

**RÉPUBLIQUE DU  
CAMEROUN  
Paix-Travail-Patrie**

\*\*\*\*\*

**UNIVERSITÉ DE  
YAOUNDÉ I**

\*\*\*\*\*



**REPUBLIC OF  
CAMEROON  
Peace-Work-Fatherland**

\*\*\*\*\*

**THE UNIVERSITY OF  
YAOUNDE I**

\*\*\*\*\*

**HIGHER TEACHER**

**Laboratoire de Chimie Inorganique de l'ENS  
Inorganic Chemistry Laboratory of ENS**

**CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS  
PHYSICO-CHIMIQUES DE QUELQUES EAUX DE SOURCE  
DE LA VILLE DE YAOUNDÉ**

**Mémoire présenté et soutenu en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur de  
l'Enseignement Secondaire Deuxième Grade (D.I.P.E.S. II)**

**Par :**

**DJUESSIE KOLOKO Florence Stella**

Licenciée en Chimie

Matricule

CM04-08SCI0372

Sous la direction de :

**Dr. MBOUOMBOUO NDASSA Ibrahim**

**Chargé de Cours**

**Année académique 2015-2016**

## DÉDICACES

*Je dédie ce travail :*

*A ma très chère, spéciale et unique défunte Grand-Mère **PADJI Claire** pour son grand amour qu'elle m'a toujours donné tout au long de son vivant*

*A mes chers parents ; Mr **KOLOKO Luc** Et Mme*

***KOLOKO** née **NGAGOUM** *Marceline**

*Pour leur présence de tous les instants,*

*Pour leur affection*

*Pour le soutien dans tous les sens qu'ils m'ont toujours apporté,*

*Avec toute mon affection et ma reconnaissance.*

## CERTIFICATION

Je soussigné, **Dr. Ibrahim MBOUOMBOUO NDASSA**, certifie que les travaux effectués par l'étudiante **DJUESSIE KOLOKO Florence Stella**, matricule **CM04-08SCI0372**, portant sur : **CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS PHYSICO- CHIMIQUES DE QUELQUES EAUX DE SOURCE DE LA VILLE DE YAOUNDÉ** sont ses propres travaux et qu'ils ont été réalisés sous ma direction au Laboratoire de recherche de Chimie Inorganique de L'École Normale Supérieure de Yaoundé.

**Dr. Ibrahim MBOUOMBOUO NDASSA**  
(Chargé de cours)  
Département de Chimie, E.N.S. Yaoundé

## REMERCIEMENTS

Consciente que nous ne pouvons réaliser ce travail sans le concours des autres personnes, je voudrais donc saisir l'opportunité qui m'est offerte pour exprimer ma reconnaissance, ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à :

- DIEU le père tout puissant pour tous les bienfaits qu'il ne cesse de me combler dans ma vie ;
- Mon encadreur Dr Ibrahim MBOUOMBOUO NDASSA pour le sujet qu'il m'a proposé, pour sa disponibilité, pour mes travaux qu'il a dirigés et pour sa rigueur scientifique ;
- Tous les enseignants de l'ENS qui ont contribué à notre bonne formation ;
- Tous les enseignants de l'université de Yaoundé I et de l'université de Dschang pour leurs enseignements efficaces ;
- Toute ma grande famille pour leur soutien permanent et dans tous les sens ;
- Tous mes camarades de promotion en général et en particulier BELLA Aurore, BOUBA Idrissou, CHEBOU Abigaëlle, DAWA Nadine, EMCHEU Legrand, NCHINMOUN Mohamed, SAHADIO Roméo, SUENOU Ernest, ZANGHO Linda et ZOUA Fred pour leur collaboration et leurs encouragements ;
- Tous mes amis en particulier MOUCHILI Sahada, MOUNGOUE Louis de Gonzague, NENGUEM Franck, WINTCHEU NJEKOUA Hermann, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>DÉDICACES</b> .....	<b>i</b>
<b>CERTIFICATION</b> .....	<b>ii</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>iii</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>ix</b>
<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>x</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xi</b>
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITES SUR L’EAU</b> .....	<b>2</b>
1.1 Origine et cycle de l’eau .....	2
1.1.1 Origine de l’eau .....	2
1.1.2 Cycle de l’eau .....	2
1.2 Structure, états et propriétés physiques de l’eau .....	3
1.2.1 Structure.....	3
1.2.2 Etat physique de l’eau .....	4
1.2.3 Propriétés physiques.....	6

1.3	Différents types d'eau .....	6
1.3.1	Eaux souterraines.....	6
1.3.2	Eaux de surface.....	7
1.4	Importance de l'eau .....	7
1.5	Paramètres de l'eau.....	8
1.5.1	La température.....	9
1.5.2	Le pH .....	9
1.5.3	Sels Totaux Dissous : salinité (STD) .....	10
1.5.4	Matières en suspension (MES).....	10
1.5.5	Turbidité .....	11
1.5.6	Conductivité électrique et minéralisation.....	11
1.5.7	Dureté de l'eau (ou Titre Hydrométrique) .....	12
1.6	Pollution de l'eau .....	13
1.7	Norme sur la qualité des eaux de consommation .....	14
<b>CHAPITRE 2</b>	<b>: ÉCHANTILLONNAGE</b>	<b>ET</b>
		<b>MÉTHODES</b>
	<b>EXPÉRIMENTALES D'ANALYSE .....</b>	<b>17</b>
2.1	Echantillonnage .....	17
2.1.1	Définition.....	17
2.1.2	Sites de prélèvement.....	17
2.1.3	Prélèvement des échantillons .....	18

2.2	Méthodes expérimentales d'analyses .....	18
2.2.1	Paramètres physico-chimiques .....	18
2.2.2	Analyse chimique qualitative .....	20
2.2.3	Analyse chimique quantitative .....	23
<b>CHAPITRE 3 : RÉSULTATS</b>		
<b>ET</b>		
<b>DISCUSSIONS</b>		
.....		<b>30</b>
3.1	Présentation des résultats et essais d'interprétation des facteurs physico-chimiques .....	30
3.2	Présentation des résultats et essais d'interprétation de l'analyse chimique qualitative.....	32
3.3	Présentation des résultats et essais d'interprétation de l'analyse chimique quantitative.....	34
3.3.1	Dosage volumétrique.....	34
3.3.2	Dosage par émission de flamme.....	36
3.3.3	Dosage par spectrophotométrie .....	38
3.4	Récapitulatif des résultats d'analyse.....	40
3.5	Analyse de la potabilité de l'eau de nos différents échantillons .....	41
<b>INTÉRÊTS PÉDAGOGIQUES .....</b>		<b>42</b>
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES.....</b>		<b>42</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>		<b>42</b>
<b>ANNEXES .....</b>		<b>pp</b>

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

<b>C.E.E</b>	: Communauté Économique Européenne
<b>E.D.T.A</b>	: Éthylène Diamine TétraAcétique
<b>E.N.S</b>	: École normale supérieure
<b>F.T.U</b>	: Formazin Turbidity Unit
<b>H.T.T.C</b>	: Higher Teacher Training College
<b>J.T.U</b>	: Jackson Turbidity Unit
<b>M.E.S</b>	: Matières en suspension
<b>M.E.S.O</b>	: Matières en suspension organiques
<b>M.E.S.T</b>	: Matières en suspension totales
<b>méq/L</b>	: milliéquivalent gramme par litre
<b>N.E.T</b>	: Noir Eriochrome T
<b>N.T.U</b>	: Nephelometric Turbidity Unit
<b>O.M.S</b>	: Organisation Mondiale de la Santé
<b>S.T.D</b>	: Sels Totaux Dissous
<b>T.A</b>	: Titre Alcalimétrique
<b>T.A.C</b>	: Titre Alcalimétrique Complet
<b>T.H</b>	: Titre Hydrotimétrique
<b>T.H.T</b>	: Titre Hydrotimétrique Totale
<b>U.D.S</b>	: Université de Dschang
<b>U.E</b>	: Union Européenne
<b>U.T.N</b>	: Unité de Turbidité Néphélométrique
<b>W.H.O</b>	: World Health organization

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Cycle de l'eau. ....	3
<b>Figure 2:</b> Structure de la molécule d'eau dipolaire .....	4
<b>Figure 3:</b> Différents états de l'eau .....	4
<b>Figure 4:</b> Structure de l'eau à l'état liquide .....	5
<b>Figure 5:</b> Structure de l'eau à l'état solide. ....	5
<b>Figure 6:</b> Structure de l'eau à l'état vapeur .....	6
<b>Figure 7 :</b> Carte de la ville de Yaoundé.....	17
<b>Figure 8 :</b> Histogramme des paramètres physico-chimiques en fonction des échantillons étudiés.....	31
<b>Figure 9 :</b> Histogramme de la teneur en ion calcium, magnésium, hydrogénocarbonate et en THT en fonction des échantillons étudiés .....	35
<b>Figure 10 :</b> Histogramme de la teneur en ion sodium et potassium en fonction des échantillons étudiés. ....	37
<b>Figure 11 :</b> Histogramme de la teneur en ions chlorure et nitrate en fonction des échantillons étudiés. ....	38
<b>Figure 12 :</b> Histogramme de la teneur en Fer total et en ion sulfate en fonction des échantillons étudiés. ....	39

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> : Propriétés physiques de l'eau.....	6
<b>Tableau 2</b> : Classification des eaux d'après leur pH.....	10
<b>Tableau 3</b> : Les différentes classes de turbidité en fonction de la qualité visuelle de l'eau. .....	11
<b>Tableau 4</b> : Appréciation des valeurs de la conductivité. ....	12
<b>Tableau 5</b> : Impact des eaux polluées par types de polluant sur la santé.....	14
<b>Tableau 6</b> : Réglementation concernant la qualité de l'eau destinée à la consommation..... .....	16
<b>Tableau 7</b> : Résultat des paramètres physico-chimiques .....	30
<b>Tableau 8</b> : Résultat des analyses qualitatives .....	33
<b>Tableau 9</b> : Résultat du dosage volumétrique. ....	34
<b>Tableau 10</b> : Résultats du dosage par émission de flamme. ....	36
<b>Tableau 11</b> : Résultat du dosage spectrophotométrique.....	38
<b>Tableau 12</b> : Récapitulatif des résultats de l'analyse. ....	40

## RÉSUMÉ

Dans le cadre de notre travail qui portait sur la contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques de quelques eaux de source de la ville de Yaoundé, nous nous sommes intéressés à celles situées dans les quartiers Bastos, Mimboman et Ngouso. Les échantillons ont été prélevés le 05 Août 2015 à partir de 6h du matin et analysés aux laboratoires de chimie minérale de la faculté des sciences et de chimie inorganique de l'E.N.S de l'Université de Yaoundé 1. Les méthodes d'analyse utilisées ont été : La titrimétrie, la colorimétrie, la spectrophotométrie d'absorption atomique et les mesures physico-chimiques directes. Les résultats de ces analyses nous ont montré que nos différents échantillons avaient la même composition chimique qualitative c'est -à-dire qu'ils renferment tous les ions :  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^{2-}$  et Fer total et ne renferment pas les ions  $Al^{3+}$ ,  $HO^-$  et  $CO_3^{2-}$ . Ces ions présents dans nos différents échantillons ont des teneurs variables selon la source mais pour la plupart conformes aux normes recommandées par l'OMS et le Cameroun. De plus, les mesures du pH, des MES, des STD, de la conductivité électrique et de la minéralisation montrent que ces eaux sont acides, claires, très douces et de minéralisation moyenne pour l'eau de source du quartier Bastos et faible pour les deux autres quartiers. L'existence des substances indésirables telles que l'ion nitrate ( $NO_3^-$ ) et le fer total bien qu'en faible quantité dans ces échantillons suggère une probable pollution organique ou microbiologique de ces eaux de source. Ce travail pourra être amélioré par les analyses toxicologiques et bactériologiques de ces eaux de source. La présence de ces espèces indésirables ne prédispose pas ces eaux à une potabilité complète sans traitement.

## ABSTRACT

In course of our work that was based on the contribution to the study of physical and chemical parameters of some spring waters of Yaounde, we looked at those in the quarters Bastos, Mimboman and Ngousso. The samples were collected the 5<sup>th</sup> August, 2015 from 6am and analyzed in the mineral chemistry laboratory of the faculty of science and the inorganic chemistry laboratory of Higher Teacher Training College (HTTC) of the University of Yaounde 1. The analysis methods used were: titration, colorimetry, atomic absorption spectrophotometry and direct physicochemical measurements. The results of these analyses showed that our different samples had the same qualitative chemical composition that is to say, they contain all the ions:  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^{2-}$  and iron and do not contain the ions  $Al^{3+}$ ,  $HO^-$  et  $CO_3^{2-}$ . These ions in our different samples have varying levels depending on the source but mostly conform to standards recommended by WHO and Cameroon. Further measures pH, MES, STD, electrical conductivity and mineralization show that these waters are acidic, clear, very soft and of medium mineralization for the water Bastos spring and low for both other quarters. The presence of undesirable substances such as nitrate ion ( $NO_3^-$ ) and total iron although in small quantities in these samples suggests a probable organic and microbiological pollution of those springs water. This work will be improved by doing the toxicological and bacteriological analyzes of those spring waters. The presence of these undesirable species does not predispose these waters to complete potability without treatment.

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

L'eau est un constituant essentiel de tous les organismes vivants. Elle est le milieu à partir duquel la vie a évolué et existe. De plus, toute forme de vie et d'activité humaine dépend de l'eau (El Morhit et Mouhir, 2014). Le besoin en eau potable est considéré aujourd'hui comme l'un des problèmes environnementaux majeur. En outre, plus de 1,2 milliards de personnes dans le monde n'ont pas accès à l'eau potable tandis que 3 milliards de personnes n'ont pas accès aux services sanitaires adéquats (Xhelal et *al.*, 2014). Plus de 200 maladies sont dues aux eaux contaminées et près de 5 millions de personnes meurent chaque année dans le monde après consommation de ces eaux (Xhelal et *al.*, 2014). Tandis que son importance ne cesse de croître, l'approvisionnement en eau de bonne qualité devient de plus en plus rare. Ce qui s'explique par l'urbanisation et la vitesse de développement des cités urbaines en général et de la ville de Yaoundé en particulier (Acharya et *al.*, 2008). Pour palier ces problèmes, les populations se voient obliger d'aménager des sources dont la potabilité est parfois douteuse. Ces eaux de sources sont de plus en plus nombreuses dans les quartiers de la ville de Yaoundé.

En fait, l'eau destinée à la consommation humaine doit être potable, c'est à dire une eau qui respecte toutes les normes de concentrations prévues par l'OMS (Kalyana et Rupa, 2014). De ce fait, l'analyse de la potabilité desdites eaux doit être envisagée pour assurer le bien-être des populations concernées. C'est l'un des axes de recherche développés dans le laboratoire de recherche de chimie Inorganique de l'École Normale Supérieure de Yaoundé. Dans le cadre de ce travail, nous apporterons notre modeste contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques de quelques eaux de source situées dans les quartiers de la ville de Yaoundé à savoir : Bastos, Mimboman et Ngouso en vue de l'appréciation de la qualité de ces eaux destinées à la consommation et aux usages en se basant sur les normes Camerounaises et celles de l'OMS.

