 284 000 km<sup>2</sup>, le Tchad est situé entre 7° et 24° de latitude nord et entre 14° et 24° de longitude Est. Il est limité par six pays : au Nord la Libye, à l'Est le Soudan du Nord, au Sud la République Centrafricaine (RCA) et à l'Ouest le Cameroun, le Nigeria et le Niger. Les ressources en eau sont les cours d'eau, les lacs et les nappes. Les principaux cours d'eau permanents sont le Logone et le Chari. Le Logone, long de 1200 km, prend sa source en RCA

et rejoint le Chari à N'Djamena. Le Chari grossit du Logone à un débit annuel de 1.080 m<sup>3</sup>/s pour un bassin versant estimé à 600.000 km<sup>2</sup>. A ces deux fleuves, viennent s'ajouter les cours d'eau semi permanents et temporaires. S'agissant des lacs, le plus important est le Lac Tchad, fraction résiduelle d'une vaste mer intérieure qui, au paléolithique aurait couvert environ 230.000 km<sup>2</sup>. Avec les sécheresses persistantes qu'a subi le Tchad, sa superficie est passée de 25.000 km<sup>2</sup> en 1963 à moins de 7.000 km<sup>2</sup>. Son volume est passé de 86 milliards de m<sup>3</sup> en 1963 à moins de 18 milliards de m<sup>3</sup>.

Outre le Lac Tchad, il existe d'autres modestes réservoirs d'eau à savoir les lacs Fitri, Iro, Ounianga, Leré, Fianga, Tikem, Tréné etc... (CCNUCC, 2001).

### **I.2.3. Cadre Juridique et institutionnel de l'eau au Tchad**

#### **Cadre Institutionnel**

Au Tchad, la gestion du secteur de l'eau est une prérogative publique. Elle est participative car différents acteurs (publics, privés et associatifs) sont concernés au niveau central. Cette institutionnalisation est subdivisée en trois comités : politique, stratégique et technique. Le comité de gestion est placé sous la tutelle du Premier Ministre à travers le Haut Comité National de l'Environnement (HCNE), du Ministère de l'Environnement et de l'Eau (MEE) (Mahamat, 2015). En plus, d'autres institutions interviennent dans le domaine de l'eau et de l'assainissement comme acteurs essentiels : le Ministère de l'Urbanisme de l'Habitat, des Affaires Foncières et des Domaines (MUHAFD), le Ministère de l'Aménagement du Territoire de la Décentralisation et des Libertés Locale (MATDLL), le Ministère de l'Agriculture et de l'Environnement (MAE), le Ministère de la Santé Publique (MSP), le Comité National de Gestion de l'Eau (CNGE), le Haut Comité National de l'Environnement et le Fonds Spécial pour l'Environnement.

Hormis la situation institutionnelle, il est important d'énoncer le cadre juridique de l'eau au Tchad.

- **Cadre Juridique**

Le Tchad dispose d'un cadre juridique primaire sur la régulation de l'eau et de l'assainissement. A cet effet, il existe quelques documents importants et relativement récents portant sur la protection de l'environnement. Il s'agit entre autre de : la Loi n°14/PR/1998 portant Code de l'Environnement et le Décret n°904/2009 portant réglementation sur les pollutions et les nuisances ainsi que le code de l'Hygiène Publique, élaboré par le Ministère de la Santé Publique en 2005 qui identifie dans ses dispositions générales les critères régissant

l'hygiène du milieu et de l'assainissement des voies et places publiques. Il en est de même pour le Schéma Directeur de l'Eau Potable et de l'Assainissement élaboré en 2003, la loi n°16/PR/99 du 18 Août 1999 portant Code de l'Eau et la réglementation de référence en matière de l'assainissement.

#### I.2.4. Ressources en eau à N'Djamena

La ville de N'Djamena est la jonction de deux fleuves Chari et Logone, située dans la zone sédimentaire ; ce qui lui donne une grande étendue des nappes. Les fleuves, les nappes et la pluviométrie sont les ressources en eau qu'on rencontre dans la ville de N'Djamena mais pour la boisson humaine, seules les eaux souterraines sont utilisées. La distribution de l'eau potable à N'Djamena comme dans tout le Tchad est assurée par la Société Tchadienne d'Eau (STE). La production d'eau potable annuelle de la ville de N'Djamena en 2011 variait entre 40.000 m<sup>3</sup> à 45.000 m<sup>3</sup>/jour. Avec une population avoisinant 1,5 million d'habitants, la capitale du Tchad a besoin de plus de 100.000 m<sup>3</sup>/jour. Ainsi, cette production en temps normal, ne dessert qu'à peine la moitié de ses habitants (figure 2). Dans les zones périurbaines et rurales, les forages à motricité humaine et les puits sont les points d'alimentation en eau (Afriqinfos : [www.afriqinfos.com](http://www.afriqinfos.com), le 02/09/2015). Les objectifs fixés par l'Etat tchadien pour 2015 (un taux global de 60 %) sont loin d'être atteints. Le taux d'accès à l'eau potable était de 20,9 % de l'ensemble de la population soit l'un des taux le plus faible au monde. En 2012, cette couverture est passée à 46 %. (MHUR, 2013).

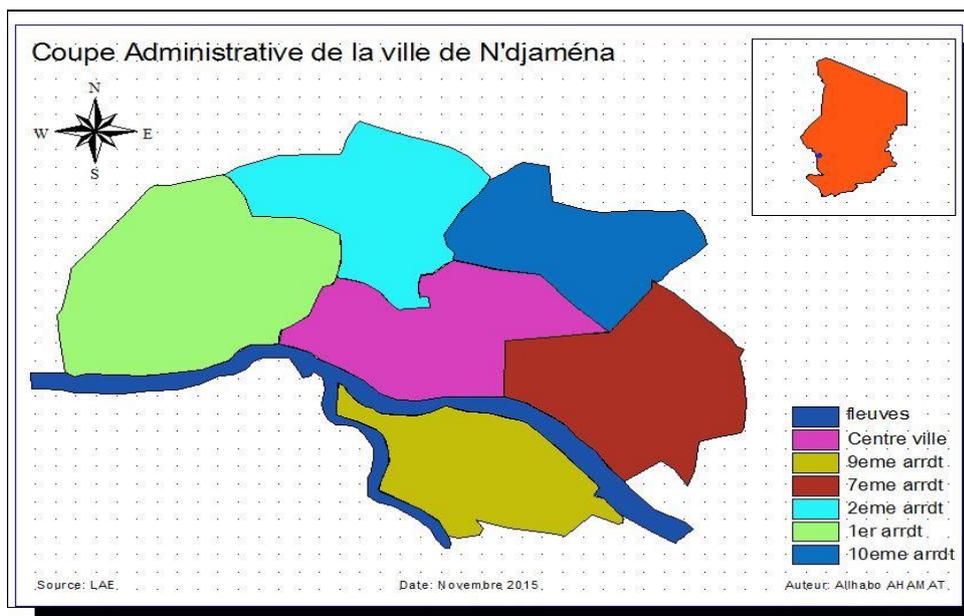
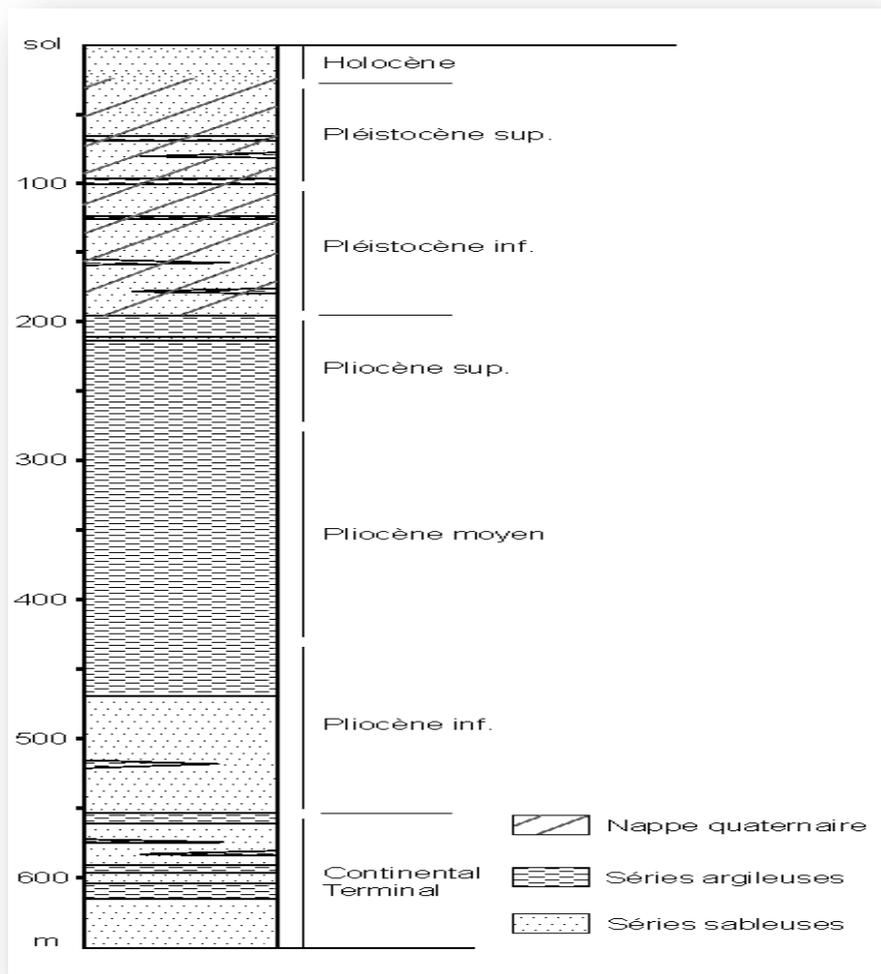


Figure 2: Coupe Administrative de la ville de N'Djamena

Le sous-sol de la ville de N'Djamena est composé d'alluvions quaternaires de l'ancien lac Tchad, elles-mêmes déposées sur un socle cristallin. Les alluvions sont composées de sable, d'argiles et de toutes les granulométries et mélanges intermédiaires, et présentent parfois des variations importantes sur des courtes distances. Certaines argiles montrent une grande sensibilité à l'eau et exercent de fortes pressions de gonflement sur les ouvrages enterrés.



**Figure 3 :** Lithologie générale typique de la région de N'Djamena. (Log réalisé avec les données des différents forages de la zone par la CNAR, 1999)

### I.3. PARAMETRES DE LA QUALITE DES EAUX DE CONSOMMATION

Les qualités physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines subissent parfois des variations spatio-temporelles dépendant souvent de facteurs météorologiques et pédologiques (Korkka et Laikari, 1994).

### I.3.1. Paramètres microbiologiques

Une eau doit être exempte de pathogènes tels que les bactéries, les virus, les protozoaires ou les champignons. La détection (tableau 1) des coliformes et des streptocoques fécaux indique une contamination fécale. La présence de ces germes pathogènes dans une source d'approvisionnement en eau peut engendrer des épidémies de maladies d'origine hydrique (Ouandaogo, 2008).

Les coliformes fécaux sont appelés aussi les coliformes thermo-tolérants (*E.coli*). Ce sont des coliformes qui fermentent le lactose à 44 °C pendant 24 heures. Le germe *Escherichia coli* est le type de coliformes fécaux d'habitat fécal exclusif ; sa recherche est donc extrêmement importante (Rodier, 2005).

**Tableau I** : récapitulatif des recherches à faire dans un échantillon à analyser

Recherches analytiques	Explications
<b>Bactéries <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recherche obligatoire</li> <li>• Bactérie d'origine fécale pouvant entraîner des micro-organismes pathogènes : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ gastro-entérite.</li> <li>○ hépatite etc.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Bactéries entérocoques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recherche obligatoire</li> <li>• Bactérie d'origine fécale ou infiltration d'eau de surface.</li> </ul>
<b>Recherche de bactéries coliformes totales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recherche obligatoire</li> <li>• Bactérie d'origine fécale ou environnementale qui ne présente pas de risques sanitaires, mais une dégradation de la qualité bactérienne de l'eau.</li> <li>• Vérifier régulièrement l'éventuelle infiltration de l'eau de surface.</li> </ul>

Source : ([www.comprendrechoisir.com](http://www.comprendrechoisir.com))

### I.3.2. Les indicateurs de contamination fécale

Les organismes indicateurs sont toujours présents à des concentrations relativement élevées dans les eaux usées ( $10^8$  -  $10^{10}$  coliformes fécaux par litre) (WHO, 2006b). En plus, ces indicateurs sont relativement plus facilement mesurés en routine par rapport aux pathogènes qui nécessitent des méthodes et des laboratoires plus sophistiqués. C'est la raison pour laquelle la plupart des normes sur la qualité microbiologique des eaux de consommations sont basés sur les organismes indicateurs. Pour éliminer toute ambiguïté liée à l'utilisation du

terme indicateur microbien, (Ashbolt et al. 2001) ont proposé les trois groupes suivants : les indicateurs microbiens généraux (indicateurs de procédés), les indicateurs fécaux (comme *E. coli*) et les microorganismes indexes et organismes modèles. Selon ces auteurs, les indicateurs de procédés sont des organismes qui démontrent l'efficacité d'un procédé de traitement comme les bactéries hétérotrophes et les coliformes totaux dans le cas de la désinfection par le chlore.

Les indicateurs fécaux sont des organismes qui ont une origine fécale certaine comme les coliformes thermotolérants (*E. coli*) et les entérocoques (Annexe III et IV).

Les organismes indexes et modèles sont des espèces qui indiquent respectivement la présence des pathogènes et leur comportement. Par exemple, *E. coli* est un organisme indice pour *Salmonella* pendant que les coliphages F-RNA constituent des organismes modèles des entérovirus humains.

La validité d'un indicateur dépend de plusieurs paramètres (Tableau II). Cette validité étant affectée par la résistance et l'aptitude de l'indicateur à se multiplier dans l'environnement, il est donc peu probable que les pathogènes viraux et bactériens, les protozoaires parasites et les vers pathogènes se comportent tous de la même manière qu'un groupe d'indicateurs donné. Par conséquent, il n'existe aucun indicateur universel mais des indicateurs, chacun avec ses caractéristiques (Davies-Colley, 2005).

**Tableau II** : Caractéristiques d'un indicateur idéal de contamination fécale

Critères	Signification
1. Organisme entérique omniprésent	Toujours présent dans des eaux contaminées par de la matière fécale
2. Toujours présent avec les pathogènes d'origine entérique	Présence de l'indicateur avertit des risques de maladies
3. Plus abondant que les pathogènes	Facile à détecter et à dénombrer
4. Plus résistant que les pathogènes	Son absence traduit nécessairement celle des pathogènes
5. Ne prolifère pas dans l'environnement	Certitude de la contamination fécale
6. Facilement dénombré par des méthodes non coûteuses	Contrôles continus en routine possibles

Source : Adapté de Davies-Colley, 2005.

### I.3.3. Paramètres physico-chimiques

**Température :** c'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH, etc. En général, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (eaux superficielles ou eaux souterraines) (Rodier, 1984).

**pH :** le Potentiel d'Hydrogène est défini comme l'unité de mesure logarithmique décrivant le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une solution. Pour le déterminer, la formule  $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$  est utilisée.

- ✓ Si le  $\text{pH} < 7$ , la solution est acide ;
- ✓ Si le  $\text{pH} > 7$ , la solution est basique ;
- ✓ Si le  $\text{pH} = 7$ , la solution est neutre.

**Turbidité :** la turbidité est un paramètre physique très important pour le contrôle de la qualité des eaux. La valeur limite acceptable pour les eaux destinées à la consommation humaine est de 5 NTU (OMS, 1996).

La turbidité d'une eau est une mesure globale qui prend en compte toutes les matières colloïdales, insolubles d'origine minérale ou organique. Elle représente la transparence d'une eau et son unité de mesure est NTU (unité de turbidité néphélogométrique) (Marichal et al., 2001 ; Santé Canada, 2003).

La mesure de la turbidité, très utile pour le contrôle d'un traitement, ne donne pas d'indication sur la nature, la concentration, la taille des particules en suspension qui doivent faire l'objet des mesures spécifiques (Rodier, 1996).

