

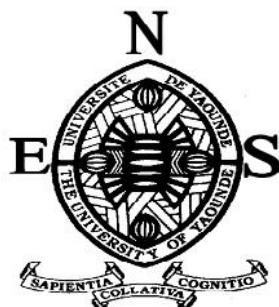
REPUBLICUE DU CAMEROUN

Paix-Travail-Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDÉ I

ECOLE NORMALE SUPERIEURE

DEPARTEMENT DE CHIMIE



REPUBLIC OF CAMEROON

Peace-Work-Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

HIGHER TEACHER TRAINING COLI

DEPARTMENT OF CHEMISTRY

LABORATOIRE DE CHIMIE INORGANIQUE DE L'ENS

LABORATORY OF INORGANIC CHEMISTRY OF ENS

Contribution à l'étude des paramètres
physico-chimiques de quelques eaux de forage
de la zone de Mendong - Simbock à Yaoundé

Mémoire rédigé et soutenu en vue de l'obtention du Diplôme de
Professeur de l'Enseignement Secondaire Deuxième Grade (DI.P.E.S II)

Par

NGUEFACK NDONGO Viviane

Licenciée en chimie

Matricule : 07T379

Sous la direction

Dr. MBOUMBOUO NDASSA Ibrahim

Chargé de cours

Année académique 2015-2016



DÉD CACE

Je dédie ce mémoire à :

DIEU, père tout puissant créateur du ciel et de la terre pour sa présence dans ma vie et pour toutes les grâces qu'il m'accorde ;

Ma feuë mère Mme DONGO née NINDJIO Martine qui, avec tendresse et rigueur a bâti mon éducation et s'en est allée après m'avoir inculqué l'esprit du travail bien fait ;

Mon fils FOZEU F. Chris Andy qui me donne la joie de vivre et la force de rédiger ce mémoire qui lui servira de modèle.



CERTIFICATION

Je soussigné, **Dr. Ibrahim MBOUOMBOUO NDASSA**, certifie que les travaux effectués par l'étudiant **NGUEFACK NDONGO VIVIANE**, matricule **07T379**, portant sur : « **Contribution à l'étude des propriétés physico-chimiques de quelques eaux de forage de la zone de Mendong-Simbock à 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

Yaoundé le,

REMERCIEMENTS

Conscient que nous ne pouvions réaliser ce travail sans le concours des autres, nous tenons à manifester notre reconnaissance aux personnes dont l'action à notre égard a été salutaire. Je témoigne ici l'expression de ma sincère et profonde reconnaissance :

Au Dr MBOUOMBOUO NDASSA Ibrahim qui m'a proposé ce sujet et dont le dynamisme et l'amour du travail bienfait resteront à jamais dans ma mémoire, je vous prie de trouver ici l'expression de ma profonde gratitude;

A tous les enseignants du département de chimie de l'ENS de Yaoundé : les professeurs FON ABI Charles chef du département, LAMBI N. John, KAPCHE W. Gibert D, KOUAM F. Siméon ; les docteurs NGANSOP Réné, WAFO Pascal, MBENE ainsi que ceux du département de physique et de science de l'éducation pour leurs disponibilités et la qualité de leurs enseignements reçus;

A mon époux FOKOUA N. Jean Marie qui n'a jamais ménagé aucun effort de me soutenir et de m'encourager ;

Particulièrement à papa KEMGOU Corentin, qu'il retrouve ici l'accomplissement de tous les conseils, et le soutien sans cesse qu'il m'apporte ;

A la grande famille FOZEU et NGUEFACK pour leurs soutiens multiformes ;

A mes frères KUTEKAM D. patrice, AZEUGO N. Eric F ; JIOFACK J. B. pour leur amour et leur encouragement. ;

A mes sœurs et belle- sœurs, pour leur amour et leur soutien inconditionnel ;

Je ne saurais oublier mes amies et camarades de promotion : DEMANOU Christelle, DJIEN Belline, NOUESI TAMO Nadège, NELO KENFACK Christelle, MOFFO Raïssa, DAWA Nadine pour leurs encouragements, leurs remarques et soutien moral.

A tous ceux qui de près ou de loin m'ont soutenu pour la réalisation de ce travail, qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude.

TABLE DES MATIÈRES

DÉD CACE.....	ii
CERT F CAT ON.....	iii
REMERC EMENTS	iv
TABLE DES MATIÈRES	v
RÉSUMÉ.....	ix
ABSTRACT	x
L STE DES ABRÉV AT ON S.....	xi
L STE DES F GURES.....	xii
L STE DES TABLAEUX.....	xiii
NTRODUCT ON GÉNÉRALE.....	1
CHAP TRE I : GÉNÉRAL TÉS SUR LES EAUX.....	2
I-ORIGINE DE L'EAU	2
II- CYCLE DE L'EAU.....	3
Figure 1 : cycle hydrologique de l'eau.....	3
III-STRUCTURE DE LA MOLECULE D'EAU	3
IV-LES ETATS DE L'EAU	4
IV-1- Eau à l'état vapeur	4
IV-2-Eau à l'état liquide.....	5
IV-3-Eau à l'état solide	5
V- PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU	6
V-1- Propriétés physiques de l'eau	6
V-2- Propriétés chimiques de l'eau.....	7
VI- LES CATEGORIES D'EAUX.....	8

VI-1- Eaux souterraines	8
VI-2 Eaux de surfaces	8
VII-RÔLES DE L'EAU DANS L'ORGANISME	9
VIII- CARACTÉRISTIQUES D'UNE EAU POTABLE.....	9
IX- TRAITEMENT DES EAUX POLLUÉES	10
IX-1 Traitement physique	10
IX-2- Traitement chimique.....	10
IX-3- Traitement biologique	10
IX-4- Traitement avancé	11
X- COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX	11
XI - NORMES DE QUALITÉ DES EAUX DE BOISSONS	11
CHAP TRE II : ÉCHANT LONNAGE ET MÉTHODES D'ANALYSES ...	14
I-ÉCHANT LONNAGE	14
I.1 Conditions de prélèvement	14
I.2 Codification des échantillons.....	15
I.3 Condition de conservation des échantillons.....	15
II. METHODES D'ANALYSES	16
II.1 Mesure des facteurs physico-chimiques de l'eau	16
i) pH.....	16
ii) Conductivité électrique et minéralisation	16
iii) Turbidité	17
iv) Sels Totaux Dissous (S.T.D.)	18
v) Dureté de l'eau	19
II.2 ANALYSES CHIMIQUES QUALITATIVES	20
II.2.1. Recherche des espèces cationiques	21

i).....Cations du groupe 0: K^+ ; Na^+	21
ii) Cations du groupe III : Al^{3+} , Fe^{3+}	21
iii) Cations du groupe V : Ca^{2+} , Mg^{2+}	22
II.2.2. Recherche des espèces anioniques	22
a) Recherche des ions chlorures (Cl^-).....	22
b) Recherche des ions nitrates (NO_3^-)	23
c) Recherche des ions sulfates (SO_4^{2-})	23
d) Recherche des ions carbonates (CO_3^{2-}).....	23
II.3. ANALYSES CHIMIQUES QUANTITATIVES	24
II.3.1. Dosages volumétriques.....	24
II.3.1.1 Dosage du calcium (Ca^{2+}) et du magnésium (Mg^{2+})	24
II.3.1.2 Dosage des ions chlorures (Cl^-) par précipitations.....	26
II.3.2. Détermination de l'acidité	27
II.3.3. Détermination de l'alcalinité	27
II.3.4. Détermination du Titre Alcalimétrique simple (T.A)	28
II.3.5. Détermination du Titre Alcalimétrique Complet (T.A.C).....	28
II.4. Dosage colorimétriques	28
II.4.1. Dosage du fer total par spectrophotométrie.....	29
II-4-2 Dosage des ions nitrates par spectrophotométrie.....	29
II-4-3 Dosage des ions sulfates	29
II-4-4 Dosage des ions aluminiums.....	30
II.5. Dosage par émission de flamme	30
CHAP TRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	31
I- PRÉSENTATIONS DES RÉSULTATS.....	31

I-1	RÉSULTAT DE L'ANALYSE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES.....	31
I.2	RÉSULTATS DE L'ANALYSE QUALITATIVE.....	34
I.3	RÉSULTATS DE L'ANALYSE QUANTITATIVE.....	35
I.3.1.	Volumétrie.....	35
I.3.2.	Présentation des résultats pour les substances indésirables et les paramètres en relation avec la structure naturelle des eaux.....	37
I.3.2.1	Ions déterminés par gravimétrie et par spectrophotométrie d'absorption atomique.....	38
I.3.2.2	Spectrophotométrie par absorption atomique.....	39
I-3-3	Ions déterminés par spectrophotométrie par émission de flamme.....	41
I.4	RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS.....	42
II-	ANALYSE DE LA POTABILITÉ.....	44
	INTÉRÊTS PÉDAGOGIQUES DU TRAVAIL EFFECTUÉ.....	45
	CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES.....	46
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	47
	ANNEXES.....	50

RÉSUMÉ

L'eau est indispensable à la vie. La consommation d'une eau de mauvaise qualité est source de nombreuses maladies. C'est la raison pour laquelle nous avons orienté notre recherche à l'étude des paramètres physico-chimiques de quelques eaux de forage de la zone de Mendong-Simbock situé dans l'arrondissement de Yaoundé VI.

Les méthodes expérimentales utilisées sont entre autres : La pH-métrie, la conductimétrie, la volumétrie, la colorimétrie, la spectrophotométrie d'émission de flamme et les mesures physicochimiques.

Les analyses qualitatives révèlent la présence des ions Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} et NO_3^- . Les résultats obtenus après différentes analyses montrent que ces eaux sont légèrement acides (pH compris entre 5,7 et 6,2), faiblement minéralisées (valeurs de la minéralisation comprises entre 50,0 et 94,8) mg/L.

La quasi-totalité des teneurs des éléments étudiés sont en accord avec les normes de potabilités recommandées par l'O.M.S et l'ANOR. Nous avons en outre décelé la présence des substances indésirables indicatrices de pollution à l'instar du NO_3^- et du Fer total. Mais ces valeurs sont très faibles pour inquiéter la santé des consommateurs.

Mots clés: eau, norme, analyse, potabilité, paramètres

ABSTRACT

Water is essential for life. The consumption of poor quality water provide diseases. That is why we focused our research on the study of physical and chemical parameters of drilling waters of Simbock quarter situated in the Yaoundé VI district. The different experimental methods used are pH-metric, conductimetric, volumetric, colorimetric, spectrophotometric of flame and physical and chemical measures.

The qualitative analyses reveals the presence of Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , HCO_3^- , Cl^- , and NO_3^- ions.

It is also found that these water are lightly acid (the pH range between 5,7 and 6,2), and weakly mineralized (value of mineralization range between 50,0 and 94.8 mg/L).

Almost all the values of the parameters searched in these waters are in compliance with what WHO and cameroonian agency for standards and quality (ANOR) require. we also found unwanted substances such as nitrate and total ion. But these values are too small to affect the health of consumers.

Keys words: water, standard, analyses, drinkable, parameters

LISTE DES ABRÉVIATIONS

- ANOR** : Agence camerounaise des Normes et de la Qualité
- CEE/UE** : Communauté Économique Européenne/Union Européenne
- CHM** : Chimie
- EDTA** : Acide Ethylène Diamine Tétra acétate de sodium.
- E_i** : Équation i
- ENS** : École Normale Supérieure
- F** : Fashion
- G** : Gentil
- L** : Littoral
- MES** : Matières En Suspensions
- O.M.S** : Organisation Mondiale de la Santé
- R_i** : Relation i
- S.T.D** : Sels Totaux Dissous
- TA** : Titre Alcalimétrique
- TAC** : Titre Alcalimétrique Complet
- TH** : Titre Hydrotimétrique
- TH_{Ca}**: Titre Hydrotimétrique Calcique
- TH_{Mg}**: Titre Hydrotimétrique Magnésien
- THT** : Titre Hydrotimétrique Total
- UTN** : Unité de Turbidité Néphélométrique
- UE** : Unité d'Enseignement
- UY1** : Université de Yaoundé 1
- WHO** : World Health Organization

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Cycle hydrologique de l'eau	3
Figure 2 : Structure polarisée de la molécule d'eau.....	4
Figure 3 : Structure de l'eau à l'état vapeur.....	4
Figure 4 : Structure de l'eau à l'état liquide	5
Figure 5 : Structure tétraédrique de la glace.....	5
Figure 6 : Conductivité, STD et pH en fonction des sites	32
Figure 7 : Teneur en calcium et magnésium en fonction des sites.....	36
Figure 8 : Teneur en aluminium et sulfate en fonction des sites	38
Figure 9 : Teneur en nitrate, fer total et chlorure en fonction des sites.....	39
Figure 10 : Teneur en sodium et potassium en fonction des sites.....	41

L STE DES TABLAEUX

Tableau 1 : Variation de la masse volumique en fonction de la température à P=1bar.....	6
Tableau 2 : Besoin en eau du corps humain en fonction de l'âge.....	9
Tableau 3 : Réglementation de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.....	13
Tableau 4 : Conservation des échantillons.....	15
Tableau 5 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité	17
Tableau 6 : Relations entre conductivité et la minéralisation à 20°C	17
Tableau 7 : Qualité de l'eau en fonction de la turbidité.....	18
Tableau 8 : Goût de l'eau avec différente concentrations de S.T.D.....	19
Tableau 9 : Dureté de l'eau fonction de T.H.T.....	20
Tableau 10 : Mesure des paramètres physico-chimiques	31
Tableau 11 : Résultats des analyses qualitatives	34
Tableau 12 : Résultats du dosage volumétrique	35
Tableau 13 : Résultats des ions déterminés par gravimétrie	38
Tableau 14 : Résultats des ions déterminés par absorption atomique.....	39
Tableau 15 : Résultats spectrophotométrie par émission de flamme	41
Tableau 16: Récapitulatif des résultats	43

INTRODUCTION

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau est indispensable pour les êtres vivants car la plupart des processus dans la vie dépendent d'elle (OMS 2003). Elle est utilisée dans plusieurs secteurs d'activités notamment en agriculture pour l'irrigation, en industrie pour la production d'énergie, de la vapeur et comme boisson ou ingrédient dans les préparations alimentaires. Pour chacune de ces usages, l'eau doit obéir à une qualité chimique, physique et microbiologique bien précise. Pour ce qui est de l'eau à usage domestique, les hommes s'approvisionnent soit directement à partir des eaux de surface (sources ; rivières ou fleuves) où soit à partir des eaux souterraines provenant de la nappe phréatique (puits artisanaux, forages) (Yan2010). Cependant l'accès n'est pas toujours évident.