Pour ce faire, notre étude s'articulera autour de trois chapitres, dans un premier temps, nous parlerons des généralités sur les eaux, ensuite des techniques expérimentales d'analyse et enfin, nous présenterons les résultats obtenus, la discussion ainsi que l'intérêt pédagogique.

# **CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITES SUR L'EAU**

En absence d'eau, aucune forme connue de vie n'est possible d'où l'intérêt de s'intéresser à ce précieux composé. L'eau est une ressource naturelle indispensable et primordiale à toute échelle de la vie humaine et industrielle. C'est un élément à la fois familier et complexe qu'il est nécessaire d'apprendre à connaître afin d'en mesurer la valeur. Elle couvre environ 70% de la surface de la terre et se retrouve dans toutes les sphères de l'environnement. C'est un liquide présent dans la nature qui possède plusieurs propriétés. Chimiquement parlant, l'eau est une molécule formée de deux atomes d'hydrogène unis par un atome d'oxygène de formule brute H<sub>2</sub>O. Elle se présente sous trois états : liquide, solide et gazeux. Cette molécule joue un rôle fondamental sur notre planète et est aussi bien comme facteur essentiel pour les écosystèmes que comme élément vital pour les êtres vivants (Tessema, 2010).

## **1.1 Origine et cycle de l'eau**

### **1.1.1 Origine de l'eau**

L'eau nous vient du fin fond de l'univers et recouvre près de 3/4 de la surface du globe terrestre. Elle se répartit dans cinq réservoirs interconnectés dont l'ensemble constitue l'hydrosphère. Ces cinq réservoirs sont :

- Les eaux souterraines ;
- Les eaux de surface (océans, rivières) ;
- Les dépôts de glace et de neige ;
- L'atmosphère ;
- La biosphère (Takoufack, 2007).

### **1.1.2 Cycle de l'eau**

Le cycle de l'eau est la circulation de l'eau entre les océans, l'atmosphère et les continents. L'énergie solaire est le moteur du cycle de l'eau entraînant les changements d'états de l'eau comme le montre la figure 1. Le cycle de l'eau se déroule dans une enveloppe superficielle de la terre appelée hydrosphère. L'eau de la mer, chauffée par le soleil s'évapore dans l'air et devient de la vapeur d'eau. Au contact de l'atmosphère, cette

vapeur se condense en gouttelettes puis se transforme en nuage et tombe sous forme de pluie. L'eau s'infiltrate dans le sol, donne à boire aux plantes, remplit les lacs et les fleuves qui se déversent dans la mer et le cycle recommence à l'infini... Grâce à ce cycle, la quantité d'eau sur terre est toujours la même. Pour préserver l'équilibre, il ne faut pas intervenir dans le cycle (Silvester, 2000).

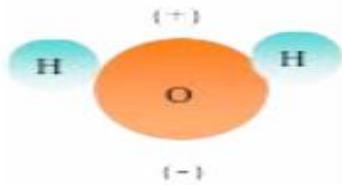


**Figure 1:** Cycle de l'eau (Silvester et *al.*, 2000).

## 1.2 Structure, états et propriétés physiques de l'eau

### 1.2.1 Structure

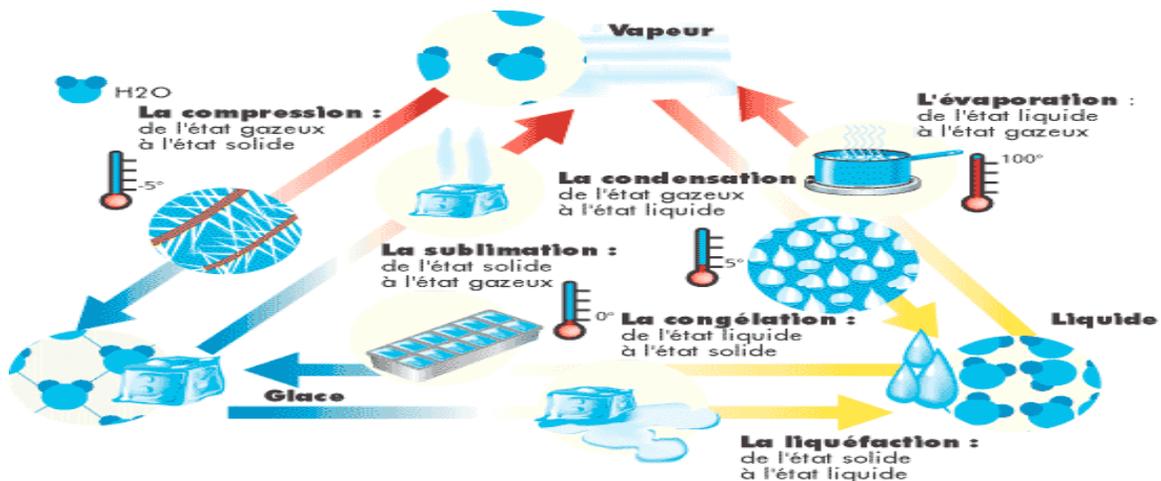
L'eau est une molécule formée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène de formule brute  $H_2O$ . Elle a une forme triangulaire, les deux atomes d'hydrogène forment un angle de  $104,5^\circ$  avec l'atome d'oxygène et les distances internucléaires  $d(O-H)$  voisines de 96pm. Les trois atomes sont arrangés en une structure en V, avec un angle de  $105^\circ$ . Cette structure courbée est le fait que l'atome d'oxygène attire les électrons plus fortement que les atomes d'hydrogène et cela fait que la molécule d'eau a le comportement d'un dipôle avec des charges électriques opposées à chaque extrémité (voir figure 2). Le dipôle « molécule d'eau » peut être attiré par des ions chargés positivement comme avec le  $Na^+$  et le  $Cl^-$ , lors de la dissolution du  $NaCl$  (Acharya et *al.*, 2008).



**Figure 2:** Structure de la molécule d'eau dipolaire (Tessema, 2010).

### 1.2.2 Etat physique de l'eau

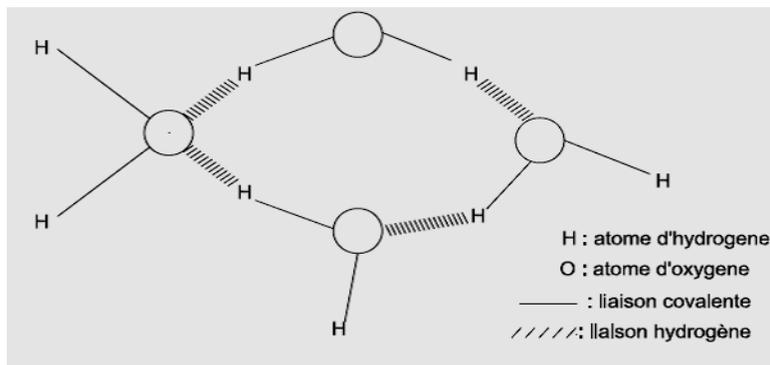
L'eau est une molécule qui se présente sous trois états à savoir : l'état solide, l'état liquide et l'état gazeux (Yongjing et *al.*, 2006). Ces différents états varient en fonction de la température et sont donnés sur la figure 3. En dessous de 0 degré, elle passe à l'état solide en se transformant en glace ; portée à ébullition (l'eau bout à 100°C), elle s'évapore et devient de la vapeur d'eau ceci dans les conditions normales de température et de pression ( $T=25^{\circ}\text{C}$  et  $P=1\text{atm}$ ). La température moyenne du globe est de 14° centigrades, c'est donc l'état liquide qui est le plus présent (Arnaud, 1993).



**Figure 3:** Différents états de l'eau (Defransechi, 2001).

#### ❖ État liquide de l'eau

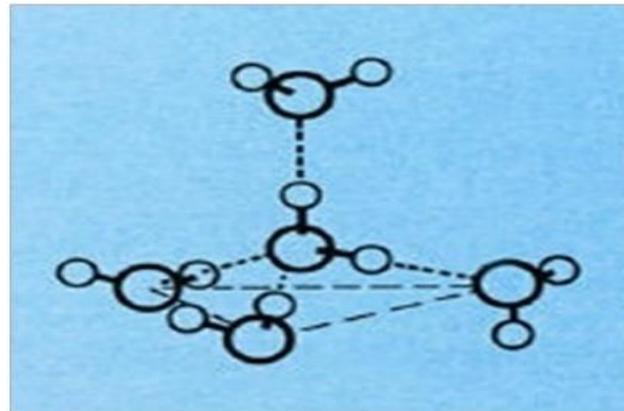
C'est la forme la plus commune de l'eau, elle se présente sous plusieurs formes à savoir : pluies, rivières, lacs, mers...L'eau à l'état liquide est plus dense que la vapeur d'eau. Cette densité relativement élevée s'explique par la présence des forces intermoléculaires au sein de cette structure. Les molécules sont reliées les unes aux autres grâce aux liaisons hydrogène comme présenté sur la figure 4 (Mesplede et Queyrel, 1990).



**Figure 4:** Structure de l'eau à l'état liquide (Mesplede et Queyrel, 1990).

### ❖ État solide de l'eau

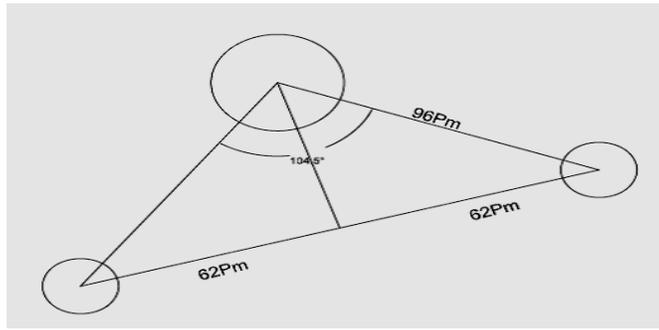
L'eau à cet état se présente sous plusieurs formes : glaciers, neige, grêle et givre. La phase solide de l'eau est moins dense que celle de l'état liquide. A l'état solide, la molécule d'eau occupe dans la glace  $19,6 \text{ cm}^3$  alors que les sphères empilées de rayon  $2,78 \text{ \AA}$  n'occupent que  $9 \text{ cm}^3$ . La figure 5 montre que l'arrangement élémentaire consiste en une molécule d'eau centrale et quatre molécules d'eau autour, l'ensemble constituant un tétraèdre (Mesplede et Queyrel, 1990).



**Figure 5:** Structure de l'eau à l'état solide (Mesplede et Queyrel, 1990).

### ❖ État gazeux de l'eau

L'eau à l'état gazeux est sous forme de buées. L'observation de la vapeur d'eau permet de voir un nuage de gouttelettes fines résultant de la condensation (voir figure 6). Cette vapeur d'eau filtre sélectivement certaines radiations solaires (Mesplede et Queyrel, 1990).



**Figure 6:** Structure de l'eau à l'état vapeur (Mesplede et Queyrel, 1990).

### 1.2.3 Propriétés physiques

Elles sont présentées dans le tableau 1 ci-après.

**Tableau 1 :** Propriétés physiques de l'eau (Tessema, 2010).

Masse molaire	Masse volumique	Température de fusion	Température d'ébullition	Moment dipolaire
18g/mol	1000kg/m <sup>3</sup>	0°C	100°C	1,85 D
Constante diélectrique	viscosité	chaleur latente de fusion	Chaleur latente de vaporisation	Chaleur massique
80 D	1,007mPa	330KJ/Kg	2250KJ/Kg	4,18KJ/Kg/°C

## 1.3 Différents types d'eau

L'eau à l'état naturel se subdivise en deux catégories à savoir : les eaux souterraines et les eaux de surface. La répartition de la population suivant l'origine de l'eau qui l'alimente est la suivante.

### 1.3.1 Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont disponibles sous forme de nappes circulantes ou captives dont la composition chimique dépend de la nature du terrain traversé. Très souvent, elles répondent aux normes de potabilité (Diam, 2007). Ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, cependant cette pureté originelle est difficilement récupérée suite à un contact avec les agents polluants qui vont être malheureusement fixés sur les roches environnantes (Afnor, 2001). Les eaux souterraines contiennent certains éléments

minéraux à une concentration dépassant les normes de potabilité, mais ayant des propriétés thérapeutiques connues, ce sont les eaux minérales tandis que les eaux de source doivent répondre aux normes de potabilité et ne peuvent subir aucun traitement (Yongjing et *al.*, 2006).

### **1.3.2 Eaux de surface**

Les eaux de surface sont par définition polluées ou risquent de l'être. La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est pour cette principale raison que ces eaux sont rarement potables et nécessitent donc un traitement avant la consommation humaine (Salghi, 2010).

## **1.4 Importance de l'eau**

La préciosité de l'eau est due à son importance car l'eau joue plusieurs rôles importants qui sont difficiles à tout énumérer. L'eau est un constituant essentiel de tous les organismes vivants, et transporte l'énergie et la matière entre les différentes sphères de l'environnement (Direction Générale de la Santé, 2005). Au quotidien nous utilisons de l'eau pour différents usages mais elle est beaucoup plus utilisée dans les industries et les irrigations des cultures. Selon les conceptions modernes, c'est dans l'eau que sont apparus les premiers signes de vie. L'eau joue un rôle fondamental dans notre organisme en ce sens qu'elle constitue le milieu au sein duquel s'effectuent les processus chimiques assurant l'activité vitale de l'organisme. L'eau c'est la vie car une perte de 10% d'eau dans l'organisme d'un individu compromet la santé de celui-ci tandis qu'une perte allant jusqu'à 15% conduit à la mort. Les besoins en eau des individus dépendent de plusieurs facteurs tels que l'âge, le poids, les efforts physiques, la température, etc...La production d'eau dans le corps humain diminue avec l'âge. La teneur en eau d'un fœtus, atteint 97% de son poids, celle d'un nouveau-né 75%, celle d'un adulte environ 60% et celle d'une

personne âgée 58%, celle des enfants de 5 ans 65%. Toutes les parties du corps renferment plus ou moins d'eau : 25 à 35% pour les os ; 10% pour les dents ; 78% pour le cerveau ; 75% pour les muscles. L'eau est un transporteur : elle transporte les globules et les nutriments, facilite l'évacuation urinaire des déchets du métabolisme. Bien que l'eau soit d'une importance inestimable, elle a aussi des effets néfastes sur l'environnement et sur l'homme (Direction Générale de la Santé, 2005).

## 1.5 Paramètres de l'eau

Les eaux destinées à la consommation humaine distinguent 5 catégories de paramètres à savoir :

- les paramètres organoleptiques (couleur, odeur, saveur, turbidité) ;
- les paramètres physico-chimiques (en relation avec la structure naturelle des eaux : température, pH,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ... ) ;
- les paramètres concernant les substances indésirables ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , oxydabilité au permanganate, phénols... ) ;
- les paramètres microbiologiques (salmonelles, entérovirus, coliformes... ) ;
- les paramètres concernant les pesticides et les produits apparentés (insecticides, organochlorés, herbicides, fongicides,...) (Tessema, 2010).

Parmi les paramètres cités nous nous intéresserons dans le cadre de notre étude aux paramètres physico-chimiques.