**Conductivité :** la conductivité électrique (EC) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Il existe une relation entre les sels dissous d'une eau et la résistance qu'elle oppose au passage d'un courant électrique.

Cette résistance peut s'exprimer de deux manières : la résistivité et la conductivité. La conductivité est proportionnelle au degré de minéralisation d'une eau et varie en fonction de la température (Potelon et Zysman, 1993).

**Chlorure :** très répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium (CaCl<sub>2</sub>), les ions chlorures (Cl<sup>-</sup>) se trouvent en plus grande partie dans les océans. De façon générale, l'ion chlorure est présent dans toutes les eaux naturelles à des concentrations variables. Dans les eaux de surface, ils sont présents à faible concentration par contre dans les eaux souterraines, les teneurs en ion chlorure peuvent atteindre quelques grammes par litre au contact de certaines formations

géologiques, (Potelon et Zysman, 1993).

**Sulfate** : composés naturels des eaux, les ions sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 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 ( $\text{H}_2\text{S}$ ), précipités en sels insolubles ou assimilés par des organismes vivants.

**Dureté totale** : la dureté totale ou le Titre Hydrotimétrique (TH) d'une eau correspond à la présence de sels calcium et magnésium. Elle est directement liée à la nature géologique du sol traversé. Un sol calcaire ou crayeux donnera une eau dure par contre une eau traversant un terrain sableux sera douce (Potelon et Zysman, 1993). Une eau est dure lorsqu'elle est chargée en ions calcium et magnésium, alors qu'une eau est dite douce lorsqu'elle contient peu de ces ions. La dureté totale s'exprime en degré français ( $^{\circ}\text{F}$ ), où  $1^{\circ}\text{F} = 10 \text{ mg/l de CaCO}_3$ . L'eau peut être classée selon sa dureté :

- eau douce, de 0 à 60 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  ;
- eau modérément dure, de 60 à < 120 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  ;
- eau dure, de 120 à < 180 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  ;
- eau très dure, > 180 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , (Environnement Canada, 1977).

**Sodium** : le sodium est le 6<sup>ème</sup> élément chimique le plus abondant à l'état naturel. Il joue un rôle important dans les plantes et chez les êtres humains du fait de son action sur la perméabilité du sol avec le potassium.

**Fer** : Le fer est classé au quatrième rang des éléments de la croûte terrestre en terme d'abondance. Il s'emploie largement dans la métallurgie.

Dans les eaux bien aérées (eaux de surface), sa teneur est moins importante. En revanche, dans les eaux souterraines (en particulier dans les nappes captives, dans les nappes alluviales peu aérées, etc...), on peut observer de fortes concentrations en fer quand les conditions de solubilisation sont réunies. En effet, le fer se trouve en solution dans les eaux privées d'oxygène.

#### I.3.4. Maladies hydriques

L'eau est un vecteur de maladies graves voire mortelles. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (2002), 1,1 milliards de personnes ne disposent pas d'un service approprié d'approvisionnement en eau potable. De plus, chaque année, 500 millions de personnes souffrent d'une maladie transmise par l'eau. Plus de 13 millions de gens meurent d'une

maladie transmise par l'eau.

Chaque année, dans les pays en développement, environ 3 millions de personnes meurent prématurément de maladies liées à l'eau. La majeure partie de ces décès sont des enfants de moins de 5 ans suivis des femmes et les populations pauvres qui n'ont pas accès à l'eau potable et à un assainissement adéquat (World Bank, 2008). Au cours de l'année 2000, 17 % des 10,6 millions de décès enregistrés à travers le monde chez les enfants de moins de 5 ans étaient occasionnés par des diarrhées (WHO, 2007). Le tableau III donne une idée sur les maladies hydriques avec les agents responsables.

**Tableau III** : Principales maladies d'origine hydrique et leurs agents responsables

11	Agent pathogènes	Maladie engendrées
Bactéries	<i>Salmonella typhi</i> , <i>Salmonella paratyphi A et B</i>	Fièvres typhoïde et paratyphoïdes, salmonellose
	<i>Shigella dysenteriae</i>	Dysenterie bactérienne
	<i>Vibrio cholerae</i>	Choléra
	<i>Escherichia coli</i> (souches pathogènes)	Diarrhées
	<i>Campylobacter jejuni / coli</i>	Campylobactériose
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastroentérite aigüe
	<i>Leptospira</i>	Leptospirose
Virus	Poliovirus	Poliomyélite, méningite
	Entérovirus	Méningite, infection respiratoire
	Virus de l'hépatite A et E	Hépatites A et E
	Virus de Norwalk	Gastroentérites
	Rotavirus	Gastroentérites et dysenterie
Protozoaires parasites	<i>Giardia lamblia</i>	Giardiase
	<i>Cryptosporidium</i>	Cryptosporidie
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne
Vers parasites (helminthes)	Vers plats ou plathelminthes ( <i>Taenia</i> spp., <i>Schistosoma haematobium</i> , <i>S. mansoni</i> , <i>Fasciola hepatica</i> )	Parasitisme
	Vers ronds ou Némathelminthes ( <i>Ascaris</i> spp., <i>Trichuris trichiura</i> , <i>Necator americanus</i> , <i>Ankylostoma duodenale</i> )	Parasitisme

Source : (Bitton, 1999)

### **I.3.5. Présentation du laboratoire d'accueil**

Le laboratoire d'Analyse des Eaux (LAE) est une division de la Direction de la Connaissance du Domaine Hydraulique (DCDH) du ministère de l'hydraulique rurale et urbaine. Il est situé à N'Djamena précisément au quartier N'djari dans le 8<sup>ème</sup> arrondissement. La DCDH est une direction technique chargée des études et de la planification des actions du ministère de l'hydraulique rurale et urbaine. Elle est subdivisée en trois divisions :

- division des études et de la planification ;
- division des bases de données et SIG ;
- division de qualité des eaux.

La division qualité des eaux comprend deux services :

- analyse bactériologique ;
- analyse physico-chimique.

La division qualité des eaux a pour mission :

- le contrôle de la qualité des eaux conformément au texte en vigueur;
- la production d'une revue d'information sur la qualité des eaux ;
- l'élaboration des stratégies de surveillance de la qualité des eaux.

## **CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES**

Dans ce chapitre il sera question du matériel et des différentes méthodes qui ont été utilisés pour déterminer les paramètres physico-chimique et microbiologique des eaux de forage prélevées au niveau des arrondissements 1, 2, 7, 9 et 10 de la ville de N'Djamena. Ce travail a couvert la période allant du 22 avril au 22 août 2015 et 100 échantillons ont été analysés.

### **II.1. CADRE DE L'ETUDE**

#### **II.1.1 Présentation de la zone d'étude**

L'étude a été menée dans la ville de N'Djamena, la capitale politique du Tchad. Elle couvre une superficie de 41.000 hectares soit 0,031 % de la superficie totale du pays et est située à 12°06'59''N et 15°04'20''E. La ville de N'Djamena comptait 951.418 habitants selon le recensement général de l'habitat en 2009. Selon le même recensement, la population de N'Djamena serait de 1.349.605 habitants en 2015. La ville de N'Djamena compte 10 arrondissements dont le 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup>, 7<sup>ème</sup>, 9<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> sont dans la zone périurbaine. La température moyenne maximale enregistrée est de 35,8 °C avec une pluviométrie moyenne de 509,8 mm d'eau (DREM 2013).

#### **II.1.2. Zone de prélèvement**

Les prélèvements ont été réalisés à la zone périurbaine de N'Djamena dans les cinq arrondissements situés dans cette zone. Le choix de ces arrondissements repose sur le fait qu'il n'y a quasiment pas de réseau de distribution d'eau potable de la société tchadienne des eaux dans ces zones et aussi, une forte densité de forages manuels y a été constaté. Dans chaque arrondissement, cinq forages ont fait l'objet des prélèvements pour les analyses physico-chimiques et microbiologiques. Ces forages ont été choisis surtout du fait de leur forte fréquentation. Il a été échantillonné cinq forages par semaine à raison d'un forage par jour vu, les moyens humain et logistique dont dispose le laboratoire. Pour chaque forage, deux échantillons ont été prélevés. La figure 3 illustre les différents sites de prélèvement.

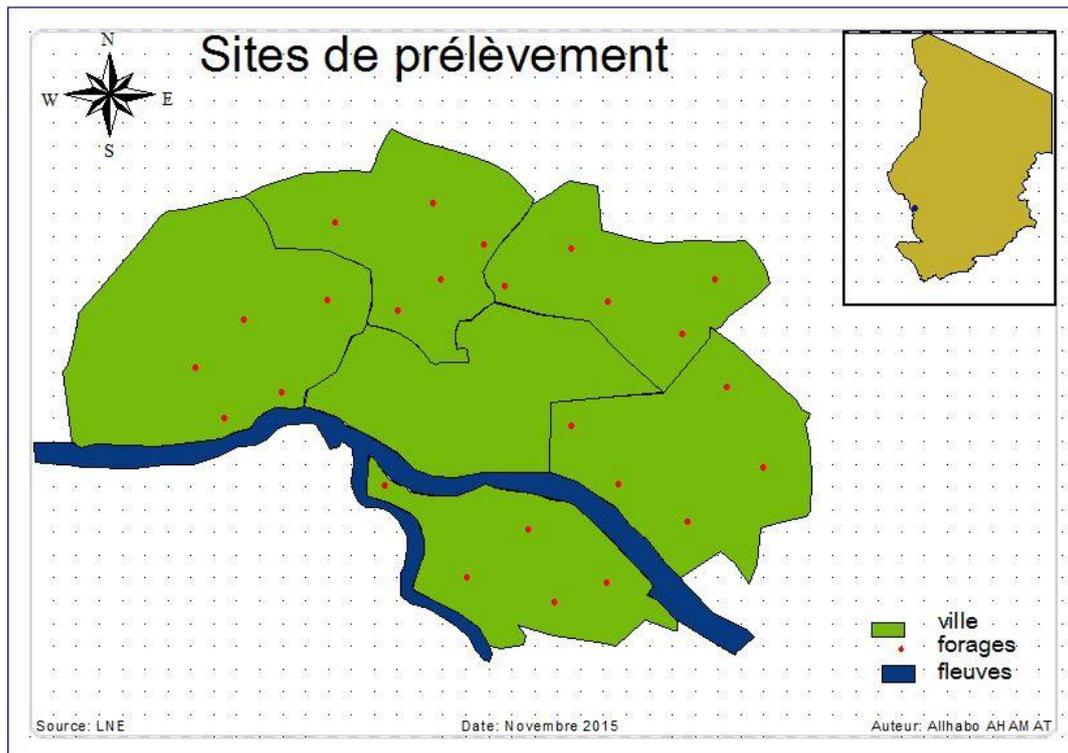


Figure 4 : les points de prélèvement

## II.2. METHODOLOGIE

### II.2.1. Echantillonnage

- **Analyse des paramètres physico-chimiques :**

Des flacons en Polyéthylène Haute Densité (PEHD) de 1000 ml préalablement lavés et stérilisés sont utilisés pour l'échantillonnage. Le prélèvement est fait au niveau de chaque forage après 2 minutes de pompage et un filet d'eau régulier et constant. Les flacons sont remplis jusqu'au bord et fermés hermétiquement avant d'être transportés au laboratoire dans des glacières isothermes à 4 °C.

- **Analyse des paramètres microbiologiques**

Il faut signaler qu'un examen microbiologique ne peut être interprété que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé dans un récipient stérile, selon un mode opératoire précis évitant toutes les contaminations accidentelles, correctement transporté au laboratoire et analysé sans délai ou après une courte durée de conservation dans des conditions satisfaisantes (Rodier, 2009). Les échantillons ont été prélevés dans des flacons en verre borosilicatés stériles de 250 ml auprès d'une flamme provenant d'un chalumeau. Les verres sont à moitié remplis pour éviter l'asphyxie des microorganismes aérobies. Ils sont

transportés par la suite dans une glacière à 4 °C jusqu'au laboratoire où ils sont analysés directement.

Les microorganismes recherchés lors des analyses sont les coliformes fécaux et les entérocoques qui sont des indicateurs de contamination fécale. Ces deux groupes de bactéries ont été choisis en raison de leur importance dans l'évaluation de la qualité microbiologique des eaux de boisson, les eaux souterraines qui sont des ressources hydriques les plus consommées dans beaucoup de régions du monde (Haslay et Leclerc, 1993; OMS, 1997; Vilagines, 2003).

## II.2.2. Mesures des paramètres

### II.2.2.1. Paramètres microbiologiques

Le dénombrement des streptocoques fécaux a été effectué par la technique de filtration sur membrane sous une hôte. Le principe est mentionné dans la norme française NF EN ISO 7899-2 (Août 2000) dont s'est inspirée la présente méthode. De façon concrète, un volume de 100 ml d'un échantillon d'eau est filtré à travers une membrane ayant une grandeur de pore (0,45 µm). La filtration d'un échantillon est précédée par le rinçage du dispositif de filtration grâce à une solution de di-potassium hydrogenophosphate ( $K_2HPO_4$ ) et enfin une stérilisation au rayon ultraviolet. L'appareil de filtration est composé d' :

- un osmoseur sur lequel est entreposé un filtre et un entonnoir gradué de 100 ml à 500 ml ;
- une pompe à vide reliée d'une part à une fiole et d'autre part à l'osmoseur permettant ainsi un circuit d'eau de l'osmoseur à la fiole grâce à l'action aspirante de la pompe ;

En suite le filtre est placé sur un milieu sélectif (le "m Enterococcus") et incubé à 37 °C.

Le dénombrement de bactéries coliformes fécales (*Escherichia coli*) a également été fait par la technique de filtration sur membrane. Le principe est mentionné dans la norme française NF EN ISO 9308-1 (Septembre 2000) et la présente méthode en est conforme. L'essai consiste en une filtration sur membrane ayant un diamètre de pore (0,45 µm), suivie d'une mise en culture dans une gélose de différenciation (le "Chromocult Agar ES") et du calcul du nombre des organismes cibles d'*Escherichia coli* présents dans l'échantillon. Des tests de confirmation ont été réalisés pour les colonies présumées d'*Escherichia coli* qui ont une coloration bleue.

Pour la confirmation de la présence de *Escherichia coli* nous avons repiqué les colonies dans un tube de "LAURYL TRYPTOSE BROTH" où *Escherichia coli* produit du gaz après incubation

pendant 22+/- 2h, à 44 °C et aussi dans un bouillon de "EAU DE TRYPTONE" où *Escherichia coli* produit de l'indole après incubation de 22 +/- 2h, à 44 °C. L'apparition d'un anneau rouge à la surface du bouillon après ajout du réactif de "KOVACS" confirme la production d'indole. Après confirmation, le nombre de colonies (Unité Formatrice de Colonies) est exprimé à travers la formule suivante :

$$C = \frac{A \times N \times V_s}{B \times V_t}$$

*C* = nombre de colonies par 100 ml

*A* = Nombre de colonies caractéristiques et /ou vérifiées

*B* = Nombre de colonies repiquées pour vérification

*N* = Nombre de colonies présumées

*V<sub>t</sub>* = Volume de l'échantillon ou d'une dilution de celui-ci, exprimée en ml

*V<sub>s</sub>* = Volume que le résultat doit rapporter (100 ml).

### II.2.2.3. Paramètres physico-chimiques

A chaque campagne, les mesures in situ ont été effectuées au niveau de chaque point d'eau : la température, le pH ont été mesurés à l'aide d'un pH mètre portatif à microprocesseur de type HI 9024 C muni d'une électrode, et la conductivité avec un conductimètre portatif

Les échantillons d'eau prélevés sont conservés dans des bouteilles en plastique d'un litre rincées au préalable trois fois avec l'eau à prélever.

Des glacières ont été utilisées pour conserver et transporter les échantillons jusqu'au laboratoire pour les analyses. Le dosage des bicarbonates s'est effectué à l'arrivée au laboratoire ou dans les 24 heures qui ont suivi le prélèvement.

#### a. pH

Le pH traduit l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Il est déterminé à partir d'un pH mètre équipé d'une électrode. La formule ci-dessous permet de l'évaluer :

$$\text{pH} = - \log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

#### ❖ Mode opératoire

- Avant de commencer la mesure, il faut s'assurer que le pH-mètre est bien connecté avec ses électrodes, puis ôter doucement le chapeau protecteur de l'électrode sans verser le liquide. Rincer à l'eau distillée l'extrémité de l'électrode ;
- Rincer le vase et l'électrode, avec de l'eau distillée puis avec l'échantillon ;
- Remplir le vase de mesure avec l'échantillon ;

- Immerger l'électrode avec précautions;
- Lire directement le pH lorsque la valeur s'est stabilisée.