Face aux difficultés d'accès à l'eau courante, les populations utilisent de plus en plus les forages pour s'approvisionner. Cependant, nous pouvons nous poser la question de savoir, quels sont leurs caractéristiques physicochimiques ? Sont-elles en conformité avec les normes réglementaires (OMS et camerounaise) prévues pour les eaux destinées à la consommation humaine ? C'est dans cette optique qu'il nous a été demandé de réaliser une étude des propriétés physico-chimiques des eaux de forage consommées par les habitants du quartier Mendong-Simbock à Yaoundé.

Il s'agit de façon globale de vérifier la potabilité de trois eaux de forage choisies en fonction de leur sollicitation par les populations dans ledit quartier. Plus spécifiquement, d'évaluer leurs différents éléments chimiques constitutifs, de comparer leurs teneurs par rapport aux valeurs normatives et de faire des recommandations aux populations qui les consomment.

Pour y parvenir, nous commencerons par parler des généralités sur l'eau ; puis nous poursuivrons avec la présentation des techniques d'échantillonnage ainsi que des techniques d'analyse utilisées ; ensuite, nous présenterons les résultats obtenus avec un essai d'interprétation et enfin les conclusions et perspectives qui en découlent.

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LES EAUX

CHAP TRE I : GÉNÉRAL TÉS SUR LES EAUX

L'eau est le composé essentiel pour tous les organismes vivants et intervient dans de nombreuses réactions chimiques et biochimiques. Son adaptation à une utilisation donnée (potabilisation, traitement pour un processus,...) nécessite de connaître ses caractéristiques physico-chimiques. Cependant, avant de la caractériser, il est important de connaître son origine et son cycle.

I-ORIGINE DE L'EAU

La terre est encore appelée planète bleue parce que l'eau occupe plus de la moitié de sa surface. Jusqu'à présent l'origine de l'eau n'a pas encore été élucidée. De nos jours, plusieurs idées s'opposent et se complètent :

- Pour certains, cette eau proviendrait des comètes qui se seraient écrasées sur la terre juste après leurs formation. Ces comètes provenant de la ceinture de Kuiper ou du nuage d'Oort et étant constituées à 80% de glace (Ngnintédem 2004).

- Pour d'autres, cette eau était contenue dans les entrailles de la terre lors de sa formation et aurait été libérée à la surface par volcanisme.

- D'autres théories plus récentes, basées sur l'étude de l'eau montre que l'hydrogène est produit très tôt dans l'histoire de l'univers. C'est le premier atome formé. L'oxygène est produit tardivement à l'issue de la réaction de fusion thermonucléaire au sein de certaines étoiles. Ces deux atomes se combinent au cours d'une réaction exothermique pour former la molécule d'eau.

II- CYCLE DE L'EAU

Le cycle de l'eau est une succession continue de l'eau en ses différentes phases. En effet, lorsque l'eau se transforme en vapeur, celle-ci se condense en nuages, lesquels engendrent des précipitations qui par la suite deviennent des pluies et tombent sur la surface de la terre. Les eaux de ruissellement sont entraînées vers les étendues d'eaux libres (lacs, mers, océans) qu'elles alimentent (Njiki 2007). Une partie s'infiltrate dans le sol et s'accumule dans les nappes phréatiques tandis que l'autre partie reste en surface. Sous l'effet de la température, on assiste à un phénomène d'évaporation au niveau de la surface des continents, des mers et du sol et à un phénomène de transpiration au niveau des plantes. La vapeur d'eau retourne alors dans l'atmosphère pour se condenser et constituer les nuages et le cycle recommence(Njiki2007).

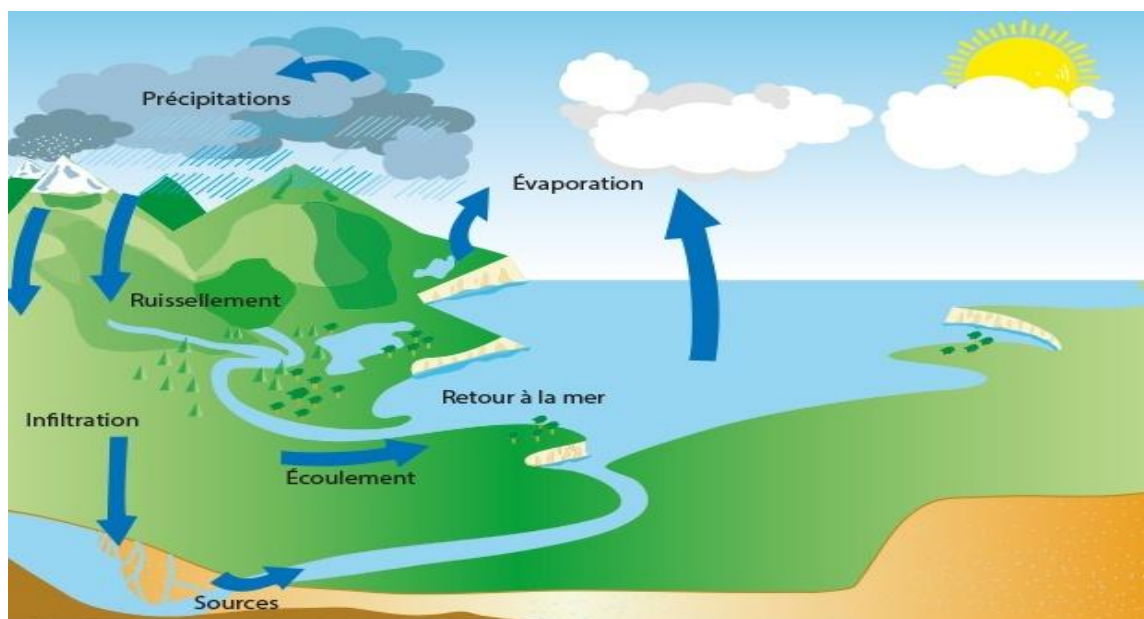


Figure 1 : cycle hydrologique de l'eau

III-STRUCTURE DE LA MOLECULE D'EAU

La molécule d'eau est l'oxyde de dihydrogène dont la formule chimique est H_2O . Elle a une géométrie triangulaire. La forte électronégativité de l'oxygène est à l'origine de la formation d'un moment dipolaire au niveau de l'atome d'oxygène porteur d'une charge partielle δ^- qui va se lier à l'atome

d'hydrogène porteur d'une charge partielle δ^+ grâce à une force de nature électrostatique pour former la liaison hydrogène.

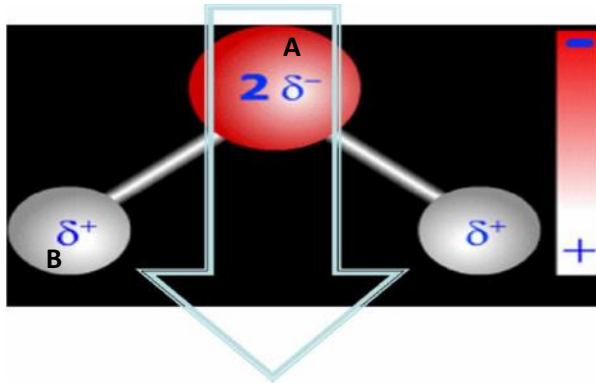


Figure 2 : structure de la molécule d'eau polarisée, **A** atome d'oxygène, **B** atome d'hydrogène.

IV-LES ETATS DE L'EAU

L'eau peut se présenter sous trois formes : vapeur, liquide ou gazeux.

IV-1- Eau à l'état vapeur

A l'état vapeur, la molécule d'eau a une structure tétraédrique avec un angle HÔH voisin de 105° et les distances internucléaires d (O-H) voisines de **96pm**. Sa projection dans un plan, est décrite par le modèle angulaire de la figure 3 ci-dessous (Ngnintédem 2004&Rodier 1976).

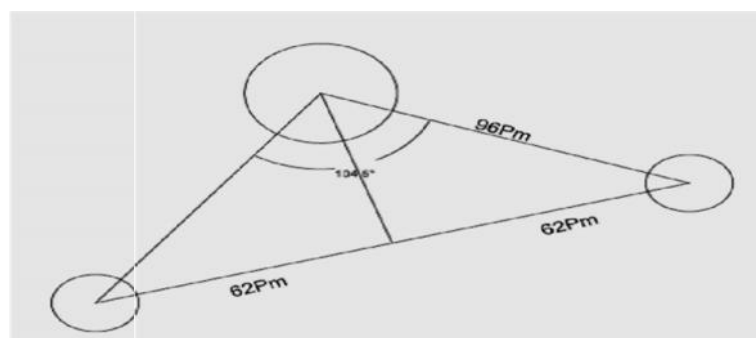


Figure 3 : Structure de l'eau à l'état vapeur

IV-2-Eau à l'état liquide

L'eau à l'état liquide est plus dense que la vapeur d'eau. Cette densité plus élevée s'explique par la présence des forces intermoléculaires au sein de cette structure. Lors de la fusion, un faible nombre de liaisons hydrogène est rompu car la température de la glace augmente ainsi, on obtient le liquide. Dans les agrégats, chaque molécule d'eau peut être entourée de quatre autres molécules. Ces agrégats sont en mouvement permanent de dislocation et de reconstitution (Mesplede 1990). L'étude comparative des images de diffraction des rayons X obtenues avec un liquide simple tel que le rubidium et l'eau a conduit Bernard et Foroler à la théorie de coordination tétraédrique des molécules d'eau se

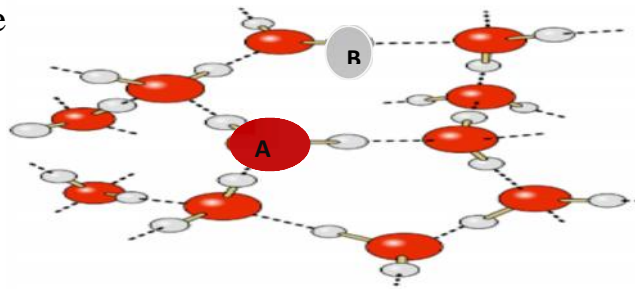


Figure 4 : Structure de l'eau à l'état liquide. A atome d'oxygène, B atome hydrogène,Liaison hydrogène

IV-3-Eau à l'état solide

Selon la température et la pression, l'eau solide ou glace présente différentes formes allotropiques dont les structures ont été déterminées par la diffraction des rayons X et par la diffraction neutronique. Chaque molécule d'eau est située au centre d'un tétraèdre dont les sommets sont occupés par quatre autres molécules à 2,75Å. Cette disposition conduit à une structure régulière et tétraédrique peu compacte dont la représentation est donnée à la figure suivante.

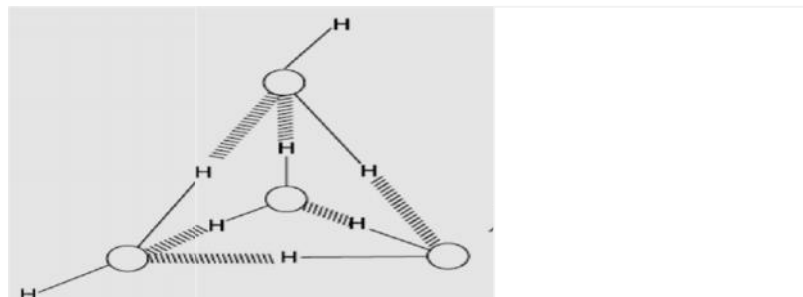


Figure 5 : Structure tétraédrique de l'eau à l'état solide, O oxygène, H hydrogène.

V- PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU

V-1- Propriétés physiques de l'eau

- **Masse molaire et température**

La masse molaire de l'eau est de $18,01534 \text{ g.mol}^{-1}$. Son point d'ébullition est de 100°C . La température joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH de l'eau.

- **Masse volumique**

La masse volumique diminue quand la température augmente (l'eau est plus dense de 4°C à 100°C). Par contre entre 0 et 4°C la masse volumique augmente. L'eau est peu compressible raison pour laquelle l'influence de la pression sur la masse volumique est négligeable (Njiki 2004). La variation de la masse volumique d'une eau pure en fonction de la température est indiquée dans le tableau 1 (Ngnintédem 2004).

Tableau 1 : Variation de la masse volumique en fonction de la température à P=1bar

T ($^\circ\text{C}$)	Masse volumique (Kg.dm^{-3})	T ($^\circ\text{C}$)	Masse volumique (Kg.dm^{-3})
0	0,99987	20	0,99828
4	1,00000	25	0,99707
10	0,99973	30	0,99567
15	0,999913	100	0,95838

- **Transparence à la lumière**

L'eau est transparente à l'UV et à la lumière visible. Ceci explique le fait qu'elle soit incolore permettant ainsi son passage jusqu'à dans les profondeurs des océans pour la photosynthèse chez les végétaux aquatiques.

- **Tension superficielle**

En effet, l'eau gouverne beaucoup de phénomène inter-facial.

- **Constante diélectrique**

Elle est plus grande pour tous les liquides purs et est responsable de la grande solubilité des substances ioniques et l'ionisation des substances en solution. Elle est de $\epsilon = 85$ USI.

- **Chaleur de vaporisation**

Elle est grande. Sa valeur est de 585 cal /g à 20°C et est plus élevée que celle de tous les liquides dû au fait que l'eau est très stable.

- **Chaleur massique**

La chaleur massique de l'eau est de 4186 J/ (kg.k) dans les conditions normales de température et de pression.