A première vue, l'eau apparaît comme un corps pur composé uniquement de l'hydrogène et de l'oxygène. Néanmoins, toute eau naturelle contient en plus de ces deux éléments des substances minérales et organiques en concentrations variables (Rodier, 1976). La composition chimique d'une eau naturelle comprend entre autres :

- Les constituants récurrents tels que :  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  et le  $\text{CO}_2$  ;
- Les éléments majeurs tels que :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  ;

- Les éléments à l'état de trace qui peuvent être :  $Zn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $NO_2^-$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  ... dont la présence et la répartition sont relativement homogènes dans toutes les eaux destinées à la consommation humaine.

En plus, certaines eaux naturelles contiennent des éléments ou composés qui semblent étrangers aux eaux douces et dont la présence est liée en grande partie à l'activité humaine et à la nature géologique des terrains traversés ou des terrains de stockage. Ce sont :  $Ni^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Sb^{2+}$ , Se,  $NH_4^+$ ,  $Ag^+$ ,  $PO_4^{3-}$  (Rodier, 1976).

### **1.5.1 La température**

La température est la mesure du degré de chaleur d'un corps. Une température élevée réduit la solubilité des gaz dans l'eau et en particulier les teneurs en oxygène. Si la température de l'eau varie de  $13^\circ C$  à  $20^\circ C$ , la concentration en oxygène chute de 13 %. Or, le rôle de l'oxygène est fondamental pour les organismes vivants et pour l'oxydation des déchets (Tessema D. A., 2010).

### **1.5.2 Le pH**

Le pH (potentiel d'hydrogène) est une caractéristique fondamentale de l'eau (voir tableau 2). Elle représente le degré d'acidité ou d'alcalinité d'un milieu aquatique (Girgenti, 2008). Ses valeurs sont comprises entre 0 et 14 à  $25^\circ C$ . Il est fonction de la concentration des ions hydronium dans un milieu et est donné par la relation :  $pH = -\log [H_3O^+]$ . A  $25^\circ C$  lorsque le  $pH=7$ , la solution est dite neutre;  $pH<7$ , solution acide et  $pH>7$ , solution basique (Tessema, 2010). Il existe plusieurs méthodes de mesure du pH à savoir : la potentiométrie, l'utilisation des indicateurs colorés, l'utilisation d'un pH-mètre et l'utilisation d'un papier pH (Girgenti, 2008).

**Tableau 2** : Classification des eaux d'après leur pH (Girgenti, 2008).

<b>pH &lt; 5</b>	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
<b>pH = 7</b>	pH neutre
<b>7 &lt; pH &lt; 8</b>	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
<b>5.5 &lt; pH &lt; 8</b>	Majorité des eaux souterraines
<b>pH = 8</b>	Alcalinité forte, évaporation intense

### 1.5.3 Sels Totaux Dissous : salinité (STD)

Les sels totaux dissous représentent la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau et permettent de mesurer ces substances dissoutes (sels, matières organiques, minéraux...) dans l'eau (Dixit et *al.*, 2015). Ce paramètre se mesure à l'aide d'un multimètre. L'unité de mesure est le milligramme par litre (mg/L).

### 1.5.4 Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) constituent l'ensemble des particules minérales et/ou organiques insolubles présentes dans une eau naturelle ou polluée. L'abondance des matières en suspension dans l'eau favorise la réduction de la luminosité et abaisse la production biologique du fait en particulier d'une chute de l'oxygène dissous consécutive à une réduction des phénomènes de photosynthèse (Dixit et *al.*, 2015). Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...) (De Villers et *al.*, 2005 ). Ils sont exprimés en mg/l (De Villers et *al.*, 2005 ). Les MES s'obtiennent soit par filtration des effluents peu chargés, soit par centrifugation des solutions, séchage jusqu'à obtenir un résidu sec. On distingue les MES Totales (MEST) et les MES Organiques (MESO) (Tessema, 2010).

### 1.5.5 Turbidité

La turbidité est la mesure de l'ampleur avec laquelle la lumière est absorbée ou dispersée par les particules en suspension dans l'eau. La mesure de la turbidité est une mesure indirecte des MES (Tessema, 2010). Sa mesure permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. Elle est mesurée par néphélogéométrie à l'aide d'un turbidimètre de laboratoire et exprimée en UTN (Unité de Turbidité Néphélogéométrique ou NTU). 1 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) = 1 JTU (Jackson Turbidity Unit) = 10 gouttes de mastic = 1 FTU (Formazin Turbidity Unit) pour les turbidités comprises entre 10 et 20 NFU, au-delà on a : 1 NFU = 0,6 NTU. Pour la couleur, l'unité employée est le Helzen (°H) ou le cobalt platine (GIRGENTI, 2008).

**Tableau 3 :** Les différentes classes de turbidité en fonction de la qualité visuelle de l'eau (Girgenti, 2008).

<b>NTU &lt;5</b>	Eau claire
<b>5 &lt;NTU&lt;30</b>	Eau légèrement trouble
<b>NTU &gt; 50</b>	Eau trouble
<b>NTU</b>	La plupart des eaux de surface en Afrique atteignent ce niveau de turbidité

### 1.5.6 Conductivité électrique et minéralisation

La conductivité électrique est la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. Elle est habituellement utilisée pour évaluer la pureté de l'eau (Acharya et al., 2008). La température de l'eau influence la conductivité qui sera d'autant plus importante que la température est élevée. Les résultats de mesure de la conductivité sont toujours présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25°C. Elle est très utile pour mettre en évidence la qualité de l'eau. La conductivité est généralement mesurée en micro-Siemens par cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Le transport des charges se faisant par l'intermédiaire des ions contenus dans l'eau, il est logique d'admettre que la conductivité d'une eau sera d'autant plus importante que sa minéralisation (teneur en substances dissoutes) sera élevée. Il existe

donc une relation entre la conductivité d'une eau et sa minéralisation, d'où l'intérêt que présente la mesure de la conductivité, mesure quasi instantanée, pour connaître la minéralisation d'une eau (Girgenti, 2008). Les formules utilisées à cet effet sont récapitulées dans le tableau 4 suivant :

**Tableau 4 :** Appréciation des valeurs de la conductivité (Tessema, 2010).

Conductivité ( $\mu\text{S/cm}$ )	Minéralisation (mg/L)	Evaluation de la minéralisation
$\chi < 50$	$1,365079 \chi_{20}^{\circ\text{C}}$	Très faible
$50 < \chi < 166$	$0,947658 \chi_{20}^{\circ\text{C}}$	Faible
$166 < \chi < 333$	$0,769574 \chi_{20}^{\circ\text{C}}$	Moyenne
$333 < \chi < 833$	$0,715920 \chi_{20}^{\circ\text{C}}$	Peu élevée
$833 < \chi < 1000$	$0,758544 \chi_{20}^{\circ\text{C}}$	Elevée
$\chi > 1000$	$0,850432 \chi_{20}^{\circ\text{C}}$	Très élevée

### 1.5.7 Dureté de l'eau (ou Titre Hydrométrique)

La dureté ou Titre Hydrotimétrique (TH) d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ). Elle est souvent due aux ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  ou en degré français ( $^{\circ}\text{F}$ ) (IBGE, 2005). On distingue plusieurs duretés :

- **Dureté temporaire** : elle est due aux hydrogénocarbonates de calcium et de magnésium ;
- **Dureté permanente** : elle est due aux sulfates de calcium et de magnésium, et parfois aux chlorures ;
- **Dureté totale** : elle est égale à la somme des deux précédentes.

1 degré hydrotimétrique français ( $1^{\circ}\text{TH}$ ) est égal à une concentration globale en ions calcium et magnésium de  $10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$  (Hassan, 2009).

Les eaux sont classées en quatre catégories suivant leur dureté :

- THT < 75 mg /L : Eaux très douces ;
- 75 mg /L < THT < 150 mg /L : Eaux douces ;
- 150 mg /L < THT < 300 mg /L : Eaux dures ;
- 300 mg /L < THT : Eaux très dures (Girgenti, 2008).

Ces éléments essentiels pour le bon fonctionnement de l'organisme sont caractéristiques d'une eau propice pour la consommation. (Girgenti, 2008).

## **1.6 Pollution de l'eau**

La pollution des eaux est la dégradation physique, chimique, biologique ou bactériologique des qualités naturelles des eaux, par des déchets ou sous-produits solides, liquides ou gazeux. Il s'agit de la modification de la composition de l'eau ayant un caractère gênant ou nuisible pour les usages humains, la faune ou la flore. Il existe deux formes de pollutions à savoir : les pollutions ponctuelles, souvent relativement immédiate, qui proviennent de sources bien identifiées (rejets domestiques ou industriels, effluents d'élevage...) et les pollutions diffuses, comme celles dues aux épandages de pesticides et d'engrais sur les terres agricoles.

L'eau rend malade, tue parfois, mais elle constitue l'un des premiers moyens de prévention et de guérison contre les maladies qu'elle véhicule et bien d'autres encore. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S) 2,6 milliards de personnes dans le monde n'ont pas accès à l'eau potable et 1,8 millions dont 90% d'enfants de moins de cinq ans en meurent chaque année surtout dans les pays en développement où les mesures d'hygiène et les infrastructures sanitaires de base sont insuffisantes ou inexistantes (Conseil Mondial de l'Eau, 2006).

**Tableau 5 : Impact des eaux polluées par types de polluant sur la santé (Conseil Mondial de l'Eau, 2006).**

<b>Polluants</b>	<b>Origines</b>	<b>Impacts</b>
<b>Arsenic, cadmium</b>	Industries, fonderies...	Cancer
<b>Cuivre, plomb</b>	Industries, fonderies...	Peuvent causer des lésions au cerveau et aux os
<b>Mercure</b>	Industries, fonderies...	Provoque des mutations et des dégâts génétiques
<b>Bactéries, virus, protozoaires</b>	Eaux usées des collectivités, des hôpitaux et des villas	Caused des maladies hydriques (bilharzioses, choléra, fièvre typhoïde, dysenterie amibienne, diarrhées...)
<b>Particules en suspension</b>	Eaux usées domestiques, mines, cimenteries	Perturbent la croissance des plantes, colmatent les branchies des poissons, des mollusques
<b>L'azote et le phosphore</b>	Industries, agriculture	Enrichissent et accélèrent le vieillissement des lacs et des cours d'eau
<b>Benzopyrène, Phtalate de dibutyle</b>	Industries pétrolières	Etouffent les organismes aquatiques et causent la mort des animaux

### 1.7 Norme sur la qualité des eaux de consommation

On entend par norme, l'ensemble des recommandations qui émanent des organismes compétents et précisent la composition d'une eau destinée à la consommation humaine. Les normes évoluent en fonction des moyens d'investigation disponibles et du niveau de développement scientifique et technique (Codex Alimentarius, 2007).

Les eaux destinées à la consommation humaine doivent être conformes aux critères de qualité fixés par la réglementation en vigueur. L'O.M.S recommande des directives à

suivre, disponibles pour les pays. La Communauté Economique Européenne/Union Européenne (CEE/UE) fixe des limites physicochimiques et microbiologiques de qualité à ne pas dépasser et des valeurs de référence de qualité qui sont des valeurs indicatives, établies à des fins de suivi des installations de production, de distribution d'eau et d'évaluation de risques pour la santé humaine. (Guergazi et Achour, 2005). Seules les analyses physicochimiques et microbiologiques permettent de définir la qualité d'une eau destinée à la consommation humaine, en comparant les résultats obtenus à la réglementation en vigueur. Ainsi, le tableau 6 présente sur le plan physico-chimique, les limites et références de l'OMS, la CEE, et les critères adoptées au Cameroun.

**Tableau 6 : Réglementation concernant la qualité de l'eau destinée à la consommation**  
(Guergazi S. et Achour S., 2005; OMS, 2006).

Paramètres	Unités	Directives CEE		Directives OMS	Cameroun
		Limites	Références		
<b>Paramètres organoleptiques</b>					
Couleur	-	-	≤ 15	-	≤ 15
Turbidité	NFU	≤ 1	≤ 0,5	-	≤ 2
Odeur, saveur	-	-	-	-	Absence
<b>Paramètres physico-chimiques</b>					
Température	°C	-	-	-	≤ 25
pH	-	-	-	6,5-9,5	6,5 – 9
Conductivité	à μS/cm	-	-	-	≤ 1000
Chlorure	mg/l	-	≤ 250	-	≤ 200
Sulfate	mg/l	-	≤ 250	≤ 500	≤ 250
Magnésium	mg/l	-	-	-	≤ 50
Sodium	mg/l	-	≤ 200	-	≤ 150
Potassium	mg/l	-	-	-	≤ 12
Aluminium	mg/l	-	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2
Résidu sec	à mg/l	-	≤	-	≤ 1500
<b>Paramètres concernant les substances indésirables</b>					
Nitrate	mg/l	≤ 50	-	≤ 50	≤ 50
Nitrite	mg/l	≤ 0,5	-	≤ 3	≤ 0,1
Fluorure	mg/l	≤ 1,5	-	≤ 1,5	≤ 0,7/1
Ammonium	mg/l	-	≤ 0,1	-	≤ 0,5
Fer	mg/l	-	≤ 0,2	-	≤ 0,2
Manganèse	mg/l	-	≤ 0,05	≤ 0,4	≤ 0,05
Cuivre	mg/l	≤ 2	≤ 1	≤ 2	≤ 1
Phosphate	mg/l	-	-	-	-
Zinc	mg/l	-	-	≤ 3	≤ 5
Oxydabilité au KMnO4	mg	-	≤ 5,0	-	≤ 5
<b>Paramètres concernant les substances toxiques</b>					
Arsenic	mg/l	≤ 0,01	-	≤ 0,01	≤ 0,05
Cadmium	mg/l	≤ 0,005	-	≤ 0,003	≤ 0,005
Chrome	mg/l	≤ 0,05	-	≤ 0,05	≤ 0,05
Cyanure	mg/l	≤ 0,05	-	≤ 0,07	≤ 0,05
Nickel	mg/l	≤ 0,02	-	≤ 0,07	≤ 0,05
Plomb	mg/l	≤ 0,01	-	≤ 0,01	≤ 0,05
<b>Paramètres concernant les hydrocarbures</b>					
Hydrocarbures Aromatiques	mg/l	-	-	-	≤ 0,0002
<b>Paramètres concernant les pesticides</b>					
Total pesticides	μg/l	≤ 0,5	-	-	≤ 0,5

**CHAPITRE 2 :**  
**ÉCHANTILLONNAGE ET MÉTHODES**  
**EXPÉRIMENTALES D'ANALYSE**

Après avoir présenté les généralités sur les eaux, nous allons dans ce chapitre présenter la méthodologie dont nous avons fait usage pour prélever et analyser les échantillons d'eau de source utilisés.