### **b. Conductivité**

La conductivité d'une solution est sa capacité à conduire le courant électrique. Elle est fonction des ions en solution. La mesure de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique s'effectue à l'aide d'un appareil appelé conductimètre.

#### **❖ Mode opératoire**

- Rincer l'électrode du conductimètre avec de l'eau distillée ;
- Prélever l'échantillon à l'aide d'un bécher ;
- Plonger l'électrode ;
- Mettre en marche l'appareil ;
- Appuyer sur **AR** puis **ENTER** ;
- Attendre la valeur se stabilise
- Lire la valeur qui s'affiche après le bip sonore.

### **c. Turbidité**

La turbidité traduit la teneur d'une eau en très fines particules (telles que les colloïdes). La turbidité donne à l'eau une apparence trouble, due principalement à la présence de matières en suspension dans l'eau. Elle occasionne des dépôts dans la tuyauterie et les réservoirs créant ainsi un milieu propice à la prolifération des bactéries. La mesure se fait à l'aide d'un turbidimètre.

#### **❖ Mode opératoire :**

Prélever 25 ml de l'échantillon à l'aide d'une cuve ;  
Essuyer bien la cuve avant de la placer dans l'appareil ;  
Appuyer sur Read/lire et attendre que le résultat s'affiche.

### **d. Volumétrie**

La volumétrie permet de déterminer plusieurs paramètres importants de la caractérisation d'une eau. Parmi ces paramètres il y a le titre alcalimétrique et le titre hydrotimétrique. Cette technique analytique consiste à doser une solution A de concentration  $C_a$  avec une solution B de concentration  $C_b$ .

Trois dosages pour chaque manipulation ont été effectués afin d'obtenir une moyenne.

### e. Titre hydrotimétrique et titre calcique (TH, TCa)

Le but de la manipulation est de déterminer la dureté d'une eau de forage c'est-à-dire les concentrations en cations métalliques à l'exception de celles des alcalins et de l'ion hydrogène. Généralement elle est due aux ions calcium et magnésium. On distingue :

- le Titre Hydrotimétrique (TH) qui est la somme des concentrations en sels de calcium et de magnésium ;
- le Titre calcique (TCa) qui correspond à la teneur globale en sels de calcium ;
- le Titre magnésique (TMg) qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium.

#### ❖ Principe

La manipulation a pour principe de complexer des ions calcium et magnésium avec un agent complexant, l'acide éthylène diamine tétracétique (EDTA) dans des conditions de pH précises. Le point d'équivalence est indiqué par un indicateur coloré.

#### ❖ Mode opératoire

- On prélève à l'aide d'une éprouvette graduée 100ml de l'échantillon ;
- Remplir la burette avec de l'EDTA ;
- Verser 4ml de solution tampon pH10 sur l'échantillon ;
- Et une pincée du NET ;
- Homogénéiser une coloration rouge violacé apparaît ;
- Verser de l'EDTA jusqu'au virage de la solution au bleu ;
- Noter le volume.

### f. Détermination des ions

La détermination des ions s'est faite à l'aide d'un spectrophotomètre. Un volume de 25 ml d'échantillon est prélevé à l'aide d'une pipette dans deux tubes. Le premier servira de blanc et dans le second, un sachet de réactif correspondant au dosage de l'ion est ajouté (Nitratver pour les ions Nitrates, Phosver pour les ions phosphates, SPANDS pour les ions fluorures, Ferrover pour les ions fers, Nessler pour les ions ammoniums...). Après homogénéisation et un temps de réaction, l'ensemble est lu au spectrophotomètre DR 3800 à des longueurs d'ondes différentes. Le protocole est décrit en Annexe II.

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

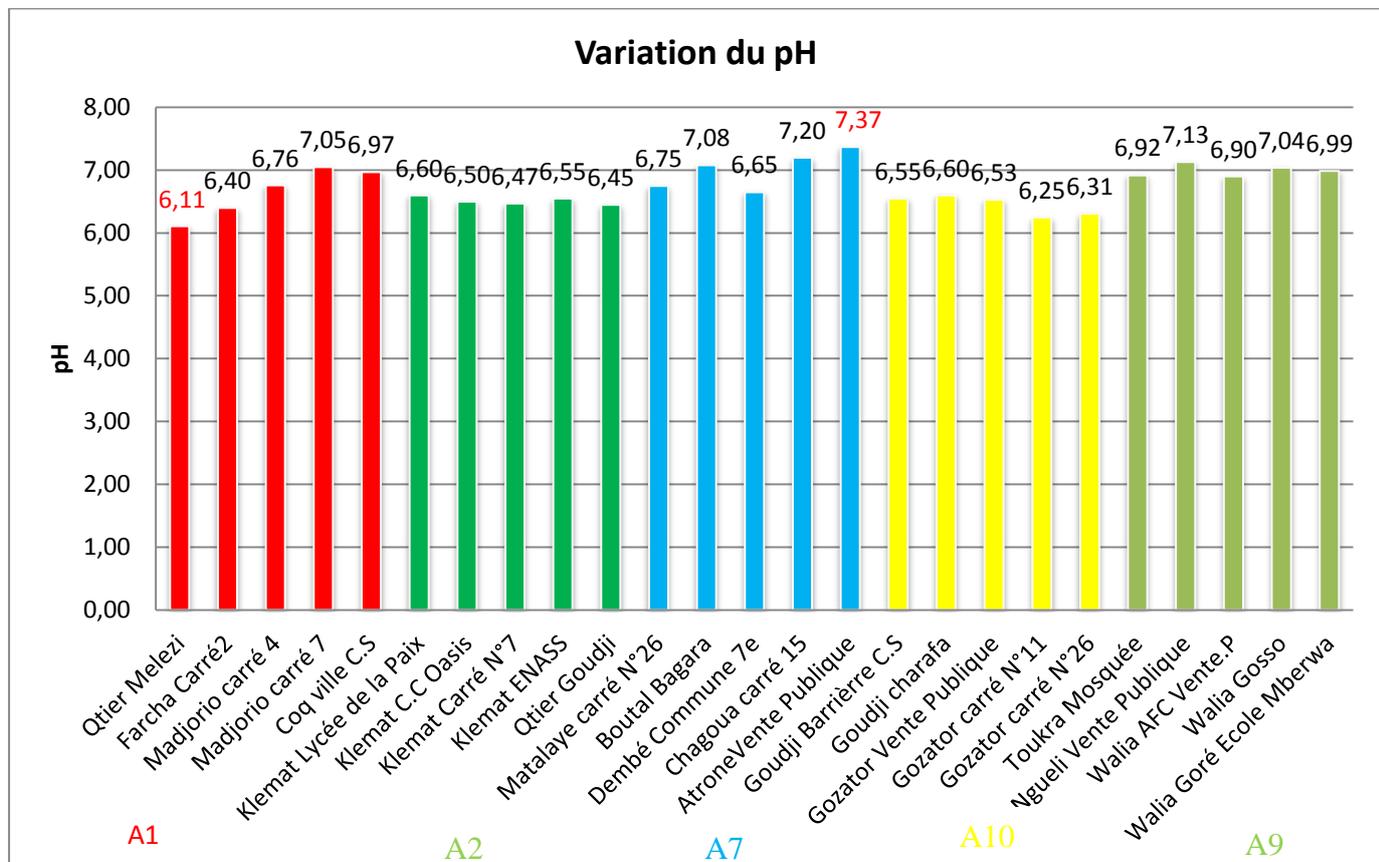
Dans cette partie, les résultats obtenus suite aux analyses physico-chimique (Annexe V) et microbiologique (Annexe VI) des eaux de forage seront présentés et discutés.

Chaque arrondissement est représenté sur les différents graphique par une couleur : rouge (1<sup>er</sup> Arrondissement), verte foncée (2 Arrondissement) , le bleu (7<sup>ème</sup> arrondissement), jaune (10<sup>ème</sup> arrondissement) et verte (9<sup>ème</sup> arrondissement).

### III.1. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

#### III.1.1. pH

Dans les cinq arrondissements le pH varie entre 6,1 et 7,37 comme indiqué sur la figure 4. La valeur minimale est obtenue au niveau du 1<sup>er</sup> arrondissement dans le quartier Melezi, par contre, la valeur maximale est observée dans le quartier Atrone du 7<sup>ème</sup> arrondissement. Il a été observé dans le 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> arrondissement un pH de l'ordre de : 6,11; 6,40; 6,47; 6,45; 6,25 et 6,31 respectivement dans les quartiers Melezi, Farcha, Klemat, Goudji, Gozator carré N °11, et Gozator carré N °26 comme présenté sur la figure 5.



**Figure 5** : variation de pH dans chaque arrondissement

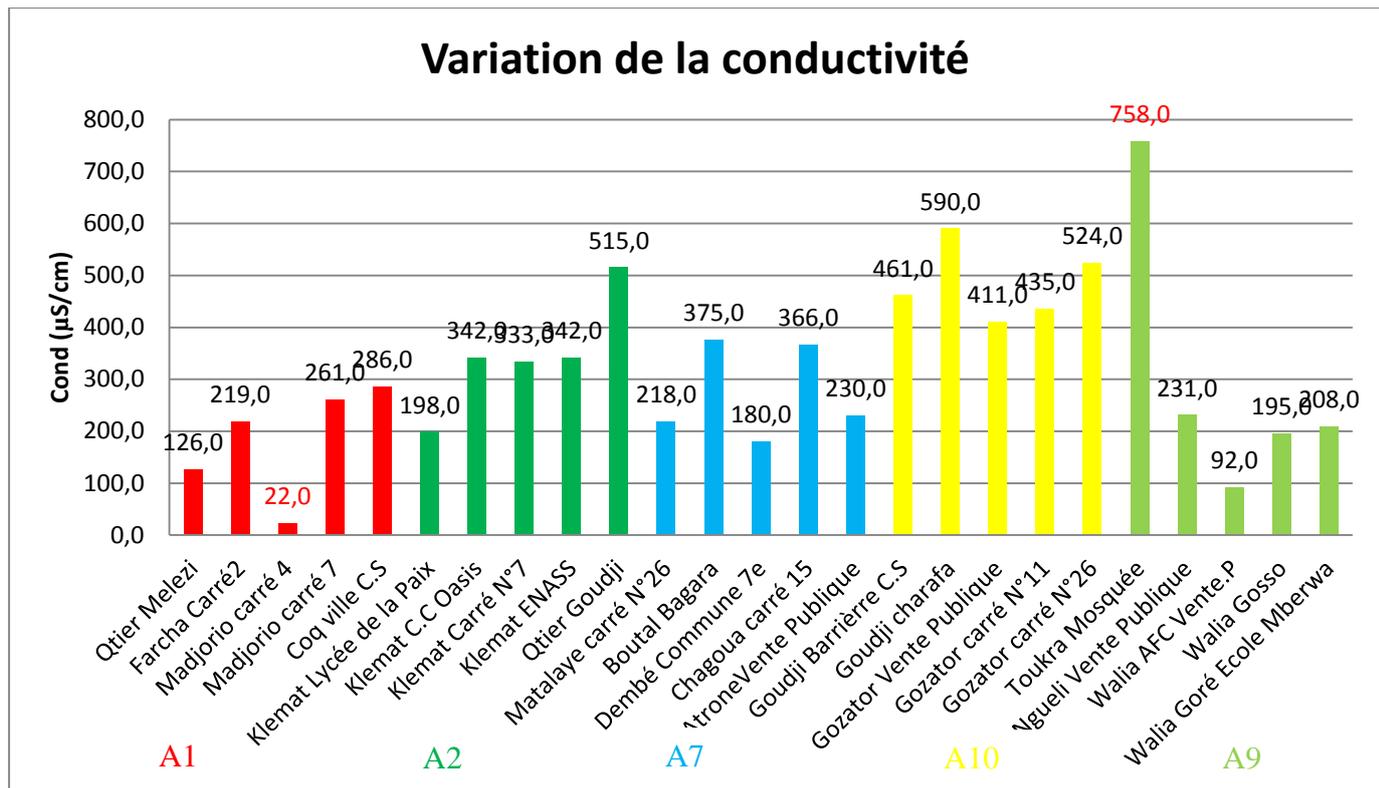
Les valeurs du pH qui ont été enregistrées dans les quartiers des arrondissements 1, 2 et 10 cités plus haut sont inférieures à la valeur minimale (6,5) qu'autorise la norme nationale tchadienne/Directives de l'OMS. Ces pH peuvent être expliqués par la nature des roches traversées par les eaux souterraines. En effet, lorsque les eaux s'infiltrent dans le sol, elles interagissent avec les composantes des roches qu'elles traversent. Le caractère acide des eaux dans ces quartiers semble être lié à la nature des aquifères qui sont constitués essentiellement de sol siliceux. Selon Bourrié (1978), la nature silicatée des aquifères explique le caractère acide des eaux. La dissociation de l'acide carbonique issu du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère constitue un des facteurs de l'acidification des eaux souterraines concernées (aquifère superficiel).

L'étude effectuée par Zaria (2013) sur les eaux de forages à N'Djamena le pH le plus élevé 7,24 est obtenue au quartier Melezi tandis que le plus bas 6,9 au quartier Béguinage.

Contrairement à l'étude fait par Zaria, le quartier Melezi enregistre le pH le plus faible de 6,11 dans notre étude. Cette différence de pH peut s'expliquer par la variation de la profondeur du forage.

### **III.1.2. Conductivité**

La conductivité de ces eaux de forages varie considérablement en fonction du quartier ou du point de prélèvement. La plus forte valeur de conductivité est observée au forage de la mosquée du quartier Toukra dans le 9<sup>ème</sup> arrondissement (758,0 µS/cm). La plus faible valeur est rencontrée au forage du quartier Madjorio carré 4 dans le 1<sup>er</sup> arrondissement (22,0 µS/cm) comme illustré sur la figure 6.

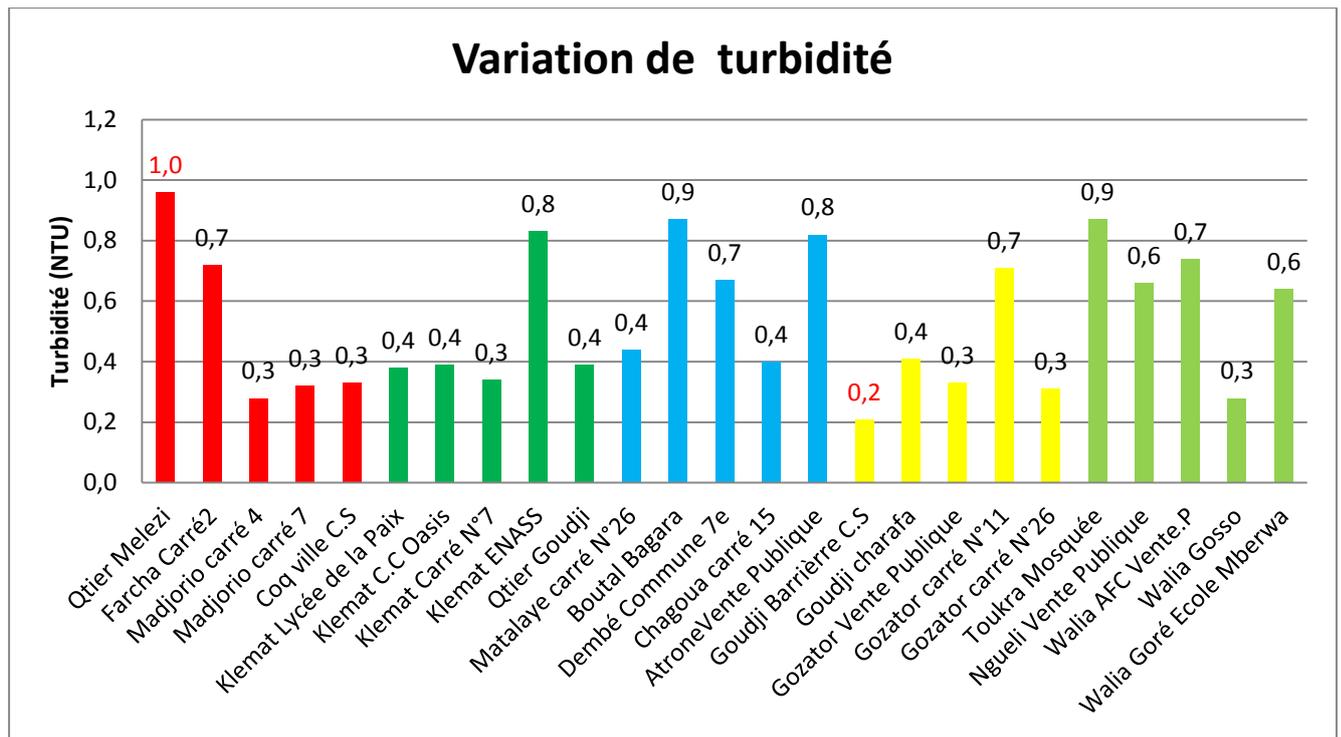


**Figure 6 :** variation de la conductivité dans chaque arrondissement

Dans cette étude, les variations constatées dépendent de l'aquifère qui contient ces eaux et de la température du forage. A Madjorio la température est de 27 °C Tandis qu'à la mosquée de Toukra la température est de 30 °C. Selon Pescod (1985) et Rodier (1984), la conductivité est fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. En outre, l'existence des activités agricoles dans le quartier de Toukra contribueraient à l'accroissement de la conductivité par lessivage des sols. Selon Potelon et Zysman (1993) le lessivage des sols entraîne naturellement la dissolution d'un certain nombre de sels minéraux. Une étude menée par Zaria (2013) sur les forages de la Ste donne des résultats de 209 µS/cm minimum soit 9,5 fois la conductivité à Madjorio (22,0 µS/cm) et un maximum de 673 µS/cm soit 0,88 fois la conductivité à Toukra.

