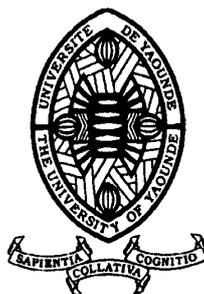


REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
ECOLE NORMALE SUPERIEURE
DEPARTEMENT DE DÉPARTEMENT DE
CHIMIE



REPUBLIC OF CAMEROUN

Peace – Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I
HIGHER TEACHER TRAINING COLLEGE
DEPARTMENT OF DEPARTMENT OF
CHEMISTRY

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PARAMETRES PHYSICO- CHIMIQUES DE QULQUES EAUX DE FORAGE DU QUARTIER OLEMBE DANS LA VILLE DE YAOUNDE

Mémoire présenté au Département de Chimie de l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur de l'Enseignement Secondaire, Deuxième Grade(DI.P.E.S.II) en Chimie

Par :

MFOUAPON ALASSA
Titulaire d'une licence en Chimie

Sous la direction
Dr MBOUOMBOUO NDASSA IBRAHIM
Chargé de Cours



Année Académique
2015-2016



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire de Yaoundé I. Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : biblio.centrale.uyi@gmail.com

WARNING

This document is the fruit of an intense hard work defended and accepted before a jury and made available to the entire University of Yaounde I community. All intellectual property rights are reserved to the author. This implies proper citation and referencing when using this document.

On the other hand, any unlawful act, plagiarism, unauthorized duplication will lead to Penal pursuits.

Contact: biblio.centrale.uyi@gmail.com

DEDICACE

Je dédie ce travail à :

- Ma mère Mandou Amssétou
- Mon père Nchintouo Ibrahim

CERTIFICATION

Je soussigné **Dr MBOUOMBOUO NDASSA Ibrahim** certifie que les travaux effectués par l'étudiant **Mfouapon Alassa**, matricule 09T0135, dans le cadre de son mémoire de DIPES II intitulé: **CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DE QUELQUES EAUX DE FORAGE DU QUARTIER OLEMBÉ DANS LA VILLE DE YAOUNDE** est son travail original et authentique effectué dans le Laboratoire de Chimie Inorganique de l'Ecole Normale Supérieure de l'Université de Yaoundé I sous ma direction.

Yaoundé le

L'encadreur

Dr MBOUOMBOUO Ndassa Ibrahim
Chargé de cours

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le Laboratoire de Chimie Inorganique de l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé, sous la direction du Docteur MBOUOMBOUO NDASSA Ibrahim.

Je tiens de tout cœur à lui exprimer ici ma reconnaissance pour avoir dirigé ce travail avec dévouement, intérêt et enthousiasme. Je loue son entière disponibilité, ses remarques et ses conseils qui m'ont permis de mener à bien mes travaux.

Je tiens également à remercier sincèrement :

Les enseignants du Département de chimie de l'école normale supérieure de Yaoundé. Au Pr FON ABI Charles, Chef de département de Chimie à l'ENS, UYI pour sa grande attention, sa rigueur et son suivi tout au long de notre formation.

Tous les enseignants des départements de Chimie et de Physique de l'ENS, particulièrement Pr NGOUET Bebga, Pr WAFO Pascal, Dr NGANSOP René, Pr KAPCHE Deccaux, au Pr LAMINSSI Samuel qui a mis à ma disposition tout le nécessaire pour l'analyse qualitative de mes échantillons.

Mr BOYOM Joseph pour sa collaboration au cours de la réalisation de ce travail et pour son soutien toujours renouvelé.

A mes camarades de promotion de CHIMIE et de PHYSIQUE (55^e promotion) particulièrement Mr Mfetic Matheo Ledoux

A mes amis NYOYA Marcelle, MOUNDI Mama pour leurs encouragements et soutiens.

Tous ceux qui de près ou de loin m'ont soutenu dans l'aboutissement de ce mémoire.

SOMMAIRE

DEDICACES.....	ii
CERTIFICATION.....	iii
REMERCIEMENTS.....	iv
SOMMAIRE.....	v
SRESUME.....	viii
ABSTRACT.....	ix
LISTE DES ABREVIATIONS.....	x
LISTE DES FIGURES.....	xi
LISTE DES TABLEAUX.....	xii
INTRODUCTION GENERALE	
CHAPITRE I :GENERALITE SUR LES EAUX.....	1
I -1 DEFINITION.....	3
I-1-1 IMPORTANCES DE L’EAU.....	3
I-1-2 .STRUCTURE DE L’EAU.....	4
I-1-3-GEOMETRIE ET POLARITE DE LA MOLECULE D’EAU.....	4
I-1-4 STUCTURE DE L’EAU DANS SES DIFFERENTS ETATS.....	5
I-2-1 POLLUTION DOMESTIQUE.....	6
I-2-2 POLLUTION AGRICOLE.....	7
I-2-3 POLLUTION INDUSTIELLE.....	7
I-3- COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX NATURELLES.....	7
I-4 DURETE DE L’EAU.....	9
I-5POTABILITE D’UNE EAU.....	10
I-5-1 TRAITEMENT DES EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION.....	10

I-5-2 NORMES DE POTABILITE DES EAUX.....	11
I-5-3 Les eaux destinée a la consommation humaine	13
I-6-Composants de l'eau minérale	14
I-6-1 Classification des eaux minérales et leurs effets sur l'organisme.....	14
CHAPITRE II : ECHANTILLONNAGE ET TECHNIQUES D'ANALYSES	
II-1 Définition.....	15
II-2-1 Choix des échantillons	15
II-2-2 Mode de prélèvement et conservation	15
II-2-3 Paramètres organoleptiques	16
II-2-4 Mesure de l'odeur et de gout	16
II-2-5 Paramètres physico-chimiques.....	16
II-3 Analyse chimique qualitative	18
II.3.1. Recherche des ions chlorures (Cl^-).....	18
II-3-2 Recherche des ions (SO_4^{2-}).....	18
II-3-3 Recherche de l'ion nitrate (NO_3^-).....	19
II. 3.4. Recherche des ions Hydroxydes(OH^-) , Carbonates (CO_3^{2-}) et Hydrogénocarbonates (HCO_3^-)	19
II. 3.5. Recherche des ions sodium (Na^+)ions potassium (K^+) : tests à la flamme	19
II.3.6. Recherche de l'ion calcium (Ca^{2+}).....	20
II.3.7. Recherche de l'ion magnésium(Mg^{2+}).....	20
II-3-8 Recherche des ions Fe^{3+}	20
II-4 Analyses chimiques quantitatives	21
II-4-1-Dosage volumétrique.....	23
CHAPITRE III : RESULTATS ET ESSAIS D'INTERPRETATIONS	
III. Mesure des facteurs physico-chimiques.....	27

III-1 pH.....	27
III-2 Conductivité électrique et Minéralisation.....	28
III.3 Salinité (STD).....	28
III.4 MES (Matières en suspension).....	28
III-5-Analyses chimiques qualitatives.....	29
III –6-Analyse quantitative.....	30
III-6-1 Dosages volumiques.....	30
III-6-2 Dureté totale.....	30
III.6.3-Titre alcalimétrique complet (TAC)	31
III-7 Dosage colorimétrique	31
III-7-1 Présentation des résultants du dosage colorimétrique.....	31
III.7.2. Essais d’interprétation.....	32
III-8 Spectrophotométrie par absorption atomique	33
III-8-1 Présentation des résultats.....	33
IV. Récapitulatif des résultats	34
V-Analyse de la potabilité.....	35
VI-Etude comparative des eaux de forage avec les eaux minérales vendues sur le marché Camerounais	36
INTÉRÊT PÉDAGOGIQUE	
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVE	
REFERENCES BIBIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

RESUME

Dans ce travailles paramètres physico-chimiques de quelques eaux de forage situées au quartier Olembé dans la ville de Yaoundé ont été étudiés.

Les eaux de forage des trois sites ont été prélevées en fonction de leur sollicitation par les populations et analysés avec le même principe au laboratoire.

L'étude consistait à identifier les espèces chimiques constitutifs de ces eaux de forage, à évaluer leurs teneurs afin d'étudier leurs potabilité en fonction de normes réglementaires prévues pour les eaux destinées à la consommation humaine. Il s'agissait également de comparer les teneurs de ses éléments avec celles de quelques eaux minérales vendues sur le marché Camerounais.

Les techniques expérimentales mises à contribution pour l'analyse quantitative ont été : la volumétrie, la colorimétrie, la spectrophotométrie par absorption atomique et les mesures directs de paramètres physico-chimiques. Globalement, les résultats de l'analyse qualitative ont été mis en évidence, d'une part, la présence dans les eaux de forage des espèces suivantes : Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} et d'autre part l'absence des espèces OH^- , CO_3^{2-} . Ces eaux de forage ont un pH acide de valeurs 6,6 ; 6,2 et 6,5. Elles sont peu minéralisées et douces.