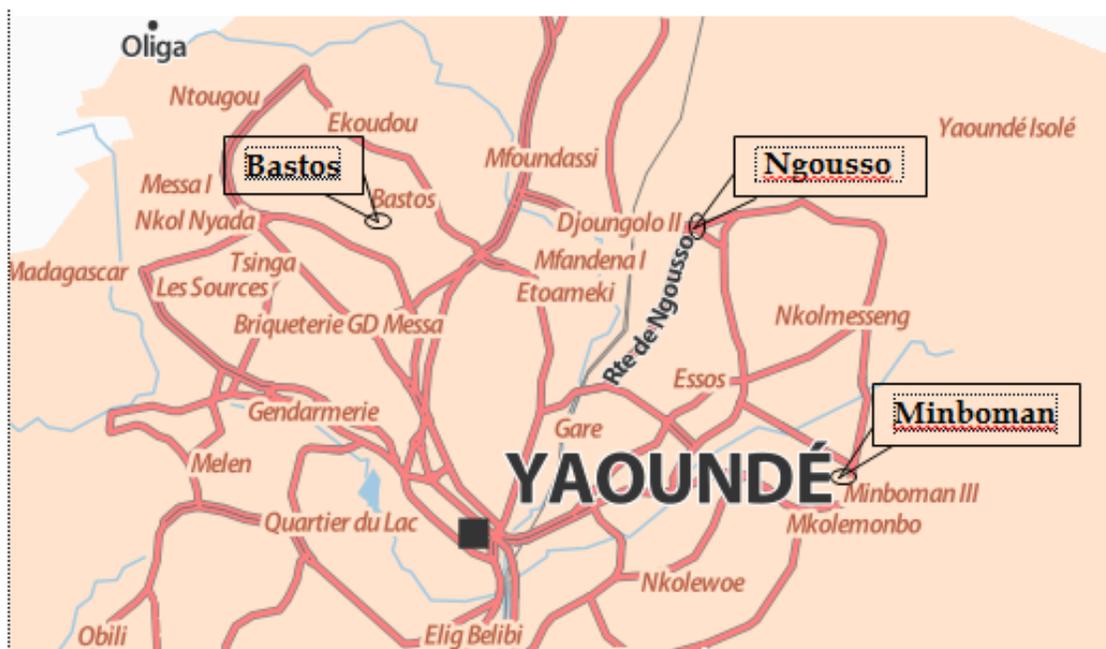
## 2.1 Echantillonnage

### 2.1.1 Définition

L'échantillonnage est une opération qui consiste à prélever une quantité d'échantillon afin de faire une analyse qualitative et quantitative des éléments présents dans ce dernier (Rodier, 1984). Dans le cadre de notre étude notre échantillon est l'eau de source prélevée dans trois sites différents.

### 2.1.2 Sites de prélèvement (voir annexes)

Les prélèvements de nos différents échantillons ont été effectués dans quelques sources de la ville de Yaoundé, Capitale politique du Cameroun, plus précisément dans trois quartiers : Bastos, Mimboman et Ngoussou. Ces quartiers sont indiqués sur la figure 7 représentant la carte de la ville de Yaoundé.



**Figure 7** : Carte de la ville de Yaoundé (Augea et *al.*, 2008).

### **2.1.3 Prélèvement des échantillons**

Une analyse n'a de sens que si le prélèvement a été entouré de soins suffisants pour que l'eau à analyser représente bien celle que l'on désire connaître. D'une manière générale, l'échantillon doit être homogène, représentatif et ne doit pas modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Le prélèvement des eaux de source dans les trois sites mentionnés plus haut (voir Annexe 11) a été effectué le 05 Août 2015 à partir de 6h du matin. Dans chaque site nous avons rempli de l'eau jusqu'à ras bord dans trois bouteilles vides (préalablement rincées avec leurs bouchons trois fois) d'1,5l de tanguai en polyéthylène et nous y avons ajouté de l'acide sulfurique pour acidifier le milieu à  $\text{pH} \leq 2$  afin d'éviter toute précipitation de certains éléments à doser (Fe, Al, Cu....) puis nous les avons fermées hermétiquement afin d'éviter tout échange gazeux avec l'air. Pour éviter une éventuelle confusion des échantillons, chaque échantillon a été identifié par l'initial du nom du quartier où il a été prélevé (B: Bastos ; M: Mimboman ; N: Ngouso). Ces échantillons, prélevés le même jour et emballés dans un sac du marché ont été transportés par voiture directement aux différents laboratoires pour analyses. Par ailleurs, le but du travail est de faire les différentes analyses, mais pour ce faire, une maîtrise des techniques expérimentales est indispensable.

## **2.2 Méthodes expérimentales d'analyses**

### **2.2.1 Paramètres physico-chimiques**

Ils constituent les paramètres essentiels pour la caractérisation de l'eau et ont une influence sur la qualité de cette dernière. Les paramètres physico-chimiques qui seront étudiés sont : le pH, la conductivité électrique, les Sels Totaux Dissous (STD) et les Matières en Suspension (MES).

#### **➤ Mesure du pH**

Le pH a été mesuré par la méthode potentiométrique en utilisant un pH-mètre type Multimètre HANNA modèle HI9811-5sériePH/°C/EC/TDS METER à affichage numérique préalablement étalonné, relié à une électrode. Pour réaliser la mesure,

l'électrode du pH-mètre est plongée dans des béchers contenant les échantillons d'eau à analyser. La lecture du pH est faite directement après stabilisation des valeurs affichées sur l'écran de l'appareil.

➤ **Mesure de la conductivité électrique**

Pour mesurer la conductivité, nous avons utilisé un conductimètre type Multimètre HANNA modèle HI9811-5 série PH/°C /EC /TDS METER à affichage numérique, auquel a été reliée une électrode. Les résultats de mesure de la conductivité sont toujours présentés en terme de conductivité équivalente à 20 ou 25°C. Elle est très utile pour mettre en évidence la qualité de l'eau. La conductivité est généralement mesurée en micro-Siemens par cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Une fois obtenue la valeur de la conductivité à une température quelconque, on la ramène à sa valeur à 25°C à l'aide de l'expression suivante:

$\chi_{20}^{\circ\text{C}} = \chi_{\text{T}} \mathbf{f}$  avec  $\chi_{\text{T}}$  la conductivité à la température T de l'eau et  $\mathbf{f}$  le facteur de corrélation (Himangshu et *al.*, 2008).

➤ **Mesure des Sels Totaux Dissous : salinité (STD)**

Les STD représentent la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Ce paramètre se mesure à l'aide d'un turbidimètre (Kanayochukwu et *al.*, 2008). Dans le cadre de nos travaux nous avons utilisé un multimètre (PH/°C/EC/TDS METER) à affichage électronique, de marque HANNA HI 9811-5. L'unité de mesure est le milligramme par litre (mg/L).

➤ **Mesure des Matières en Suspension (MES)**

La mesure des matières en suspension permet d'apprécier la charge solide en suspension d'une eau naturelle ou résiduaire. Elle est effectuée par filtration d'une quantité d'échantillon à analyser. Le résultat est donné par la relation suivante :

$$\text{MES (mg/L)} = (M_1 - M_0) / V$$

Où :

➤  $M_1$  = masse en milligramme du disque après filtration ;

- $M_0$  = masse en milligramme du disque à vide ;
- $V$  = volume en litre de l'échantillon prélevé.

### 2.2.2 Analyse chimique qualitative

L'analyse chimique qualitative permet l'identification des éléments ou des ions qui entrent dans la composition de notre eau de source. Concernant notre travail nous avons analysé qualitativement selon les réactifs et les matériels qui ont été mis à notre disposition les ions  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $HO^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  et le fer total ( $Fe^{2+}+Fe^{3+}$ ) ceci dans le but de vérifier si nos eaux de source contiennent réellement les éléments cités.

#### ❖ Recherche des anions

##### ➤ Recherche des ions chlorures ( $Cl^-$ )

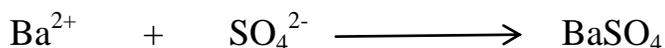
Dans un tube à essai contenant notre eau de source, on ajoute quelques gouttes d'une solution d'argent ( $Ag^+$ ). Il se forme un précipité blanc d' $AgCl$ , insoluble même à chaud en milieu acide ou neutre. Le précipité est par contre soluble en milieu ammoniacal par suite de la formation d'un complexe stable de  $Ag(NH_3)^{2+}$ . Les équations des réactions observées sont les suivantes :



Il y a formation du complexe ion diamine argent I (Ebanga et Sipa, 2002 )

##### ➤ Recherche des ions sulfates ( $SO_4^{2-}$ )

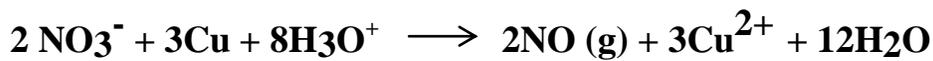
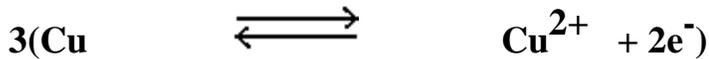
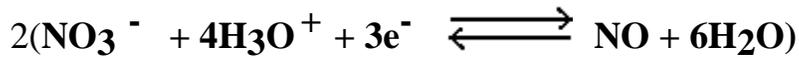
On dispose d'un tube à essai dans lequel on introduit l'ion sulfate et quelques gouttes de solution de baryum, On remarque la formation d'un précipité blanc. L'équation de la réaction qui se produit est la suivante:



Il est à noter que le sulfate de baryum est insoluble à chaud, même en présence d'un milieu fortement acidifié par l'acide nitrique ou chlorhydrique (Francis et *al.*, 2004).

➤ **Recherche de l'ion nitrate ( $\text{NO}_3^-$ )**

Dans un tube à essai contenant notre eau de source, ajoutons quelques gouttes d'acide sulfurique concentré et un petit morceau de Cuivre. Après chauffage et agitation au bain-marie, il se dégage un gaz roux (El Morhit et Morhir, 2014). En effet, les ions nitrates se sont réduits en NO par le cuivre suivant les équations suivantes :



Le NO obtenu est oxydé par l'oxygène de l'air suivant l'équation :



Le  $\text{NO}_2$  obtenu se dimérise pour donner les vapeurs rousses suivant la réaction:



➤ **Recherche des ions Hydroxydes ( $\text{HO}^-$ ), Carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ),**

**Hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )**

On introduit 3 gouttes de phénolphtaléine dans l'échantillon. Si la solution prend une coloration rose, on conclut que notre échantillon contient les ions  $\text{HO}^-$  et  $\text{CO}_3^{2-}$ . Dans le cas contraire, ces ions existent sous forme de trace en solution. On n'obtient pas de coloration rose donc absence des ions  $\text{HO}^-$  et  $\text{CO}_3^{2-}$  dans notre échantillon. Pour savoir s'il y'a l'ion  $\text{HCO}_3^-$  dans notre eau, on procède par dosage. On prend un certain volume de notre échantillon qu'on dose avec de l'acide sulfurique de concentration connue jusqu'à atteindre l'équivalence. Si cette dernière est marquée par la coloration jaune orangée, ceci prouve que notre eau de source contient l'ion Hydrogénocarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ). (Ebanga et Sipa, 2002).

## ❖ Recherche des cations

### ➤ Recherche des ions sodium ( $\text{Na}^+$ ) et des ions potassium ( $\text{K}^+$ ) : tests à la flamme

En introduisant dans une flamme bleue d'un bec Bunsen un fil de fer préalablement trempé dans notre eau de source, on constate que la flamme prend une teinte jaune, la couleur jaune de la flamme est caractéristique des ions  $\text{Na}^+$ .

Si la flamme prend plutôt une coloration violette, alors c'est une indication de la présence d'ions potassium ( $\text{K}^+$ ) dans notre eau de source (Nazaire et *al.*, 2002).

### ➤ Recherche de l'ion calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

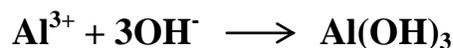
Dans un tube à essai contenant des ions calcium, on ajoute quelques gouttes d'un indicateur coloré (murexide). Après agitation, il se forme un précipité rouge vin, caractéristique des ions calcium (Rodier., 1976).

### ➤ Recherche de l'ion magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

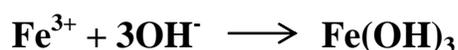
Dans un tube à essai contenant des ions magnésium, on ajoute quelques gouttes d'un indicateur coloré (Noir Eriochrome T ou NET). Après agitation, il se forme un précipité rouge vin, caractéristique des ions magnésium (Nazaire et *al.*, 2002).

### ➤ Recherche des ions $\text{Al}^{3+}$ et $\text{Fe}^{3+}$

Ce sont des cations du groupe III. Ce groupe comprend deux sous-groupes : IIIA et IIIB. Les ions  $\text{Al}^{3+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$  se trouvent dans le sous-groupe IIIA. Ils précipitent sous forme d'hydroxydes insolubles en milieu ammoniacal (pH=9) suivant les réactions suivantes (Nazaire et *al.*, 2002) :



Blanc gélatineux



Rouille

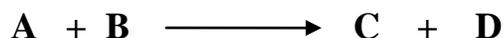
### 2.2.3 Analyse chimique quantitative

Pour mener à bien cette phase d'analyse, plusieurs méthodes d'analyse de dosage ont été utilisées à savoir :

- ✓ Les méthodes volumétriques, fondées sur des mesures de volume ;
- ✓ Les méthodes gravimétriques basées sur des pesées ;
- ✓ Les méthodes physico-chimiques, qui exploitent des mesures optiques, électriques, électrochimiques, calorimétriques, magnétiques, etc.

#### ❖ Dosages volumétriques

En volumétrie, on fait réagir un volume d'une solution **A** dont on connaît la concentration avec un autre volume d'une solution **B** dont on ignore la concentration. C'est le point équivalent qui marque la fin de la réaction et il est repéré à l'aide d'un indicateur coloré. La détermination du point équivalent permet de connaître le volume de **A** versé et par conséquent de déduire la concentration de **B** inconnue à partir de l'équation de dosage. **A** réagit avec **B** suivant l'équation suivante :



#### ➤ Détermination de la dureté de l'eau

- **Titre Hydrotimétrique Total (THT)**

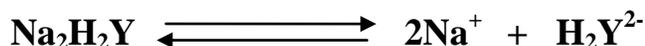
Le Titre Hydrotimétrique Total (THT) ou Titre Hydrotimétrique (TH) de l'eau permet de quantifier une notion qualitative : la dureté de l'eau. Elle sera déterminée par un dosage complexométrique des ions calcium et magnésium avec l'EDTA de formule brute ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2, 2\text{H}_2\text{O}$ ). La fin de la réaction est marquée par une solution colorée. Le THT permet de mesurer la concentration en ions alcalino-terreux (ions calcium et magnésium). Le pH de l'échantillon est amené à 10 par addition d'une solution tampon ammoniacal. L'indicateur de fin de réaction est le NET (Noir Eriochrome T) qui est principalement un indicateur de  $\text{Mg}^{2+}$  car il est complexé après le  $\text{Ca}^{2+}$  qui forme un complexe plus stable avec l'EDTA. La dureté totale exprimée en méq/L pour un dosage

sur un échantillon de 100 mL avec du complexon N/50 est donnée par l'expression suivante (Kalayana et Rupa, 2014):

$$\text{THT} = 0,2 V_{\text{EDTA}}$$

Où  $V_{\text{EDTA}}$  est le volume du complexon délivré par la burette.