### III.1. Turbidité

La figure 7 montre une faible teneur en matière en suspension dans les eaux analysées. Il est constaté que dans les 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> arrondissements, les eaux sont plus claires que dans les arrondissements 7 et 9. Les eaux les moins turbides sont celles du quartier Goudji dans le 10<sup>ème</sup> arrondissement avec une turbidité de 0,3 NTU tandis que celles du quartier Melezi sont les plus troubles, 1,0 NTU.



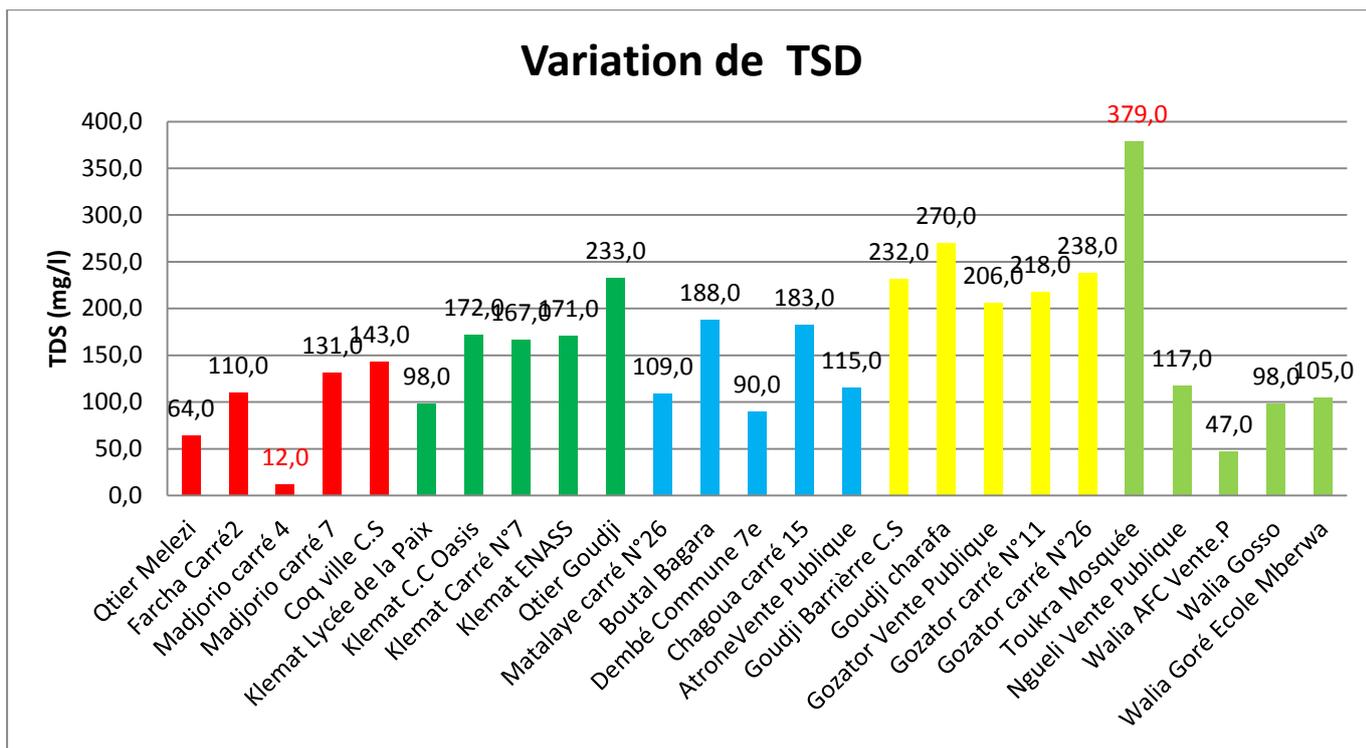
**Figure 7** : variation de la conductivité dans chaque arrondissement

Toutes les valeurs obtenues sont conformes à la norme nationale tchadienne/Directives de l'OMS qui stipule que la turbidité doit être  $\leq 5$  NTU.

Dans les quartiers Melezi, Klemat, Boutal Bagara, Atrone et Toukra de turbidité respective 1,0; 0,8; 0,9; 0,8; et 0,9, les aquifères de ces eaux sont constituées d'une partie argileuse ou limoneuse. Selon Potelon et Zysman (1993), la turbidité de l'eau a pour origine la présence de matières en suspension tels que : l'argile, le limon... qui donnent un aspect trouble à l'eau. Dans l'étude réalisée par Zaria (2013) à N'Djamena sur les eaux des forages de la Ste, la valeur maximale trouvée était de 2 NTU, soit 2 fois plus grande que la valeur maximale obtenue (1,0 NTU) dans ce travail.

### III.1.4. Taux de Solide Dissous (TSD)

Le taux de solide dissous ou taux de sels dissous varie de façon significative en fonction du point de prélèvement. La concentration la plus élevée en sels dissous est observée à la mosquée de Toukoura dans le 9<sup>e</sup> arrondissement avec une concentration de 379,0 mg/l. Par contre, le quartier Madjorio enregistre la valeur la plus basse qui est de 12,0 mg/l comme illustré sur la figure 8.



**Figure 8 :** variation du TDS dans chaque arrondissement

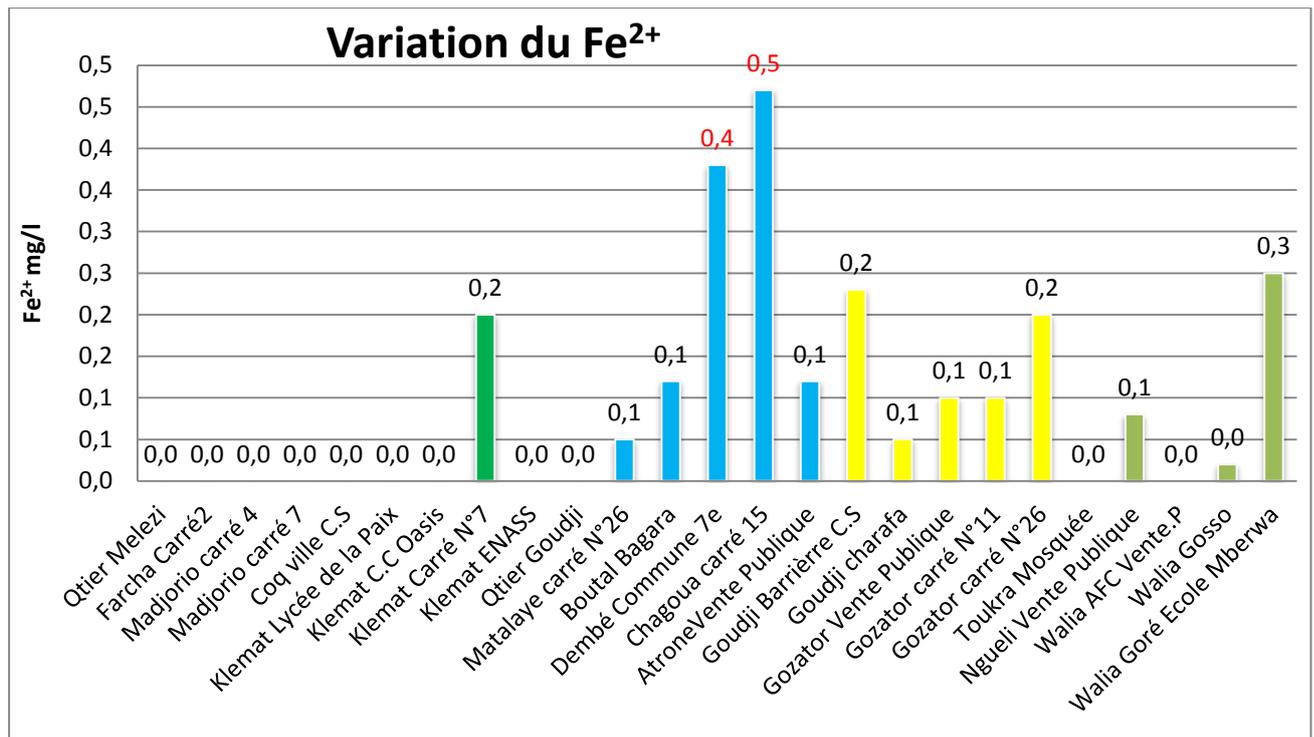
Le taux de sels dissous varie selon les points de prélèvement en fonction de la quantité de matière dissoute dans ces eaux.

Le rapport cond/TSD peut renseigner sur le degré de minéralisation d'une eau. La figure 8 indique la corrélation entre ces deux paramètres.

Selon l'étude de Zaria (2013) dans la ville de N'Djamena dans le marché à mil, une concentration maximum en substances dissoutes de 358,0 mg/l et une température de 35,5 °C ont été trouvées. Cette valeur de TSD s'approche de la valeur maximum obtenue dans ce travail qui est de 379,0 mg/l.

### III.1.5. Fer

Dans la plupart des échantillons prélevés et analysés dans le 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> arrondissement, il ressort que les eaux ne contiennent pas de fer (<0,0 mg/l). Une concentration maximale de 0,5 mg/l est obtenue au 7<sup>ème</sup> arrondissement dans le quartier Chagoua carré 15. Il a été constaté dans le 7<sup>ème</sup> arrondissement au quartier Dembé et au quartier Chagoua des concentrations élevées respectives de 0,4 et 0,5 mg/l comme indiqué sur la figure 9.



**Figure 9 :** variation de concentration de Fe<sup>2+</sup> dans chaque arrondissement

Les valeurs de concentration en fer qui ont été enregistrées dans les quartiers du 7<sup>ème</sup> arrondissement cités plus haut sont supérieures à la valeur maximale (0,3 mg/l) prévue par la norme nationale tchadienne/Directives de l’OMS. La présence élevée de fer dans les eaux du quartier Chagoua et Dembé s’expliquerait par la grande profondeur de ces nappes et il faut noter que ces 2 quartiers enregistrent les pH les plus élevés. Selon Potelon et Zysman (1993), dans les eaux souterraines (en particulier dans les nappes captives, dans les nappes alluviales peu aérées, etc), on note généralement une teneur élevée en fer. En effet, le fer se trouve en solution dans les eaux privées d’oxygène.

Cette présence peut s’expliquer aussi par les matériaux d’équipement du forage, corrosion des canalisations métalliques (en fonte ou en acier) cette affirmation est confirmée par les mêmes auteurs.

Par conséquent, une concentration en fer élevée a un risque sanitaire. 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 (OMS, 1986).

La présence élevée de concentration en fer dans les eaux influencerait les paramètres organoleptiques (goût métallique de l’eau, turbidité, coloration rouge) de celles-ci.

### III.1.6. Concentration en ion calcium $\text{Ca}^{2+}$

Le pic de concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  est observé dans le quartier Goudji Charafa au 2<sup>ème</sup> arrondissement avec une forte concentration de 90,4 mg/l et la concentration la plus basse 4,8 mg/l, est obtenue au quartier Madjorio dans le 1<sup>er</sup> arrondissement comme indiqué sur la figure 10.

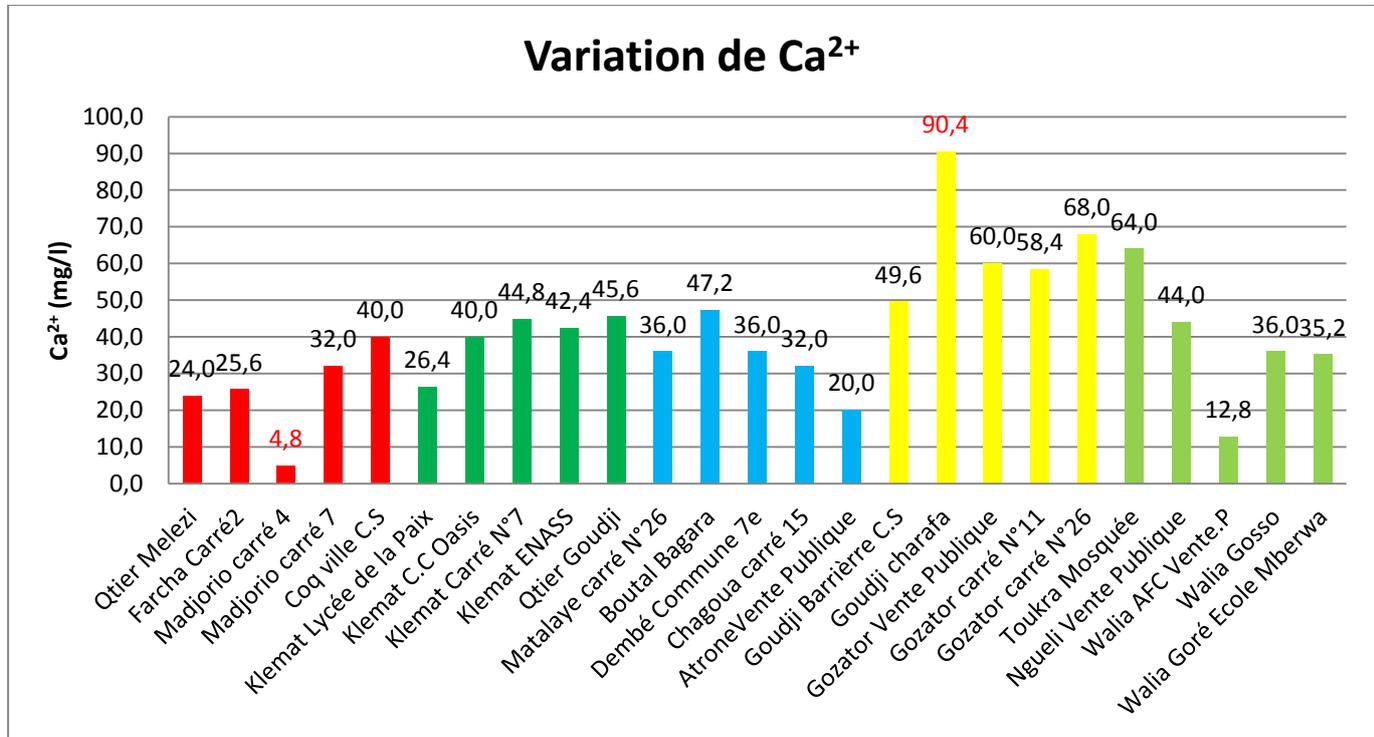


Figure 10 : variation de  $\text{Ca}^{2+}$  dans chaque arrondissement

Il a été observé une forte teneur en  $\text{Ca}^{2+}$  dans le quartier Goudji charafa. Cette forte teneur peut s'expliquer par la nature de l'aquifère qui est constitué en partie de calcaire. Selon Potelon et Zysman (1993), le calcium est un métal extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates ( $\text{CaCO}_3$ ). Il est rencontré dans presque toutes les eaux naturelles. La présence de  $\text{Ca}^{2+}$  dans les échantillons analysés est directement liée à la nature géologique des terrains traversés.