V-2- Propriétés chimiques de l'eau

- **Solvatation et ionisation**

L'eau est un excellent solvant parce qu'il existe partout et facilite les processus biologiques en milieu aqueux à travers le transport des nutriments.

L'eau dissout les corps ioniques en général et les sels en particulier, entourant chaque ion d'une coque de molécules d'eaux : c'est la solvatation. Le corps dissout est appelé électrolyte selon l'équation :



Cette équation de dissociation est appelée l'ionisation, ce phénomène conduit à l'obtention des ions et permet le passage du courant électrique dans la solution.

- **Produit ionique**

L'existence dans l'eau des ions H_3O^+ et OH^- met en évidence l'équilibre d'autoprotolyse de l'eau suivant l'équation :



Le produit ionique de l'eau $K_e = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$ croit avec la température, la réaction étant fortement endothermique ($H = 57,3 \text{ KJ/mol}^{-1}$), K_e croit avec la température selon la relation approchée :

$$\text{Log}K_e = [-3108/T] - 3,55(R_1)$$

Par exemple à 298k, $k_e = 10^{-14}$ et à 333k, $k_e = 10^{-13}$

VI- LES CATEGORIES D'EAUX

On distingue : les eaux souterraines et les eaux de surfaces.

VI-1- Eaux souterraines

Les eaux souterraines constituent 22% des réserves d'eaux douces et proviennent de l'accumulation des infiltrations dans le sous-sol et leur composition chimique dépend de la nature du terrain traversé. Très souvent, elles répondent aux normes de potabilité recommandée et sont moins sensibles aux pollutions accidentelles. Cependant, cette pureté originelle est difficilement maintenue suite à un contact avec les agents polluants qui sont malheureusement fixés sur les roches environnantes (Yongjing et al. 2006). Les eaux de cratère contiennent certains éléments minéraux à une concentration dépassant les normes de potabilité, mais ayant des propriétés thérapeutiques connues (Jong et al. 1998).

VI-2 Eaux de surfaces

Ce type d'eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages, mers). Leur composition

chimique dépend de la nature des terrains traversés durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Elles sont le siège, dans la plupart des cas, de développement d'une vie microbienne abondante à cause des déchets qui y sont déversés et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. Ces eaux sont rarement potables et c'est pour cette raison qu'elles doivent subir un traitement avant la consommation (URL 'a' 2016).

VII-RÔLES DE L'EAU DANS L'ORGANISME

L'eau joue un rôle essentiel dans l'organisme car assure le transport des nutriments, le transport des déchets, le drainage des reins, des poumons, de la peau, ainsi que l'assimilation des substances nutritives dans l'organisme Rodier (1976). Elle assure le maintien de la température du corps humain à 37°C. Elle favorise les échanges cellulaires en maintenant un bon équilibre ionique Une consommation insuffisante d'eau entraîne une déshydratation qui se manifeste par une digestion difficile, une forte concentration des déchets dans les urines pouvant provoquer les infections et les vertiges (Rapport Conseil Mondial de l'Eau 2006). Le tableau suivant donne les besoins du corps humain en fonction de l'âge.

Tableau 2 : Besoin en eau du corps humain en fonction de l'âge

Age	fœtus de 2 mois	Nourrisson	Enfant de 5 ans	Femme adulte	Homme adulte	personne âgée
Besoin(%)	97	75	65	60	60	55

VIII- CARACTÉRISTIQUES D'UNE EAU POTABLE

C'est celle dont aucune entité chimique, notamment ions et molécules neutres ne peut être responsable d'un malaise ou ne peut compromettre à court ou à long terme la vie des personnes qui la consomment. Ce sont aussi les eaux utilisées dans les industries alimentaires pour la transformation des produits

destinés à la consommation. Elles doivent être exemptes de bactéries (virus, parasites, agents pathogènes) et non toxiques (présence d'éléments chimiques indésirables). De plus, elles doivent être limpides, claires, sans odeurs, neutre à la température ambiante (Rapport Conseil Mondial de l'Eau 2006).

IX- TRAITEMENT DES EAUX POLLUÉES

L'objectif fondamental du traitement de l'eau est de protéger les consommateurs des microorganismes pathogènes et des impuretés désagréables ou dangereuses pour la santé. De nos jours, l'évolution des techniques analytiques a permis de raffiner les méthodes d'analyse de l'eau. Du point de prise, l'eau subit différentes opérations qui débutent par une pré-désinfection qui a pour rôle de réduire la concentration des microorganismes. Ainsi l'eau peut subir trois types de traitement : physique, chimique, biologique et avancé (Lambi 2016).

IX-1 Traitement physique

Il a pour but d'enlever les particules solides dans l'eau et se fait par l'une ou plusieurs des méthodes suivantes : tamisage, aération, floculation, sédimentation, décantation, filtration. Dans certains cas on peut procéder à la fin à une fluoruration avant de refouler l'eau traitée vers le réservoir de stockage (Tchakounté 2015).

IX-2- Traitement chimique

Ici les méthodes employées sont généralement : la coagulation, la déminéralisation, l'adsorption, l'oxydation, et la désinfection.

IX-3- Traitement biologique

Le processus biologique comprend trois techniques : l'oxydation qui permet d'enlever la DBO (Demande Biochimique en Oxygène) à travers l'aération ; la biodégradation qui permet d'enlever les matières organiques à

travers les microorganismes (algues, bactéries et champignons) ; la filtration permet d'enlever les matériaux non-biodégradables (URL 'b' 2016).

IX-4- Traitement avancé

C'est la combinaison des procédés physiques, chimiques et biologiques.

X- COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX

L'eau est un liquide qui contient les substances minérales et organiques en concentrations variables (Rapport Conseil Mondial de l'Eau 2016). Une eau naturelle est constituée des :

- espèces chimiques fondamentales telles que : HCO_3^- , H_2CO_3 , H^+ , OH^- , N_2 , O_2 et le CO_2 ;
- espèces chimiques caractéristiques tels que : Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , SiO_2 , SO_4^{2-} , NO_3^- .
- espèces chimiques à l'état de trace tels que : 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. Par ailleurs, certaines eaux naturelles contiennent des éléments étrangers 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^{3+} , NH_4^+ , Ag^+ , Se^{2-} , PO_4^{3-} (Rapport Conseil Mondial de l'Eau 2006 & URL 'e' 2016).

XI - NORMES DE QUALITÉ DES EAUX DE BOISSONS

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

directives à suivre, disponibles pour les pays. Au Cameroun, les normes sont élaborées au sein de l'Agence des Normes et de la Qualité (ANOR) (Cameroun2009) ; En l'absence de la base scientifique requise pour l'élaboration des normes, l'ANOR adopte les normes reconnues par le *Codex Alimentarius* et l'*ISO (Organisation Internationale de Normalisation)*; c'est ainsi que la norme camerounaise NC 207 : 2003 -02 portant sur la qualité de l'eau potable destinée à la consommation humaine a été adoptée, de même que la norme camerounaise NC 05 : 2001- 02 portant sur la qualité des eaux minérales naturelles circulant dans le pays (Norme Camerounaise NC 207:2003-2 2003&Tchakounté 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. Le tableau 3 suivant, présente sur le plan physico-chimique, les limites et références de la qualité de la CEE, les directives de l'OMS et les critères adoptés au Cameroun sur la base des normes internationales (Tabue *et al.*2001).

Tableau 3: Réglementation de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine

Paramètres	Unités	Directives CEE		Directives OMS	Norme ANOR (Cameroun)
		Limites	Références		
Paramètres organoleptiques					
Couleur	-	-	15	-	15
Turbidité	NFU	1	0,5	-	2
Odeur, saveur	-	-	-	-	Absence
Paramètres physico-chimiques					
Température	°C	-	-	-	25
pH	-	-	-	6,5-9,5	6,5 – 9,0
Conductivité à 20°C	µS/cm	-	-	-	1000
Chlorures	mg/l	-	250	-	200
Sulfates	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 180°C	mg/l	-	-	-	1500
Paramètres concernant les substances indésirables					
Nitrates	mg/l	50	-	50	50
Nitrites	mg/l	0,5	-	3	0,1
Fluorures	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
Phosphates	mg/l	-	-	-	-
Zinc	mg/l	-	-	3	5
Oxydabilité au KMnO ₄	mg O ₂ /l	-	5,0	-	5
Paramètres concernant les substances toxiques					
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
Cyanures	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
Paramètres concernant les hydrocarbures					
Hydrocarbures aromatiques	mg/l	-	-	-	0,0002
Paramètres concernant les pesticides					
Total pesticides	µg/l	0,5	-	-	0,5

CHAPITRE II: ÉCHANTILLONNAGE

ET

MÉTHODES D'ANALYSES

CHAP TRE II : ÉCHANT LLONNAGE ET MÉTHODES D'ANALYSES

L'étude des paramètres physico-chimiques des eaux de forage nécessite un prélèvement d'un échantillon de celle-ci, tout en observant certaines règles ou conditions afin de limiter la variation de ses paramètres au cours de l'opération.

I-ÉCHANT LLONNAGE

L'échantillonnage est une opération qui consiste à prélever une quantité d'eau afin de faire une analyse qualitative et quantitative des différents ions qui s'y trouvent. Beaucoup de soins doivent être apportés à cette opération car elle conditionne les résultats des analyses ainsi que leurs interprétations. Tout échantillon prélevé dans le milieu aquatique doit être une représentation fidèle au milieu analysé (Rodier 1984). Cette opération si délicate repose principalement sur la maîtrise de trois étapes : le prélèvement, la conservation de l'information contenue dans l'échantillon et le transport de ce dernier.

I.1 Conditions de prélèvement

Les prélèvements ont été effectués le matin du 09/08/2015 entre 6h00 et 06h30 minutes et ceci sur trois (03) sites choisis de façon aléatoire dans le quartier. Ils ont été effectués dans des bouteilles en PET (Polyéthylène Téréphtalate) préalablement lavés avec du savon et de l'eau courante propre, puis désinfectés à l'eau de javel. Après cela, le nettoyage s'est poursuivi par deux rinçages, respectivement avec de l'eau distillée et de l'eau à analyser. Les bouteilles ont été remplies à ras et fermées hermétiquement afin d'éviter les échanges gazeux et ensuite, nous les avons acheminées aux laboratoires de chimie minérale de l'Université de Yaoundé I et au laboratoire de chimie inorganique de l'École Normale de Yaoundé pour analyse.

I.2 Codification des échantillons

Pour ne pas confondre les échantillons, nous avons utilisé les codes suivant sur la base des noms courant utilisés par les populations pour désigner chaque forage à savoir : **F = Fashion, G = Gentil et L = Littoral**

I.3 Condition de conservation des échantillons

La conservation des échantillons doit se faire à 4°C et à l'obscurité. Cette étape est aussi importante que les opérations de prélèvements et d'échantillonnage. Certaines analyses sont effectuées au lieu du prélèvement, il s'agit entre autre du pH et de la température. Les autres analyses comme la conductivité, le dosage des bicarbonates, carbonates (qui constitue l'acidité et l'alcalinité) sont faites une fois arrivée au laboratoire de recherche.

Nous avons regroupé dans le tableau 4 les modes de conservation des échantillons en fonction des paramètres à étudier (Lamins 2009).

Tableau 4 : Conservation des échantillons

Caractéristiques	Conservateurs utilisés	Température de conservation (°C)	limite avant analyse
pH, température	Mesure au laboratoire		
Conductivité électrique 20°C (20)	Mesure au laboratoire	4	48h
Acidité (HCO ₃ ⁻) Alcalinité (CO ₃ ²⁻)	Mesure au laboratoire	4	24h
CO ₂ dissous		4	24h
civre, arsenic, aluminium, zinc	Acide chlorhydrique concentrée (2ml/L)	4	2 mois
Nitrites, nitrates	Chlorure mercurique concentrée (2ml/L)	4	6jours
Plomb, argent	Acide nitrique (2ml/L)	4	2mois
Sulfates	Acide nitrique (2ml/L)	4	6 jours

II. METHODES D'ANALYSES

Les résultats d'une analyse dépendent étroitement, non seulement de l'échantillonnage, mais aussi de la technique d'analyse employée.

II.1 Mesure des facteurs physico-chimiques de l'eau

Ils sont indispensables pour la caractérisation de toute eau et peuvent permettre en première approximation de conclure sur la potabilité de celle-ci.

i) pH

C'est l'un des paramètres chimiques importants pour déterminer le degré d'acidité ou d'alcalinité de l'eau. On le mesure à l'aide d'un pH-mètre afin de déduire la nature acido-basique au vu de la valeur indiquée.

ii) Conductivité électrique et minéralisation

Rappels théoriques

La conductivité électrique d'une eau traduit l'aptitude que possède celle-ci à laisser passer le courant électrique. La conductivité électrique notée d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparée l'une de l'autre par une distance de 1 cm (Ngameni 2011). Elle se mesure à l'aide d'un conductimètre et est fonction de la température tout comme la résistivité. Il est logique d'admettre que la conductivité d'une eau sera d'autant plus importante que sa minéralisation sera élevée. La valeur de la conductivité est affectée par la présence des matières solides dissoutes (sodium, chlorure, sulfates, calcium, bicarbonate, nitrates, phosphates, fer, magnésium). La valeur de référence de la conductivité à 20°C d'une eau potable est de 400 µS/cm (Laminsa 2009). La conductivité à 20°C est liée à la température par la relation : $\sigma_{20^{\circ}\text{C}} = \sigma_T \times f$ où σ_T = conductivité à la température T et f = facteur de correction. Les tableaux 5 et 6 montrent la qualité de l'eau en fonction de la conductivité (Youmbi 2001).

Tableau 5 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Qualité de l'eau
50 à 400	Excellente
400 à 750	Bonne
750 à 1500	Mauvaise
valeur > 1500	Charge minérale excessive

Tableau 6 : Relations entre la conductivité et la minéralisation à 20°C.