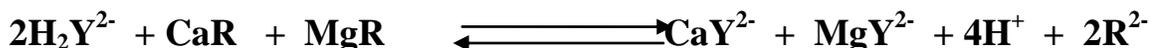
La formule simplifiée de l'EDTA est  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$ . En milieu aqueux ce sel se dissocie suivant l'équation :



Le N.E.T de formule brute  $\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{N}_3\text{NaO}_7\text{S}$  est représenté par  $\text{H}_2\text{R}$  et se dissocie suivant l'équation (Elimbi, 2011):



Au cours de la complexation, les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  réagissent avec les ions  $\text{R}^{2-}$  et  $\text{H}_2\text{Y}^{2-}$  suivant les équations suivantes :



Rouge vin

incolore

bleu

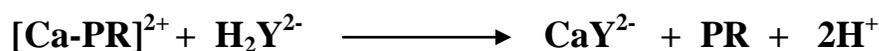
- **Titre Hydrotimétrique Calcique (THCa)**

Le THCa est déterminée par complexation des ions  $\text{Ca}^{2+}$  avec l'EDTA. Le pH de la solution est compris entre 12 et 13. Par addition de la soude, les ions  $\text{Mg}^{2+}$  sont ainsi éliminés par précipitation sous forme d'hydroxyde de magnésium ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) et n'interviennent pas dans le dosage. L'indicateur coloré utilisé est le murexide (on peut aussi utiliser le réactif de Patton et Reeder (PR)) qui vire du rouge vin au violet lorsque tous les ions  $\text{Ca}^{2+}$  sont complexés par l'EDTA. Les équations de la réaction sont (Tonle, 2004):



Bleu

Rouge





La dureté calcique exprimée en mg/L et méq/L pour un dosage sur un échantillon de 100 mL et avec un complexon N/50 est donnée par les expressions (Nazaire et *al.*, 2002) :

$$\text{TH}_{\text{Ca}} \text{ (mg/L)} = 4,008V_{\text{THCa}} \text{ et } \text{THCa} \text{ (méq/L)} = 0,2x V_{\text{THCa}} \text{ (méq/L)}$$

Où  $V_{\text{THCa}}$  est le volume du complexon délivré par la burette (Nazaire et *al.*, 2002).

- **Titre Hydrotimétrique Magnésique (THMg)**

La dureté magnésienne est déduite de la dureté totale (Nazaire et *al.*, 2002) :

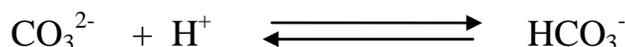
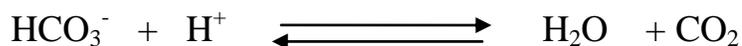
$$\text{THT} = \text{TH}_{\text{Ca}} + \text{TH}_{\text{Mg}}$$

$$\text{TH}_{\text{Mg}} = \text{THT} - \text{TH}_{\text{Ca}}$$

D'où  $\text{TH}_{\text{Mg}} = 2,431(V_{\text{THT}} - V_{\text{THCa}})$  en mg/L et  $\text{TH}_{\text{Mg}} = 0,2 (V_{\text{THT}} - V_{\text{THCa}})$  en méq/L

➤ **Détermination de l'alcalinité de l'eau**

Par définition, l'alcalinité est la capacité des eaux à neutraliser les ions  $\text{H}^+$ . De façon générale, l'alcalinité d'une eau est due à la présence dans cette dernière des anions (bicarbonates, carbonates et hydroxydes) et des hydroxydes alcalins (Na, K) ou alcalino-terreux (Ca, Mg) (Xhelal et *al.*, 2014). Les réactions chimiques qui rendent compte de l'alcalinité de l'eau se traduisent généralement par les équations ci- après :



La détermination du titre alcalimétrique (T.A) et du titre alcalimétrique complet (T.A.C) est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré. Ceci dans le but de déterminer l'alcalinité.

- **Détermination du Titre Alcalimétrique (T.A)**

**Le Titre Alcalimétrique (TA)** ou titre alcalimétrique simple mesure la teneur en alcalis libres et en carbonates suivant l'expression :

$$TA = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] \quad \text{avec } [X] \text{ en } \text{meq.l}^{-1}$$

- **Détermination du Titre Alcalimétrique Complet (T.A.C)**

**Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC)** mesure la teneur de l'eau en ions carbonates, en ions hydroxydes et en ions hydrogénocarbonates. Il exprimera l'alcalinité totale de l'eau. Sa formule est la suivante:

$$TAC = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] \quad \text{avec } [X] \text{ en } \text{meq.l}^{-1}$$

Les ions hydrogénocarbonates sont neutralisés par une solution d'acide sulfurique N/50 jusqu'au point équivalent. L'indicateur de fin de réaction est le méthyl orange. La détermination de la variation du pH en fonction du volume d'acide permet de déterminer le point d'équivalence avec une grande précision.

Soit V le volume d'acide sulfurique à N/50 délivré par la burette, le titre alcalimétrique exprimé en méq/L pour un échantillon d'eau de 100mL à examiner est donné par l'expression:

$$T.A.C = C_{\text{HCO}_3^-} \times 0,1 = 0,02 \times V(\text{méq/L})$$

$$T.A.C = 0,2 \times V (\text{méq/L}) \text{ et } T.A.C = 12,2 \times V (\text{mg/L})$$

Pour  $4,5 < \text{pH} < 8,3$ , ce qui est le cas des eaux naturelles les seules espèces alcalines mesurables par le titrage sont les ions hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) (Xhelal et *al.*, 2014).

❖ **Dosage colorimétrique**

La colorimétrie tire son fondement de la loi de Beer-Lambert. La méthode colorimétrique est donc basée sur la mesure de l'intensité d'un faisceau lumineux monochromatique (émis par une source S) de longueur d'onde  $\lambda$  avant ( $I_0$ ) et après (I) la traversée d'une épaisseur connue de la solution contenant l'élément à doser. La lumière correspondante doit être absorbable par l'élément à doser. La différence ( $I_0 - I$ ) a été absorbée par le liquide (Rouessac, 2004). La concentration, la nature de l'élément à doser

et l'épaisseur de la substance traversée sont les facteurs qui déterminent la quantité ( $I_0 - I$ ) suivant la loi de Beer-Lambert qui s'exprime mathématiquement comme suit :

$$A = D.O = \log (I_0 / I) = \epsilon.l.C \quad \text{Loi de Beer-Lambert}$$

Où A est l'absorbance, D.O la densité optique,  $I_0$  l'intensité lumineuse incidente, I l'intensité lumineuse transmise,  $\epsilon$  le coefficient d'extinction molaire caractéristique de la substance étudiée à une longueur d'onde donnée en  $L.mol^{-1}.cm^{-1}$ , L l'épaisseur traversée en cm et C la concentration en  $mol.L^{-1}$ .

Les mesures d'absorbance et le spectre des solutions sont déterminés à l'aide d'un spectrophotomètre (Aqualytic Spectro Direct). A l'aide d'une longueur d'onde donnée ; On obtient une absorbance A ( $\lambda$ ) et sur une gamme de longueur d'onde, on obtient un spectre. L'échantillon est introduit dans un tube transparent de 10ml et placé dans le spectrophotomètre pour lecture. Le fonctionnement de l'appareil obéit à la loi de Lambert Beer. Notre spectrophotomètre détermine uniquement l'absorbance des composés qui absorbent dans la lumière du visible (330-900nm). A partir de l'absorbance obtenue, il est possible de calculer la concentration de l'échantillon par rapport à l'absorbance d'un échantillon étalon (eau distillée...) (Rouessac, 2004).

#### ❖ Dosage par émission de flammes

Les atomes obtenus par excitation thermique dans la flamme émettent des radiations dans le spectre du visible pour retourner à l'état fondamental. La longueur d'onde de la radiation émise est spécifique à l'élément qu'il émet et l'intensité de cette radiation est proportionnelle à la concentration de l'élément cherché (Dixit et *al.*, 2015).

- **Dosage des ions  $Na^+$  et  $K^+$**

Le titrage des ions sodium et potassium a été réalisé par photométrie à flamme à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme de marque JENWAY. On enregistre les intensités d'émission par pulvérisation de l'échantillon à analyser dans la flamme à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique avec flamme de type « spectro direct ». Les

courbes d'étalonnage permettent la détermination des concentrations en sodium et en potassium. L'appareil utilisé est le « flamme photo METER de type spectrodirect ».

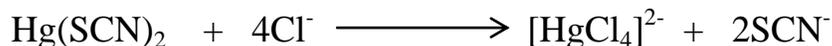
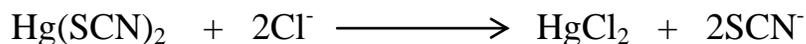
#### ❖ Dosage spectrophotométrique

- **Fer total (Fe<sup>2+</sup> et Fe<sup>3+</sup>)**

On se base ici, sur la réduction des ions fer(III) en ions fer(II) par l'hydrosulfite de soude en milieu tamponné à l'ammoniaque (50%). Les ions fer(II) obtenus, donnent avec le diméthylglyoxine un complexe rouge orangé. La concentration du Fer est déterminée par comparaison visuelle à l'aide de couleur étalonnée (Rodier, 1984).

- **Ions chlorures (Cl<sup>-</sup>)**

Les analyses des ions chlorures ont été effectuées à l'aide d'un *Kit spectroquant* chlorure test (Merk). Les chlorures réagissent avec le mercure (II) thiocyanate pour donner le mercure (II) chlorure et les anions chloromercurates (II). Il y a libération du thiocyanate qui, en solution nitrique (0,1N) forme le nitrate de fer (III), le thiocyanate de fer(III) de couleur rouge orange est dosé en mesurant sur absorbance à la longueur d'onde 450nm au spectrophotomètre (Aqualytic Spectro Direct). Des solutions standard de chlorure ont été utilisées pour obtenir une droite d'étalonnage à 450nm de longueur d'onde (Rodier,1984).



- **Dosage des ions nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Les nitrates ont été déterminés grâce à un *Kit spectroquant* nitrates Test (Merck). On a prélevé 1,5ml de notre échantillon à analyser et mélangé avec 5ml de réactif étiqueté NO<sub>3</sub>-2 contenant de l'acide sulfurique concentré et une micro-cuillère de réactif étiqueté NO<sub>3</sub>-1 contenant un dérivé de l'acide benzoïque. Après 10 min de réaction, la solution

est dosée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 515 nm (Aqualytic SpectroDirect). La concentration de  $\text{NO}_3^-$  est déterminée par le pic d'absorption à la longueur d'onde 515nm également utilisé pour une droite d'étalonnage.

- **Dosage des ions sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

Dans un tube à essai contenant des ions sulfates, ajoutons-y quelques gouttes d'acide chlorhydrique puis quelques gouttes de solution de baryum, on observe qu'il y'a eu précipitation du sulfate de baryum. Le précipité obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween. Les suspensions homogènes sont mesurées par le spectrophotomètre (Aqualytic Spectro Direct) à la longueur d'onde 650nm (Kalyana et Rupa, 2014). Des solutions standard de sulfate ont été utilisées pour avoir une droite d'étalonnage à la longueur d'onde 650nm.

- **Dosage des ions aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ )**

En milieu tampon acétique, l'aluminon ou aurine tricarboxylate d'ammonium donne avec les sels d'aluminium une coloration rouge susceptible d'un dosage spectrométrique (Kalyana et Rupa, 2014). La solution est dosée à l'aide d'un spectrophotomètre de longueur d'onde  $\lambda = 525 \text{ nm}$ .

Les techniques expérimentales sont les éléments essentiels nous permettant d'avoir des informations sur le devenir des échantillons. Elles sont entre autres : l'échantillonnage qui conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée, puis, l'analyse chimique quantitative qui permet de déterminer les concentrations des ions présents dans les échantillons. Ces techniques expérimentales nous ont permis de déterminer le pH et la conductivité des échantillons à analyser. Elles ont également permis de déterminer la nature et les concentrations des espèces présentes dans ces derniers. Les résultats ainsi obtenus feront l'objet du chapitre suivant.

## **CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

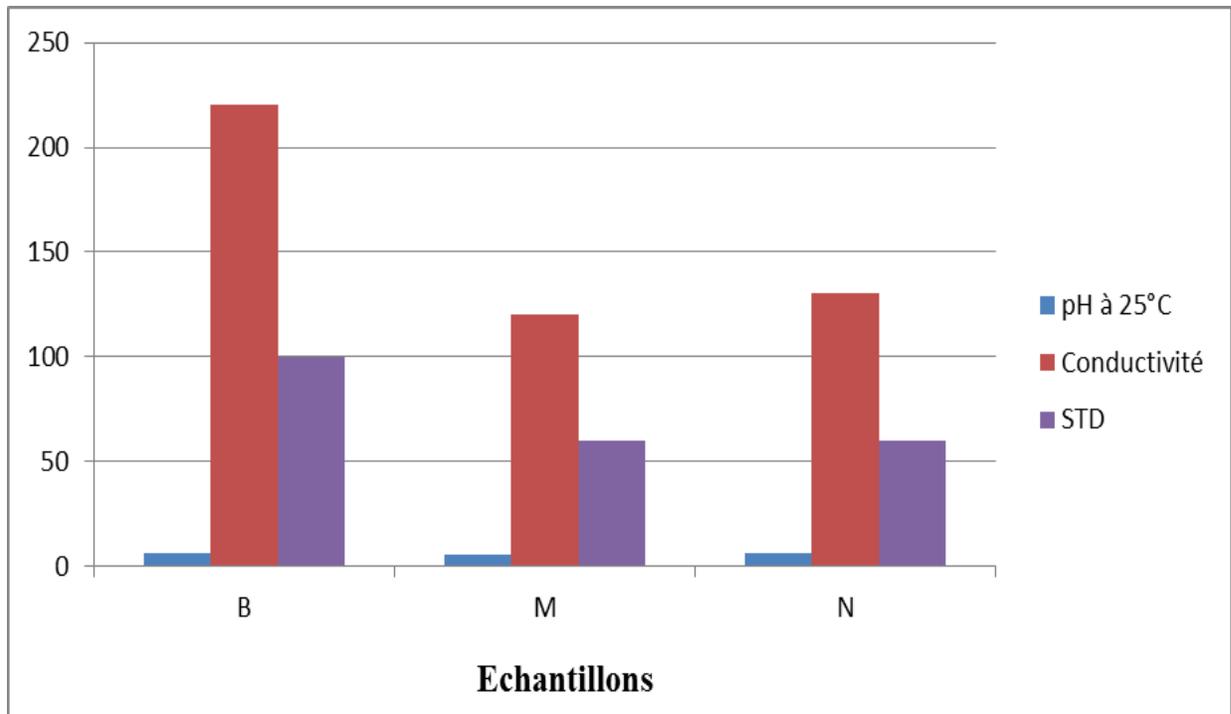
Dans les chapitres précédents, nous avons tout d'abord parlé des généralités sur les eaux, ensuite des différentes méthodes d'analyses et enfin dans ce chapitre nous exposerons les résultats obtenus des différentes analyses effectuées et nous y apporterons des essais d'interprétation afin de donner une idée sur la qualité des eaux de source sujet de cette étude.