Les valeurs obtenues respectent la norme nationale tchadienne de l'eau/OMS qui stipule que la concentration maximum en  $\text{Ca}^{2+} \leq 200$  mg/l.

Les valeurs obtenues (4,8 à 90,4 mg/l) sont très faibles par rapport aux résultats trouvés par Zaria (2013) dans la ville de N'Djamena (58 à 319 mg/l).

### III.1.7. Magnesium $Mg^{2+}$

Une variation significative de la concentration en  $Mg^{2+}$  est observée dans les différents forages prélevés. Il a été obtenu dans les quartiers Madjorio carré 4, Gozator vente publique et Walia AFC vente publique la plus faible concentration de 1,2 mg/l, tandis que le quartier Goudji enregistre la plus forte concentration 35,5 mg/l. comme indiqué sur la figure 11.

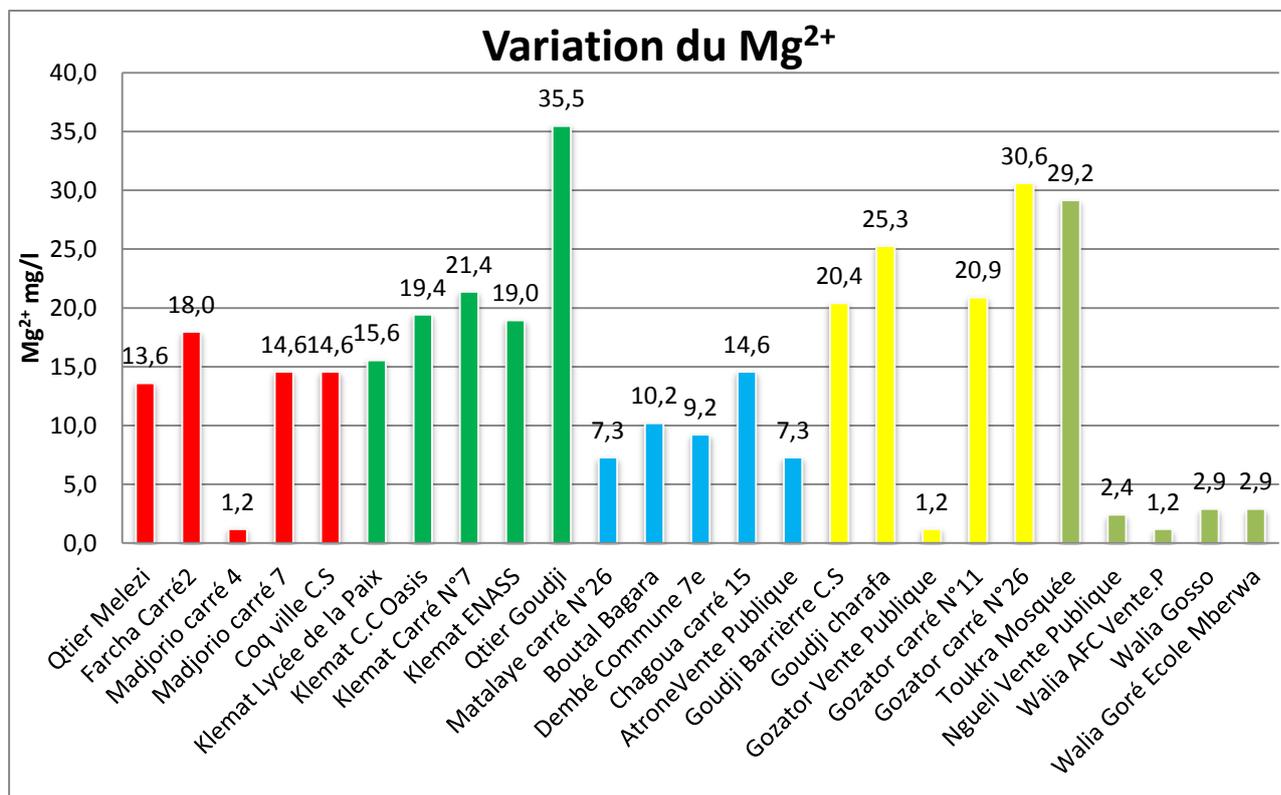


Figure 11 : variation de  $Mg^{2+}$  dans chaque arrondissement

Les valeurs obtenues sont conformes aux valeurs fixées par la norme tchadienne (50 mg/l). L'étude faite par Zaria (2013), donne de concentration en  $Mg^{2+}$  de 18 à 73 mg/L. Comparativement à nos résultats, la teneur maximale en  $Mg^{2+}$  obtenue par Zaria est 2 fois plus grande que la nôtre.

### III.1.8. Sodium $Na^+$

En ce qui concerne les ions sodium, le quartier Madjorio carré 4 a enregistré la faible concentration de l'ordre de 2,0 mg/l alors qu'au niveau du quartier Toukra (mosquée), il a été noté une concentration maximale de 44,9 mg/l (figure 12). Le sodium est rencontré généralement sous forme de sel de chlorure de sodium.

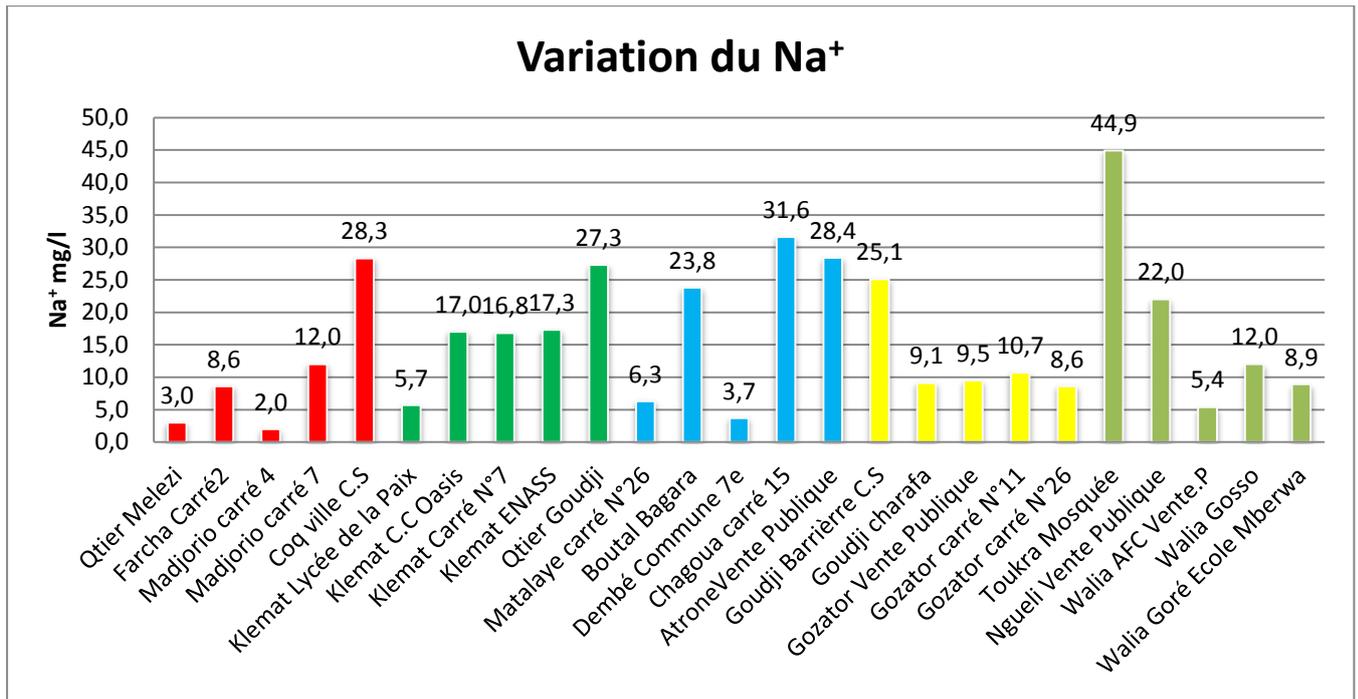


Figure 12 : variation de Na<sup>+</sup> dans chaque arrondissement

Les valeurs obtenues dans cette étude sont conformes à la norme Nationale Tchadienne/Directive de l’OMS qui stipule que la teneur en ions sodium dans l’eau potable doit être ≤ 200 mg/l.

### III.1.9. Potassium K<sup>+</sup>

Le dosage des ions potassium dans les eaux de forage qui ont été analysées tout au long de ce travail a révélé que les eaux du quartier Madjorio carré 4 dans le 1<sup>er</sup> arrondissement ont de faible concentration d’environ 0,2 mg/l. Par contre, les eaux du quartier Toukra dans le 9<sup>ème</sup> arrondissement ont une concentration maximum de 7,1 mg/l (figure 13).

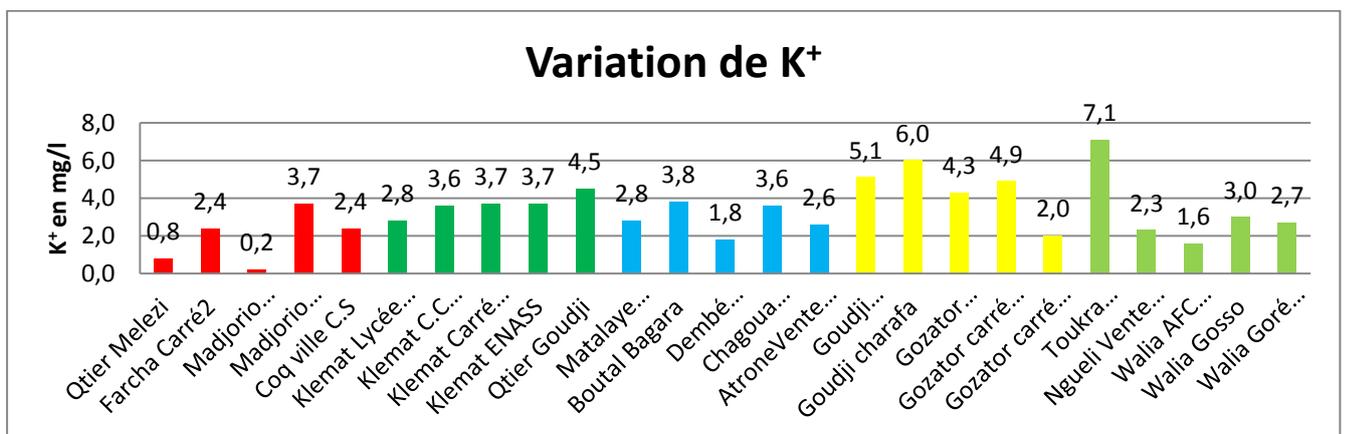


Figure 13 : variation de K<sup>+</sup> dans chaque arrondissement

La présence de ces concentrations de potassium est due aux roches traversées. Selon Potelon et Zysman (1993), le potassium est un élément naturel des eaux où sa concentration, à peu près constante, ne dépasse habituellement pas 10 à 15 mg/l.

Par ailleurs, les valeurs obtenues dans cette étude sont conformes à la norme Nationale Tchadienne/Directive de l’OMS qui stipule que la teneur en ions sodium dans l’eau potable doit être  $\leq 12$  mg.

### III.1.10. Chlorure (Cl<sup>-</sup>)

La concentration en chlorure des eaux de forages semble variée en fonction du point de prélèvement. La valeur minimum de chlorure est obtenue au forage du quartier Madjorio dans le 1<sup>er</sup> arrondissement (2,0 mg/l). La valeur maximum, quant à elle, est rencontrée au niveau du forage du quartier Toukra dans le 9<sup>ème</sup> arrondissement (40,0 mg/l) comme représenté sur la figure 14.

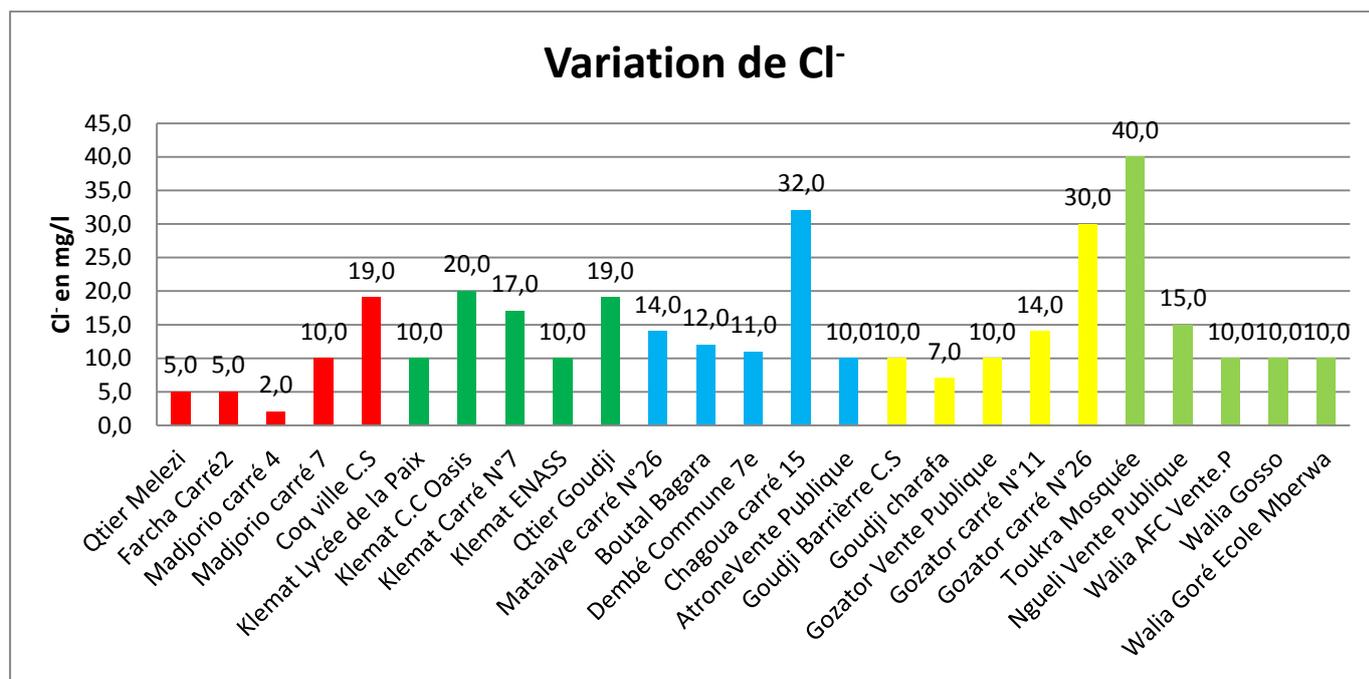
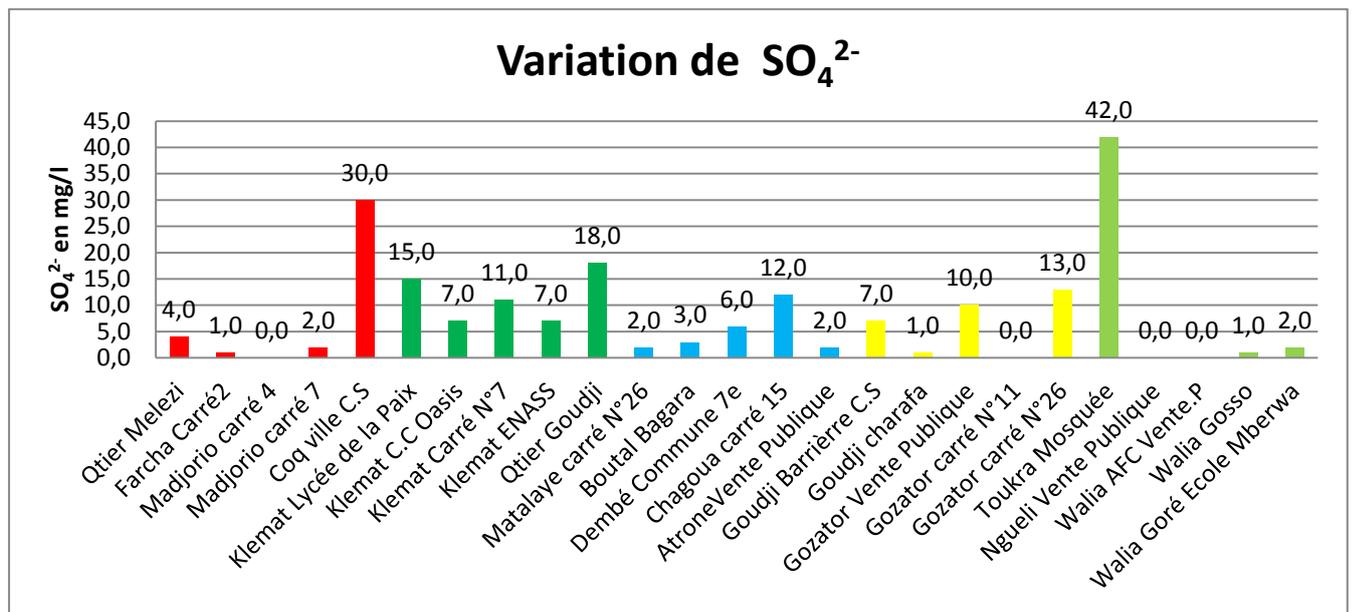


Figure 14 : variation de Cl<sup>-</sup> dans chaque arrondissement

Les valeurs obtenues dans ce travail respectent la norme Nationale Tchadienne/Directives OMS qui indique que la teneur en ion chlorure dans l’eau potable doit être  $\leq 250$  mg/l.