Les espèces chimiques identifiées dans ces eaux ont des teneurs qui respectent globalement les normes fixées par l'organisation Mondiale de la Santé (OMS) [1986], et le Cameroun (2008).

Les eaux de forage comparativement aux eaux minérales vendues sur le marché Camerounais contiennent des substances indésirables (NO_3^- et Fer total) qui sont un indicateur de pollution.

Mots Clés : Pollution, Eutrophisation.

ABSTRACT

In this work the physicochemical parameters of some water of drilling located at the Olembé district in the town of Yaounde were studied.

Water of drilling of the three sites was taken according to their request by the populations and analyzed with the same principle at the laboratory.

The study consisted in identifying the chemical species constitutive of this water of drilling, to evaluate their contents in order to study their potability according to lawful standards planned for the water intended for human consumption. It was also a question of comparing the contents of its elements with those of some mineral water sold on the Cameroonians market.

The experimental techniques put at contribution for the quantitative analysis were: volumetry, colorimetry, spectrophotometry by atomic absorption and measurements direct of physicochemical parameters. Globally, the results of the qualitative analysis were underlined, on the one hand, the presence in water of drilling of the following species: NO_3^- , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , and in addition the absence of the species HO^- and CO_3^{2-} . This water of drilling has an acid pH of values 6, 6; 6, 2 and 6, 5. They are not very mineral-bearing and soft.

The chemical species identified in this water have contents which respect overall the standards set by the World Health Organization (WHO) [1986], and Cameroon (2008). Water of drilling compared to mineral water sold on the Cameroonian market contains undesirable substances (NO_3^- and complete Iron) which are an indicator of pollution.

Key words: pollution, eutrophication.

LISTE DES ABREVIATIONS

EDT : Acide Ethylène Diamine Tétracétate de Sodium

UYI : Université de Yaoundé I

ENS : Ecole Normale Supérieure

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

SA : Site A

SB : Site B

SC : Site C

TA : Titre Alcalimétrique

TA : Titre Alcalimétrique Complet

THT : Titre Hydrotimétrique Total

TH_{Ca} : Titre Hydrotimétrique Calcique

TH_{Mg} : Titre Hydrotimétrique Magnésien

TDS : Sels totaux dissouts (Salinité)

FS : Faculté de Sciences

WH : World Health Organization

ONU : Organisation des Nations Unie

CDE : Camerounaise des eaux

MES : Matières en suspension

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Polarité de molécule d'eau.....	5
Figure 2: Structure de l'eau à l'état solide	6
Figure 3: Teneurs en Calcium et Magnésium en fonction des eaux	37
Figure 4: Teneurs en Sodium et Potassium en fonction des eaux	37
Figure 5: Teneurs en Chlores en fonction des eaux	38
Figure 6: Teneurs en Nitrates en fonction des eaux	38
Figure 7: Teneurs en Hydrogénocarbonates en fonction des eaux	39
Figure 8: Teneur en Fer total en fonction des eaux.....	40

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: propriétés chimiques de l'eau.....	3
Tableau 2: Interprétation de la valeur du degré hydrotimétrique de l'eau.....	9
Tableau 3: Réglementation concernant l'eau de consommation.	12
Tableau 4: Appréciation des valeurs de la conductivité	17
Tableau 5: Technique d'analyses chimiques quantitatives	22
Tableau 6: Résultats des paramètres physico-chimiques	27
Tableau 7: Résultats des différents éléments présents dans nos sites de forage	29
Tableau 8: Résultats du dosage volumétrique.....	30
Tableau 9: Résultats de la colorimétrie	31
Tableau10:Des teneurs en Na ⁺ et K ⁺	33
Tableau11: Récapitulatif des résultats comparés avec les normes	35
Tableau12: Étude comparative des eaux de forage avec les eaux minérales.....	36

INTRODUCTION GENERALE

Contexte

L'eau est la substance la plus répandue sur la planète terre. Elle regorge environ 78% de la surface terrestre(Whété1999) .Elle est indispensable pour la vie des animaux et des végétaux .Non seulement que l'eau est une boisson pour les êtres vivants, elle intervient dans plusieurs activités menées par l'homme à savoir : l'agriculture, l'industrie, l'élevage etc. C'est la raison pour laquelle cette substance est de plus en plus incontournable pour l'existence des Homme (Fonteh et al . 2003). Leseaux destinées à la consommation humaine sont prélevées dans un cours d'eau, un lac, ou une nappe d'eau souterraine. La composition chimique de ces eaux est très variable d'un réservoir à l'autre et dans le temps, elle est étroitement liée à la nature des sols du bassin versant et à la végétation environnante. Elle est constamment modifiée par les espèces vivantes présentes dans le milieu, surtout en ce qui concerne les teneurs en matières minérales (Banton et al. 1997). Ces eaux contiennent des substances dont la présence est due aux rejets des eaux usées domestiques, des engrais et des pesticides. Ces eaux d'origines douteuses sont parfois nuisibles pour la santé des consommateurs. C'est donc pour cette raison que les populations demandent une offre en eau potable.

Problématique

L'accroissement rapide des populations a influencé sur la demande en eau potable. Le réseau de distribution de l'eau potable ne parvient plus à ravitailler les populations qui sont de plus en plus nombreuses. Plus grave celles qui sont dans les zones éloignées du réseau de distribution. C'est pour cette raison que l'offre est très insuffisante par rapport à la demande. Face à cette situation, les populations font recours à des solutions plus ou moins variées (sources, forages....) pour résoudre leurs problèmes d'approvisionnement en eau potable .Le véritable problème est de connaître les éléments constitutifs des eaux de forage et puis vérifier si les teneurs de ces éléments sont en conformité avec les normes prévues par le Cameroun et l'OMS .

Objectif

Analyse des eaux de forage à travers l'étude des paramètres physico-chimiques.

Méthodologie

La méthode consiste à prélever des échantillons de trois sites de forage et les analyser au laboratoire de Chimie inorganique de l'ENS.

Plan

Pour mener à bien cette étude, nous commencerons d'abord par les généralités sur les eaux, ensuite nous parlerons de l'échantillonnage et des techniques expérimentales d'analyse avant de présenter les résultats obtenus et les interprétations qui en découlent.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX

I -1 DEFINITION

L'eau est un liquide transparent, inodore, insipide, composé de deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène de formule chimique H_2O . C'est le milieu de vie de la plupart des êtres vivants. Elle se présente généralement sous les trois états (solide, liquide, gazeux). Mais elle se trouve généralement dans son état liquide et possède à température ambiante des propriétés uniques. Elle est indispensable et incontournable pour la vie et est utilisée comme boisson pour les hommes et animaux, un solvant efficace pour beaucoup des corps solide (Dupont et al.1987). Le tableau 1 représente quelques propriétés chimiques de l'eau.

Tableau 1: propriétés chimiques de l'eau

Formule brute	H_2O
Masse molaire (g/mol)	18.0153
$P_{ka} = P_{ke}$	14.0
Moment dipolaire(D)	1.8546

I-1-1 Importances de l'eau

Les eaux occupent la grande partie du globe terrestre. En se référant à plus de 70% d'espace terrestre occupés par les eaux, on qualifie la planète terre le nom de « planète d'eau » (Beaux et al. 1997). Etant un composé essentiel à la vie des hommes et des animaux, l'eau a une grande importance pour l'homme, mais aussi pour toutes les espèces végétales et animales. L'eau est une source de vie et objet de culte depuis les origines de l'homme, elle est conjointement dans les sociétés d'abondance comme la France un produit de l'économie et un élément majeur de l'environnement (Beaux et al. 1997). Le corps humain est constitué de 65% d'eau pour un adulte, à 75% chez les nourrissons, et à 94% chez les embryons de trois jours. Les animaux sont à moyenne 60% d'eau et les végétaux à 75%. On retrouve néanmoins les extrêmes : la méduse 98% et la graine 10% (Burton et al. 2003).

L'eau présente des diverses importances dans la vie des êtres vivants. Elle joue un rôle essentiel au niveau de l'alimentation humaine : c'est le principal constituant du corps humain. La quantité moyenne pour un adulte est de 65%, ce qui correspond à environ 45 litres d'eau pour une personne de 70 kg.

Ce pourcentage peut néanmoins varier, plus une personne est maigre plus la proportion d'eau dans son organisme est importante. L'eau varie aussi dans l'organisme en fonction d'âge : elle diminue avec les années, car plus les tissus vieillissent plus ils se déshydratent. La concentration de l'eau dans l'organisme varie d'un organe à un autre : 85% dans le cerveau, 80% dans le poumon et dans le rein, 79% dans le sang, 77% dans le cœur, 73% dans le foie et dans le muscle, 71% dans la peau, 22% dans les os et 10% dans les dents. Au regard du taux de l'eau important dans les différents organes humains il n'est pas à douter que l'homme ne peut survivre en absence d'eau. Sans eau, l'être humain ne survit guère au-delà de 2 jours (**Tegua.,2009**).