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation (mg / L)
$20^\circ\text{C} < 50$	$1,365\ 079 \times 20^\circ\text{C}$
$50 < 20^\circ\text{C} < 166$	$0,947658 \times 20^\circ\text{C}$
$166 < 20^\circ\text{C} < 333$	$0,769574 \times 20^\circ\text{C}$
$333 < 20^\circ\text{C} < 833$	$0,715920 \times 20^\circ\text{C}$
$833 < 20^\circ\text{C} < 10000$	$0,758544 \times 20^\circ\text{C}$
$20^\circ\text{C} > 10000$	$0,850432 \times 20^\circ\text{C}$

iii) Turbidité

Une eau turbide est une eau trouble. Les particules en suspension dans l'eau sont responsables de cette turbidité car, pendant son parcours, l'eau se charge de quantités énormes de particules, qui la troublent. Ces particules sont de natures diverses : minérale (argile, limon, sable...), microparticules, microorganismes (Salghi 2010).

L'unité de mesure de la turbidité est le « UTN » ou « NTU » c'est-à-dire unité de Turbidité néphélobométrique. Le tableau suivant donne la qualité de l'eau en fonction de sa turbidité (URL 'c').

Tableau 7 : Qualité de l'eau en fonction de la turbidité

Valeur de la turbidité en (NTU)	Qualité de l'eau
NTU <5	Eau incolore
5 NTU 50	Eau légèrement trouble
NTU >50	Eau trouble

iv) Sels Totaux Dissous (S.T.D.)

• Définition et origine

Les S.T.D représentent la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Ils sont composés de sels inorganiques (les ions calcium, magnésium, potassium et sodium, les carbonates, les nitrates, les bicarbonates, les chlorures et les sulfates) et quelques matières organiques (URL 'd').

Ces minéraux peuvent provenir d'un certain nombre de sources naturelles et aussi bien des activités humaines. Les eaux minérales ont un taux élevé de solides dissous parce qu'elles ont traversé des régions où les roches contiennent beaucoup de sel. Une haute concentration de solides dissous seule n'est pas dangereuse pour la santé. Dans une étude réalisée par l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S), un jury de dégustateurs est venu à la conclusion sur la quantité de S.T.D préférable dans l'eau de boisson. Le gout de l'eau de boisson en fonction de la teneur en sels totaux dissous est représenté dans le tableau 8(URL 'd') :

Tableau 8 : Goût de l'eau avec différentes concentrations de S.T.D

Niveau de S.T.D (milligrammes par litre)	Évaluation
Moins de 300	Excellent
300 – 600	Bien
600 – 900	Passable
900 – 1200	Faible
Plus de 1200	Inacceptable

• Conséquences liées aux sels totaux dissous

Une concentration très basse de S.T.D donne un goût fade à l'eau qui est indésirable à beaucoup de personnes. De fortes quantités de solides dissous peuvent corroder les tuyaux et donner un goût métallique à l'eau. Par contre, une forte concentration de S.T.D révèle la présence des polluants nuisibles comme le fer, le manganèse, le sulfate et l'arsenic dans l'eau (URL 'd').

v) Dureté de l'eau

Une eau dure contient beaucoup de sels dissous, comme les sels de calcium ou de magnésium. Une eau dure réduit le pouvoir moussant du savon. La dureté de l'eau se définit par sa teneur en ions calcium (Ca^{2+}) et en ions magnésium (Mg^{2+}) (Laminsa 2009).

La dureté d'une eau est encore appelée Titre Hydrotimétrique (T.H). Il existe deux sortes de dureté :

La dureté totale ou hydrotimétrique TH : Elle représente la somme des concentrations de calcium et magnésium en mg/L. La dureté temporaire ou carbonatée : C'est la quantité de bicarbonates de calcium ou de magnésium présent dans un litre d'eau. Celle-ci peut être éliminée par simple chauffage (NJIKI 2007). Le tableau 9 illustre la dureté de l'eau en fonction de T.H.T (OMS 2003).

Tableau 9 : Dureté de l'eau en fonction de T.H.T

Dureté de l'eau	T.H.T (mg/L)
Eau très douce	0 T.H.T 75
Eau douce	75 T.H.T 150
Eau dure	150 T.H.T 300
Eau très dure	T.H.T 300

Une eau douce contient peu de sels dissous. Une eau trop douce est corrosive car elle ronge les parois des canalisations et favorise les fuites d'eau. Cette corrosion augmente le taux de métaux lourds tels que le cuivre, le plomb, l'étain. Il n'y a aucun danger à boire une eau dure lorsqu'elle est potable (OMS 2003). La présence d'ion calcium dans l'eau aurait tendance à augmenter le risque de formation de calculs rénaux. Cependant une eau trop dure peut présenter des inconvénients d'utilisation. Elle diminue les propriétés détergentes des savons, stérilise les sols en augmentant leur taux de sel. Enfin, certains sels en particulier les calcaires peuvent se déposer sous forme de solides appelés tartres sur les parois de canalisation, des ballons d'eau chaudes ou des chaudières.

II.2 ANALYSES CHIMIQUES QUALITATIVES

L'analyse chimique qualitative a pour but d'identifier les espèces chimiques présentes dans un échantillon d'eau prélevé. Toute analyse quantitative doit être précédée de l'analyse qualitative. Le choix de la méthode de dosage quantitative convenable se fait en fonction de la connaissance des espèces (éléments, ions ou molécules ioniques) qui sont présentes dans la substance à analyser. Ainsi, nous nous intéresserons à deux types de réactifs à savoir :

- Les réactifs du groupe pour précipiter l'ensemble des ions qui appartiennent à un même groupe ;

- Les réactifs de caractérisation, pour identifier afin de voir la spécificité qu'a cet ion vis-à-vis d'une espèce chimique bien définie.

Pour réaliser l'analyse qualitative d'un ion appartenant à un groupe donné, on procède de la manière suivante:

On précipite d'abord l'ion grâce aux réactifs de groupe, le précipité obtenu est isolé puis dissout par ajout d'un acide ou d'une base...ensuite on ajoute à la solution obtenue le réactif de caractérisation ; qui s'accompagne généralement d'un effet extérieur (changement de couleur de la solution, dépôt d'un précipité, dégagement de gaz...) (Rapport Conseil Mondiale de l'Eau 2006).

II.2.1. Recherche des espèces cationiques

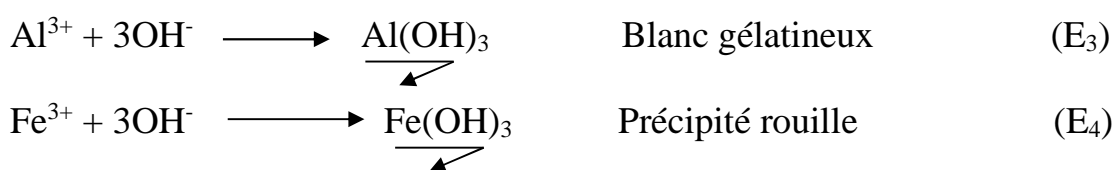
Les cations sont subdivisés en petits groupes auxquels correspond un réactif dit « Réactif de groupe » qui réagit avec les éléments du groupe.

i).....Cations du groupe 0: K^+ ; Na^+

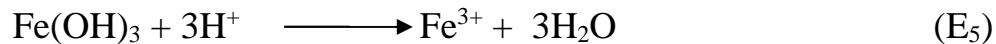
La caractérisation des ions Na^+ et K^+ est réalisée par dosage des solutions volatiles de sodium qui colorent la flamme d'un bec de bunsen en jaune vif, alors que les solutions volatiles de potassium colorent la flamme d'un bec de bunsen en violet (Rapport Conseil Mondiale de l'Eau 2006).

ii) Cations du groupe III : Al^{3+} , Fe^{3+}

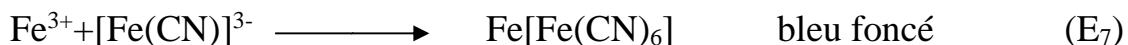
Ce groupe III comprend deux sous-groupes, III_A et III_B. Les ions Al^{3+} et Fe^{3+} se trouvent dans le sous-groupe III_A. Ces cations précipitent sous forme d'hydroxydes insolubles en milieu ammoniacal (pH= 9) après élimination des cations du groupe I et II (Elimbi 2006) suivant les réactions :



Cet hydroxyde de fer n'est pas amphotère cependant, il est soluble en milieu acide



Pour confirmer la présence de l'ion Fe^{3+} , la solution précédente en milieu acide devra donner avec l'ion thiocyanate (SCN^-) ou l'ion ferricyanure $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ un complexe coloré mais peu soluble suivant les équations:



iii) Cations du groupe V : Ca^{2+} , Mg^{2+}

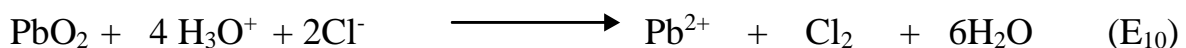
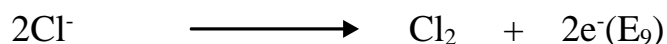
Les cations du groupe v sont ceux dont les carbonates sont insolubles. Le Ca^{2+} et Mg^{2+} ont été déterminés quantitativement par la méthode volumétrique.

II.2.2. Recherche des espèces anioniques

Les anions recherchés sont les halogénures, les nitrates, les sulfates, les carbonates et les hydroxydes.

a) Recherche des ions chlorures (Cl^-)

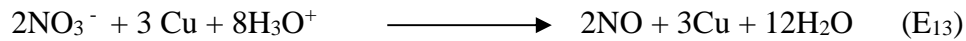
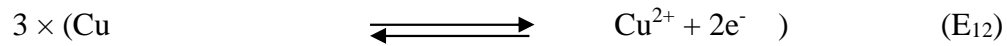
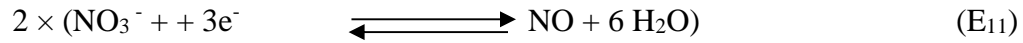
En milieu acide, les oxydants comme le MnO_2 ou le PbO_2 oxydent les ions halogénures (Cl^- , F^- , Br^- , I^-) en Cl_2 , F_2 , Br_2 et I_2 (Elimbi2006) Pour le cas de l'ion chlorure nous avons par exemple:



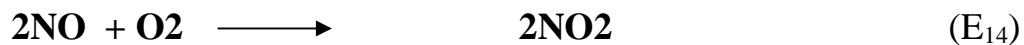
Le dichlore qui se dégage colore en violet le papier filtre imbibé du réactif de villiers.

b) Recherche des ions nitrates (NO_3^-)

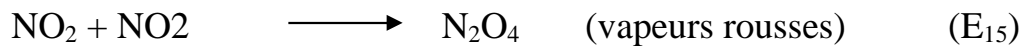
Les ions nitrates sont réduits à l'état de NO par des métaux tels que le cuivre, fer, zinc,... suivant les équations :



Le NO obtenu est oxydé par l'oxygène de l'air pour donner le dioxyde d'azote suivant l'équation :

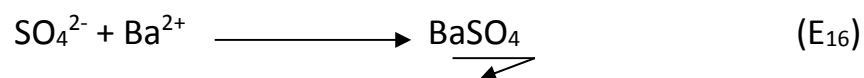


Le NO_2 obtenu se dimérise pour donner les vapeurs rouges suivant la réaction :



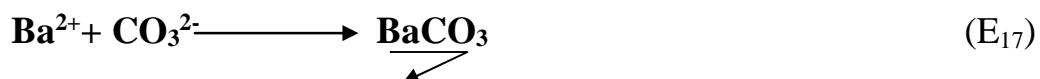
c) Recherche des ions sulfates (SO_4^{2-})

Les ions sulfates sont les ions de l'acide sulfurique (acide fort). L'addition d'une solution de chlorure de baryum à un échantillon contenant les ions sulfates donne un précipité blanc insoluble dans l'eau selon l'équation suivante :



d) Recherche des ions carbonates (CO_3^{2-})

Le réactif de groupe est le chlorure de baryum (BaCl_2) ou du nitrate de baryum $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. En présence d'un sel soluble de baryum, les ions baryum (Ba^{2+}) réagissent avec les ions carbonates (CO_3^{2-}) et conduisent à la formation d'un précipité blanc de carbonates de baryum (BaCO_3) suivant l'équation:



II.3. ANALYSES CHIMIQUES QUANTITATIVES

L'analyse quantitative a pour but de déterminer la quantité d'une espèce chimique, présente dans un échantillon donné. Elle utilise plusieurs méthodes pour le dosage de l'espèce chimique dont la nature est préalablement connue suite à l'analyse qualitative précédemment réalisée. Ces méthodes sont :

- Les méthodes volumétriques, fondées sur des mesures de volume ;
- Les méthodes gravimétriques basées sur des pesées ;
- Les méthodes physico-chimiques, qui exploitent des mesures électrométriques.

II.3.1. Dosages volumétriques

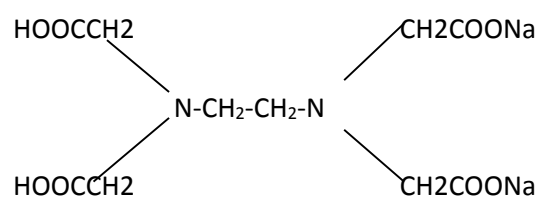
Il s'agit de la mesure d'un volume, d'une solution titrée proportionnelle à la concentration de l'élément cherché. La détermination du point équivalent peut se faire à l'aide d'un indicateur coloré. En effet, dans une solution de corps A que l'on veut doser, on ajoute un réactif B de titre connu. Celui-ci réagit avec A suivant la réaction :



La détermination du point équivalent permet de connaître la quantité de B ajouté (Ngnintédem *et al.*2004).

II.3.1.1 Dosage du calcium (Ca^{2+}) et du magnésium (Mg^{2+})

Le titre hydrotimétrique (TH) est déterminé par la complexation des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} avec une solution titrée complexante d'E.D.T.A (Acide Éthylène Diamine Tétra-acétate de sodium) de formule brute ($C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2 \cdot 2H_2O$). La fin de la réaction est marquée par une solution colorée. La formule sémi-developpée de l'EDTA est la suivante :



Ce sel a pour formule simplifiée $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$ et se dissocie en milieu aqueux pour donner H_2Y^{2-} afin qui réagit avec un cation métallique divalent (M^{2+}) pour de donner un complexe stable.