### III.1.11. Sulfate $\text{SO}_4^{2-}$

Il a été observé dans le 9<sup>ème</sup> arrondissement au quartier Toukra un maximum de concentration en sulfate de 42,0 mg/l. Tandis qu'une absence en sulfate est obtenue dans les eaux des forages des quartiers Madjorio, Gozator 16, Ngueli et Wallia AFC du 1<sup>er</sup>, 9<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> arrondissement. La concentration en  $\text{SO}_4^{2-}$  est relativement faible dans la plupart des eaux analysées. Le quartier Coq ville et le quartier Toukra du 1<sup>er</sup> arrondissement et 9<sup>ème</sup> arrondissement enregistrent des fortes concentrations respectivement de 30,0 et 42,0 mg/l comme présentées sur la figure 15.



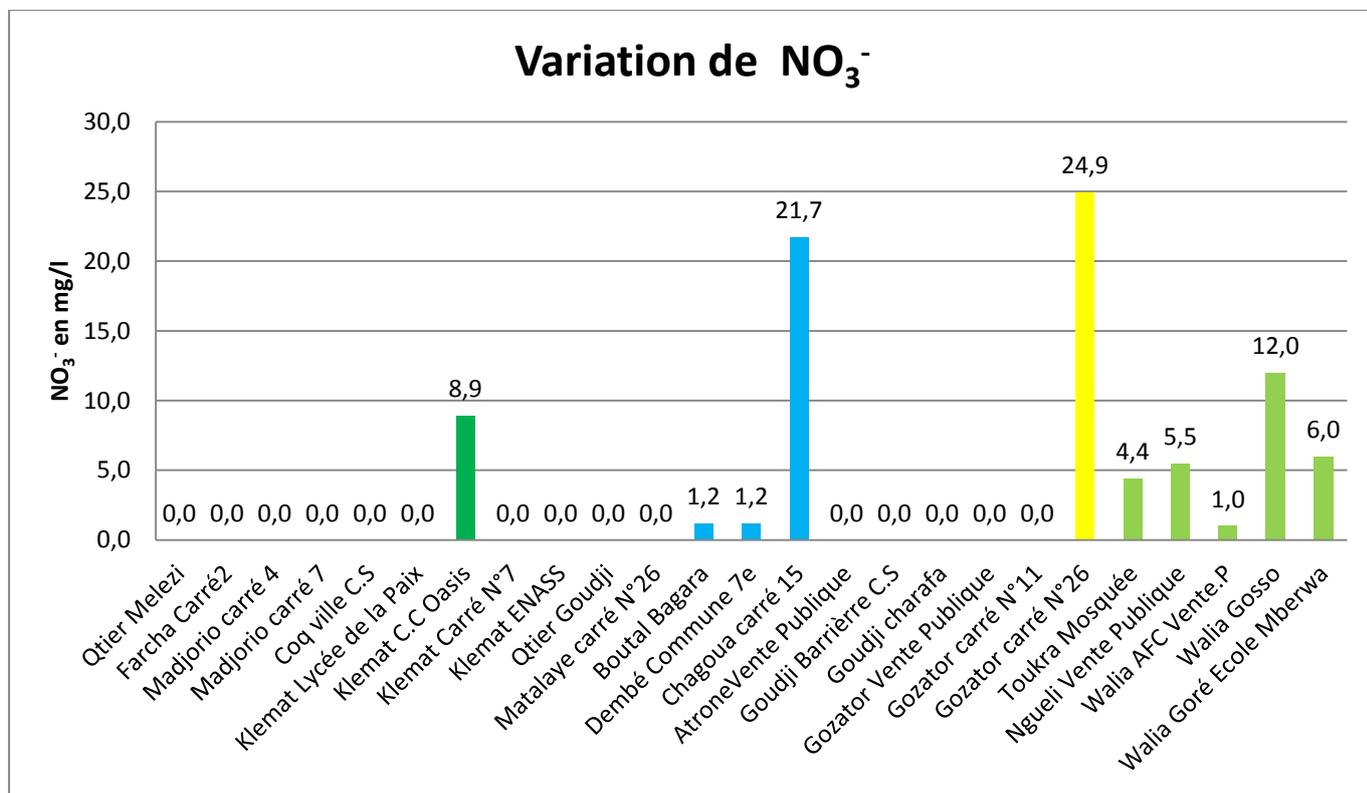
**Figure 15** : variation de  $\text{SO}_4^{2-}$  dans chaque arrondissement

La présence de forte concentration en  $\text{SO}_4^{2-}$  dans les quartiers cités plus haut, est due aux roches traversées par les eaux. Dans ces quartiers la géologie est constituée de roches sédimentaires, le gypse ( $\text{CaSO}_4$ ). Selon Meybeck et al (1996), la présence de sulfate dans les eaux non polluées invoque la présence de gypse avec une concentration variant entre 2,2 à 58 mg/l.

Les eaux analysées sont conformes à la norme Nationale/Directive de l'OMS qui prévoit une concentration  $\leq 250$  mg/l.

### III.1.12. Nitrate $\text{NO}_3^-$

Il est à remarquer que dans la plupart des échantillons analysés, il n'y a pas de présence d'ions nitrates (0,0 mg/l). Aussi a-t-il été constaté dans les quartiers Chagoua carré 15 dans le 7<sup>ème</sup> arrondissement et Gozator carré N °26 dans le 10<sup>ème</sup> arrondissement des teneurs en nitrates respectivement de 21,7 mg/l et de 24,9 mg/l comme illustré sur la figure 16.



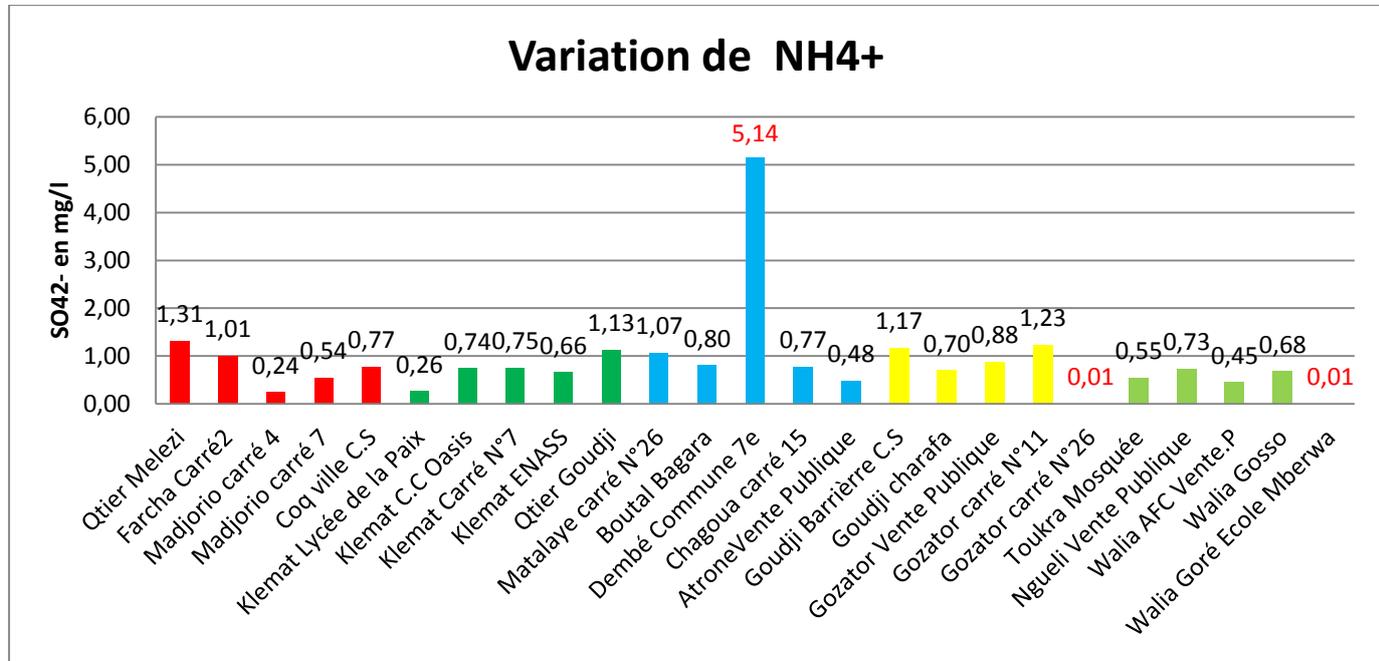
**Figure 16** : variation de  $\text{NO}_3^-$  dans chaque arrondissement

La présence en  $\text{NO}_3^-$  observée dans les quartiers énumérés plus haut peut s'expliquer par la nature du sol. Selon Chapman et al (1996), les nitrates sont présents à l'état naturel dans le sol ; ils peuvent y pénétrer et atteindre les eaux souterraines par infiltration.

Selon la norme nationale tchadienne/directives de l'OMS la concentration en  $\text{NO}_3^-$  ne doit pas excéder 50 mg/l. Tous les échantillons analysés sont conformes à la norme car les concentrations en  $\text{NO}_3^-$  obtenues restent faibles et inférieures aux limites de ladite norme.

**III.1.13. Ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**

La plus faible concentration en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (0,01 mg/l) a été déterminée dans le 9<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> arrondissement au quartier Gozatore carré N °26 et Walia Goré Ecole. Tandis qu'un maximum de 5,14 mg/l de concentration en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a été obtenu à Dembé au 7<sup>ème</sup> arrondissement (figure 17).



**Figure 17 :** variation de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dans chaque arrondissement

Dans le quartier Dembé du 7<sup>ème</sup> arrondissement, la concentration en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> obtenue, dépasse la norme nationale tchadienne/directives de l'OMS qui indique que pour une eau potable, la concentration en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> doit être ≤ 1,5 mg/l. Ce résultat peut s'expliquer par :

- la présence excessive de concentration en fer (0,4 mg/l) dans ce forage. Selon Potelon et Zysman (1993), les eaux souterraines issues de sols riches en substance humiques ou riches en fer peuvent présenter des teneurs en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de l'ordre de 1 à 3 mg/l ;
- une pollution de la nappe par les activités anthropiques. Selon les mêmes auteurs, la présence de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en quantité relativement importante peut être l'indice d'une pollution par des rejets d'origine humaine ou industrielle.

L'ammonium est plus souvent rencontré sous forme de chlorure d'ammonium. Cette substance n'est pas beaucoup dangereuse par elle-même. Néanmoins son ingestion peut causer de nausées, des maux de gorge et de vomissements. Sous la forme de l'azote ammoniacal peut servir de nutriment des microorganismes responsables de la modification désagréable des paramètres organoleptiques : saveur et odeur (Potelon et Zysman, 1993).

### III.1.14. Dureté totale (TH)

Les valeurs obtenues suite à la détermination de la dureté totale des eaux de forages dans les différents quartiers qui ont fait l'objet de cette étude sont portées dans le tableau IV. Le quartier Majorio carré 4 dans le 1<sup>er</sup> arrondissement a enregistré la faible valeur de TH de l'ordre de 2 °F tandis que la plus grande 33 °F a été observée dans le quartier Goudji charafa dans le 10<sup>ème</sup> arrondissement.

**Tableau IV : La dureté totale ou le titre hydrotimétrique (TH)**

1 <sup>er</sup> arrondissement		Quartier Melezi	Farcha Carré2	Madjorio carré 4	Madjorio carré 7	Coq ville C.S
TH	°F	11,6	13,8	2	14	16
2 <sup>ème</sup> arrondissement		Klemat Lycée de la Paix	Klemat C.C Oasis	Klemat Carré N°7	Klemat ENASS	Qtier Goudji
TH	°F	13	18	20	18,4	26
7 <sup>ème</sup> arrondissement		Matalaye carré N°26	Boutal Bagara	Dembé Commune 7e	Chagoua carré 15	AtroneVente Publique
TH	°F	12	16	12,8	14	8
9 <sup>ème</sup> arrondissement		Toukra Mosquée	Ngueli Vente Publique	Walia AFC Vente. P	Walia Gosso	Walia Goré Ecole Mberwa
TH	°F	28	12	4	10,2	10
10 <sup>ème</sup> arrondissement		Goudji Barrière C.S	Goudji charafa	Gozator Vente Publique	Gozator carré N°11	Gozator carré N°26
TH	°F	20,8	33	16	23,2	29,6

8 % des échantillons analysés montrent que les eaux très douces car elles ont un TH compris entre 0 et 5 °F. Cette situation s'observe dans les quartiers tels que Madjorio carré 4 et Walia AFC avec des TH respectifs de 2 et 4 °F.

Il a été déterminé des concentrations de 11,6 ; 13,8 ; 14 ; 13 ; 12,8 ; 12 ; 14 ; 12 ; 10,2 et 10 et

8 °F respectivement dans les quartiers Melezi, Farcha carré 2, Madjorio carré 7, Klemat lycée de la paix, Matalaye, Dembé, Chagoua carré 15, Ngueli, Walia Gosso, Walia Goré et Atrone. Les eaux de ces quartiers sont douces car elles ont des valeurs de TH comprises entre 5 et 15 °F.

Les quartiers coq ville, Klemat CC, Klemat carré 7, Klemat ENASS, Boutal Bagara, Goudji Barrière, Gozator carré 11 et Gozator V.P enregistrent des TH respectifs de 16 ; 18 ; 20 ; 18,4 ; 16 ; 20,8 ; 23,2 et 16 °F. Ces valeurs sont comprises entre 15 et 25 °F, de ce fait, les eaux de ces quartiers peuvent être considérées comme des eaux moyennement dures.

En fin il a été observé dans les quartiers Goudji, Toukra mosquée, Goudji charafa et Gozator carré 26 des duretés respectives de 26, 28, 33 et 29,6 °F alors ces eaux sont dures. Cela peut s'expliquer par la présence d'une forte concentration en  $Mg^{2+}$  et  $Ca^{2+}$  qui est dûe aux sols traversés.