En agriculture, l'eau permet d'irriguer les cultures et de laver les produits avant la commercialisation. L'irrigation des plantes est pratiquée dans des régions où la pluviométrie ne satisfait pas la demande en eau des cultures et pour les cultures de contre saison. Les plantes peuvent être irriguées pendant toute ou une partie de la période de croissance. De même l'irrigation peut être totale ou partielle ; une irrigation totale suppose que tous les besoins en eau de la plante soient apportés par l'irrigation, par contre en irrigation partielle, la pluviométrie permet la croissance de la plante, l'eau apportée améliore le rendement ou la qualité du produit final (**Gisel Baok., 2007**).

I-1-2 .STRUCTURE DE L'EAU

L'eau peut se présenter sous plusieurs formes suivant les différents isotopes qu'admettent les atomes d'hydrogène et d'oxygène.

I-1-3-GEOMETRIE ET POLARITE DE LA MOLECULE D'EAU

La molécule d'eau a une structure triangulaire où l'angle formé entre les deux liaisons O –H est 104.5° et la distance interatomique d_{OH} vaut 96 pm. La charge totale de la molécule est nulle. L'électronégativité de l'atome d'oxygène est plus haute que celle

de l'atome d'hydrogène, il y'a une polarisation de la molécule qui lui fait un solvant protique polaire. Cette polarité rend la molécule d'eau possible d'établir la liaison d'hydrogène intramoléculaire .On observe deux charges partielles négatives pour l'atome d'oxygène dont chacune vaut -0.82 et une charge positive de Valeur $+0.41$ pour l'atome d'hydrogène (Dajoz et al.1987) .La figure1 suivante met en exergue la polarité de la molécule d'eau.

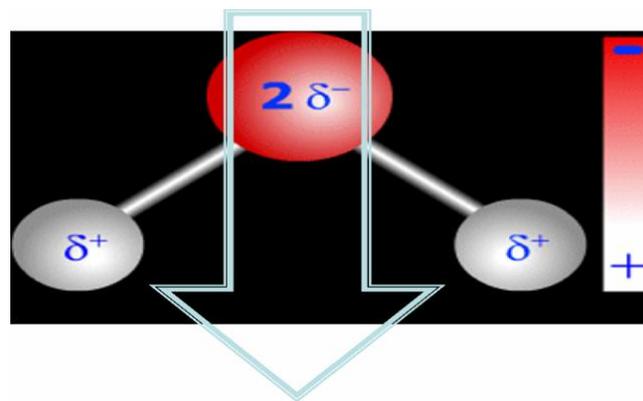


Figure 1: Polarité de molécule d'eau

I-1-4 STRUCTURE DE L'EAU DANS SES DIFFERENTS ETATS

L'eau peut se présenter sur trois états physiques : solide, liquide et gazeux .Elle se présente sous différentes formes selon son état physique .La formule H_2O appartient à l'état gazeux et en particulier au modèle triangulaire .C'est l'état le plus désordonné, le gaz est constitué des molécules en perpétuel mouvement et indépendant les unes des autres .L'eau à l'état liquide est constituée de l'association de plusieurs molécules d'eaux liées entre elles par des liaisons d'hydrogène. Quant à l'état solide, il s'agit d'un arrangement des molécules d'eaux de la manière suivante : une au centre et quatre périphériques (Tardat Henry., 1992).La figure 2 représente l'eau dans son état solide.

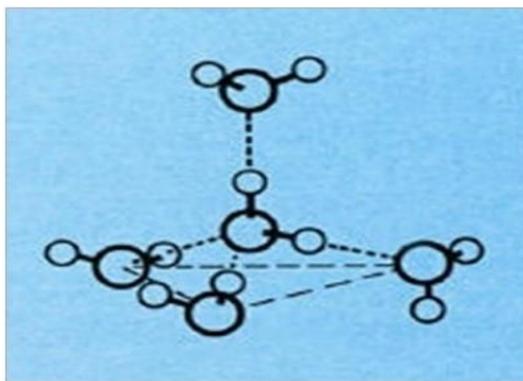


Figure 2: Structure de l'eau à l'état solide

I-1- 5 SOLVABILITE DE L'EAU

La molécule d'eau étant un dipôle permanent, l'association de ses dipôles avec d'autres entités électriques entraînant le phénomène d'hydratation, qui conduit à la formation de solution mettant en jeu trois types de forces à savoir (**Tchakounte., 2005**) :

- Force entre les molécules d'eau elle-même : eau-eau
- Force entre les molécules d'eau et soluté : eau-soluté
- Force entre les molécules de solutés : soluté-soluté

I-2 POLLUTION DES EAUX

La pollution de l'eau est l'introduction de déchets industriels, institutionnels et d'autres matières nocives nuisibles, en quantité suffisante pour entraîner une dégradation mesurable de la qualité d'eau qui rend difficile les conditions de vies de la flore et de la faune aquatique. Elle inclut toutes les matières superflues qui ne peuvent être détruites par l'eau naturellement .Ainsi selon la nature ou l'origine de polluants on distingue plusieurs types de pollutions de l'eau (**Pierre et Patrick 2010**).

I-2-1 POLLUTION DOMESTIQUE

Elle provient des utilisations quotidiennes dans les ménages :

- Eaux de ménages ou eaux grises (eaux de toilettes, eaux savonneuses rejetées avec les lessives)
- Eaux de vannes ou eaux noirs (eaux provenant des WC, urinoirs)

Au-delà de ces activités produit par l'homme, on peut envisager les eaux usées rejetée par les installations collectives (hôpitaux, écoles, commerces, hôtels, restaurants) **(Pierre et Patrick 2010)**.

I-2-2 POLLUTION AGRICOLE

Les substances nutritives de plantes telles que les nitrates et les phosphores coulent dans l'eau par les déchets. Les nitrates et les phosphates générés par la minéralisation des déchets riches en matières organiques ont une autre incidence fâcheuse sur l'écosystème aquatique. Elles engendrent le phénomène dit d'eutrophisation. Ainsi, d'énormes masses de matières végétales envahissent les lacs et les cours d'eau, les bactéries oxydatives attaquent la matière accumulée au fond de l'eau.

Ceci entraîne une consommation importante de l'oxygène aux dépens des espèces animales. La conséquence est un véritable étouffement de la vie aquatique et la mort massive des poissons et autres espèces dulçaquicoles (animaux qui vivent dans l'eau douce) **(Pierre et Patrick 2010)**.

I-2-3 POLLUTION INDUSTRIELLE

Elle est l'une des causes majeures de la pollution de l'eau dans nos villes. Et ceci d'autant plus que les industries qui s'y installent ne prennent très souvent aucune disposition pour traiter leurs effluents liquides ou gazeux avant leur rejet dans le milieu naturel. Plus grave encore, les zones industrielles ne se démarquent généralement pas des zones d'habitation, ce qui amplifie les effets des pollutions sur les populations riveraines des villes. Selon les activités effectuées par les industries, on va donc trouver des multiples polluants à savoir : des matières organiques et graisses (abattoir, industries agroalimentaires), des hydrocarbures (industries pétrolières, transport), des métaux, des acides, bases, produits chimiques divers et des matières radioactives (centre nucléaire, traitement des déchets radioactifs) **(Pierre et Patrick 2010)**.

I-3- COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX NATURELLES.

Les substances contenues dans les eaux naturelles sont nombreuses parmi lesquels on enregistre :

- **Le sodium**

Il est l'élément prépondérant dans le sang et dans les liquides extracellulaires. Avec le potassium, il détermine l'équilibre hydrique de l'organisme et l'hydratation des cellules. Au niveau rénal, son élimination ou sa rétention est l'un des mécanismes de régulation de la pression artérielle. Il joue également un rôle essentiel dans la concentration musculaire, et naturellement celle du cœur.

- **Le calcium**

C'est un minéral essentiel pour la formation, la croissance et le maintien d'une ossature normale. Il contribue également à la coagulation de sang (OMS., 2003). Le besoin quotidien prévoit : 900 mg pour l'adulte, 1200 mg pour l'adolescent, 1000 mg pour la femme enceinte ou allaitante.

- **Le magnésium**

C'est un minérale qui a un rôle très important dans de nombreuses réactions enzymatiques intracellulaires. Il participe aussi à la transmission neuromusculaire de l'influx nerveux. Il est souvent comme l'anti-stress naturel. Il peut aussi être utilisé pour le soulagement de la constipation occasionnelle. Cependant certaines eaux fortement magnésium sont déconseillées pour l'alimentation des nourrissons. Sources de magnésium (céréales complète, légumes à feuilles vertes, noix, noisettes, riz, chocolat) (OMS., 2003).

- **Les nitrates**

Ce sont les produits naturels de dégradation de l'azote. Les quantités sont liées à la nature des sols. La limite de potabilité est fixée à 50 mg/L ; quant à la limite d'allégation pour les « nourrissons », elle est fixée à 10 mg /L.