- **Dureté totale (THT)**

Elle est obtenue par dosage des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . Par addition d'une solution tampon, on amène le pH de l'échantillon à 10. On se sert de l'indicateur de Mg^{2+} (Noir EriochromeT) de formule $\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{N}_3\text{NaO}_7\text{S}$ représenté par H_2R et se dissocie suivant l'équation :



Il complexe les ions Ca^{2+} , résultant de la stabilité moins grande de son complexe avec l'E.D.T.A donc la réaction est la suivante : (Elimbi2006)



La dureté totale exprimée en méq/L pour un dosage sur un échantillon de 100mL avec du complexon N/50 est donnée par l'expression suivante :

$$\text{THT}(\text{méq/L}) = 0,2 \times \frac{1}{V} \times \text{THT}(\text{méq/L}) \quad (\text{R}_2)$$

OÙ $V(\text{THT})$ est le volume du complexon délivré par la burette.

- **Dureté calcique (TH_{Ca})**

La dureté calcique est déterminée par complexation des ions Ca^{2+} . Le pH est porté de 12-13 par addition de la soude, les ions Mg^{2+} sont ainsi éliminés par précipitation sous forme d'hydroxyde. L'indicateur coloré (murexide) est un indicateur qui vire du rose saumon au violet franc lorsque tous les Ca^{2+} sont complexés.



La dureté calcique exprimée en mg/L, pour un dosage sur un échantillon de 100mL avec du complexon N/50 est donnée par l'expression :

$$\text{TH}_{\text{Ca}}(\text{méq/L}) = 0,2 \times V_{\text{THCa}}(\text{méq/L}).$$

- **Dureté magnésique (TH_{Mg})**

La dureté magnésienne exprimée en mg/L par un dosage sur un échantillon de 100mL avec complexon de N/50 est donnée par l'expression :

$$TH_{Mg}(\text{méq/L}) = 0,2x[V_{THT} - V_{THCa}] \quad (R_3)$$

V_{THMg} et V_{THCa} représentent les volumes du complexon utilisé dans chaque cas.

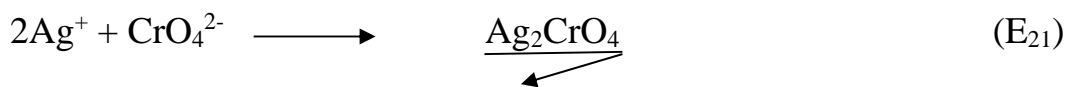
$$THT(\text{mg/L}) = [MgCO_3](\text{mg/L}) + [CaCO_3] \quad (R_4)$$

II.3.1.2 Dosage des ions chlorures (Cl⁻) par précipitations

Principe :

Il est basé sur la précipitation des ions chlorures par une solution aqueuse de nitrate d'argent en présence d'une petite quantité d'ions chromates (CrO₄²⁻) en milieu légèrement alcalin.

Dès qu'on dépasse le point équivalent, l'excès d'ions Ag⁺ forme avec les ions CrO₄²⁻ un précipité rouge de chromate d'argent. L'équation de la réaction est la suivante:



La teneur en ions chlorures exprimée en mg/L pour un dosage sur un échantillon de 100mL avec une solution de nitrate d'argent N/50 est donnée par l'expression suivante :

$C_{Cl^-} \times 0,1 / M = 1/50 \times V_{Ag^+} \longleftrightarrow C_{Cl^-} = 7,1 \times V_{Ag^+} (\text{mg/L})$ où V_{Ag⁺} est le volume de nitrate d'argent délivré par la burette. La teneur exprimée en méq/L est donnée par :

$$C_{Cl^-} = 0,2xV_{Ag^+}(\text{méq/L}) \quad (R_5)$$

II.3.2. Détermination de l'acidité

L'acidité d'une eau correspond à la présence d'anhydride carbonique libre, d'acide minéral et des sels d'acides fort et de bases faibles. L'acidité totale se mesure par titrage avec une solution d'hydroxyde de sodium N/50 en présence de la phénolphthaléine. L'équation de la réaction est :



Au point équivalent, la phénolphthaléine vire de l'incolore au rose pâle.

Soit V_1 le volume de la solution d'hydroxyde de sodium N/50 et V_2 celui de HNO_3 à N/50 délivré par la burette. Pour un volume V d'échantillon de 100mL, l'acidité totale exprimée en méq/L est donnée par l'expression :

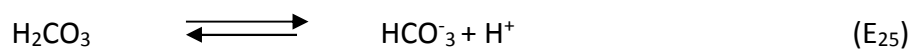
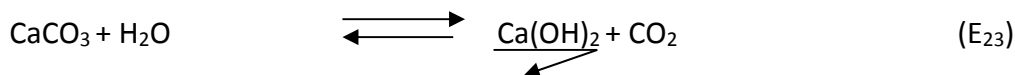
$$C_{\text{CO}_2} \times 0,1 = (\text{méq/L})$$

L'acidité en anhydre carbonique libre exprimée en mg/L est donnée par l'expression :

$$C_{\text{CO}_2} = 8.8 \times V \text{ en (mg/L)}. \text{ Où } V \text{ est le volume de la solution utilisée.}$$

II.3.3. Détermination de l'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates et des hydroxydes. La présence des bicarbonates et d'hydroxydes est due à l'action de l'eau sur les roches calcaires suivant les réactions :



La détermination du 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.

II.3.4. Détermination du Titre Alcalimétrique simple (T.A)

Les teneurs de diverses formes de carbone minéral en solution sont dans les rapports bien définis pour un pH donné.

Le titre alcalimétrique simple :

$$T.A = [OH^-] + [CO_3^{2-}] \quad (R_6)$$

Dans les eaux naturelles de $pH \leq 8,3$, les ions CO_3^{2-} sont minoritaires. Ceci permet d'expliquer l'orientation vers la détermination du titre alcalimétrique complet (Laminsa 2009).

II.3.5. Détermination du Titre Alcalimétrique Complet (T.A.C)

Le titre alcalimétrique complet:

$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] \quad (R_7)$$

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 :

$$T.A.C = C_{HCO_3^-} \times 0,1 = 50 \times V(\text{méq/L}) \leftrightarrow T.A.C = 0,2 \times V \quad (\text{méq/L})$$

$$\text{Pour } 4,5 < pH < 8,3 \quad T.A.C = 12,2 \times V \quad (\text{mg/L}) \quad (R_8)$$

II.4. Dosage colorimétriques

La méthode colorimétrique est basée sur la mesure de l'intensité d'un faisceau lumineux monochromatique de longueur d'onde avant et après la traversée d'une épaisseur connue de la solution contenant l'élément à doser. Si

I_0 est l'intensité du rayon lumineux à l'entrée de la solution et I son intensité à la sortie, alors :

$A = D.O = \log (I_0 / I) = \epsilon . l . C$ 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, ϵ 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 $mol.L^{-1}$.

II.4.1. Dosage du fer total par spectrophotométrie

Principe

Il est basé sur la formation d'un complexe rouge orangé, en milieu tamponné, entre le fer, maintenu à l'état de Fer II, et la 1,10-phénanthroline.

La mesure spectrométrique de l'absorbance du complexe formé se fait à 510 nm. Les échantillons sont dilués pour que la teneur en fer soit comprise entre 0,01 et 5 mg/L. La lecture des teneurs se fait à partir du tracé d'une courbe d'étalonnage d'une solution de fer.

II-4-2 Dosage des ions nitrates par spectrophotométrie

Principe

Afin de déterminer les nitrates dans les eaux, on utilise la méthode de l'acide sulfocalicylique. L'acide sulfocalicylique réagit sur les nitrates en donnant un dérivé : acide nitrosulfosalicylique de couleur jaune. La lecture se fait au spectromètre à 415nm (spécifique aux Nitrates) (URL 'f' 2016).

II-4-3 Dosage des ions sulfates

L'analyse des sulfates est basée sur la formation d'un composé insoluble ($BaCl_2$) avec le chlorure de baryum. Le dosage proprement dit peut alors être effectué soit par gravimétrie c'est-à-dire par séparation du précipité par filtration et pesée après calcination, soit par néphélométrie c'est-à-dire les

cristaux de sulfate de baryum sont maintenus en suspension et leur concentration est mesurée par diffraction lumineuse (Pauwels *et al* 1992).

II-4-4 Dosage des ions aluminiums

Les solutions aqueuses d'ions Al^{3+} sont incolores. Ils précipitent des hydroxydes amphotères en milieu ammoniacal (pH=9). Le dosage peut se faire soit par colorimétrie, soit par spectrophotométrie ou soit par absorption atomique et leur teneur est mesurée à partir du tracé

$$\text{Absorbance} = f[\text{Concentration}] \text{ (Elimbi 2009).}$$

II.5. Dosage par émission de flamme

Les atomes d'un plasma 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.

- **Dosage de Na^+ et K^+**

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 « spectrodirect ». 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 ». Les techniques analytiques décrites dans ce chapitre nous ont permis de caractériser nos échantillons et obtenir des résultats lesquels feront l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

CHAP TRE III : RÉSULTATS ET D SCUSS ONS

L'analyse de nos échantillons d'eau nous a permis d'obtenir des résultats. Il est question dans ce chapitre de les présentés, d'en discuter, et de conclure quant à leur potabilité chimique.

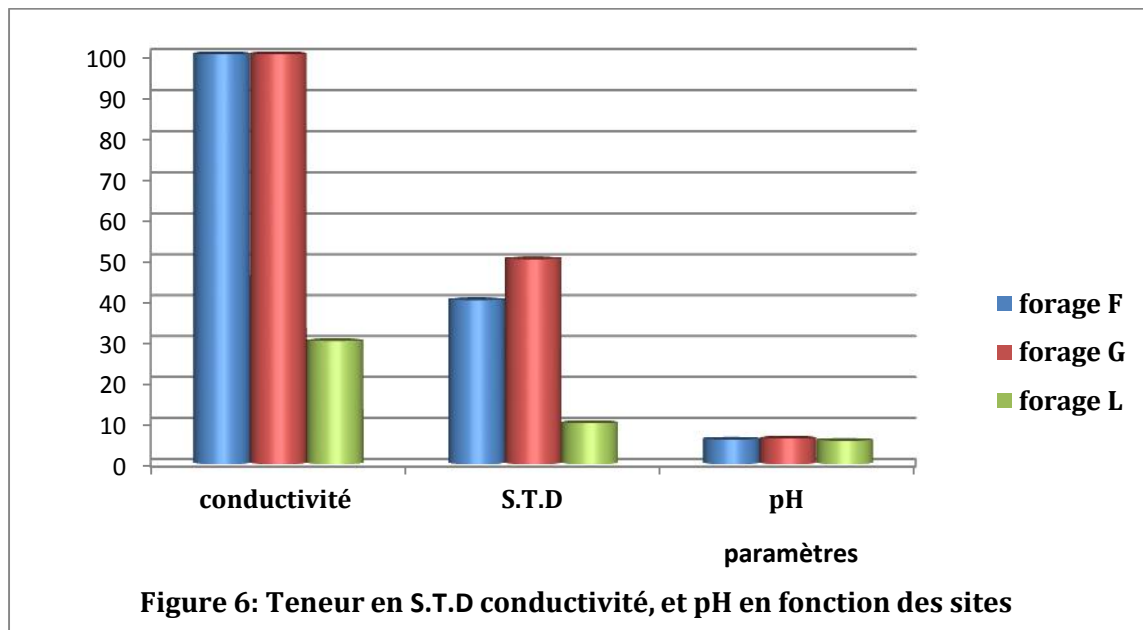
I- PRÉSENTATIONS DES RÉSULTATS

I-1 RÉSULTAT DE L'ANALYSE DESPARAMÈTRESPHYSICO-CHIMIQUES

Les résultats des paramètres physico-chimiques obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 10 : Mesure des paramètres physico-chimiques

Échantillons	F	G	L	Norme O.M.S	Recommandations ANOR (Cameroun)
T (°C)	23,4± 0,1	23,4 ± 0,1	23,6±0,1	–	25°C
PH	6,0 ± 0,1	6,2 ± 0,1	5,7 ± 0,1	6,5 – 8,5	6,5 – 9,0
S.T.D (mg/L)	40,0± 0,7	50,0±0,7	10,0±0,7	1000	–
Conductivité à 20°C (µS/cm)	100± 1	100± 1	30 ± 1	400	–
Minéralisation (mg/L)	94,8± 0,7	94,8± 0,7	50,0±0,7	546	–
M.E.S (mg/L)	0,00	0,00	0,00	Absence	Absence
Turbidité (N.T.U)	-	-	-	1	2



•Température

Les valeurs des températures mesurées pour nos échantillons sont comprises dans la zone recommandée par l'OMS et l'ANOR (25 °C). Cette valeur de température pourrait se justifier par le fait que ces eaux de forages sont d'origine souterraine et par conséquent, la température interne de ces eaux ne serait pas influencée par les variations climatiques externes. Si la température était supérieure à 25 °C, ces eaux deviendraient favorables au développement des micro-organismes.

•pH

Les pH obtenus pour les trois échantillons sont inférieurs aux normes exigées à savoir : [6,5 ; 8,5] pour l'OMS et [6,5 ; 9,0] pour l'ANOR. Ces valeurs montrent que ces eaux sont acides. Cependant, cette acidité est encore plus accrue avec l'eau du forage L donc le pH se situe autour de 5,7. Ces acidités observées signifient que ces eaux sont très riches en anhydride carbonique libre. Les eaux ayant une forte concentration en anhydride carbonique libre sont très agressives. Ainsi, les parties métalliques de la tuyauterie de ces installations sont fortement exposées au risque de corrosion accélérée, avec pour conséquence l'augmentation de la turbidité de l'eau. Afin de corriger ce problème d'acidité, une solution de carbonate de sodium peut

être injectée directement dans la pompe à eau au moment où celle-ci se met en marche (Demanou 2015).