### 3.1 Présentation des résultats et essais d'interprétation des facteurs physico-chimiques

Les résultats des paramètres physico-chimiques des échantillons d'eaux analysés ainsi que les normes auxquelles ils sont soumis sont présentés dans le tableau 7 ci-dessous :

**Tableau 7** : Résultat des paramètres physico-chimiques

<b>Echantillons</b> <b>Paramètres</b>	<b>B</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>Norme de l'O.M.S</b>	<b>Norme Camerounaise</b>
pH à 25°C	5.9	5.4	6.1	6,5 -8,5	6,5 – 9
Conductivité (µS/cm)	220	120	130	<1000	-
STD (mg/l)	100	60	60	<1000	-
MES (mg/l)	0	0	0	-	-



**Figure 8 :** Histogramme des paramètres physico-chimiques en fonction des échantillons étudiés.

Il ressort de ces résultats que les eaux de nos différentes sources étudiées sont toutes acides car les valeurs de leurs pH sont inférieures aux valeurs que recommandent l'O.M.S (6,5-8,5) et le Cameroun (6.5-9). Cette acidité serait en majorité due à la présence du dioxyde de carbone libre dans ces eaux. En effet, la teneur élevée de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) libre dans les eaux souterraines est causée par les oxydations anaérobiques des matières organiques par les bactéries. Dans ces conditions, le  $\text{CO}_2$  résultant n'a pas de possibilité de s'échapper dans l'atmosphère (Abdoulaye, et *al.*,1991).

Pour ce qui est de la conductivité et des STD, les mesures font apparaître que les valeurs obtenues sont en moyenne très faibles par rapport aux normes de l'O.M.S. Les valeurs de la conductivité seraient dues au lessivage du sol par les eaux d'infiltration favorisant l'augmentation de la teneur des eaux en ions  $\text{HCO}_3^-$ .

La salinité (STD) est représentée par les sels totaux dissous dans notre eau de source. Les résultats des STD de nos trois échantillons sont faibles et conformes aux normes de l'OMS. Ceci serait dû à la faible dissolution des sels dans l'eau indiquant que

des polluants nuisibles comme le fer, le manganèse, le nitrate et l'arsenic... pourraient être absents ou en faible quantité dans nos eaux de source (Rodier J., 1976).

Enfin concernant les MES, les résultats montrent qu'elles ne sont pas présentes dans nos trois échantillons et qu'elles respectent toutes les normes camerounaises et celles de l'OMS. Nous n'avons pas mesuré la turbidité au cours de nos analyses, mais cependant nous pouvons la déduire des résultats des MES. A cet effet, nous pouvons dire que nos trois échantillons d'eau sont claires car leurs MES sont nulles et par conséquent leurs turbidités  $NTU < 5$ .

Il en résulte d'une manière générale que l'analyse des facteurs physico-chimiques réalisée est satisfaisante vis-à-vis des recommandations normatives ; à l'exception du pH. Cependant, nous allons déterminer les espèces chimiques en présence en faisant l'analyse qualitative.

### **3.2 Présentation des résultats et essais d'interprétation de l'analyse chimique qualitative**

Les résultats obtenus seront présentés en fonction des trois échantillons étudiés sous forme de tableau où les signes + et - signifient respectivement présence et absence d'éléments (ions). Ce tableau est le suivant :

**Tableau 8:** Résultat des analyses qualitatives

<b>Echantillons</b> <b>Paramètres</b>	<b>B</b>	<b>M</b>	<b>N</b>
Cl <sup>-</sup>	+	+	+
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+	+	+
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	+	+	+
HO <sup>-</sup>	-	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+	+	+
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	-	-	-
K <sup>+</sup>	+	+	+
Na <sup>+</sup>	+	+	+
Ca <sup>2+</sup>	+	+	+
Mg <sup>2+</sup>	+	+	+
Fer total	+	+	+
Al <sup>3+</sup>	-	-	-

Ces résultats nous montrent que les ions présents dans nos trois échantillons sont : K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et Fer total et ceux qui sont absents sont : Al<sup>3+</sup>, HO<sup>-</sup> et CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Ils nous font aussi constater que nos trois échantillons ont la même composition chimique qualitative. Au terme de cette analyse, nous ne pouvons pas affirmer que les risques toxicologiques sont inexistant car, compte tenu des réactifs et des appareils mis à notre disposition nous n'avons pas étudié les métaux lourds. Cependant, il apparaît l'indice de pollution du fait de la présence des ions nitrates et du Fer total qui sont des substances indésirables. En dehors de ces substances, notre inquiétude réside aussi au niveau des teneurs des substances présentes dans nos différents échantillons car tout élément, même indispensable au-delà d'une certaine teneur devient nuisible pour la santé (Beauvineau, 2009). C'est la raison pour laquelle nous allons nous intéresser aux résultats des analyses quantitatives qui pourront nous fournir des éclaircissements.

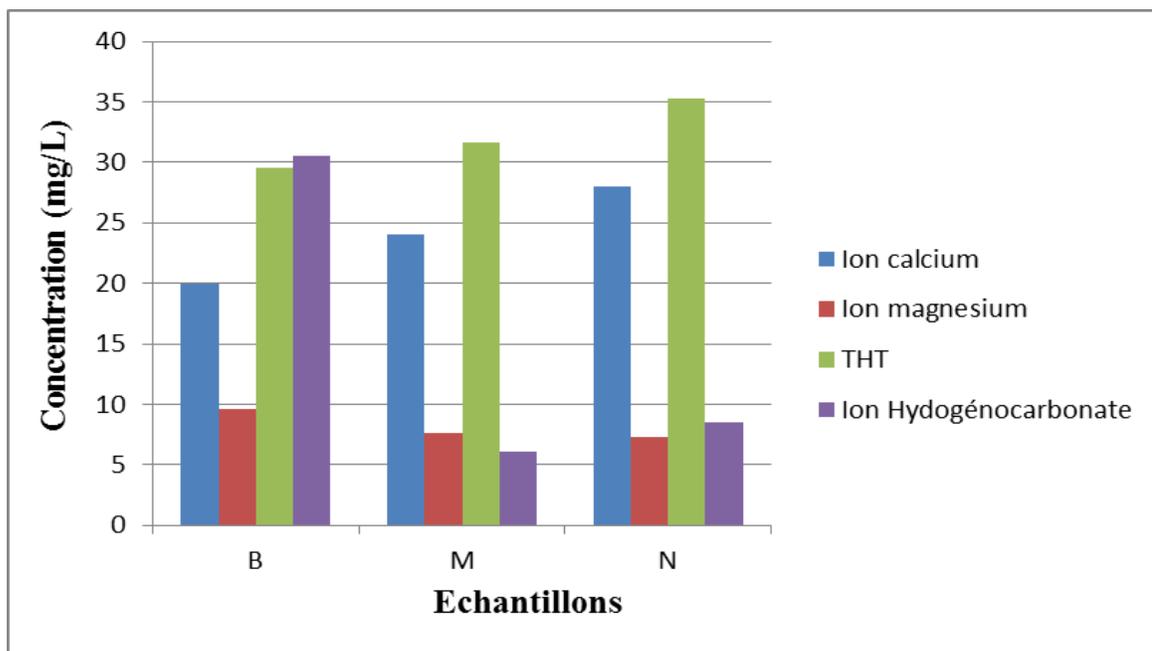
### 3.3 Présentation des résultats et essais d'interprétation de l'analyse chimique quantitative

#### 3.3.1 Dosage volumétrique

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous donnant les concentrations des ions calcium, magnésium, hydroxyde, carbonate, hydrogénocarbonates et du THT en fonction de nos différents échantillons, de la norme camerounaise et celle de l'O.M.S.

**Tableau 9** : Résultat du dosage volumétrique.

<b>Echantillons</b> <b>Paramètres (mg/l)</b>	<b>B</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>Norme de</b> <b>L'O.M.S</b> <b>(OMS, 2006)</b>	<b>Norme</b> <b>Camerounaise</b> <b>(Guergazi et Achour,</b> <b>2005)</b>
Ca <sup>2+</sup>	20	24	28	≤ 100	≤ 100
Mg <sup>2+</sup>	9,6	7,6	7,3	≤ 50	≤ 50
THT	29,6	31,6	35,3	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	30,5	6,1	8,54	-	-
HO <sup>-</sup>	0	0	0	-	-
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0	0	0	-	-

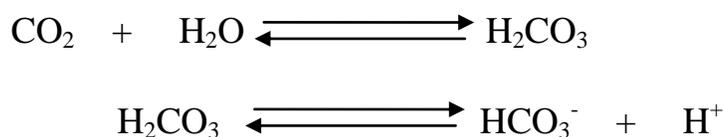


**Figure 9 :** Histogramme de la teneur en ions calcium, magnésium, hydrogénocarbonate et en THT en fonction des échantillons étudiés.

Les résultats obtenus à la fin du dosage volumétrique effectué nous montrent que les ions dosés ont des concentrations très faibles par rapport aux limites recommandées par les deux normes mentionnées dans le tableau et ce dans les trois échantillons. Ce qui nous permet de dire que nos échantillons sont très pauvres en calcium et en magnésium, éléments très importants dans l'organisme plus particulièrement pour les os et la lutte contre la fatigue respectivement. Nos eaux ne permettent pas aux consommateurs d'accumuler la quantité nécessaire pour le besoin de l'organisme. Nous pouvons aussi conclure que les eaux de nos sources sont très douces car les valeurs de THT sont toutes inférieures à 75 mg /L. La présence de l'ion magnésium dans ces eaux proviendrait du contact des eaux avec la biotite ( $\text{Si}_3\text{AlO}_8$ ) MgF en très faible quantité dans nos sources. Quant à celle de l'ion calcium, elle résulterait de l'altération du plagioclase anorthite ( $\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{Ca}$ ) (Abdoulaye et *al.*, 1991). De plus, nous constatons que la teneur en ions calcium est plus grande que celle en ion magnésium.

Concernant l'alcalinité, on se croirait dans un milieu basique. Ce terme ne signifie pas forcément que le pH de nos eaux est supérieur à 7. Néanmoins certaines eaux souterraines comme celles de nos trois sources avec un pH inférieur à 7 contiennent encore des sels qui

peuvent neutraliser les acides. Les ions hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) contribuent à l'alcalinité de nos eaux de source, sa formation résulte de l'hydrolyse de  $\text{CO}_2$  présent dans l'eau provenant des sols suivant les équations (Kanayochukwu, 2008) :



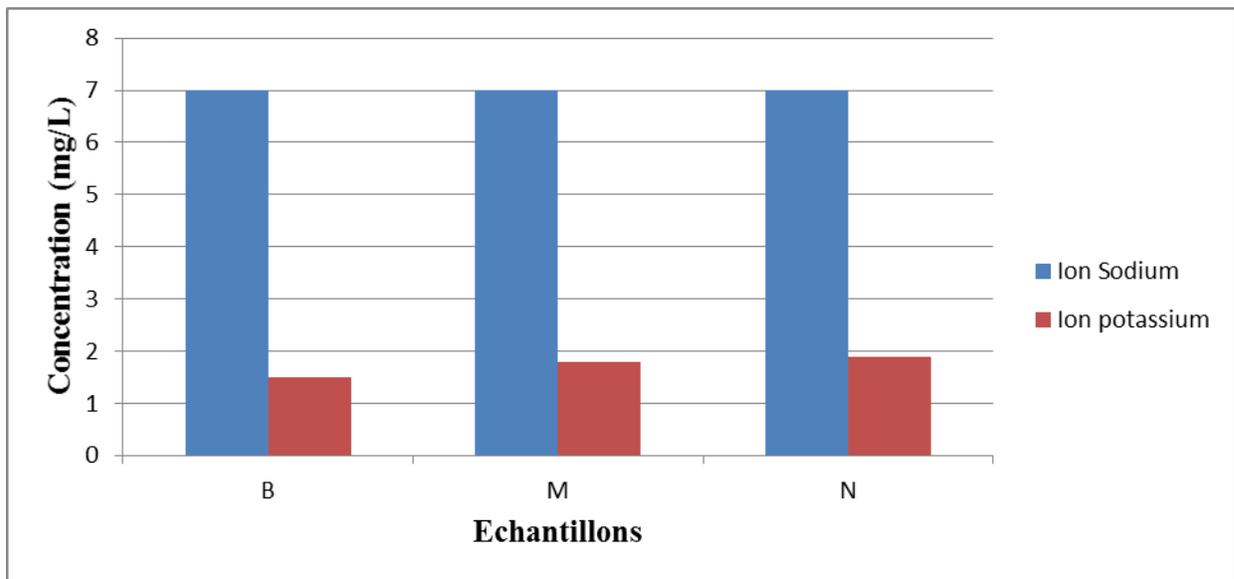
Le taux élevé de  $\text{CO}_2$  libre favorise la production des ions  $\text{H}^+$  et fait par conséquent diminuer le pH.

### 3.3.2 Dosage par émission de flamme

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous donnant les concentrations des ions sodium et potassium en fonction des échantillons, de la norme camerounaise et de celle de l'O.M.S.

**Tableau 10** : Résultats du dosage par émission de flamme.

<b>Echantillons</b> <b>Ions (mg/l)</b>	<b>B</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>Norme de l'O.M.S</b> (OMS, 2006)	<b>Norme Camerounaise</b> (Guergazi et Achour, 2005)
$\text{Na}^+$	7	7	7	$\leq 200$	$\leq 150$
$\text{K}^+$	1,5	1,8	1,9	-	$\leq 12$



**Figure 10 :** Histogramme de la teneur en ion sodium et potassium en fonction des échantillons étudiés.

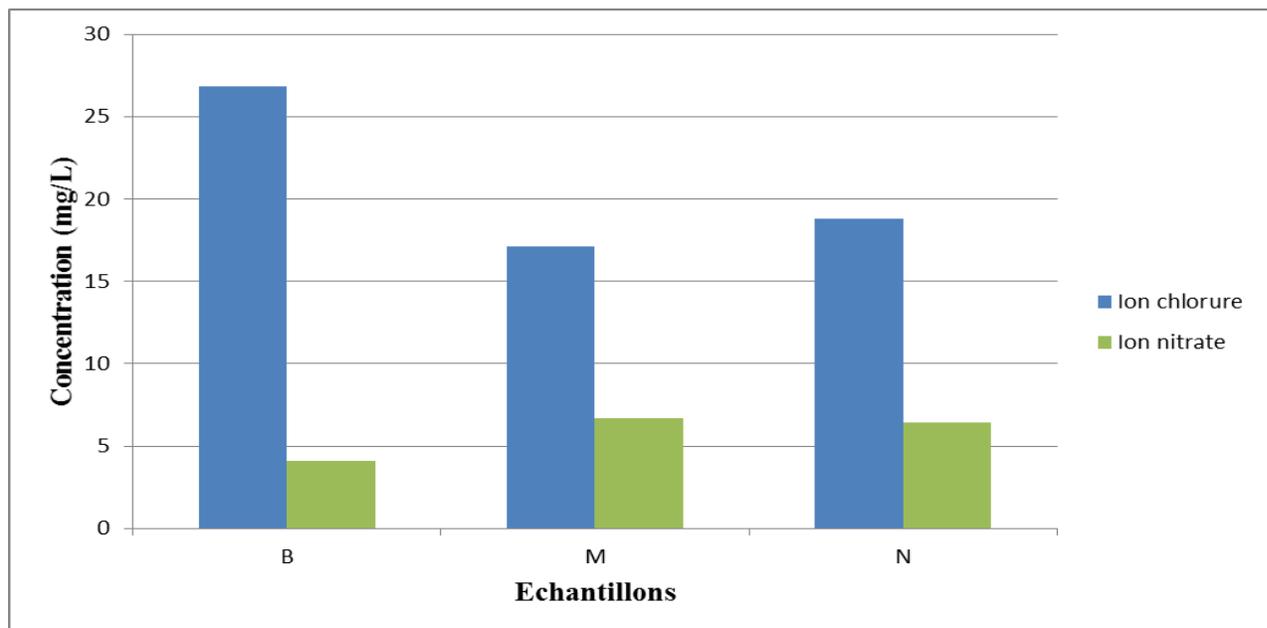
Le sodium et le potassium appartiennent au groupe des métaux alcalins. La haute solubilité du sodium fait que cet ion ne précipite presque jamais. En outre ces ions ne contribuent pas à la dureté des eaux souterraines. Les résultats ci-dessus montrent que les teneurs en ions sodium et potassium dans nos trois échantillons respectent les deux normes mentionnées dans le tableau malgré le fait qu'elles soient très faibles. Aussi ces trois échantillons contiennent plus d'ions sodium que d'ions potassium. Le sodium pourrait provenir de la dégradation des minéraux argileux comme le feldspath albite ou sodique de formule  $\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{Na}$  (Encarta, 2006). Et le potassium quant à lui proviendrait de l'altération des minéraux du gneiss comme le feldspath orthose ou potassique de formule  $\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{K}$  ou le mica blanc ou muscovite de formule  $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  (Abdoulaye et *al.*, 1991). Ces deux éléments sont importants pour l'organisme. Le sodium contrôle l'équilibre en eau de nos tissus et aide à transmettre l'influx nerveux. Il joue un rôle important dans la régulation du liquide extracellulaire et le maintien de l'équilibre acido-basique. Quant au potassium, il agit positivement sur les contractions musculaires, sur le bon fonctionnement des reins et des glandes surrénales (OMS, 2006).