- **Les sulfates**

La limite maximale de potabilité est de 250 mg /L pour l'eau destinée à la consommation humaine. La limite pour la consommation des nourrissons est de 140mg /L. Il favorise l'élimination des toxines. C'est aussi un élément essentiel des cartilages, cheveux, vaisseaux sanguins et tissus conjonctifs.(OMS., 2003).

I-4 DURETE DE L'EAU

Dans la nature, on n'enregistre pas la même dureté pour toutes les eaux. Elle dépend d'une eau à une autre et est aussi mentionnée par le titre hydrotimétrique (TH). Elle représente pour une eau sa concentration en ion alcalino-terreux.

Le titre hydrotimétrique ou dureté de l'eau est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. La dureté de l'eau s'exprime en mg/L de CaCO_3 ou en degré français symbolisé par °f ou °fH. La dureté d'une eau est sans conséquence sur la santé humaine. Le Calcium et le Magnésium sont les constituants de l'organisme et l'eau demeure potable quelque soit son TH. Il existe des exceptions à ces règles générales expliquées par des caractéristiques de certains minéraux. Il faut cependant être prudent : la consommation régulière d'une eau dure favorise la formation des calculs rénaux (OMS., 2003). Il n'est pas conseillé aux domestiques d'utiliser une eau très dure, car elle présente des inconvénients d'ordre domestique en raison de la précipitation du calcaire (carbonate de Calcium). On peut éviter la formation de tartre en éliminant le calcium par adoucissement ou osmose inverse. En outre le calcaire diminue l'efficacité des détergents (OMS., 2003).

Le tableau 2 représente les qualités de l'eau en fonction du degré hydrotimétrique

Tableau 2: Interprétation de la valeur du degré hydrotimétrique de l'eau.

Degré hydrotimétrique de l'eau (°F)	Qualité de l'eau
$0 < \text{TH} < 10$	Eau très douce
$10 < \text{TH} < 20$	Eau douce
$20 < \text{TH} < 30$	Eau moyennement dure
$30 < \text{TH} < 40$	Eau dure

I-5 POTABILITE D'UNE EAU

Une eau potable est une eau que l'on peut consommer sans danger pour la santé car elle ne doit être ni toxique, ni infestée de bactéries, de parasites ou de virus nuisibles pour l'homme. Actuellement dans le monde plus de 4 millions de personnes meurent encore chaque année à cause d'une eau non potable et 885 millions n'y ont pas accès. Il est donc important de connaître les différentes normes et indicateurs de potabilité et de qualité afin de sensibiliser les personnes en charge de la gestion de l'eau sur l'importance du contrôle de la qualité de l'eau afin d'éviter autant de maladies et de mortalités (**Fokou et al.1996**). Les maladies contagieuses causées par les bactéries pathogènes, les virus et les parasites sont très souvent liées à la consommation d'eau ne répondant pas à des critères minima de potabilité. Elles constituent pour la santé le risque le plus commun et le plus répandu. Il est donc important d'établir des normes et des indicateurs de potabilité et de qualité et surtout de vérifier qu'elles sont respectées, notamment sur les points d'accès à l'eau et si nécessaire de les adapter selon les zones et les particularités locales (**Hach.,1997**). L'OMS a défini des critères de potabilité et des recommandations que les pays développés et la plupart des grandes villes appliquent en permanence à l'aide d'analyseurs en continu ou par des mesures en laboratoire afin de garantir aux consommateurs une eau potable. Ces recommandations assez rigoureuses, ne sont toutefois pas toujours entièrement respectées car trop contraignantes pour certaines régions dépourvues de moyens. Plusieurs régions ou pays, comme l'Union Européenne, ont édité leurs propres normes (**Moore et Jean 1997**).

I-5-1 TRAITEMENT DES EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION

Face aux pollutions du milieu naturel, il est devenu rare de trouver les eaux en grande quantité qui ont les critères de potabilité directement comme prévoient les normes de potabilité. Elles nécessitent en générale des traitements avant l'utilisation.

Le traitement classique et complet d'une eau s'effectue en plusieurs étapes donc certaines ne sont importantes aux eaux les plus propres. Les procédés classiques s'effectuent comme suit :

- ❖ **L'Oxydation** : si les eaux à traiter contiennent beaucoup de matières organiques, ou encore de l'ammoniac, du fer ou du manganèse, une étape d'oxydation préalable est nécessaire. Elle permet d'éliminer plus facilement ces substances au cours de l'étape suivante dite clarification. On utilise pour cela un oxydant comme le chlore et l'ozone (**kerspen. 1999**).
- ❖ **Clarification** : elle permet l'élimination des particules en suspension.
- ❖ **La désinfection** : en fin de traitement, la désinfection permet l'élimination des micro-organismes pathogènes (bactéries et virus).
On utilise pour cela soit un désinfectant chimique comme le chlore et l'ozone soit des rayonnements ultraviolets.
- ❖ **La dénitrations** au moyen de résines échangeuses d'ions qui permettent de remplacer l'ion nitrate par un autre ion, sans danger comme l'ion chlorure ou l'ion carbonate, ou la dénitrations biologique (utilisation des bactéries) qui permet de transformer l'ion nitrate en azote gazeux.

I-5-2 NORMES DE POTABILITE DES EAUX

Les normes de potabilité d'une eau sont les recommandations qui émanent d'organismes et institutions particulièrement compétents. Elles précisent la composition des eaux destinées à la consommation. Une eau respectant les normes prévues, c'est-à-dire potable, ne signifie pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur (**Loé et al. 1996**).

Les principaux paramètres définissant la qualité d'une eau potable sont

- Paramètres physico-chimiques
- Les paramètres microbiologiques
- Paramètres concernant les substances indésirables

Tableau 3: Réglementation concernant la qualité de l'eau de consommation

	OMS(1986)	Cameroun (2008)
Température	-	-
pH	6,5-8,5	6,5-9
Conductivité (µS/cm)	< 400	≤ 1000
Chlorure (mg/L)	≤ 250	≤ 200
Sulfate (mg/L)	-	-
Silice (mg/L)	-	-
Calcium (mg/L)	≤ 100	-
Magnésium (mg/L)	-	≤ 50
Sodium (mg/L)	≤ 200	≤ 150
Potassium (mg/L)	-	≤ 12
Aluminium (Al ³⁺)	≤ 0,2	≤ 0,2
Alcalinité	-	-
Dureté totale (d°F)	≤ 50	-
Résidus sec (180°C)	-	≤ 1500
CO ₂ libre	-	-
Nitrate (mg/L)	≤ 44	≤ 50
Nitrite (mg/L)	≤ 0,3	≤ 50
Fer (mg/L)	≤ 0,3	≤ 0,2
Manganèse (mg/L)	≤ 0,1	≤ 0,05
Cuivre (mg/L)	≤ 1	≤ 1
Zinc (mg/L)	≤ 5	≤ 5
Matières en suspensions	-	-
Arsenic(mg/L)	≤ 0.05	≤ 0.05

I-5-3 Les eaux destinées à la consommation humaine

Les eaux destinées à la consommation humaine répondent à diverses appellations parmi lesquelles nous citons : eaux de robinet, eaux de source, eaux de table, eaux minérales.

I-5-3-1 Eau de robinet

L'eau dite du « robinet » est celle délivrée dans les agglomérations par un réseau de distribution. Cette eau a des origines diverses et subit généralement un traitement qui assure sa potabilité, mais qui peut donner un goût ou une odeur qui altèrent son appétence (**Collin., 2004**).

I-5-3-3 Eau de source

L'eau de source a une origine souterraine ; elle est naturellement pure, ne subit aucun traitement, mais doit se conformer aux mêmes normes de potabilité que pour l'eau du robinet. Elle peut provenir de sources différentes et de régions éloignées (**Duchenmin et John 1998**).

I-5-3-4 Eau minérale

Toutes les eaux sont minérales, seule l'eau distillée est pure. Une eau est dite minérale naturelle si elle est d'origine souterraine naturellement pure (sans polluant) sans avoir subi de traitement ; si sa composition physico-chimique est constante ainsi que l'ensemble des critères de qualité telle la température, l'aspect visuel, le goût, le débit, si ses qualités thérapeutiques ont été reconnues par l'Académie Nationale de Médecine et si l'administration au public en a été autorisée par le Ministère chargé de la santé. Ce n'est pas la teneur totale en sels minéraux, ni la température qui confère à une eau le titre d'Eau Minérale. Elles n'obéissent pas aux normes de potabilité appliquées aux eaux de sources et du robinet. Dans la législation, il n'existe pas de taux maximum de minéralisation. Une eau se caractérise par ses vertus médicinales, « ses caractéristiques sont de nature à lui apporter des propriétés favorable à la santé » (**Gongwala., 2004**).

I-6-Composants de l'eau minérale

Toutes les eaux contiennent trois éléments de base : les bicarbonates, les sulfates et les chlorures (**Patrice., 2014**).