•Sels Totaux Dissous

Les teneurs en sels totaux dissous présents dans nos échantillons sont conformes par rapport aux normes recommandées.

•Conductivité électrique

D'après les résultats obtenus, la conductivité respecte la norme fixée par l'O.M.S (< 400 μ S/cm). Mais le forage (L) a une conductivité électrique faible par rapport aux autres. Cela serait dû au fait que les roches traversées par l'eau du forage L contiennent peu en sel par rapport à celles traversés par les forages G et F. Cela est bon pour la santé humaine car de forte concentration de sels dans l'eau de consommation peuvent entrainer l'hypertension artérielle (OMS 2003).

• Matières En Suspensions (M.E.S)

Ici nous avons obtenu des valeurs nulles pour les trois échantillons. Cela serait dû au fait que ces eaux ne sont pas exposées à ciel ouvert. En effet, les eaux captées passent par une tuyauterie étanche avant d'être recueillies. En outre, nous avons été informées de l'existence d'un filtre en aval de la pompe du dispositif de captage d'eau. Ce filtre retient également les particules solides qui se trouveraient dans l'eau. Tout cela expliquerait l'absence de matière en suspension dans les eaux. Même si ces eaux étaient apparemment limpides, il est difficile cependant d'en déduire la turbidité car nous ne savons pas si le diamètre des mailles de ce filtre était suffisant pour retenir les substances colloïdales responsables de la turbidité.

I.2 RÉSULTATS DE L'ANALYSE QUALITATIVE

Compte tenu des réactifs et matériels mis à notre disposition, nous avons caractérisé les ions Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , OH^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} , et Fe^{2+} , Fe^{3+} . Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 11 où les signes + et - signifient respectivement la présence et l'absence de l'élément dans l'eau.

Tableau 11 : Résultats de l'analyse qualitative

Ions recherchés	Échantillons		
	F	G	L
Cl^-	+	+	+
NO_3^-	+	+	+
CO_3^{2-}	-	-	-
HCO_3^-	+	+	+
HO^-	+	+	+
SO_4^{2-}	+	+	+
K^+	+	+	+
Na^+	+	+	+
Ca^{2+}	+	+	+
Mg^{2+}	+	+	+
Fe^{2+} et Fe^{3+}	+	+	+
Al^{3+}	+	+	-

Les résultats des tests de caractérisation montrent que les ions Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , OH^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} , Fe^{2+} et Fe^{3+} sont présents dans tous les échantillons à l'exception du forage L qui ne contient pas d'ion Al^{3+} . Par contre, on ne trouve pas d'ion CO_3^{2-} dans aucun des échantillons.

Nous remarquons cependant la présence de substances indésirables (NO_3^- et Fe^{3+}) dans nos échantillons lesquelles sont des indicateurs de

pollution. L'analyse quantitative pourra nous fournir des éclaircissements pour nous permettre de voir clair sur la potabilité de ces eaux échantillonnées.

I.3 RÉSULTATS DE L'ANALYSE QUANTITATIVE

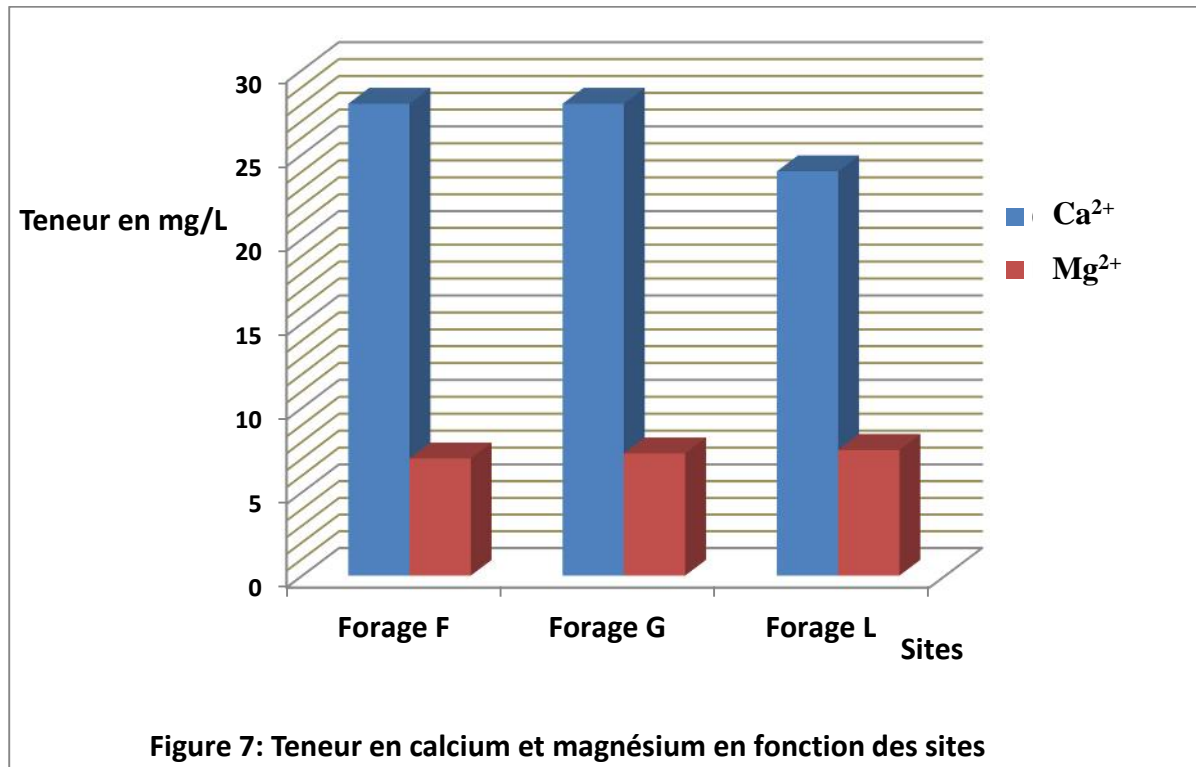
I.3.1. Volumétrie

Les résultats obtenus par volumétrie sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 12: Résultats de dosage volumétrique

Espèces	Unités	F	G	L	Norme OMS	Norme ANOR
[Ca ²⁺]	mg/L	28,00 ± 0.02	28,00 ± 0.02	24 ± 0.02	100	-
[CaCO ₃]= 2,5TH _{Ca}	mg/L	70,00 ± 0.05	70 ± 0.05	60 ± 0.05	-	-
[Mg ²⁺]	mg/L	7,0 ± 0.03	7,3 ± 0.03	7,5 ± 0.03	-	50
[MgCO ₃]= 3,5TH _{Mg}	mg/L	24,5 ± 0.1	25,5 ± 0.1	26,3 ± 0.1	-	-
THT	mg/L	94,5 ± 0.5	95,5 ± 0.5	86,3 ± 0.5	-	-
[HCO ₃ ⁻]	mg/L	47,58 ± 0.2	40,26 ± 0.2	8,54 ± 0.2	50	-
[OH ⁻]	mg/L	0	0	0	-	-
[CO ₃ ²⁻]	mg/L	0	0	0	-	-
TAC	mg/L	47,6 ± 0.2	40,3 ± 0.2	8,5 ± 0.2	-	-

- = non défini



• Ca²⁺ et Mg²⁺

Nos échantillons contiennent des ions Ca²⁺ et Mg²⁺ dont les teneurs diffèrent avec les sites. En effet, les teneurs en calcium sont de (28, 28 et 24) mg/L respectivement pour les forages F, G et L. Celles en magnésium sont de (7.0, 7.3 et 7.5) mg/L respectivement pour les mêmes forages. Ces deux éléments proviendraient respectivement de l'altération du feldspath plagioclase anorthite (Si₂Al₂O₈Ca) et du feldspath noir ou biotite de formule (Si₃AlO₈)MgFe (Yongjing *et al* 2006). Les quantités de calcium et de magnésium restent conformes aux normes recommandées. En effet, l'OMS recommande une teneur inférieure à 100 mg/L pour le Ca et l'ANOR une teneur inférieure à 50 mg/L pour le Mg. Ne perdons pas de vue que ces deux éléments sont indispensables pour notre organisme. Ce sont des activateurs d'enzymes, qui agissent comme promoteurs de structuration (stabilisent la structure des protéines). Le Mg²⁺ est présent dans la chlorophylle et facilite le processus de photosynthèse. Le Ca²⁺ est présent sous forme d'hydroxyde

apatite de formule $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ qui est un constituant majeur des os et des dents (Wafo 2016). Or les faibles teneurs en Ca^{2+} et Mg^{2+} obtenues après analyse de nos eaux ne permettent pas aux consommateurs d'accumuler la quantité nécessaire pour le besoin de l'organisme raison pour laquelle nous conseillons à ces derniers de compenser cette insuffisance en consommant les aliments riches en ses éléments.

•Titre Hydrotimétrique Totale (THT)

C'est la somme des concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+} . Sa valeur calculée est de (94.5, 94.5, 86.3) mg/L respectivement pour les forages F, G et L. Ces valeurs sont en dessous de 100 mg/L, par conséquent conforme à la norme de l'OMS. Ces teneurs font d'elles des eaux douces et propres à la consommation humaine.

•Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

La méthode utilisée n'a pas permis de déceler la présence d'ion CO_3^{2-} . Il serait présent, mais sous formes de trace et décelables par des techniques plus sophistiquées. L'OMS et l'ANOR n'ont pas défini de valeur limite pour le TAC. Cependant, l'Agence Camerounaise de normalisation (ANOR) stipule que le TAC pour les eaux de consommation doit être inférieur ou égal à 50 mg/L. Les valeurs obtenues pour nos échantillons concordent avec cela car nous obtenons (47.58, 40.26 et 8.54) mg /L respectivement pour les forages F, G et L.

I.3.2. Présentation des résultats pour les substances indésirables et les paramètres en relation avec la structure naturelle des eaux

Il s'agit des NO_3^- et du fer total (Fe^{3+} et Fe^{2+}) pour les substances indésirables. Des ions SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ et Al^{3+} pour les substances en relation avec la structure naturelle des eaux. Leurs déterminations s'est faite par

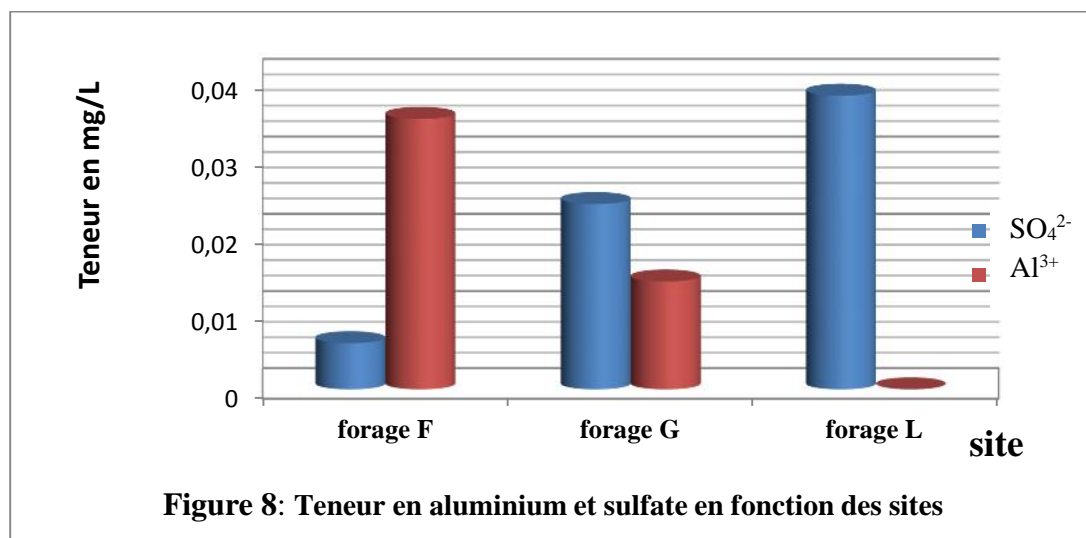
gravimétrie, spectrophotométrie par émission de flamme et spectrophotométrie absorption atomique.

I.3.2.1 Ions déterminés par gravimétrie et par spectrophotométrie d'absorption atomique

Il s'agit des ions SO_4^{2-} et Al^{3+} déterminés respectivement par gravimétrie et par spectrophotométrie. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Résultats des ions déterminés par gravimétrie

Paramètres	Unités	F	G	L	Norme OMS	Norme ANOR
SO_4^{2-}	mg/L	0,006 ±0,001	0,024 ± 0,001	0,038 ± 0,001	250	250
Al^{3+}	mg/L	0,035 ±0,001	0,014 ± 0,001	0	0,2	0,2



- **Sulfates (SO_4^{2-})**

L'OMS et l'ANOR prescrivent des teneurs en sulfate inférieure à 250mg/L pour les eaux destinées à la consommation humaine. Les valeurs obtenues dans nos échantillons répondent à ces critères. Elles sont donc

propices à l'alimentation humaine du point de vu sulfate. Par contre, si leurs teneurs en sulfate arrivaient à augmenter de façon très importante, cela aurait des conséquences sur leur goût et leur caractère laxatif (Rodier 1976).