### 3.3.3 Dosage par spectrophotométrie

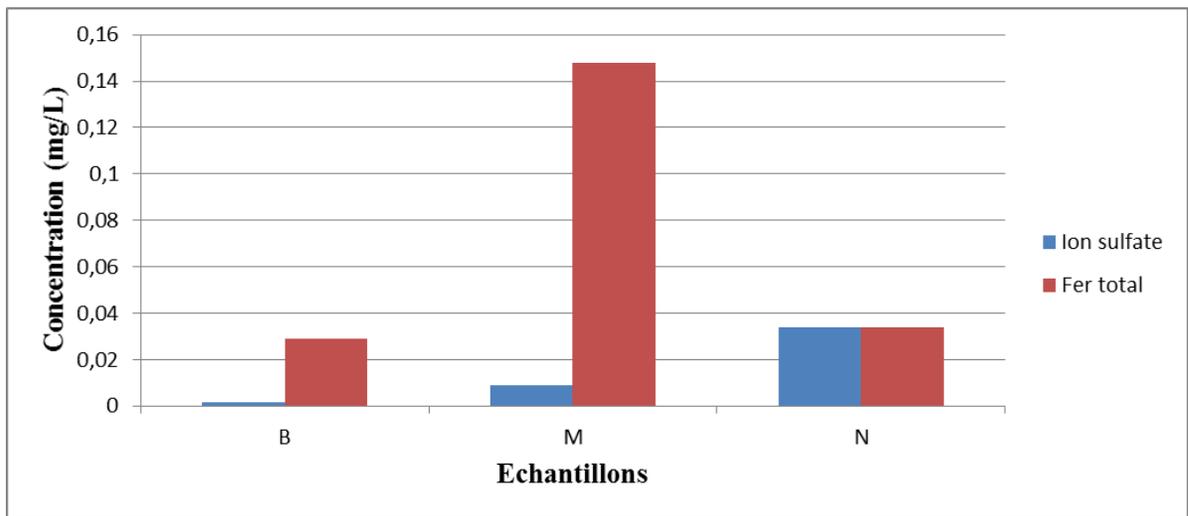
Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous donnant les concentrations des ions nitrates, chlorures, sulfates, aluminium et fer total en fonction de nos différents échantillons, de la norme camerounaise et de celle de l'O.M.S.

**Tableau 11** : Résultat du dosage spectrophotométrique.

Échantillons Ions (mg/l)	B	M	N	Norme de l'OMS (OMS, 2006)	Norme Camerounaise (Guergazi et Achour, 2005)
Cl <sup>-</sup>	26,81	17,11	18,81	≤ 200	≤ 200
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4,10	6,66	6,40	≤ 50	≤ 50
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,0015	0,009	0,034	≤ 500	≤ 250
Al <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	≤ 0,2	≤ 0,2
Fer total	0,029	0,148	0,034	≤ 0,2	≤ 0,2



**Figure 11** : Histogramme de la teneur en ions chlorure et nitrate en fonction des échantillons étudiés.



**Figure 12** : Histogramme de la teneur en Fer total et en ion sulfate en fonction des échantillons étudiés.

Les résultats ci-dessus montrent que toutes les teneurs des éléments mentionnés sur le tableau respectent les normes Camerounaise et de l’OMS.

Pour ce qui est de l’ion nitrate, nous pouvons dire qu’ils sont en très faible quantité dans nos différents échantillons. Cela peut être dû à l’éloignement des activités agricoles (utilisant des engrais) et à la réduction anaérobie des nitrates en ammonium catalysés par les bactéries. La présence des ions nitrates dans de l’eau est indicatrice d’une pollution donc ils doivent être éliminés parce qu’ils constituent un nutriment pour la croissance de certains micro-organismes. Du point de vue de la santé publique, la méthémoglobinémie (inhibition du transfert de l’oxygène vers les cellules) est considérée comme le risque principal lié à l’ingestion de quantités excessives de nitrate (Conseil Mondial de l’Eau, 2006). A cet effet, l’Organisation mondiale de la Santé a fixé à 50 mg/l la valeur guide à ne pas dépasser pour la consommation d’eau de boisson. Cette teneur maximale a été reprise par la Communauté européenne dans sa directive 98/83/CE du 3 novembre 1998 (OMS, 2006).

Aussi concernant le Fer total, sa présence dans nos trois échantillons proviendrait de l’altération du mica ou biotite de formule  $(Si_3AlO_8)MgFe$  (Encarta, 2006). Malgré le fait que le Fer soit une substance indésirable, il est un élément important pour la fabrication

d'hémoglobine, il contribue aussi à l'élévation de la minéralisation donc il est indispensable pour l'homme (Dixit et *al.*, 2015).

La présence des ions chlorures dans nos échantillons pourrait être due à l'utilisation des pesticides (produits organochlorés) dans les plantations situées aux voisinages des sites de prélèvement et qui s'y seraient retrouvés dans ces eaux suite à une érosion du sol.

### 3.4 Récapitulatif des résultats d'analyse

**Tableau 12 :** Récapitulatif des résultats de l'analyse.

Paramètres	Unité	B	M	N	Norme de l'OMS (OMS, 2006)	Norme camerounaise (Guergazi et Achour, 2005)
pH	-	5,9	5,4	6,1	6,5-8,5	6,5-9
Conductivité	µS/cm	220	120	130	<1000	-
Minéralisation	mg/L	169,3	113,7	123,2	-	-
STD	mg/L	100	60	60	<1000	-
MES	mg/L	0	0	0	-	-
Ion Potassium ( $K^+$ )	mg/L	1,5	1,8	1,9	-	≤12
Ion Sodium ( $Na^+$ )	mg/L	7	7	7	≤200	≤150
Ion Hydrogé-nocarbonate ( $HCO_3^-$ )	mg/L	30,5	6,1	8,54	-	-
Fer total ( $Fe^{2+} + Fe^{3+}$ )	mg/L	0,029	0,148	0,034	≤0,2	≤0,2
Ion Chlorure ( $Cl^-$ )	mg/L	26,81	17,11	18,81	≤200	≤200
Ion Nitrate ( $NO_3^-$ )	mg/L	4,10	6,66	6,40	≤50	≤50
Ion Aluminium ( $Al^{3+}$ )	mg/L	0,00	0,00	0,00	≤ 0,2	≤ 0,2
Ion Calcium ( $Ca^{2+}$ )	mg/L	20,00	24,00	28,00	≤100	≤ 100
Ion Magnésium ( $Mg^{2+}$ )	mg/L	9,6	7,6	7,3	≤50	≤50
Dureté totale (THT)	mg/L	29,6	31,6	35,3	-	-
Ion sulfate ( $SO_4^{2-}$ )	mg/L	0,0015	0,0090	0,0340	≤ 500	≤250
Ion hydroxyde ( $OH^-$ )	mg/L	0,00	0,00	0,00	-	-
Ion carbonate ( $CO_3^{2-}$ )	mg/L	0,00	0,00	0,00	-	-

### 3.5 Analyse de la potabilité de l'eau de nos différents échantillons

Porter un jugement sur la qualité des eaux de nos différentes sources nécessite une comparaison des résultats que nous avons obtenu après les analyses quantitatives aux valeurs limites de chaque paramètre pour qu'une eau soit potable, valeurs consignées dans le tableau 6 de la réglementation des eaux destinées à la consommation humaine présenté dans le chapitre 1. En résumé, nous pouvons considérer que de cette comparaison, les teneurs des ions  $K^+$  ;  $Na^+$  ;  $Ca^{2+}$  ;  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ... et les paramètres tels que la conductivité, les STD, la minéralisation et les MES sont conformes en teneur aux normes à respecter pour une eau potable. Cependant, le pH est en dehors des limites (6,5 - 9) recommandées par les deux normes mentionnées dans les tableaux des résultats de l'analyse. La présence des ions nitrates et du fer total sur ces échantillons est un indicateur de pollution et par conséquent, la potabilité des eaux des différentes sources étudiées se trouve compromise. Puisque la teneur de ces ions (nitrates, fer (II) et fer(III)) respecte les normes nous pouvons au final apprécier la potabilité de ces eaux. Pour plus de précision il serait mieux de faire des analyses bactériologiques et toxicologiques.

# **INTÉRÊTS PÉDAGOGIQUES**

Cette partie consiste à faire un lien entre ce présent travail de recherche et son apport pour notre future carrière d'enseignant. En effet, ce travail nous a permis de développer de nombreuses compétences à savoir : La recherche, la démarche scientifique, la synthèse des informations, les travaux pratiques au laboratoire et la maîtrise de l'outil informatique qui est aujourd'hui un accompagnateur incontournable pour l'enseignant. Tout ceci contribue à l'amélioration de la didactique des sciences physiques et plus précisément de chimie en ce sens où il permettra aux futurs enseignants que nous sommes de :

- De mieux préparer nos leçons en faisant des recherches, en les synthétisant afin d'avoir un bon cours ;
- De maîtriser les techniques de laboratoire à savoir : La préparation des solutions pour la réalisation des travaux pratiques, les réactions de dosage acido-basiques, les réactions d'oxydoréductions, les réactions de précipitations, les tests d'identification des ions pour les classes de seconde et troisième, les techniques d'échantillonnages et d'analyses... ;
- De maîtriser des technologies de l'information et de la communication qui nous aidera dans la saisie de nos épreuves d'évaluation et des documents pédagogiques.
- De faire des exercices de comparaison à partir des résultats escomptés et obtenus
- D'évaluer et surtout de vérifier si à la fin de la leçon les objectifs visés ont été atteints ;
- Familiariser les élèves avec le matériel de laboratoire ainsi que les manipulations ;
- Sensibiliser les élèves sur les conséquences de la pollution des eaux sur les humains et l'environnement ;
- Eduquer les élèves sur la nécessité de protéger les ressources en eau ;
- Eduquer les élèves sur les méthodes classiques de traitement des eaux ;
- Sensibiliser les élèves sur la protection de leur environnement ;
- Amener les élèves à avoir l'esprit de recherche à travers la façon de dispenser les cours ;
- Faire participer les élèves au cours à travers les exposés, les jeux de questions...

# **CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES**

Il était question dans ce travail de faire une étude des paramètres physico-chimiques des eaux de source situées dans les quartiers Bastos, Mimboman et Ngouso de la ville de Yaoundé, afin de vérifier leurs potabilités en fonction des normes prévues par la réglementation en vigueur. A l'issue de ce travail, la mesure des propriétés physico-chimiques de ces eaux de source a montré d'une part qu'elles sont acides, c'est-à-dire non conformes aux normes de l'OMS et du Cameroun (car leurs pH sont inférieures à la limite acceptable par les normes), et d'autre part conformes aux deux normes, puisqu'elles sont claires, très douces et de minéralisation moyenne pour l'eau du quartier Bastos et faible pour les deux autres quartiers.

Les résultats obtenus montrent que ces trois eaux de sources ont la même composition qualitative chimique, c'est-à-dire qu'elles contiennent toutes les éléments  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^{2-}$  et Fer total, et ne contiennent pas les ions  $Al^{3+}$ ,  $HO^-$  et  $CO_3^{2-}$ . Il ressort de l'analyse qualitative de nos échantillons l'existence des substances indésirables à savoir les ions nitrates et le fer total. Mais, heureusement l'analyse quantitative montre que tous ces éléments respectent les normes recommandées par l'OMS et le Cameroun. La teneur en calcium et en magnésium dans nos eaux est faible pourtant ce sont des éléments très importants pour l'organisme. Ce manque pourra être pallié par la consommation des fruits, légumes, et autres aliments riches en calcium et magnésium.

Ainsi, nous pouvons dire compte tenu de ces paramètres étudiés que nos eaux de source sont potables et convenables aux usages domestiques. Pour maintenir la valeur du pH entre 6,5 et 8,5 plusieurs options sont possibles à savoir l'utilisation des filtres de neutralisation, des systèmes d'échange d'ions et des systèmes avec pompe doseuse contenant une solution neutralisante qui peut être: La soude caustique, l'eau de javel, le bicarbonate de sodium...(Nouvelle-Écosse, 2008). Pour améliorer ce travail, il serait souhaitable d'effectuer une analyse complète (bactériologiques, toxicologiques etc...) de ces eaux de source, ceci dans le temps, pour un contrôle des contaminations potentielles.

# **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Abdoulaye D, Pastore P. and MAGNO F., Cah. Orstom, sér. Pédol., vol.26(3), pp. 259-262, (1991).
- Acharya G. D., Hathi M. V., Patel A. D., Parmar K. C., Chemical properties of groundwater in Bhiloda Taluka Region, North Gujarat. India, *E-Journal of Chemistry*, vol.5 (4), pp. 792-796, (2008).
- Afnor, 2001, Recueil Normes Environnement, Qualité de l'eau, 6e édition, AFNOR, Tome 2, 53p.
- Anor, 2001, norme camerounaise NC 05 : 2001- 02 portant sur la qualité des eaux minérales naturelles, Cameroun.
- Arnaud P., 1993, «cours de chimie physique », 3e édition, DUNOD Paris, 529p.
- Augea I., Iris C. et Arcauplan, 2008, YAOUNDE 2020 : plan directeur d'urbanisme, Rapport de présentation, Communauté Urbaine de Yaoundé, 120p.
- Beauvineau E., ENCPB/RN chimie – Janvier 2009, TP d'analyse qualitative et quantitative de différents ions.
- Canstany G., 1963, «traité pratique des eaux souterraines », DUNOD Paris, 657p.
- Codex alimentarius, 2007, l'eau, FAO et OMS, 1<sup>ère</sup> édition, Rome, Italie, 51p.
- conseil mondial de l'eau, 2006, Rapport final du quatrième forum mondial de l'eau, Mexico, 258p.
- Décret n° 2001-1220 du 20/12/01, relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles, France, (JO n° 297 du 22 décembre 2001).
- Defranceschi M., 2001, L'eau dans tous ses états, Ellipses, 74p.
- Degremont, 1989, Memento technique de l'eau, 9e édition, pp.1-25.
- De Villers Juliette, Squilbin Marianne, Yourassowsky Catherine date de mise à jour : novembre 2005.
- Diam A., 2007, Contrôle de la qualité des eaux par analyses physico-chimiques, Université HASSAN II-IPM, Maroc, 56p.