- Les bicarbonates proviennent de la dissolution des roches calcaires ou d'émanations du magma profond.
- Les sulfates sont issus du lessivage de gisements salifères (gypse) d'âge secondaire ou tertiaire.
- Les chlorures sont abondants dans les dépôts d'évaporites, le plus connu étant le chlorure de sodium (sel de cuisine).

I-6-1 Classification des eaux minérales et leurs effets sur l'organisme

La composition des eaux minérales varie beaucoup d'une source à l'autre, selon le temps de parcours dans la roche et le type de roche parcouru. La classification peut se faire selon différents critères : la minéralisation et la composition physico-chimique. La minéralisation des eaux minérales naturelles, constante dans le temps, représente la quantité totale de sels dissous (**Joseph et Michael 2006**).

Dans le présent chapitre, nous avons mis en exergue certaines propriétés essentielles de l'eau et sa composition chimique, nous avons également énuméré l'aspect pollution, les normes de potabilité et enfin les eaux destinées à la consommation humaine et quelques-unes de leurs classifications. La consommation d'une eau est sans risque si on confirme certains nombres de ces propriétés, cela n'est possible qu'à travers l'analyse d'échantillon. C'est pour cela que l'échantillonnage et les techniques d'analyse feront l'objet du chapitre suivant.

**CHAPITRE II : ECHANTILLONNAGE ET
TECHNIQUES D'ANALYSES**

II-1 Définition

L'échantillonnage est une opération qui consiste à collecter des échantillons, dans le but de mener une étude précise afin d'apprécier la qualité des eaux de consommation. On a procédé au prélèvement des eaux de forage dans le quartier Olembé dans la ville de Yaoundé. Ces eaux ont été prélevés dans trois sites différents étiquetés de la manière suivante : SA, SB et SC.

II-2 Paramètre étudié et méthodes d'analyse

Le choix des méthodes d'analyse s'est fait sur la base de la disponibilité des appareils et des réactifs présents au laboratoire d'analyse.

II-2-1 Choix des échantillons

L'échantillonnage doit être homogène et représentatif, et ne doit pas modifier les paramètres physico-chimiques de l'eau. A cet effet nous avons recueilli trois échantillons dans trois sites de forage différents. Dans chaque site, nous avons prélevé trois bouteilles d'eau de contenance 1.5 L chacune.

II-2-2 Mode de prélèvement et conservation

Pour éviter la dilution qui pourrait modifier les paramètres physico-chimiques, les bouteilles vides dans lesquelles on doit prélever et leurs bouchons ont été rincées plusieurs fois avec de l'eau à analyser. Les bouteilles sont remplies à ras bord et bouchées hermétiquement afin d'éviter tout échange gazeux. Nous avons prélevé dans chaque site trois échantillons avec les bouteilles étiquetées pour éviter toute confusion. Nos échantillons ont été acidifiés à pH inférieur à 2 avec l'acide sulfurique afin d'éviter toute précipitation de certains éléments à doser (Fe, Al, Cu....). Par ailleurs, le but du travail est de faire les différentes analyses, mais pour se faire, une maîtrise des techniques expérimentales est indispensable.

II-2-3 Paramètres organoleptiques

Ils sont les premiers repères dont l'homme doit disposer pour évaluer la qualité de l'eau à savoir : sa couleur, son odeur et sa saveur.

II-2-4 Mesure de l'odeur et de goût

Ces paramètres n'ont pas d'appareils appropriés pour leurs mesures. Les eaux de consommation doivent avoir un goût et une odeur non désagréables. En effet la saveur est détectable au goût tandis que l'odeur est perceptible par l'odorat.

II-2-5 Paramètres physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques font appel à des techniques d'analyses très variées fondées sur les propriétés intrinsèques des molécules ou des atomes recherchés (spectrométrie, chromatographie...), ou encore sur leur aptitude à réagir avec des réactifs particuliers. Les informations que procurent les analyses physico-chimiques sont diverses, ces paramètres ont une influence sur la qualité de l'eau et constituent les paramètres essentiels pour la caractérisation de cette dernière (**Roger., 2012**).

II-2-5-1 Mesure du pH

Le pH (potentiel d'hydrogène) représente le degré d'acidité ou d'alcalinité du milieu aqueux. Elle est également la mesure de l'activité des ions hydronium (H_3O^+) contenue dans une solution aqueuse ; d'où la formule $pH = \log_{10} a_{H^+}$. Il est utilisé pour exprimer le degré d'ionisation de l'eau. Il indique le caractère alcalin ($pH > 7$), acide ($pH < 7$) ou neutre ($pH = 7$) de l'eau. C'est la mesure de la concentration en ions Hydronium (H_3O^+) provenant de la dissociation des molécules d'eau en protons H^+ . Le pH de l'eau naturelle varie entre 6,6 et 7,8. Le pH a été mesuré par un pH-mètre type Multimètre HANNA modèle HI9811-5 série pH / °C / EC / TDS METER à affichage numérique, auquel a été relié une triple électrode. Pour réaliser la mesure, l'électrode du pH-mètre

est plongée dans des béciers contenant les échantillons d'eau à analyser. La mesure est faite directement après stabilisation du PH (Roger., 2012).

II-2-5-2 Mesure de la conductivité électrique

La mesure en $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou mS/cm (micro ou milli Siemens par cm) de la conductivité électrique d'une eau s'effectue à l'aide d'un conductimètre. Celui-ci mesure le passage de l'électricité entre deux électrodes plongées dans l'eau. La mesure s'effectue à 20°C ou avec un conductimètre avec compensateur automatique de température. Si l'eau très pure est un isolant qui oppose une grande résistance au passage de l'électricité, il n'en est plus de même lorsqu'elle est chargée en sels minéraux d'origine naturelle (calcium, magnésium, sodium, potassium). A cette minéralisation naturelle liée à la nature des sols s'ajoutent aussi les polluants. La conductivité permet d'apprécier globalement l'ensemble des produits en solution dans l'eau. La mesure de la conductivité est un moyen assez simple de détection d'une anomalie indiquant la présence probable d'une pollution, par comparaison de la valeur mesurée avec celle que l'on était en droit d'attendre. Dans le cadre de notre travail, nous avons utilisé un conductimètre type Multimètre HANNA modèle HI9811-5 série PH/ $^\circ\text{C}$ /EC /TDS METER à affichage numérique, auquel a été reliée une triple électrode. La lecture est faite directement après stabilisation de la conductivité électrique. (Roger., 2012).

Tableau 4: Appréciation des valeurs de la conductivité

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation
$\chi < 50$	Très faible
$50 < \chi < 166$	Faible
$166 < \chi < 333$	Moyenne
$333 < \chi < 833$	Peu élevée
$833 < \chi < 1000$	Elevée
$\chi > 1000$	Très élevée

L'analyse chimique qualitative permet d'identifier les éléments ou les ions qui entrent dans la composition des eaux de forage.

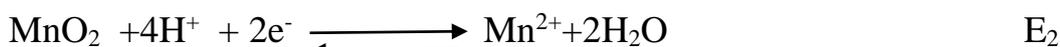
II.3. Analyse chimique qualitative

Concernant notre travail nous avons analysé qualitativement 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 ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$) selon les réactifs et les matériels qui ont été mis à notre disposition. Pour se faire, nous avons effectué les tests d'identification de ces différents ions dans nos échantillons d'eaux de forage étiquetées SA, SB et SC pour vérifier si nos eaux de forage contiennent réellement ces éléments cités.

II.3.1. Recherche des ions chlorures (Cl^-)

Dans un tube à essai contenant notre eau de forage, on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré et un peu de MnO_2 solide. Lorsqu'on chauffe au bain-marie le tube à essai, il se dégage une vapeur qui colore au violet le papier filtre imbibé du réactif de Villiers ou d'empois d'amidon.

L'équation de la réaction est :



II-3-2 Recherche des ions (SO_4^{2-})

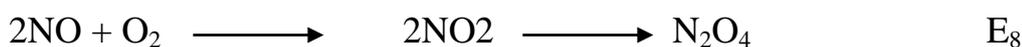
Cet ion est dosé suivant des méthodes gravimétriques, l'ion SO_4^{2-} est précipité sous forme de cristaux par le chromate de baryum BaCrO_4 en milieu acidifié conformément à l'équation suivante :



A la fin de la réaction, l'excès de chromate de baryum est insolubilisé par addition d'ammoniaque(NH₄OH).Le précipité formé est ensuite filtré des ions chromate en quantité équivalente à celle des ions sulfates précipités.

II-3-3 Recherche de l'ion nitrate (NO₃⁻)

Dans un tube à essai contenant notre eau de forage, on ajoute 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.



II. 3.4. Recherche des ions Hydroxydes (OH⁻), Carbonates (CO₃²⁻) et Hydrogénocarbonates (HCO₃⁻)

On introduit 3 gouttes de phénolphtaléine dans des échantillons de nos eaux de forage. Si la solution prend une coloration rose, on conclut que l'échantillon contient les ions OH⁻ et CO₃²⁻. Dans le cas contraire, ces ions n'existent pas en solution. On n'obtient pas de coloration rose donc l'absence des ions OH⁻ et CO₃²⁻ dans nos eaux de forage.