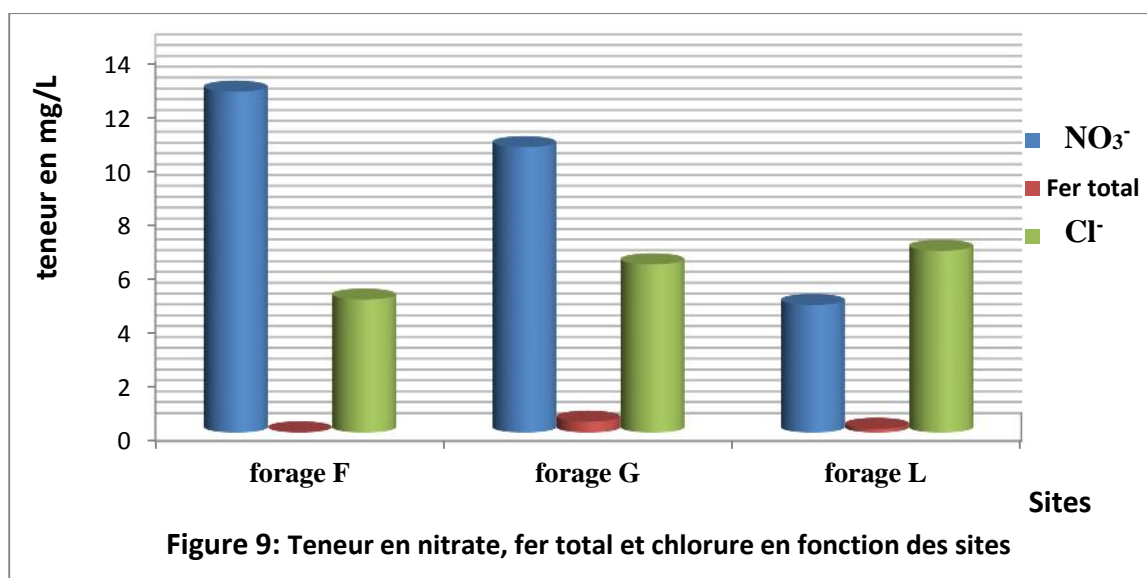
• **Aluminium (Al³⁺)**

Nous avons enregistré pour nos échantillons de faibles teneurs en aluminium dans les eaux des forages **F** et **G** respectivement (0,035± 0,001) mg/L et (0,014± 0,001) mg/L et nul dans l'eau du forage **L**. Ces valeurs sont inférieures à 0,2 mg/L, valeur recommandée par l'ANOR et l'OMS.

I.3.2.2 Spectrophotométrie par absorption atomique

Tableau 14 : Résultats des ions déterminés par absorption atomique

Paramètres	Unités	F	G	L	Norme OMS	Norme ANOR
NO ₃ ⁻	mg/L	12,600 ± 0,001	10,550 ± 0,001	4,700 ± 0,001	50	50
Fer total (Fe ³⁺ + Fe ²⁺)	mg/L	0,007 ±0,001	0,400 ± 0,001	0 ,137 ± 0,001	0,2	0,2
Cl ⁻	mg/L	4,900 ± 0,001	6,200 ± 0,001	6,700 ± 0,001	200	200



- **Nitrates (NO_3^-)**

La concentration en nitrates des eaux naturelles souterraines est comprise entre 5 et 15mg/L, en absence de fertilisants (Drouart & Vouillamoz 1999). Pour les eaux destinées à la consommation humaine, l'OMS aussi bien que l'ANOR recommandent une concentration en nitrate inférieur à 50mg/L. Les résultats des analyses montrent que nos échantillons contiennent des nitrates dans des teneurs variant entre $(4,700 \pm 0,001)$ mg/L et $(12,600 \pm 0,001)$ mg/L. Ces valeurs sont conformes aux normes recommandées et proches de celles des eaux naturelles souterraines. Cela signifierait que ces eaux ne sont pas contaminées par des fertilisants. La faible valeur en nitrate pourrait aussi être due à la réduction anaérobie des nitrates en ammonium catalysées par les bactéries car il constitue un nutriment pour la croissance de certaines bactéries ou micro-organismes.

- **Fer total (Fe^{2+} et Fe^{3+})**

Les teneurs en fer total obtenues dans nos échantillons sont respectivement $(0,007 \pm 0,001)$ mg/L, $(0,400 \pm 0,001)$ mg/L, $(0,137 \pm 0,001)$ mg/L pour les eaux des forages F, G, et L. L'OMS, et l'ANOR, recommandent une concentration inférieure à 0,2 mg/L. Nous constatons donc que les teneurs dans nos échantillons sont conformes. Ainsi nous pouvons dire que ces eaux sont sans danger du point de vue fer pour les consommateurs. Malgré le fait que le fer soit une substance indésirable, il est un élément important pour la fabrication de l'hémoglobine du sang et contribue aussi à l'élévation de la minéralisation (Wafo Pascal 2015). Il en résulte de ce qui a été dit plus haut que ces eaux de forage sont conseillées à l'usage domestique. Ce fer pourrait provenir de l'altération du mica ou biotite $(\text{Si}_3\text{AlO}_8)\text{MgFe}$.

- **Chlorures (Cl^-)**

Les teneurs en chlorure pour nos trois échantillons varient selon le site. Elles sont respectivement de $(4,900 \pm 0,001)$ mg/L, $(6,200 \pm 0,001)$ mg/L, et $(6,700 \pm 0,001)$ mg/L pour les forages F, G et L. Ces valeurs sont inférieures à

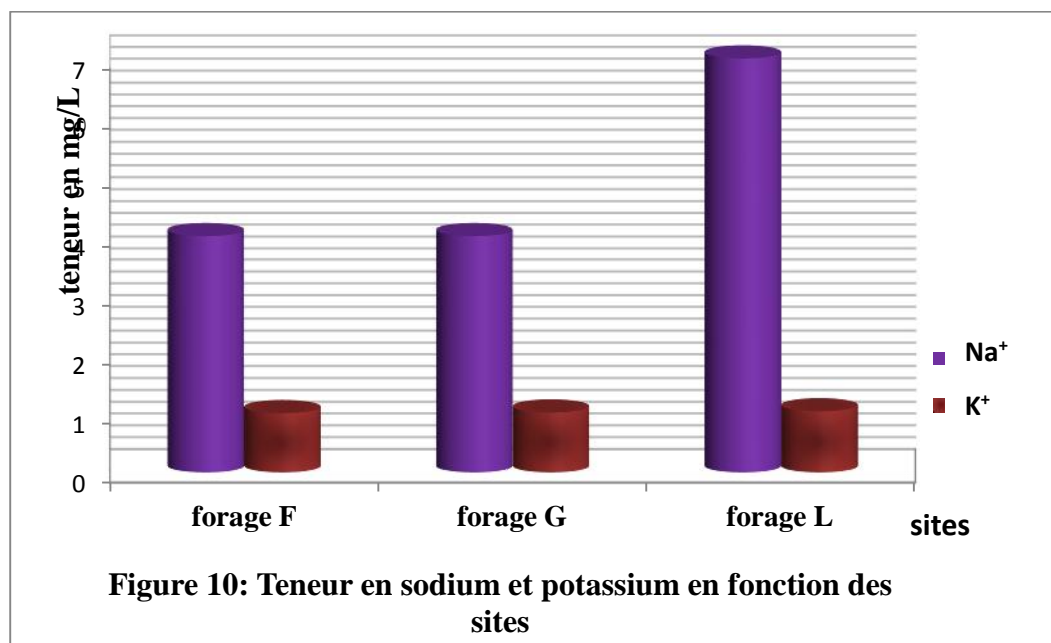
250 mg/L telles que recommandées par l'ANOR et de l'OMS. Les faibles valeurs de chlorures pourraient s'expliquer par le fait que les ions Cl^- s'oxydent en Cl_2 qui se dégage (Elimbi 2006). Ces eaux sont donc conformes, pour ce qui est des chlorures pour l'alimentation humaine. Les chlorures dans cette eau pourraient se présenter sous diverses formes : chlorure de sodium (NaCl), chlorure de calcium (CaCl_2), chlorure de magnésium (MgCl_2) (URL 'e').

I-3-3 Ions déterminés par spectrophotométrie par émission de flamme

Il s'agit des ions Na^+ et K^+ . Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Résultats spectrophotométrie par émission de flamme

Paramètres	Unités	F	G	L	OMS	ANOR
Na^+	mg/L	$4,00 \pm 0,01$	$4,00 \pm 0,01$	$7,00 \pm 0,01$	200	150
K^+	mg/L	$1,00 \pm 0,01$	$1,01 \pm 0,01$	$1,30 \pm 0,01$	-	12



- **Sodium (Na^+)**

Nous avons enregistré respectivement pour les trois échantillons ($4,00 \pm 0,01$) mg/L, ($4,00 \pm 0,01$) mg/L et ($7,00 \pm 0,01$) mg/L pour les eaux des forages F, G et L. Ces différentes valeurs concordent avec celles recommandées par l'OMS et l'ANOR (teneur 200 mg/L). 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 (Wafo 2015). Le sodium pourrait provenir de la dégradation des minéraux argileux comme le feldspath albite ou sodique de formule $\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{Na}$.

- **Potassium (K^+)**

Malgré une faible teneur en potassium pour les trois échantillons ($1,00 \pm 0,01$) mg/L, ($1,01 \pm 0,01$) mg/L et ($1,30 \pm 0,01$) mg/L, ces valeurs restent dans les limites établies par les différentes normes en vigueur. Le potassium agit positivement sur les contractions musculaires, sur le bon fonctionnement des reins et des glandes surrénales (Wafo 2015). Le potassium appartient au groupe des métaux alcalins. Il proviendrait de l'altération des minéraux du gneiss comme le feldspath orthose ou potassique (Si_3AlO_8)K ou le mica blanc ou muscovite $\text{KA}_3\text{SiO}_{10}(\text{OH})_2$.

I.4 RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS

Les teneurs des ions contenus dans nos échantillons et la mesure des paramètres physico-chimiques comparés aux normes sont consignés dans le tableau 16 suivant :

Tableau 16: Récapitulatif des résultats comparés avec les normes

Paramètres	Unités	Echantillons			Norme O.M.S	Recommandations ANOR (Cameroun)
		F	G	L		
Paramètres physico-chimiques						
Température	(°C)	23,4±0,1	23,4±0,1	23,6±0,1	–	25°C
pH	-	6,0 ± 0,1	6,2 ± 0,1	5,7 ± 0,1	6,5 – 8,5	6,5 – 9,0
S.T.D	(mg/L)	40,0±0,7	50,0±0,7	10,0±0,7	1000	–
Conductivité à 20°C	(µS/cm)	100± 1	100± 1	30± 1	400	–
Minéralisation	(mg/L)	94,8±0,7	94,8±0,7	50,0±0,7	546	–
M.E.S	(mg/L)	0,00	0,00	0,00	Absence	Absence
Calcium Ca ²⁺	(mg/L)	28,00 ±0.02	28,00 ±0.02	28,00 ±0.02	100	-
[CaCO ₃]= 2,5TH _{Ca}	(mg/L)	70,00±0.05	70,00±0.05	60 ± 0.05	-	-
Mg ²⁺	(mg/L)	7,0 ± 0.03	7,3 ± 0.03	7,5 ± 0.03	-	50
[MgCO ₃]= 3,5TH _{Mg}	(mg/L)	24,5 ± 0.1	25,5 ± 0.1	26,3 ± 0.1	-	-
THT	(mg/L)	94,5 ± 0.5	95,5 ± 0.5	86,3 ± 0.5	-	-
[HCO ₃ ⁻]	(mg/L)	47,6± 0.2	40,3± 0.2	8,5 ± 0.2	50	-
[HO ⁻]	(mg/L)	0	0	0	-	-
[CO ₃ ²⁻]	(mg/L)	0	0	0	-	-
TAC	(mg/L)	47,6 ± 0.2	40,3 ± 0.2	8,5 ± 0.2	-	-
[SO ₄ ²⁻]	(mg/L)	0,006 ± 0,001	0,024 ± 0,001	0,038 ± 0,001	250	250
[Al ³⁺]	(mg/L)	0,035 ± 0,001	0,014 ± 0,001	0	0,2	0,2
[NO ₃ ⁻]	(mg/L)	12,600 ± 0,001	10,550 ± 0,001	4,700 ± 0,001	50	50
Fer total	(mg/L)	0,007 ± 0,001	0,400 ± 0,001	0,137 ± 0,001	0,2	0,2
[Cl ⁻]	(mg/L)	4,900 ± 0,001	6,200 ± 0,001	6,700 ± 0,001	200	200
[Na ⁺]	(mg/L)	4,00± 0,01	4,00± 0,01	7,00±0,01	200	150
[K ⁺]	(mg/L)	1,00± 0,01	1,01± 0,01	1,30±0,01	-	12

II- ANALYSE DE LA POTABILITÉ

Nous avons présenté au début de ce travail les critères que doivent remplir une eau pour être considérée potable. Partant sur cette base, nous pouvons à l'aide des résultats obtenus au cours de notre étude, apprécier la potabilité des trois eaux de forages analysées.

L'analyse des paramètres physico-chimiques des échantillons a montré que les eaux des trois forages sont acides et de valeurs inférieures aux normes recommandées par l'O.M.S. La consommation régulière d'une eau fortement acide n'est pas bonne pour la santé car elle provoque à long terme l'ulcère gastrique (OMS 2003). Nous avons remarqué aussi que les eaux échantillonnées sont faiblement minéralisées ce qui est bien pour la santé car l'excès de sel conduit à plusieurs problèmes de santé tel que l'hypertension artérielle. Elles contiennent du calcium et du magnésium lesquels jouent un rôle important respectivement dans la fortification des os et dans la lutte contre le stress. Nous avons aussi observé une très faible concentration des substances indésirables telles que les nitrates et le fer total ce qui nous fait dire que les eaux des forages analysés ne sont polluées.

INTÉRÊTS PÉDAGOGIQUES

INTÉRÊTS PÉDAGOGIQUES DU TRAVAIL EFFECTUÉ

La rédaction d'un mémoire est un travail d'initiation à la recherche qui contribue au renforcement des capacités didactiques des futurs enseignants que nous sommes. Chaque étape de ce travail nous a permis d'acquérir un certain nombre de savoir et de savoir-faire théoriques et pratiques qui font partir du contenu des programmes d'enseignements que nous serons appelés à dispenser sur le terrain à savoir :

- Le matériel de laboratoire pour les travaux pratiques au lycée;
- les méthodes de préparation des solutions lors de la résolution théorique des exercices et pendant les séances de travaux pratiques un contenu des programmes de seconde C et terminale C et D ;
- La mise en œuvre des opérations d'analyse qualitative et les tests d'identification des espèces chimiques en classe de 2nde C;
- Les techniques de dosage des composés chimiques en classe de 1^{ère}C et D;
- la synthèse des documents pour l'élaboration des cours ;
- Les règles de sécurité dans un laboratoire ;
- l'utilisation des outils de technologies de l'information et de la communication.