### **Conclusion partielle 1**

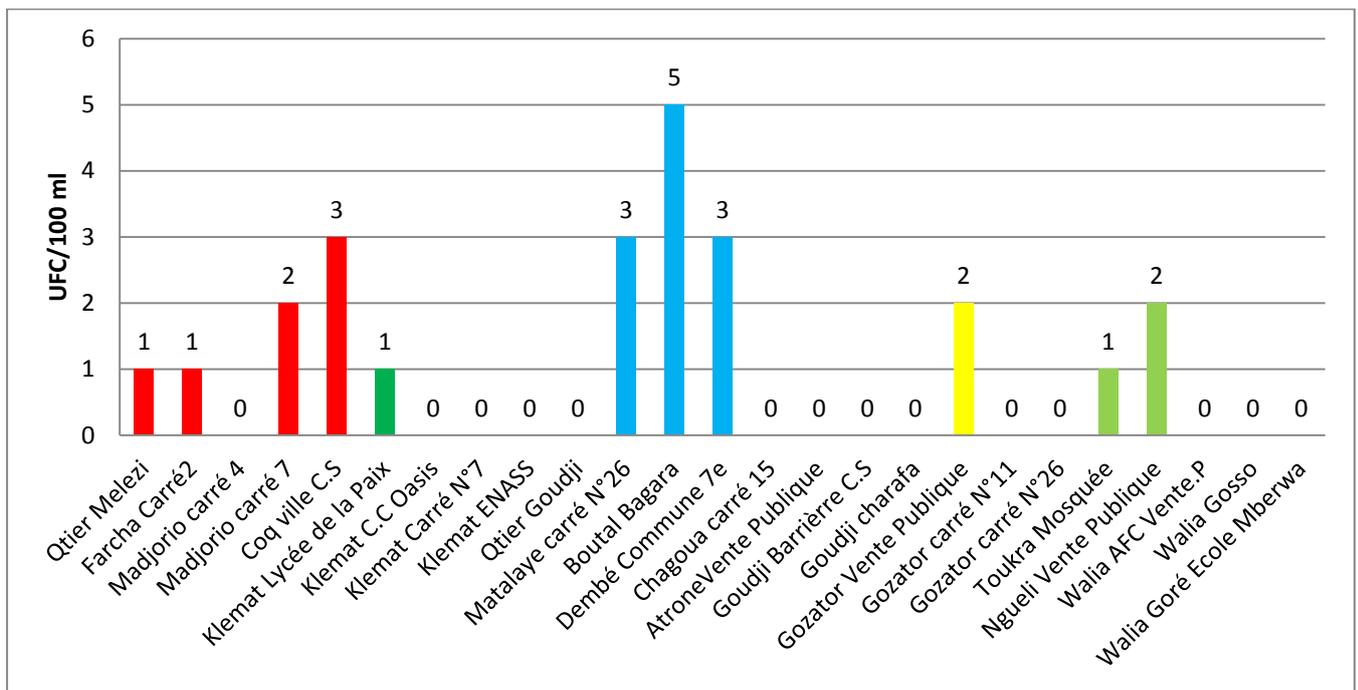
Au regard des résultats physico-chimiques des eaux de forages analysées il ressort que 68 % sont potables car conformes à la norme tchadienne/directives l'OMS. 24 % ont seulement un pH inférieur à la norme en vigueur au Tchad et 8 % ne sont pas potables.

## III.2. PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES

Pour les analyses microbiologiques, il a été question de dénombrer les coliformes fécaux (surtout *E. coli*) et les entérocoques.

### III.2.1. Coliformes fécaux

La figure 18 montre que les coliformes fécaux en l'occurrence *E. coli* sont présents dans plusieurs échantillons. Leur nombre varie entre 1 et 5 UFC/100 ml d'échantillon. Pour les quartiers comme Madjorio carré 4, Klemat CC Oasis, Klemat carré 7, Klemat ENASS, Goudji, Chagoua carré 15, Wallia AFC vente publique, Wallia Gosso et Wallia Goré, aucune présence des coliformes fécaux n'a été détectée. Il faut noter que la plus grande concentration (5 UFC/100 ml) des coliformes fécaux a été obtenue dans le quartier Boutal Bagara dans le 7<sup>ème</sup> arrondissement.



**Figure 18 :** variation du nombre de *E. coli* en fonction de chaque quartier

La présence de *E. coli* dans ces eaux peut être expliquée par :

- une contamination des eaux de surfaces chargées par des fèces humaines ou animales ou des eaux usées. Cette contamination peut se faire par infiltration. Selon Gounot (1994), à partir des eaux de ruissellement en surface, les microorganismes pénètrent

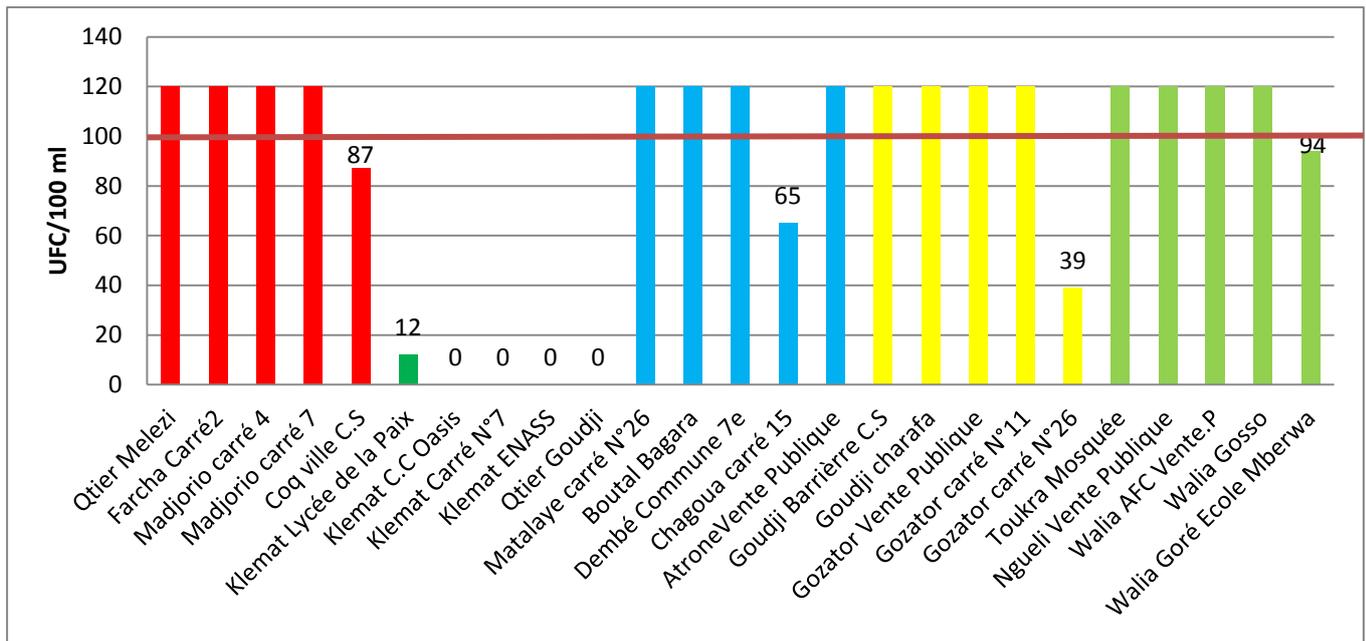
dans le sol et augmentent l'activité de leurs fonctions vitales, permettant une bonne migration en direction des eaux souterraines;

- la distance séparant le forage des latrines ou des puisards. En effet, lorsque cette distance n'est pas suffisamment grande ( $\geq 15$  m), les effluents issus de ces infrastructures peuvent migrer vers la nappe et provoquer sa pollution. L'OMS recommande l'implantation des forages à une distance d'au moins 15 mètre de toute source de pollution ;
- par le mauvais équipement du forage. Lors de l'équipement du forage le joint d'étanchéité doit être mis juste au niveau du substratum afin d'empêcher toute sorte de pollution surfacique.

Par ailleurs, les valeurs de la concentration en *E. coli* obtenues dans les quartiers suscités ne respectent pas la norme nationale tchadienne/directives de l'OMS qui indique une absence totale de *E. coli* dans les eaux de consommations. La présence des coliformes fécaux tels que *E. coli* dans les eaux, à des conséquences sur la santé des consommateurs. Selon Bitton (1999), les bactéries d'*E. coli* sont responsables des diarrhées.

### **III.2.2. Entérocoques**

Pour le dénombrement des entérocoques, les quartiers Klemat lycée de la paix, Klemat carré 7, Klemat ENASS et Goudji n'ont pas enregistré des colonies d'entérocoques. Dans la plupart des quartiers, il a été dénombré plus de 100 UFC/100 ml excepté les quartiers Coq ville, Klemat lycée, Chagoua carré 15, Gozator carré n°26 et Walia Goré où il a été obtenu respectivement 87, 12, 65, 39 et 94 UFC/100 ml (figure 20).



**Figure 19 :** variation du nombre des entérocoques en fonction de chaque quartier

La présence des entérocoques dans les eaux analysées peut être due d’une part à l’infiltration des eaux usées qui sont chargées en microorganismes et d’autre part à un mauvais montage des équipements du forage. En effet, lorsque le dispositif d’imperméabilisation du forage n’est pas bien assuré, il peut avoir diffusion des eaux extérieures dans la nappe favorisant sa pollution. La forte concentration des entérocoques dans la plupart des échantillons analysés peut s’expliquer par le fait qu’ils sont très résistants à des conditions plus difficiles et persistent plus longtemps dans l’eau que *E. coli* (Gleeson et Gray, 1997).

La présence élevée des entérocoques par rapport à *E. coli* indique une forte contamination fécale d’origine animale. Selon Bitton, (1999); Clausen *et al.*, (1977) et Farrow *et al.*, (1984), les streptocoques sont susceptibles de contaminer les eaux d’approvisionnement, ils sont typiques des fèces animales. Devriese et al (1998) et Ruoff et al (1989) affirment que les streptocoques sont énormément présents sur le bétail, les chevaux et la volaille, ils peuvent être aussi rencontrés chez l’Homme.

A part les quartiers Klemat lycée de la paix, Klemat carré 7, Klemat ENASS et Goudji, tous les autres quartiers enregistrent des concentrations variant de 12 à plus de 100 UFC/100 ml, ce qui n’est pas conforme à la norme nationale tchadienne/directives de l’OMS. Celle-ci recommande une absence des entérocoques dans les eaux de consommation.

Charrière *et al.* (1994) ont clairement démontré que la détection d'entérocoques était fortement liée à la présence d'*E. coli* dans les eaux souterraines. S'agissant de Zmirou *et al.* (1987), ils ont mis en évidence le grand risque de développer une gastro-entérite avec un nombre relativement faible de streptocoques fécaux (3 à 10 bactéries/100 ml).

### **Conclusion partielle 2**

A la lumière des analyses microbiologiques, il est à remarquer que 56 % des eaux de forage sont exemptes de bactéries *E. coli* donc de coliformes fécaux et 44 % étaient contaminées. Quant à la présence des entérocoques, elle était perceptible dans 84 % des échantillons analysés et absente dans les 16 % autres. Par conséquent, sur la base des résultats microbiologiques, seules les eaux des forages des quartiers Klemat C. Oasis, Klemat carré n°7, Klemat ENASS et Goudji peuvent être déclarées potables étant donné que la norme nationale tchadienne/Directive OMS exige une absence totale de ces deux microorganismes dans les eaux de boisson.

## CONCLUSION

Au terme de ce travail, il était question de déterminer la qualité des eaux consommées dans les cinq arrondissements périurbains de la capitale du Tchad, N'Djamena. Les paramètres recherchés sont les paramètres physico-chimiques tels que le pH, la turbidité, la conductivité, le fer, le calcium... et les paramètres microbiologiques en l'occurrence *E. coli* et les entérocoques.

Les paramètres physico-chimiques ont été déterminés par des méthodologies bien définies et il est ressorti que tous les paramètres physico-chimiques sont conformes à la norme tchadienne en vigueur, excepté le pH qui a des valeurs inférieures à la norme dans cinq (05) forages, deux forages présentent une concentration en fer supérieure à la norme ainsi qu'un forage en ammonium.

Concernant le dénombrement des entérocoques et *E. coli*, des méthodologies précises ont été respectées, il a été observé que dans la plupart des échantillons analysés la présence des contaminants fécaux à savoir les entérocoques et *E. coli*. Sur un total de 25 échantillons analysés, 21 contiennent des entérocoques et 11 indiquent la présence de *E. coli*. La norme tchadienne en vigueur indique que les eaux de consommations ne doivent pas contenir ces microorganismes. Seuls quatre forages du 2<sup>ème</sup> arrondissement sont exempts de ces corps et en plus leurs paramètres physico-chimiques sont conformes à la norme, alors ces forages produisent une bonne qualité de l'eau.

Par ailleurs, il y a un risque sanitaire trop élevé dans les 21 forages : diarrhée, gastro-entérite, nausées, maux de gorge, de vomissements...

## **RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVES**

A la fin de cette étude, il ressort que ces forages manuels pourraient de santé aux consommateurs. En guise de recommandations, il est préférable que :

- le choix d'implantation des ouvrages de captages de l'eau respecte certaines normes : distance (minimum 15 m) qui les sépare des ouvrages sanitaires (latrine, fosse septique...), loin des sources de pollution : STEP, marigot décharge...et hors du bas fond ;
- la réalisation de ces forages doit être faite par des techniciens qui tiendront compte de tous les équipements de protections contre une éventuelle pollution tel que le joint d'étanchéité ;
- la profondeur doit être autour de 40 m pour minimiser le risque de pollution
- de réaliser des traitements de ces eaux en ajoutant de chlore durant deux heures avant leurs consommations ;
- le ministère de la santé publique répertorie tous les forages manuels et de faire toutes les analyses de leurs eaux et de faire un contrôle régulier au moins une fois par mois ;
- faire des enquêtes sur la mode de contamination des forages.

---

## **BIBLIOGRAPHIE**

- Ashbolt N. J., Grabow W.O.K. et Snozzi M., (2001).** Indicators of microbial water quality. In Water quality - Guidelines, standards and health: assessment of risk and risk management for water-related infectious disease, Fewtrell L. and Bartram J. (ed.) : pp. 289-316.
- Bitton G., (1999).** Wastewater microbiology, Second Ed. Wiley-liss. New York. 578 p.
- Bourrie G., (1978).** Acquisition de la composition chimique des eaux en climat tempéré. Application aux granites des Vosges et de la Margeride. 172 p.
- Bremond R., Vuichard R., (1973).** Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de la protection de la nature et de l'environnement. SPEPE, Paris.179 p.
- Centre National de Recherches Scientifiques (CNRS), (2004).** L'eau potable, les normes.
- Chapman D., Kimstach V., (1996).** Selection of water quality variables. Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spoon, London, pp. 59-126.
- Charrière G., Mossel D.A.A., Beaudou P. et Leclerc. H., (1994).** Assessment of the marker value of various components of the coli-aerogenes group of Enterobacteriaceae and of a selection of Enterococcus spp. for the official monitoring of drinking water supplies. Journal of Applied Bacteriology, 76: 336-344 p.
- Clausen E.M., Green B.L. et Litsky W., (1977).** Fecal streptococci: indicators of pollution. Dans: Hoadley, AW et BJ Dutka, édit., Bacterial Indicators/Health hazards associated with water. American Society for Testing and Materials, ASTM STP 635, pp.: 247-264
- Convention Cadre des Nations Unies pour le Changement Climatique (CCNUCC), (2001).** Communication nationale initiale 99 p.
- Davies-Colley R. J., (2005).** Pond disinfection. In Pond Treatment Technology, Shilton A. (Ed.) : pp. 100-136. IWA Publishing, London, UK.
- Ghazali D. et Zaid A., (2013).** Larhyss Journal, 25-36 p.
- Devriese *et al.*, (1998).** Differentiation between Streptococcus gallolyticus strains of human clinical and veterinary origins and Streptococcus bovis from the intestinal tracts of ruminants. Journal of Clinical Microbiology, 38: 3520-3523.
- Environnement Canada., (1977).** Qualité des eaux de surface au Canada- un Aperçu. Direction de la qualité des eaux. Direction des eaux intérieures

---

**Farrow J.A.E. et al., (1984).** Taxonomic studies of *S. bovis* and *S. equinus*: description of *S. alactolyticus* sp. no. and *S. saccharolyticus* sp. nov. *Systematic and Applied Microbiology*, 5: 467-482

**Gleeson C. et Gray N., (1997).** *The coliform index and waterborne disease.* E & FN Spon, 194 p

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

**Haslay C. et Leclerc H., (1993).** *Microbiologie des eaux d'alimentation.* Technique et Document, Lavoisier (Éditeur), Paris.