Titration de HCO₃⁻

On prend 100 ml de l'échantillon d'eau de forage, on dose avec l'acide sulfurique de concentration c=0,02M jusqu'à l'équivalence. Cette dernière est marquée par la coloration jaune orangée, preuve que notre eau de forage contient l'ion Hydrogénocarbonate (HCO₃⁻).

II. 3.5. Recherche des ions sodium (Na⁺), ions potassium (K⁺) : tests à la flamme

En introduisant dans une flamme bleue d'un bec Bunsen un fil de fer trempé dans notre eau de forage, on constate que la flamme prend une teinte jaune, la couleur jaune de la flamme est caractéristique des ions Na⁺.

Si la flamme prend une couleur violette, alors c'est une indication pour la présence l'ion potassium (K^+) dans notre eau de forage.

II.3.6. Recherche de l'ion calcium (Ca^{2+})

Versons quelques gouttes de diammonium oxalate de formule $((NH_4)_2C_2O_4)$ dans un tube à essai contenant notre eau de forage, on obtient un précipité blanc de calcium oxalate (CaC_2O_4). Le précipité blanc en présence de diammonium oxalate caractérise les ions Ca^{2+} .

II.3.7. Recherche de l'ion magnésium (Mg^{2+})

Dans un tube à essai contenant notre eau de forage, versons quelques gouttes de Na_2HPO_4 , on obtient un précipité blanc de NH_4MgPO_4 . Ce dernier caractérise les ions Mg^{2+} dans notre eau.

II-3-8 Recherche des ions Fe^{3+}

Mode opératoire

A $1cm^3$ de solution à analyser, ajouter 6 gouttes de solution de NH_3 , H_2O . Laver le précipité obtenu puis le solubiliser dans HCl dilué. Repartir la solution obtenue dans 3 tubes à essai. **(Roger., 2012).**

- Dans le premier tube à essai, ajouter un peu de solution de $K_4[Fe(CN)_6]$; homogénéiser puis observer. Ajouter quelques gouttes de soude, homogénéiser : observer et expliquer.
- Dans le second tube, ajouter quelques cristaux de $KSCN$, homogénéiser et observer. Ajouter $1cm^3$ de soude, homogénéiser, observer et conclure.
- Dans le troisième tube, ajouter 3 à 5 gouttes de solution d'ions fluorure : observer le passage de la solution du jaune à l'incolore.

Observation

En présence de $K_4[Fe(CN)_6]$, une solution aqueuse d'ions Fe^{3+} donne en milieu acide un complexe bleu foncé dénommé « bleu de Prusse » .



Ce précipité peut être dissocié en milieu basique, ce qui régénère le précipité brun-rouille. L'ion cyanure CN^- donne avec Fe^{3+} un complexe de couleur rouge sang peu stable :



En présence d'une solution aqueuse d'ions F^- , une solution aqueuse jaunâtre d'ions Fe^{3+} se décolore par suite de la formation du complexe $[\text{FeF}]^{2+}$;



L'analyse qualitative que nous avons effectuée, nous a permis de bien cibler les espèces dont nous allons mesurer la quantité dans notre eau.

II-4 Analyses chimiques quantitatives

Ces analyses permettent la détermination des teneurs contenues dans nos échantillons d'eaux de forage. Ces analyses se sont faites suivant des multiples techniques d'analytiques utilisées. Les techniques utilisées sont mentionnées dans le tableau 5 suivant :

Tableau 5: Technique d'analyses chimiques quantitatives

Paramètres physico-chimiques	Techniques d'analyses
PH	Potentiométrie
Conductivité	Conductimétrie
STD	Potentiométrie
Na ⁺	Spectrophotométrie de flamme
K ⁺	Spectrophotométrie de flamme
Cl ⁻	Colorimétrie
HCO ₃ ⁻	Colorimétrie
HO ⁻	Colorimétrie
CO ₃ ²⁻	Colorimétrie
SO ₄ ²⁻	Colorimétrie
NO ₃ ⁻	Colorimétrie
Al ³⁺	Colorimétrie
Fe	colorimétrie
Ca ²⁺	Titrimétrie
Mg ²⁺	Titrimétrie

Une radiation d'onde spécifique traversant une cuve remplie d'une solution de concentration C est absorbée par le milieu. Si I₀ est l'intensité du faisceau incident et I l'intensité du faisceau émergent de la cuve, on démontre que :

$A = \text{Log}(I_0/I) = \epsilon \cdot C \cdot L$ qui est une équation de Lambert-Beer où ϵ est le coefficient d'extinction spécifique, C'est la concentration de la solution en g/L et L est l'épaisseur de celle-ci en cm. La concentration C se déduit de la mesure de l'absorbance à l'aide d'étalonnage $A=f(C)$. Dans le cadre de notre travail, les différentes absorbances ont été mesurées à l'aide d'un spectrophotomètre, appareil SPECTRO DIRECT de marque AQUALYTIC à affichage numérique.

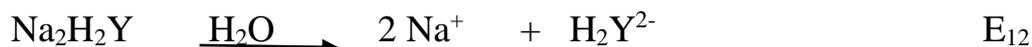
II-4-1-Dosage volumétrique

C'est une technique où la concentration d'une solution inconnue est déduite de la mesure d'un certain volume d'une autre solution de concentration connue. La détermination du point équivalent peut se faire à l'aide d'un indicateur coloré.

II-4-1-1 Dosage de Ca^{2+} et Mg^{2+} par complexométrie : Dosage de la dureté de l'eau ou titre hydrotimétrique(THT)

➤ Titre hydrotimétrique(THT)

Les ions calcium et magnésium présents dans l'eau sont amenés à former un complexe de type chélate avec le sel dissodique d'éthylène diamine tétra acétique (EDTA). Ce sel simplifié de formule $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$, se dissocie en milieu aqueux suivant la réaction :



L'ion H_2Y^{2-} réagit avec un cation métallique pour donner un complexe stable en milieu alcalin. Pour éviter la précipitation du magnésium, il est nécessaire de travailler en milieu tampon ammoniacale ; ceci par ce que les complexes formés sont plus stables en milieu basique. L'indicateur utilisé ici est le noir ériochrome (NET) de formule $\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{N}_3\text{NaO}_7\text{S}$ qui peut se représenter sous la forme H_2R .

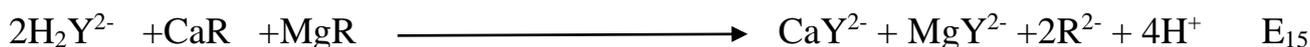
Le NET se dissocie de la manière suivante



❖ Formation de CaR et MgR



❖ Formation des complexes CaY^{2-} et MgY^{2-}



• Mode opératoire

Introduire dans un erlenmeyer de 250 ml d'eau de forage à analyser, 10 ml de tampon ammoniacal, quelques graines de NET. La solution d'EDTA (0.001N) est ensuite ajoutée au contenu d'elenmeyer goutte à goutte au moyen d'une burette. Une

agitation du mélange est réalisée à l'aide d'un agitateur magnétique et d'un barreau aimanté. Le point équivalent est déterminé lorsque la solution vire du rouge vin au bleu.

Titre hydrotimétrique calcique (THCa)

A ce niveau on se sert d'un indicateur : la Murexide de formule chimique

(C₈ H₈ N₆ O₆), de la soude concentré dont le rôle est de précipiter les ions Mg²⁺ de la solution pour la formation de l'hydroxyde de magnésium Mg(OH)₂ stable en milieu fortement basique. Le complexe calcium murexide donne une coloration rose .Le point équivalent sera marqué par le virage du rose au violet.

- **Mode opératoire**

Introduire dans un erlenmeyer de 250 ml ,10 ml d'eau de forage à analyser, 8 gouttes de soutes, quelques graines de murexide. La solution d'EDTA(0.001) est ensuite ajouté au contenu de l'elenmeyer goutte à goutte au moyen de la burette. L'agitation du mélange est effectuée à l'aide d'un agitateur magnétique et d'un barreau aimanté. Le point équivalent est déterminé par le virage de la couleur rouge rose au violet.

II-4-1-2 Dosage des ions hydrogénocarbonates, carbonate : Titre alcalimétrique complet (alcalinité) et titre alcalimétrique.

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des ions hydrogénocarbonate, carbonate et hydroxyde. Concernant notre travail le principe est basé sur la neutralisation d'un certain volume d'eau de forage par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré.

II-4-1-3 Détermination du titre alcalimétrique (TA)

- **Mode opératoire**

Prélever 100ml d'eau à analyser, ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénolphtaléine. Une coloration rose doit alors se présenter.