CONCLUSION GÉNÉRALE

ET

PERSPECTIVES

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Il était question pour nous dans ce travail d'apporter notre modeste contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques de quelques eaux de forages de la zone de Simbock à Yaoundé dans le but de rendre ces eaux propres à la consommation. Il ressort de cette étude, que ces eaux sont acides, très douces et faiblement minéralisées. Par ailleurs, elles renferment les éléments chimiques tels que: Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Al^{3+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , Fe^{3+} dont les teneurs sont conformes aux normes recommandées par l'ANOR et l'OMS.

La variation des teneurs des espèces chimiques présentes dans ces eaux à différents sites dépendrait de la nature géologique du sol, des phénomènes d'altération et de lessivage des roches traversées par elles. Les installations où nous avons fait nos prélèvements sont protégées et la contamination par l'action de l'homme est très peu probable. Les substances indésirables (ions nitrates et fer total) qui constituent un indice de pollution, sont plutôt présents dans des proportions acceptables. Néanmoins, nous conseillons aux populations qui s'alimentent avec l'eau de ces forages de consommer régulièrement des aliments tels que : poisson, légumineuses, choux, pomme de terre, escargots, céréales, banane... afin de compléter leurs besoins en calcium et magnésium.

Cependant pour se prononcer sur leurs potabilités, nous procéderons dans le futur à des analyses plus profondes à savoir: la recherche de la présence d'autres substances indésirables (exemple : nitrites, fluorures, manganèse, cuivre, hydrocarbure, phosphore, etc), des pesticides et produits apparentés (exemple : aldrine, dieldrine, etc), des substances toxiques (exemple arsenic, cadmium, mercure, plomb, etc), et des paramètres microbiologiques (bactéries, virus, levures, parasites, spores pathogènes, etc) afin de compléter ce travail.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANOR (2008), NC 207 : 2003-2, ICS N°67.160.20, « l'eau potable destinée à la consommation humaine », 1^{ère} édition : 01-11-2003.

Cameroun (2009) « Décret N°2009/296 du 17 septembre 2009 portant création de l'agence camerounaise des normes et de la qualité (ANOR) ».

Conseil Mondial de l'Eau (2006) *Rapport final du quatrième forum mondial de l'eau*. Mexico.

Demanou (2015) « contribution à l'étude des paramètres physico-chimique de quelques eaux de forages du quartier Simbock à yaoundé », Mémoire de D.I.P.E.S II, ENS, UYI.

Drouart E & Vouillamoz J.M (1999), « *Alimentation en eau potable des populations menacées, action contre la faim* » HERMAN, paris, 108p.

Elimbi A (2006) « *travaux pratiques de chimie inorganique* » cours de CHM 210 Département de Chimie Inorganique, UYI.

Jong Seung Kim , ByungHoon Min , Sun Tae Kim & Jong Hun Kim, J. (1998) *Chromatograph.A* 813, pp 85 –90.

Laminsa (2009) « *travaux pratiques de chimie minérale* » UE CHM 428, Université de Yaoundé 1.

Lambi John (2016) « chimie environnementale » cours UE CHM 501, Département de Chimie Inorganique, ENS, UYI.

Mesplede J & Queyrel J.L (1990) « *Précis de chimie : solution aqueuses* ». BREAL, 381p.

Ngnintédem Y.C (2004) « *Contribution à l'étude des propriétés physico-chimiques des eaux de sources du Cameroun : Cas de la source de MEKANZA'A à ODZA (YAOUNDE)* », Mémoire de D.I.P.E.S II, ENS, UYI.

Ngameni (2011) « *Thermodynamique des solutions ioniques* » cours de chimie analytique, Université de Yaoundé 1.

Njiki Alain (2007), « *Contribution à l'étude des propriétés physico-chimiques des eaux du Cameroun en relation avec la nature de la roche-mère : Cas de la source de GHAK-LE (Batoufam)* », mémoire de DI.P.E.S II, ENS, UY1.

OMS, (2003), « *L'eau pour les hommes, l'eau pour la vie* » UNESCO-WWAP.

Rodier J (1984) « *L'analyse de l'eau: eaux résiduelles, eaux naturelles, eaux de mer* », 7^e Edition DUNOD

Rodier J (1976) « *L'analyse de l'eau: eaux résiduelles, eaux naturelles, eaux de mer* », Tome I, 5^e Edition DUNOD, 629 P.

Salghi R (2010) « *Différents Filières De Traitement Des Eaux* », cours de chimie minérale, Université Ibn Zohr-ENSA Agadir.

Tabue Youmbi J.G (2001) « *Normes et qualités des eaux au Cameroun : synthèse et proposition d'un outil d'aide à la décision* ». Mémoire de DEA, UY1.

Tchakounté Tchakounté J.S (2005) « *Contribution à l'étude des propriétés physico-chimiques des eaux du Cameroun: Cas de la source du « Dispensaire Baptiste » à Etoug-EBE (Yaoundé)* ; mémoire de DI.P.E.S II, UY1.

URL 'a' (2016) <http://www.hygiène: les maladies liées à l'eau /santé/A116/> (Consulté le 22 Février 2016).

URL 'b' (2016) <http://www.safewater.org/PDFS/ressourcesknowthefacts/traitement + eaux>

URL 'c' (2016) <http://www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-oms-eau potable.htm#ixzz3DquC6eLw> (consultée le 02 /03/ 2016).

URL 'd' (2016) <http://www.who.int/watersanitationhealth/dwq/chemicals/tds.pdf> (consultée le 02 /03/ 2016).

URL 'e' (2016) <http://www.lausane.ch/lausaneofficielle/administration/travaux/>

eau/ service/espace-diactique-et-loirs/aventure-aufildeleau/mainArea/oo/ Coll1/oo/links/o2/liBinary/Info_04_LaCompositiondel'eau.pdf.(consultée le 07/ 05 /2016)

URL'f' (2016) « Dosage d'ions nitrate par spectrophotométrie (niveau TS) » disponible sur<http://www.eduterre.ens-lyon.fr/> (consultée le 07/05/2016)

Wafo Pascal (2015) « *Chimie Bio-inorganique et Chimie Bio-organique* »cours UE CHM503,Département de Chimie Inorganique, ENS, UY1.

Yan Olivaux (2010) « *Quelle eau de boisson ?* » Biocontact,p.48.consulté le 31/05/2016.

Yongjing Chen, Li Jing, Xiuling Li & Yan Zhu, J. (2006) *Chromatograph. A* 1118, pp 3–11.

ANNEXES

ANNEXES

ANNEXE 1 : MESURE DU pH ; STD ; CONDUCTIVITÉ ET TEMPÉRATURE

➤ **APPAREIL DE MESURE** : Multimètre

➤ **MODE OPÉRATOIRE**

Prélever 100 mL d'échantillon et mettre dans un bécher de 500 mL. Placer l'électrode du multimètre dans le bécher jusqu' à la stabilisation de l'affichage numérique du multimètre et lire les différents paramètres ainsi rechercher.

ANNEXE 2 : DOSAGE COMPLEXOMÉTRIQUE

1. DURETÉ TOTALE (THT)

➤ RÉACTIFS :

- Solution d'acide sulfurique (H₂SO₄) N /10
- Solution tampon pH = 10
- Noir Eriochrome T (NET)
- Complexon : solution d'EDTA N/50

➤ MODE OPÉRATOIRE

Prélever 100mL d'échantillon à l'aide d'une fiole jaugé et verser dans un erlenmeyer

- Ajouter 10 mL d'acide sulfurique N/10
- 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 violet au bleu franc et noter le volume du complexon délivré par la burette.

➤ CALCULS

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

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

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

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

Dureté Totale (THT) = Dureté calcique + Dureté Magnésienne

Ces trois duretés s'expriment en (mg/L) CaCO₃

2. DURETÉ CALCIQUE (TH_{Ca})

➤ **RÉACTIFS**

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

➤ **MODE OPÉRATOIRE**

- Prélever 100 mL 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 rose saumon au violet franc et lire le volume du complexon délivré par la burette.

➤ **CALCULS**

Dureté Calcique (TH_{Ca}) en (mg/L) de CaCO₃ = $5 \times 10^{-4} \times N_{EDTA} \times V_{EDTA} / V_{Éch}$

ANNEXE 3: DÉTERMINATION DE L'ALCALINITÉ

➤ RÉACTIFS

- Méthyl orange (indicateur)
- Acide sulfurique (N/50)

➤ MODE OPÉRATOIRE

- Ajouter à 100ml d'échantillon quelques gouttes de méthyl orange.
- Titrer par l'acide sulfurique jusqu' au virage du jaune au rose orangé. Et noté le volume d'acide délivré.

➤ CALCULS

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \quad \text{or} \quad [\text{OH}^-] = [\text{CO}_3^{2-}] = 0 \text{ mg/L}$$

$$\leftrightarrow \text{T.A.C} = [\text{HCO}_3^-] \text{ (mg/L)} \quad \text{pour} \quad 4,5 < \text{pH} < 8,3 \quad \text{T.A.C} = 12,2 \times V \text{ (mg/L)}$$

Pour obtenir exprimé le résultat en **méq/L**, on utilise la formule suivante :

$$\text{T.A.C} = C_{\text{HCO}_3^-} \times 0,1 = 50 \times V \text{ (méq/L)} \leftrightarrow \text{T.A.C} = 0,2 \times V \text{ (méq/L)}$$

ANNEXE 4: DOSAGE DE SODIUM ET DE POTASSIUM PAR SPECTROPHOTOMÉTRIE D'EMISSION DE FLAMME

➤ RÉACTIFS

Solution étalon de Na⁺ et K⁺ à 50ppm

➤ MODE OPÉRATOIRE

Préparation de la gamme d'étalon (0- 6,8 ppm). On introduit neuf fioles de 50 mL numérotées et de volumes différents de la solution étalon. Le contenu de chaque fiole est ramené au trait de jauge avec l'eau distillée. La lecture de l'intensité d'émission se fait sur le photomètre.

ANNEXE 5 : DOSAGE DES NITRATES PAR SPECTROPHOTOMÉTRIE

➤ RÉACTIFS

- Solution de salicylate de sodium 0,05%
- Nitrate de potassium
- Ammoniaque diluée au demi
- Tartre double de sodium et de potassium
- Hydroxyde de sodium.

➤ MODE OPÉRATOIRE

Pour chacune des échantillons, on prend 10 mL d'eau à analyser +1mL de solution de salicylate de sodium. On évapore dans une étuve à 75°-80°C, puis on laisser refroidir, ensuite on reprend le résidu par 2 mL d'acide sulfurique concentré en prenant soin de humecter soigneusement. On attend 10mn, puis on ajoute 15 mL d'eau distillée et 15 mL de la solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium afin d'obtenir quatre solutions filles notées S₁ à S₄... Enfin on effectue la lecture au spectromètre à 415nm (spécifique aux Nitrates).

➤ EXPRESSION DES RÉSULTATS :

Après avoir effectué la lecture au spectromètre, on trace la courbe d'étalonnage $A = f(C)$ afin de déterminer la valeur de la concentration de l'eau à analyser en azote nitrique (mg/L).

ANNEXE 6 : DOSAGE DU FER TOTAL PAR SPECTROPHOTOMÉTRIE

➤ MODE OPÉRATOIRE

- Diluer les échantillons pour que la teneur en fer de l'échantillon soit comprise entre 0,01 et 5 mg/L.
- Faire une mesure spectrométrique de l'absorbance du complexe formé à 510 nm
- Réaliser une courbe d'étalonnage à partir d'une solution de fer à 0.1g/L.

➤ RÉSULTATS

Exploiter l'équation de la droite d'étalonnage pour calculer la teneur en fer des échantillons ceci sur la base de leurs absorbances respectives lues.

ANNEXE 7: DOSAGE DU CHLORURE PAR SPECTROPHOTOMÉTRIE

➤ **RÉACTIFS**

- Solution de nitrate d'argent N/50
- Solution de chromate de potassium 5%

➤ **MODE OPÉRATOIRE**

- Prélever 100 mL d'échantillon à l'aide d'une fiole jaugée et verser dans un erlenmeyer
- Ajouter 10 gouttes de solution de chromate de potassium
- Titrer avec une solution de nitrate d'argent jusqu'au virage du jaune au rose pâle persistant et noter le volume V_{Ag^+} de nitrate d'argent délivré par la burette.

➤ **CALCUL**

$$C_{Cl^-} \times 0,1 / M = 1/50 \times V_{Ag^+}$$

$$C_{Cl^-} = 7,1 \times V_{Ag^+} \text{ (mg/L)}$$

La teneur exprimée en méq/L est donnée par :

$$C_{Cl^-} = 0,2 \times V_{Ag^+} \text{ (méq/L)}$$

ANNEXE 8: DOSAGE D'ALUMINIUM PAR SPECTROPHOTOMÉTRIE

➤ RÉACTIFS

Acide thioglycolique (HSCH_2COOH), réactif de coloration (aluminon), solution mère et fille d'aluminium et une série d'étalon.

➤ MODE OPÉRATOIRE

- Introduire 2mL de l'extrait dans une fiole de 25mL
- Ajouter successivement :
 - 1mL d'acide thioglycolique dilué
 - 10mL d'eau et homogénéiser 5mL d'aluminon
- Ajouter de l'eau jusqu'au trait de jauge et homogénéiser
- Laisser reposer pendant la nuit et enfin doser par spectrophotométrie à 530 nm

ANNEXE 9 : DOSAGE DES IONS SULFATES

L'analyse des sulfates est basée sur la formation d'un composé insoluble ($BaCl_2$) avec le chlorure de baryum. Le dosage proprement dit peut alors être effectué soit par gravimétrie c'est-à-dire par séparation du précipité par filtration et pesée après calcination, soit par néphélométrie c'est-à-dire les cristaux de sulfate de baryum sont maintenus en suspension et leur concentration est mesurée par diffraction lumineuse.