- Direction générale de la sante, 2005, La qualité de l'eau potable en France : Aspects sanitaires et réglementaires, Dossier d'information, Ministère de la Santé et des Solidarités, France, 43p.
- Dixit A. K., Pandey S. K., Mehta R., Niyaz A., Gunjan and Pandey J., Study of physico-chemical parameters of different pond water of Bilaspur District, Chhattishgarh, India, *Environmental Skeptics and Critics*, **vol.4** (3), pp. 89-95, (2015).
- El Morhit M. and Mouhir L., Study of physico-chemical parameters of water in the Loukkos river estuary (Larache, Morocco), *Environmental Systems Research*, **vol.3** (17), pp. 1-9, (2014).
- Elimbi, « cours de travaux pratiques de chimie inorganique (CHM 210) » UYI pp.5-26.
- Francis Rouessac, Annick Rouessac&Daniel Cruché,Analyse chimique, 6<sup>e</sup> édition, DUNOD, Paris p.24-98 (2004).
- Girgenti P., 2008, Paramètres de l'eau, SARL EAU PRO, 4p.
- Guergazi S. et Achour S., 2005, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 04, pp.119-127.
- HASSAN M. R., 2009, Al-bayati et Mahmood M. B., Afr. J. Pure Appl. Chem, Vol. 3 (9), pp. 165-169.
- Himangshu S. M., Amrita D. and Ashis K. N., Study of Some Physicochemical Water Quality Parameters of Karola River, West Bengal - An Attempt to Estimate Pollution Status, *International Journal of Environmental Protection*, **vol.2** (8), pp. 16-22, (2008).
- IBGE, 2005, Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement, Fiche 2, 16p.
- Jong S. K., Byung H. M., Sun T. K. et Jong H. K., 1998, *J. Chromatogr.* (813), pp. 85-90.
- J. Ebanga et A. Sipa « livre de chimie-physique-technologie 3<sup>e</sup> Classiques Camerounaises (édité aux Classiques Africaines) » 1<sup>ère</sup> édition (2002).

- Kalyana R. B., and Rupa K. G., Study on Determination of Physicochemical Parameters of Ground Water in Industrial Area of Pydibheemavaram, Vizianagaram District, Andhrapradesh, India, *Austin Journal of Public Health and Epidemiology*, **vol. 1** (2), 2p, 2014.
- Kanayochukwu N. J., Ebere O. O. and Obi E. L., Some physicochemical parameters of potable water supply in Warri, Niger Delta area of Nigeria, *Scientific Research and Essay*, **vol. 3** (11), pp. 547-551, (2008).
- Mesplede J., Queyrel L., 1990, Précis de chimie : solution aqueuse, Breal, 381p.
- OMS, 2006, Normes relatives aux lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable, 75p.
- Nazaire B. M. et ses collaborateurs, Sciences Physiques et Technologiques ; 3<sup>ème</sup> édition ; les Classiques africains ; 24 P. (2002).
- Nouvelle-Écosse au 1-877-9ENVIRO ou 1-877-936-8476 [www.gov.ns.ca/nse/water](http://www.gov.ns.ca/nse/water), 2008
- Organisation Mondiale de la Santé, Directives de la qualité pour l'eau de boisson, deuxième édition, Volume 1, Recommandations, Genève (2004).
- Recueil normes environnement, Qualité de l'eau, 6e édition AFNOR, Tome 1p.357-360, (2001).
- Rodier J., L'analyse de l'eau: eaux résiduelles, eaux naturelles, eaux de mer, Tome I, 5e Edition DUNOD, 629p, (1976).
- Rodier J., « L'analyse de l'eau: eaux résiduelles, eaux naturelles, eaux de mer », 7<sup>e</sup> Edition DUNOD, (1984).
- Rouessac F., Rouessac A., et Cruche D., Analyse Chimique : Méthodes et techniques instrumentales modernes. Dunod, Paris, 6<sup>e</sup> édition, 210p, (2004).
- Salghi R., 2010, Différentes Filières De Traitement Des Eaux, Université Ibn Zohr, ENSA Agadir, cours, 63p.
- Silvester H., Dupuis-Tate M. F., FISCHESSE B., 2000, L'Eau entre ciel et terre, Editions de La Martinière, France, 76p

- Takoufack Y., 2007, Etude des propriétés physico-chimiques des eaux de sources du Cameroun : Cas de la source de petit coin de Mendong Yaoundé, Mémoire de D.I.P.E.S II, Département de chimie, Ecole normale supérieure de Yaoundé 1, Université de Yaoundé 1, 64p.
- Tessema D. A., 2010, Chimie environnementale, Creative Commons, Université virtuelle Africaine, Version 2.5, 152p.
- Tonle Ignas.K. « cours de travaux pratiques de chimie inorganique (CHI18) » UDS pp.5-6.
- UFC, 2015, [www.ufc-aix.org](http://www.ufc-aix.org) – [aixenprovence@ufc-quechoisir.org](mailto:aixenprovence@ufc-quechoisir.org), Consulté le 27/12/2015.
- Xhelal K., Luan D., Ilir K., Determination of physico-chemical Parameters of water in biological minimum in The lake "RADONIQ", *European Scientific Journal*, **vol.3**, pp. 63-70, (2014).
- Yongjing C., LI J., Xiuling L. et Yan Z., 2006, *J. Chromatogr.* (1118), pp. 3–11.
- ZRA Nekanord, 2007, « contribution à l'étude des propriétés physico-chimiques des eaux du Cameroun : cas de la source « NTEM » à YAOUNDE », mémoire DIPES II, UYI ,54p.

# **ANNEXES**

## **Annexe 1 : Dosage complexométrique**

### **1.1. Titre hydrotimétrique total (THT)**

#### **1.1.1. Réactifs :**

- Solution tampon pH = 10 ;
- Noir Eriochrome T (NET) ;
- Complexon : solution d'EDTA N/50

#### **1.1.2. Mode opératoire**

- Prélever 100mL d'échantillon à l'aide d'une fiole jaugée et verser le dans un Erlenmeyer ;
- Ajouter 2 ml de solution tampon pH = 10 ;
- Ajouter quelques grains de NET en poudre ;
- Titrer avec le complexon en agitant jusqu'au virage du rouge au bleu

Le volume du complexon utilisé est noté  $V_{THT}$

$$THT \times V_{\text{échantillon}} = \frac{1}{50} \cdot V_{THT} \leftrightarrow$$

$$THT \times 0,1 = \frac{1}{50} \cdot V_{THT} \leftrightarrow$$

$$THT = 0,2 \times V_{(THT)} \quad (\text{még/L})$$

Où  $V(THT)$  est le volume du complexon délivré par la burette.

**Dureté Totale (THT) = Dureté calcique + Dureté Magnésienne**

Ces trois duretés s'expriment toutes en (mg/L)  $\text{CaCO}_3$

### **1.2. Dureté calcique (THCa )**

#### **1.2.1. Réactifs**

- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 1N
- Murexide
- Complexon (EDTA) N/50

Le pH est entre 12 et 13

### 1.2.2. Mode opératoire

- Prélever 100ml d'échantillon et verser dans un erlenmeyer
- Ajouter 10 ml de NaOH 1N ;
- Ajouter quelques grains de murexide ;
- Titrer avec le complexon en agitant jusqu'au virage de rouge au bleu.

Le volume du complexon utilisé est noté  $V_{\text{THCa}}$

**Dureté Calcique ( $\text{TH}_{\text{Ca}}$ ) en (mg/L) de  $\text{CaCO}_3 = 5 \times 10^{-4} \times N_{\text{EDTA}} \times V_{\text{EDTA}} / V_{\text{Éch}}$**

### **Annexe 2 : Dosage de sodium et de potassium par spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme**

#### 2.1. Réactifs

- Acide nitrique.
- Solution étalon de sodium à 1 g/L
- Solution étalon de potassium à 1 g/L

#### 2.2. Mode opératoire

- Projeter l'échantillon sous forme de goutte dans une flamme air-acétylène ;
- Effectuer les lectures au spectromètre de flamme à la longueur d'onde de 589 nm pour le sodium et 766,5 nm pour le potassium ;
- Régler le zéro de l'appareil avec de l'eau déionisée ;
- Se reporter à la courbe d'étalonnage.

### **Annexe 3 : Mesure du pH, des STD et de la conductivité**

#### 3.1. Appareil de mesure

Multimètre HANNA modèle HI9811-5 série PH/EC/TDS METER

#### 3.2. Mode opératoire

- Prélever 100ml d'échantillon
- Le mettre dans un bécher de 500 ml
- Placer l'électrode du multimètre dans le bécher

- Appuyer sur le bouton dont on veut connaître la valeur
- Lire les différents paramètres ainsi recherchés après stabilisation de l’affichage numérique du multimètre.

#### **Annexe 4: Dosage des nitrates**

##### **4.1. Réactifs**

- L’acide sulfurique concentré
- Réactif NO<sub>3</sub>-2
- Réactif NO<sub>3</sub>-1

##### **4.2. Mode opératoire**

- Prélever 1,5ml de l’échantillon à analyser ;
- Mélanger avec 5ml des réactifs NO<sub>3</sub>-2 contenant de l’acide sulfurique concentré et une micro-cuillère de réactif NO<sub>3</sub>-1 contenant un dérivé de l’acide benzoïque ;
- Après 10 min de réaction, doser la solution à l’aide d’un spectrophotomètre à une longueur d’onde de 515 nm (Aqualytic SpectroDirect) ;
- La concentration de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> est déterminée par le pic d’absorption à la longueur d’onde 515nm également utilisé pour une droite d’étalonnage.

#### **Annexe 5 : Dosage du fer total**

##### **5.1. Réactifs**

- Hydro sulfite de soude ;
- Diméthylglyoxine ;
- Ammoniaque 50%.

##### **5.2. Mode opératoire**

- Ajouter à 100 mL d’échantillon une pincée d’ Hydro sulfite de soude ;
- Secouer énergiquement jusqu’à solubilisation complète ;
- Verser 20 gouttes d’ammoniaque 50% dans la solution précédente ;
- Identifier à l’aide d’un comparateur étalon la coloration correspondante à l’échelle

de la plaquette du comparateur.

## **Annexe 6 : Dosage des chlorures**

### **6.1. Réactifs**

- Réactif Cl-1A
- Réactif Cl-2A

### **6.3. Mode opératoire**

- Prélever 2,5 mL d'échantillon et l'introduire le dans un tube à essai ;
- Ajouter 3 gouttes du réactif Cl-1A et 3 autres gouttes du réactif Cl-2A ;
- Introduire le mélange ainsi formé dans la cuve ;
- Mesurer à l'aide d'un spectrophotomètre de longueur d'onde  $\lambda=450$  nm l'absorbance de la solution obtenue ;
- Déduire la concentration correspondante en utilisant la courbe d'étalonnage des ions chlorures.

## **Annexe 7 : Détermination de l'alcalinité**

### **7.1. Détermination du TA**

#### **7.1.1 Réactifs**

- Phénophtaléine
- Acide sulfurique (0,02N)

#### **7.1.2. Mode opératoire**

- Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique ;
- Ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénolphtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul, ( $\text{pH} < 8,3$ ) ;
- Verser ensuite doucement l'acide sulfurique dans la fiole à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution ( $\text{pH} 8,3$ ).

Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage.

## 7.2. Détermination du TAC

### 7.2.1. Réactifs

- Acide sulfurique (1/50N)
- Solution de vert de bromocrésol et de rouge de méthyle

### 7.2.2. Mode opératoire

- Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration ;
- Ajouter 2 gouttes de solution de vert de bromocrésol et de rouge de méthyle ;
- Titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à disparition de la coloration bleu verdâtre et apparition de la couleur rose (pH 4,5). Le dosage doit être effectué rapidement pour réduire les pertes de CO<sub>2</sub> qui pourraient entraîner une élévation du pH de virage ;
- Soit V le volume d'acide 1/50 N versé depuis le début du dosage.

$$\text{TAC} = C_{\text{HCO}_3^-} \times 0,1 = \frac{1}{50} \times V(\text{még/L}) \leftrightarrow$$

$$\text{TAC} = 0,2 \times V \text{ (még/L)} \leftrightarrow 0,2 \times V/M_{\text{HCO}_3^-} \text{ (mg/L)}$$

$$\text{TAC} = 12,2 \times V \text{ (mg/L)}.$$

## Annexe 8 : Dosage des sulfates

### 8.1. Réactifs

- Solution d'acide chlorhydrique au 1/10.
- Solution de Tween 20 à 25 %.
- Solution de chlorure de baryum stabilisée

### 8.2. Mode opératoire

- Dans un tube, introduire successivement 50mL d'eau à analyser, 1 mL acide chlorhydrique au 1/10 et 5mL d'une solution de chlorure de baryum + Tween 20 ;

- Préparer dans les mêmes conditions un tube témoin en remplaçant l'eau à analyser par de l'eau déionisée ;
- Agiter énergiquement et laisser reposer 15 minutes ;
- Agiter de nouveau et faire les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 650 nm. Tenir compte de la valeur lue pour le témoin ;
- Se reporter à la courbe d'étalonnage.

## **Annexe 9 : Dosage des ions aluminium**

### **9.1. Réactif**

- Solution de paranitrophénol

### **9.2. Mode opératoire**

- Introduire dans une fiole conique de 250 mL, 50 mL d'eau à analyser ;
- Puis y introduire 1 goutte de solution de paranitrophénol ;
- Poursuivre le dosage comme pour l'établissement de la courbe d'étalonnage ;
- Préparer de la même façon un témoin avec 50 mL d'eau déionisée ;
- Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 525 nm ;
- Soustraire de l'unité d'absorbance lue pour l'essai la valeur indiquée pour le témoin ;
- Se reporter à la courbe d'étalonnage.

## **Annexe 10 : Mesure des MES**

### **10.1. Appareil de mesure**

- Dispositif de filtration sous vide ou sous pression (100 000 à 200 000 Pa) ;
- Disques filtrants en fibres de verre (plusieurs types de disques commerciaux sont disponibles, la porosité la plus communément utilisée est 1,2  $\mu\text{m}$ ).

### **10.2. Mode opératoire**

- Laver le disque de filtration à l'eau distillée ;

- Le sécher (105 °C) jusqu'à masse constante, puis le peser à 0,1 mg près après passage au dessiccateur ;
- Le mettre en place sur l'équipement de filtration ;
- Mettre en service le dispositif d'aspiration ou de pression ;
- Verser l'échantillon (V) sur le filtre ;
- Rincer la fiole ayant contenu l'eau à analyser avec 10 mL d'eau permutée ;
- Faire passer sur le filtre cette eau de lavage ;
- Laisser essorer le filtre, sécher à 105 °C ;

Laisser refroidir au dessiccateur et peser à 0,1 mg près, jusqu'à masse constante.

### **ANNEXE 11 : Photos des sites d'échantillonnages**



Mimboman



Bastos



Ngouso