Dans le cas contraire TA est nulle, c'est le cas pour les eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8.3. Versons ensuite de l'acide dans l'erlenmeyer à l'aide d'une burette en agitant constamment jusqu'à la décoloration complète de la solution. Le TA se calcule de la manière suivante :

$$TA = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HO}^-] .$$

II-4-1-4 Détermination du titre alcalimétrique complète(TAC)

Définition

Le titre alcalimétrique complet est le volume d'acide exprimé en mL à 0.02 mol/L⁻ en ion hydronium nécessaire pour doser 100 mL d'eau en présence de méthylorange encore appelé hélianthine ou de vert de bromocrésol. Il s'exprime en °F. L'alcalinité d'une eau correspond à la présence d'espèces basiques telles que les ions basiques (HO⁻), les ions carbonates (CO₃²⁻), les ions hydrogénocarbonates (HCO₃⁻) et dans une moindre mesure les ions phosphates (PO₄³⁻) et silicates (SiO₃²⁻).

➤ Mode opératoire

Utiliser l'échantillon des eaux de forage qu'on a traité précédemment. Ajouter 2 gouttes de solution de méthylorange et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à virage du jaune au jaune orange avec un pH=4.3. S'assurer qu'une solution d'acide en excès provoque le passage de la coloration du jaune orangé au rose orangé.

Le titre alcalimétrique complet est donné par la formule suivante :

$$TAC = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HO}^-] \text{ or } TA = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HO}^-] \text{ dont on aura alors :}$$

$$TAC = [\text{HCO}_3^-] + TA. \text{ Si } TA=0, \text{ on aura finalement } TAC = [\text{HCO}_3^-] .$$

II-4-1-5 Dosage des ions sodium et potassium par spectrophotométrie de flamme

L'état fondamental est la configuration la plus stable de l'atome. Un faisceau de lumière monochromatique de fréquence absorbable par l'élément cherché, est envoyé dans une vapeur atomique de cet élément, produite par excitation thermique ou électrique de la solution qui le contient. La mesure de l'intensité lumineuse avant et après son passage dans la vapeur atomique permet de déterminer le pourcentage

d'absorption. Ceci, est fonction non seulement de la concentration de l'élément recherché dans la vapeur atomique, mais surtout de sa concentration dans la solution ou produit initial.

Dans ce chapitre nous avons développé les différentes méthodes d'analyse (potentiomètre, spectrophotométrie flamme, colorimétrie, conductimètre). Les résultats obtenus au cours de cette analyse et les essais d'interprétation constitueront l'objet du prochain chapitre.

**CHAPITRE III : RESULTATS ET
ESSAIS D'INTERPRETATIONS**

On portera un jugement de valeur partiel sur la qualité des eaux destinées aux consommations humaines présentes dans le quartier Olembé dans la ville de Yaoundé. Ainsi nous allons proposer dans la suite les résultats des analyses effectuées et leurs interprétations.

III. Mesure des paramètres physico-chimiques

Récapitulons dans le tableau 6 les résultats des mesures des facteurs physico-chimiques avant leurs interprétations.

Tableau 6: Résultats des paramètres physico-chimiques

Paramètres	Unités	SA	SC	SC	Norme de l'OMS	Norme Camerounaise
pH	-	6,6	6,5	6,2	6,5-8,5	6,5-9
Conductivité électrique	µS/cm	250	90	10	< 400	-
Salinité	mg/L	120	40	0	< 1000	-
MES	Mg /L	0	0	0	10	-

III-1 pH

Les valeurs du pH des nos trois échantillons d'eau de forage données par le multimètre pour les différents échantillons sont inférieures à 7 et sont conformes aux normes de l'OMS de 1986 et du Cameroun de 2008. Donc nos eaux de forage ont un pH acide. En effet, cette acidité s'expliquerait en majorité par la présence de l'acide carbonique (CO₂ libre) dans cette eau. Les valeurs pour les échantillons SA et SB sont favorables aux procédés biologiques car se situent entre 6,5 et 7,5 (**Patrice 2014**) ; mais pas le cas pour l'échantillon de site SC car ce dernier a un pH n'appartenant pas dans la zone 6,5 et 7,5.

III-2 Conductivité électrique et Minéralisation

La conductivité électrique de l'eau de forage varie en fonction des sites. Les mesures font apparaître que les valeurs obtenues pour nos sites de forage sont 250 ; 90 ; 10 ms /cm respectivement pour les trois sites. Ces résultats sont conformes à ceux recommandés par l'OMS ($< 400 \mu\text{S/cm}$). Ces eaux de forage sont peu conductrices par conséquent faiblement minéralisées.

Il est à souligner que cette situation n'est guère réjouissante car ces eaux s'appauvrissent de plus en plus en substances (calcium, magnésium) qui sont des éléments essentiels pour notre croissance (**Patrice 2014**).

III.3 Salinité (STD)

La salinité est représentée par les sels totaux dissouts dans nos eaux de forage. Le multimètre a donné les valeurs de (120 ; 40 et 0 mg/L) respectivement pour les trois échantillons de nos sites de forage ; les valeurs conformes à la norme de l'OMS. Ces faibles valeurs de la salinité dans les trois échantillons sont liées à la faible dissolution des sels. Une faible concentration de TDS indique que des polluants nuisibles comme le fer, le manganèse, le sulfate, le bromure et l'arsenic pourraient être absents dans nos eaux. Cependant, une concentration très basse de TDS (moins de 300) donne un goût fade à l'eau qui est indésirable à beaucoup de Personnes : c'est le cas de nos trois sites de forage (**Patrice 2014**).

III.4 MES (Matières en suspension)

Nous constatons que dans les trois échantillons la mesure de matières en suspension a donné une valeur de 0 mg/L pour les trois sites. Cette absence de matières en suspension dans nos eaux de forage justifie l'absence de particules organiques ou minérales (sable, terre, sédiment, divers débris) qui sont indicateurs de pollution (**Patrice 2014**).

III-5-Analyses chimiques qualitatives

Les résultats obtenus au terme de l'analyse qualitative consignés dans le tableau 7 suivant où les signes + et - représentent respectivement la présence et l'absence de élément chimique considéré.

Tableau7: Résultats des différents éléments présents dans nos sites de forage

Paramètres	Site A (SA)	Site B (SB)	Site C (site C)
Cl ⁻	+	+	+
HCO ₃ ⁻	+	+	+
HO ⁻	-	-	-
CO ₃ ²⁻	-	-	-
SO ₄ ²⁻	+	+	+
NO ₃ ⁻	+	+	+
Na ⁺	+	+	+
K ⁺	+	+	+
Al ³⁺	+	+	-
Ca ²⁺	+	+	+
Mg ²⁺	+	+	+
Fer total	+	+	+

Le choix des essais a été fait suivant la disponibilité des réactifs et appareils mis à notre disposition dans nos laboratoires d'analyse. Il ressort de cette analyse que les ions suivants sont présents :

- ❖ Les anions : Cl⁻, HCO₃⁻, HO⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻
- ❖ Les cations Na⁺, K⁺, Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fer total (Fe²⁺+Fe³⁺)

A l'issue de l'analyse qualitative, la présence des substances indésirables (NO₃⁻ et Fer total) dans nos échantillons est un indicateur de pollution. Outre la présence de ces substances indésirables, notre crainte peut aussi résider au niveau des teneurs des substances présentes dans nos échantillons car, tout élément, même indispensable, au-delà d'une certaine teneur devient nuisible pour la santé. C'est la raison pour laquelle

nous nous intéresserons aux résultats de l'analyse quantitative car elle pourra nous donner plus de lumière sur la qualité de l'eau.

III –6-Analyse quantitative

III-6-1 Dosages volumiques

Le dosage volumétrique a donné les résultats consignés dans le tableau 8 suivant :

Tableau8: Résultats du dosage volumétrique

Espèces	Unités	SA	SB	SC	Norme de l'OMS	Norme du Cameroun
Ca ²⁺	mg/L	20,0	16	28	≤ 100	-
Mg ²⁺	mg/L	12	9.6	7,2	-	≤ 50
HCO ₃ ⁻	mg/L	63.44	6.1	4.88	-	-
THT	mg/L	21,9	19,4	20,0	≤ 50	-
TAC	mg/L	63.44	6.1	4.88	-	≤ 50

NB: TAC= [CO₃²⁻] + [HO⁻] + [HCO₃⁻] or [CO₃²⁻] = [HO⁻] =0, donc TAC= [HCO₃⁻].

III-6-2 Dureté totale

Les titres calciques et magnésiques obtenus dans nos échantillons sont respectivement (20 ; 12 mg/L) pour SA ; (16; 9,6 mg/L) pour SB et (28 ; 7,2 mg/L) pour SC. Ces valeurs sont conformes aux recommandations normatives. Par ailleurs la dureté totale est la somme des concentrations des ions Ca²⁺ et Mg²⁺. Elle est relativement faible pour nos échantillons d'eau de forage ; soit 32 mg/L pour SA, 25,6 mg/L pour SB et 35,2 mg/L pour SC. Ces différentes valeurs sont conformes à celles prévues par les normes de référence. Ces eaux de forage sont douces car leurs duretés totales sont inférieures à 75mg/L de carbonate. Il n'est pas à négliger que le calcium et le magnésium sont des éléments indispensables pour l'organisme humain, donc il est nécessaire de les avoir en quantité suffisante dans les eaux destinées à la

consommation. L'inquiétude ici est le fait que nos eaux de forage ne nous permettent pas d'avoir en quantité suffisante la dureté totale valable pour le bon fonctionnement de notre organisme. Il serait nécessaire pour nous de compenser l'insuffisance de ces éléments par les aliments riche en Calcium et Magnésium (**Joseph et Michael 2006**).