**Korkka-Niemi k. et Laikari H., (1994).** Development of groundwater quality in Finnish wells in 1958-1991 based on geological and technological factors and human activities. Dans : Suokko T. & Soveri J. (Éditeurs), *Future groundwater Resources at risk.* Procc. Int. Conf., Helsinki, Finland, 13-16 june 1994, 139-159.

**Mahamat K., (2015).** Caractérisation microbiologique des eaux des puits dans une perspective d'amélioration de l'assainissement au Tchad : cas de la ville de Faya-Largeau, Master en Développement de l'Université Senghor, 61 p.

**Meybeck M., Friedrich G., Thomas R. et Chapman D., (1996).** *Rivers. Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring,* Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, pp. 59-126.

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

**Ngoulou P., Ahmat M. S., Houteune K. et Adoum A. M., (2013).** Rapport final de la mission d'appui au renforcement des capacités en pratique de forage manuel ; 91 p

**Organisation Mondiale de la Santé (OMS), (1997).** Directives de qualité pour l'eau de boisson – Vol. 3. Surveillance et contrôle de l'approvisionnement en l'eau pour la communauté. OMS (Éditeur), Genève.

**Pescod M.B., (1985).** Design, operation and maintenance of wastewater stabilization ponds in treatment and use of sewage effluent for irrigation. Ed Pescodand Arar, 93-114

**Rodier J., (1996).** *L'analyse de l'eau : Chimie, Physico-chimie, Bactériologie, Biologie* 8<sup>ème</sup> édition. Dunod Paris 1135 P.

**Rodier J., (1984).** *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer.* Edition Dunod Paris.

**Rodier J., (2005).** Analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. Edition Dunod, Paris. 1384 p.

**Ruoff K. et al., (1989).** Bacteremia with *Streptococcus bovis* and *Streptococcus salivarius*: clinical correlates of more accurate identification of isolates. *Journal of Clinical Microbiology*, 27: 305-308

**Vassolo S. et Daira D., (2012).** Project Activities - Report N° 4. Hannover-N'Djamena : BGR-Commutations du Bassin du Lac Tchad (CBLT). <http://www.bgr.bund.de/lcbc>

**Vilagines R., (2003).** Eau, environnement et santé publique. Lavoisier (Éditeur), Paris.

**WHO, (2006b).** WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, Vol. 2 Wastewater use in agriculture. WHO press, Geneva, Switzerland, 196 p

**World Bank., (2008).** Environmental Health and Child Survival: Epidemiology, Economics Experiences. World Bank .Washington, DC, USA, 210 p.

**Zaria M. D., (2008).** Caractérisation des ressources en eau dans la ville de N'Djamena

**Zmirou D., Kelley J.P., Collin J.F., Charrel M. et Berlin J., (1987).** A follow-up study of gastro-intestinal diseases related to bacteriologically substandard drinking water. *American Journal of Public Health*, 77: 582-584

**Sites :**

Afriquinfos : [www.afriquinfos.com](http://www.afriquinfos.com), le 02/09/2015)

[www.wikiwater.fr](http://www.wikiwater.fr), le 21/06/2015

## **ANNEXES**

**Annexe I : Normes Nationales de l'eau potable au Tchad**

**a. NORMES ORGANOLEPTIQUES**

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

**b. NORMES MICROBIOLOGIQUES**

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

**c. NORMES PHYSICO-CHIMIQUES**

<b>Paramètres</b>	<b>Unités</b>	<b>Limites maximales</b>
pH		<b>6,5-8,5</b>
Résidu sec (180°)	mg/L	<b>1500</b>
Conductivité (20°)	µs/cm	<b>2500</b>
Bore	mg/L	<b>0,3</b>
Chlorures	mg/L	<b>250</b>
Sulfates	mg/L	<b>250</b>
Magnésium	mg/L	<b>50</b>
Sodium	mg/L	<b>200</b>
Potassium	mg/L	<b>12</b>
Nitrates	mg/L	<b>50</b>
Nitrites	mg/L	<b>0</b>
Calcium	mg/L	<b>100</b>

**d. NORMES DE PARAMETRES INDISERABLES**

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

**e. NORMES DE PARAMETRES TOXIQUES**

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

**f. NORMES DE PARAMETRES POLLUANT**

<b>Paramètres</b>	<b>Unités</b>	<b>Limites maximales</b>
Ammonium	mg/L	<b>0.5</b>
Oxydabilité au KMnO4	mg/L	<b>5</b>
Sulfure d'hydrogène	mg/L	<b>0.05</b>
Azote Kjeldahl	mg/L	<b>1 (en N) N de NO3 et NO2 exclus</b>

**Annexe II : Protocole de dosage de certains ions**

Le dosage des ions s'est effectué par une spectrophotométrie d'absorption moléculaire DR 2800-033, la méthode reste la même, seuls les réactifs, le temps de mélange, le temps de réaction, le programme et la longueur d'onde qui changent. Pour analyser un échantillon par spectrophotométrie d'absorption moléculaire, le même principe est respecté pour les dosages de tous ions.

## **Annexe II : Protocole de recherche**

### **Protocole d'isolement des entérocoques**

Les entérocoques sont des hôtes normaux de l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud. Ils ne sont généralement pas considérés comme pathogènes. Les entérocoques appartiennent à un groupe de streptocoques qui ne sont pas tous d'origine fécale. Toutefois, leur recherche associée à celle des coliformes fécaux constitue un bon indice de contamination fécale. Le milieu de culture utilisé est Slanetz et Bartley Agar et le dénombrement est effectué après 48h.

### **Préparation du milieu Slanetz et Bartley Agar**

Dissoudre 44.4g de poudre dans 1L d'eau distillée par chauffage jusqu'à dissolution totale ; Autoclaver à 121°C pendant 15 minutes puis refroidir à 50°C et ajouter en aseptie 10mL de TTC 1% supplément (80300).

### **Ensemencement**

Après étiquetage des boîtes de Pétri précisant le type d'échantillon ; prélever à l'aide d'une micropipette de 100µL munie d'un embout 0.1mL d'échantillon et l'introduire dans la boîte contenant le milieu de culture puis l'étaler à l'aide d'un étaleur stérile sous une hotte ou près d'un bec bunsen.

### **Incubation**

La boîte de Pétri ainsi ensemencée est introduite à l'étuve à 37°C +ou- 0.5°C pendant 48h

### **Identification**

Les colonies roses qui apparaissent sur la boîte de Pétri correspondent aux entérocoques.

### **Annexe III : Protocole d'isolement des coliformes**

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermo tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5°C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est *Escherichia coli* (*E. coli*). Les coliformes fécaux témoignent d'une pollution récente. Le milieu de culture utilisé est Chromocult Agar ES (extra sélectif).

### **Préparation du milieu Chromocult Agar ES**

Dissoudre 34.5g de poudre dans 1l d'eau distillée par chauffage dans un bain marie ou sous vapeur fluant en agitant régulièrement jusqu'à ce que le milieu nutritif soit entièrement dissout. Ne pas autoclaver ni surchauffer.

Refroidir le milieu à 50 ou 45°C puis couler en boîte de Pétri sous une hotte.

### **Ensemencement**

Après étiquetage des boîtes de Pétri précisant le type d'échantillon ; prélever à l'aide d'une micropipette de 100µl munie d'un embout 0.1ml d'échantillon et l'introduire dans la boîte contenant le milieu de culture puis l'étaler à l'aide d'un étaleur stérile sous une hotte au près d'un bec bunsen

### **Incubation**

La boîte de Pétri ainsi ensemencé est introduite à l'étuve à 44°C +/- 0.5°C pendant 24h

### **Identification**

Les colonies bleues et violettes qui apparaissent sur la boîte de Pétri correspond à *Escherichia coli* et les colonies rouges ou roses aux autres coliformes.

**Annexe V : Paramètres physico-chimiques**

**Tableau I : resultats des analyses physico-chimiques**

Nom de l'échantillon		Qtier Melezi	Farcha Carré2	Madjorio carré 4	Madjorio carré 7	Coq ville C.S	Klemat Lycée de la Paix	Klemat C.C Oasis	Klemat Carré N°7	Klemat ENASS	Qtier Goudji	Matalaye carré N°26	Boutal Bagara	Dembé Commune 7e	Chagoua carré 15	AtroneVent e Publique	Goudji Barrière C.S	Goudji charafa	Gozator Vente Publique	Gozator carré N°11	Gozator carré N°26	Toukra Mosquée	Ngueli Vente Publique	Walia AFC Vente.P	Walia Gosso	Walia Goré Ecole Mberwa
Date de prélèvement	Unités	20/07/2015	20/07/2015	20/07/2015	20/07/2015	20/07/2015	25/06/2015	25/06/2015	25/06/2015	25/06/2015	25/06/2015	23/07/2015	23/07/2015	23/07/2015	23/07/2015	23/07/2015	25/06/2015	25/06/2015	25/06/2015	25/06/2015	25/06/2015	25/07/2015	25/07/2015	25/07/2015	25/07/2015	25/07/2015
pH au labo à 25°C	/H3O+	6,11	6,40	6,76	7,05	6,97	6,60	6,50	6,47	6,55	6,45	6,75	7,08	6,65	7,20	7,37	6,55	6,60	6,53	6,25	6,31	6,92	7,13	6,90	7,04	6,99
Conductivité électrique	µS/cm	126,0	219,0	22,0	261,0	286,0	198,0	342,0	333,0	342,0	515,0	218,0	375,0	180,0	366,0	230,0	461,0	590,0	411,0	435,0	524,0	758,0	231,0	92,0	195,0	208,0
Solides totaux dissous	mg/L	64,0	110,0	12,0	131,0	143,0	98,0	172,0	167,0	171,0	233,0	109,0	188,0	90,0	183,0	115,0	232,0	270,0	206,0	218,0	238,0	379,0	117,0	47,0	98,0	105,0
Turbidité (NTU)	mg/L	1,0	0,7	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,8	0,4	0,4	0,9	0,7	0,4	0,8	0,2	0,4	0,3	0,7	0,3	0,9	0,7	0,7	0,3	0,6
Dureté totale (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	116,0	138,0	20,0	140,0	160,0	130,0	180,0	200,0	184,0	260,0	120,0	160,0	128,0	140,0	80,0	208,0	330,0	160,0	232,0	296,0	280,0	120,0	40,0	102,0	100,0
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	mg/L	24,0	25,6	4,8	32,0	40,0	26,4	40,0	44,8	42,4	45,6	36,0	47,2	36,0	32,0	20,0	49,6	90,4	60,0	58,4	68,0	64,0	44,0	12,8	36,0	35,2
Magnésium (Mg <sup>2+</sup> )	mg/L	13,6	18,0	1,2	14,6	14,6	15,6	19,4	21,4	19,0	35,5	7,3	10,2	9,2	14,6	7,3	20,4	25,3	1,2	20,9	30,6	29,2	2,4	1,2	2,9	2,9
Potassium (K <sup>+</sup> )	mg/L	0,8	2,4	0,2	3,7	2,4	2,8	3,6	3,7	3,7	4,5	2,8	3,8	1,8	3,6	2,6	5,1	6,0	4,3	4,9	2,0	7,1	2,3	1,6	3,0	2,7
Sodium (Na <sup>+</sup> )	mg/L	3,0	8,6	2,0	12,0	28,3	5,7	17,0	16,8	17,3	27,3	6,3	23,8	3,7	31,6	28,4	25,1	9,1	9,5	10,7	8,6	44,9	22,0	5,4	12,0	8,9
Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	131,8	168,4	24,4	175,7	195,2	146,4	217,2	231,8	224,5	346,5	146,4	219,6	146,4	170,8	146,4	317,2	439,2	195,2	268,4	317,2	341,6	170,8	48,8	122,0	122,0
Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	5,0	5,0	2,0	10,0	19,0	10,0	20,0	17,0	10,0	19,0	14,0	12,0	11,0	32,0	10,0	10,0	7,0	10,0	14,0	30,0	40,0	15,0	10,0	10,0	10,0
Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	4,0	1,0	0,0	2,0	30,0	15,0	7,0	11,0	7,0	18,0	2,0	3,0	6,0	12,0	2,0	7,0	1,0	10,0	0,0	13,0	42,0	0,0	0,0	1,0	2,0
Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,2	21,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,9	4,4	5,5	1,0	12,0	6,0
Fer Ferreux(Fe2+)	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	0,5	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	1,31	1,01	0,24	0,54	0,77	0,26	0,74	0,75	0,66	1,13	1,07	0,80	5,14	0,77	0,48	1,17	0,70	0,88	1,23	0,01	0,55	0,73	0,45	0,68	0,01
Somme des cations (méq/L)		2,47	3,20	0,43	3,42	4,49	2,92	4,43	4,83	4,53	6,50	2,75	4,33	2,77	4,27	2,90	5,38	7,15	3,62	5,23	6,35	7,73	3,42	1,01	2,64	2,46
Somme des anions (méq/L)		2,38	2,92	0,46	3,20	4,36	2,99	4,41	4,51	4,11	6,59	2,84	4,02	2,85	4,30	2,72	5,63	7,42	3,69	4,79	6,72	7,67	3,31	1,10	2,50	2,42
Balane ionique		0,09	0,27	-0,03	0,21	0,13	-0,07	0,02	0,32	0,42	-0,09	-0,09	0,31	-0,09	-0,04	0,18	-0,25	-0,27	-0,07	0,44	-0,37	0,06	0,10	-0,08	0,14	0,04
Calcul d'erreur (%)		1,78	4,47	2,88	3,22	1,48	1,27	0,20	3,39	4,85	0,68	1,63	3,73	1,56	0,43	3,16	2,23	1,85	0,93	4,35	2,86	0,39	1,54	3,96	2,77	0,73

**Annexe VI : Paramètres microbiologiques**

**Tableau II : resultats d'analyses microbiologiques**

1 <sup>er</sup> arrondissement							
Nomenclature	Unité	Qtier Melezi	Qtier Farcha carré 2	Qtier Madjorio carré 4	Qtier Madjorio carré 7	Qtier Coq-Ville carré 2	Directives OMS/TCHAD
Echerichia coli	UFC/100 ml	1	1	0	2	3	<i>Ne doivent pas être retrouvés dans une prise d'essai de 100 ml d'échantillon analysé</i>
Entérocoques fécaux	UFC/100 ml	>100	>100	>100	>100	87	
2 <sup>ème</sup> arrondissement							
Nomenclature	Unité	Klémat,Lycée de la paix	Klémat,Centre culturel Oasis	Klémat,Vente publique	Klémat,ENASS	Goudji,Vente publique	Directives OMS/TCHAD
Echerichia coli	UFC/100 ml	1	0	0	0	0	<i>Ne doivent pas être retrouvés dans une prise d'essai de 100 ml d'échantillon analysé</i>
Entérocoques fécaux	UFC/100 ml	12	0	0	0	0	
7 <sup>ème</sup> arrondissement							
Nomenclature	Unité	Matalaye	Boutalbagara	Dembé, commune du 7e	Chagoua,Carré 15	Atrone,Vente publique	Directives OMS/TCHAD
Echerichia coli	UFC/100 ml	3	5	3	0	0	<i>Ne doivent pas être retrouvés dans une prise d'essai de 100 ml d'échantillon analysé</i>
Entérocoques fécaux	UFC/100 ml	>100	>100	>100	65	>100	
9 <sup>ème</sup> arrondissement							
Nomenclature	Unité	Toukra,Mosquée	Nguéli,Vente publique	Walia ,AFC ,Vente publique	Walia Gosso	Walia Goré,Ecole Mberwa	Directives OMS/TCHAD
Echerichia coli	UFC/100 ml	1	2	0	0	0	<i>Ne doivent pas être retrouvés dans une prise d'essai de 100 ml d'échantillon analysé</i>
Entérocoques fécaux	UFC/100 ml	>100	>100	>100	>100	94	
10 <sup>ème</sup> arrondissement							
Nomenclature	Unité	Goudji barriere,Centre de santé	Goudji Charafa	Gozotor Vente publique	Gozotor ,Carré 11	Gozotor ,Carré 26	Directives OMS/TCHAD
Echerichia coli	UFC/100 ml	0	0	2	0	0	<i>Ne doivent pas être retrouvés dans une prise d'essai de 100 ml d'échantillon analysé</i>
Entérocoques fécaux	UFC/100 ml	>100	>100	>100	>100	39	