III.6.3-Titre alcalimétrique complet (TAC)

Lorsqu'on parle de l'alcalinité, on fait allusion à un milieu basique. Ceci ne signifie pas forcément que le pH des échantillons de nos sites d'eau de forage est supérieur à 7. Cependant, certaines eaux de consommation, comme le cas de nos eaux du forage avec un pH autour de 7 contiennent encore des sels qui peuvent neutraliser les acides. Les ions hydrogénocarbonates (HCO_3^-) contribuent à l'alcalinité de notre eau (**Joseph et Michael 2006**). Sa formation résulte de l'hydrolyse de CO_2 présent dans l'eau selon l'équation suivante :



III-7 Dosage colorimétrique

III-7-1 Présentation des résultants du dosage colorimétrique

Le dosage colorimétrique a donné les résultats consignés dans le tableau 9suivant :

Tableau9: Résultats de la colorimétrie

Paramètres	Unités	SA	SB	SC	Norme de l'OMS	Norme Camerounaise
NO_3^-	mg/L	10,6	9,45	8,3	≤ 50	≤ 50
Fer total	mg/L	0,24	0,21	0,193	$\leq 0,3$	$\leq 0,2$
Cl^-	mg/L	7,44	13,12	4,48	≤ 250	≤ 250

III.7.2. Essais d'interprétation

III-7-2-1 Les ions Nitrates (NO_3^-)

La teneur en ions nitrates varie avec les sites SA, SB et SC. Cette variation avec les différents sites est liée à la pollution azotée. Les éléments azotés sont représentés dans l'eau par des substances indésirables. Les valeurs moins élevées des ions nitrates (10,6 ; 9,45 et 8,3) mg/L respectivement pour les sites SA, SB et SC pourraient être dues à une bonne utilisation des engrais. Ceci s'explique par le fait que le nitrate présent dans nos échantillons d'eau de forage découle de l'utilisation excessive des engrais contenant l'élément azote. Les teneurs sont en conformité avec la réglementation de l'eau en vigueur. 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 nitrates. A cet effet, l'Organisation mondiale de la Santé a fixé à 50 mg/L la valeur normale 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(**Pierre et Patrick 2010**).

III-7-2-2 Le fer total ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$)

Les teneurs du fer total dans les échantillons des sites d'eaux de forage sont (0,24 ; 0,21 et 0,193) mg/L respectivement pour nos échantillons de trois sites SA ; SB et SC. Lorsqu'on compare ces différentes valeurs à celles recommandées les normes camerounaise et de l'OMS, on constate que les trois échantillons de nos sites sont en conformité avec la norme de l'OMS. Par ailleurs, les échantillons des sites (SA, SB) ne sont pas en conformité avec la norme camerounaise et OMS. Nous pouvons dire que la consommation de l'eau des échantillons des sites SA et SB est sans danger sur la santé de la population, car le fer entre dans la composition de l'hémoglobine, donc est indispensable pour l'homme (**Joseph et Michael 2006**).

III-7.2.3. Ions chlorures (Cl^-)

Pour les trois échantillons, nous avons des teneurs en chlorures qui varient avec les sites SA, SB et SC. Ces valeurs sont respectivement 7,44 ; 13 ,12 et 4,48 mg/L qui restent toujours inférieures à 250 mg/L, recommandées par l’OMS. Ce qui veut dire qu’elles sont conformes aux normes. La présence des chlorures dans nos échantillons se justifierait par le dépôt d’évaporites, de la pollution, du traitement (chloration) de l’eau par des substances tels que, le chlore gazeux, dioxyde de chlore(Cl_2O), hypochlorite de sodium (NaClO), hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) (Roger et al. 2012).

III-8 Spectrophotométrie par absorption atomique

III-8-1 Présentation des résultats

La spectrophotométrie par absorption atomique a donné les résultats consignés dans le tableau 10 suivant :

Tableau 10: Des teneurs en Na^+ et K^+

Espèces	Unités	SA	SB	SC	Norme de l’OMS	Norme Camerounaise
Potassium	mg/L	5,01	1,2	4 ,954	-	≤ 12
Sodium	mg/L	4	7	4	≤ 200	≤ 150

III-8-1-1 Ion sodium (Na^+)

Le sodium appartient au groupe des métaux alcalins. La haute solubilité fait qu’il ne précipite jamais. Nous avons enregistré respectivement pour les trois eaux de forage les valeurs 4 ; 7 et 4 mg/L. Ces différentes valeurs sont largement inférieures à celles recommandées par l’OMS et le Cameroun. Le sodium est l’élément prépondérant dans le sang et dans les liquides extracellulaires .Avec le potassium, il détermine l’équilibre hydrique de l’organisme et l’hydratation des cellules. Au niveau rénal, son élimination ou sa rétention est l’un des mécanismes de régulation de la pression artérielle .Il joue

également un rôle essentiel dans la concentration musculaire, et naturellement celle du cœur (**Roger et al. 2012**).

III.8.1.2. Ion potassium (K^+)

Comme le sodium, le potassium appartient au groupe des métaux alcalins. Les valeurs de la teneur en potassium pour les trois échantillons (SA ; SB et SC) sont respectivement (5,01 ; 1,20 et 4,95 mg/L). Ces valeurs restent en conformité avec la norme Camerounaise en vigueur. Le potassium agit positivement sur les contractions musculaires, sur le bon fonctionnement des reins et des glandes surrénales (**Roger et al. 2012**).

IV. 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 11 suivant

Tableau 11: Récapitulatif des résultats comparés avec les normes

Paramètres	Unité	SA	SB	SC	OMS	CAMEROUN
pH	-	6,6	6,5	6,2	6,5-8,5	6,5-9
Conductivité	μS/cm	250	90	10	<400	<1000
TDS	mg/L	120	40	0	-	-
Potassium (K ⁺)	mg/L	5,01	1,2	4,954	-	≤12
Sodium (Na ⁺)	mg/L	4	7	4	≤200	≤150
Hydrogénocarbonate (HCO ₃ ⁻)	mg/L	63,44	6,1	4,88	-	-
Fer total	mg/L	0.24	0,21	0,193	≤0,3	≤0,2
Chlorures (Cl ⁻)	mg/L	7,44	13,12	4, 48,	≤250	≤200
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/L	10,6	9,45	8,3	≤50	≤50
MES	Mg/L	0	0	0	-	-
Calcium (Ca ²⁺)	mg/L	20	16	28	≤100	-
Magnésium (Mg ²⁺)	mg/L	12	9,6	7,2	-	≤50
Dureté totale (THT)	mg/L	32	25,6	35,2	≤50	-

V-Analyse de la potabilité

Nous avons rappelé au début de ce travail les critères que doit remplir une eau pour être considérée parfaitement potable. En se basant sur ces critères, nous pouvons à l'aide des résultats obtenus au cours des analyses apprécier la potabilité de nos différents échantillons. En terme de qualité, nos échantillons analysés respectent les normes de l'OMS(1986) et du Cameroun dans la plupart de cas. En ce qui concerne les chlorures, la dureté totale, l'alcalinité, le potassium, la conductivité électrique, les normes de l'OMS(1986) et du Cameroun sont respectées.

La présence significative des substances indésirables (Fer total et NO₃⁻) dans nos échantillons est un indicateur de pollution de l'eau dans le quartier Olembé.

VI-Etude comparative des eaux de forage avec les eaux minérales vendues sur le marché Camerounais

Récapitulons dans le tableau 12 les teneurs des éléments contenus dans les différentes eaux minérales et les eaux de forage

Tableau12: Étude comparative des eaux de forage avec les eaux minérales

Espèces	Unités	Tangui	Supermont	Semme	Sano	SA	SB	SC
Ca ²⁺	mg/L	32	30	13	6,0	20	16	28
Mg ²⁺	mg/L	21	5,9	12	2,3	12	9.6	7.6
Na ⁺	mg/L	1	0	32	1,4	4	7	4
K ⁺	mg/L	10	3,8	5	1,2	5.01	1.2	4.95
Cl ⁻	mg/L	1	1,3	0	0,5	4.44	13,12	4.48
NO ₃ ⁻	mg/L	0	0	0,01	0	10.6	9,45	8.3
HCO ₃ ⁻	mg/L	217	134	161	45	63.44	6,1	4.44
Fer total	mg/L	0	0	0	0	0.24	0,21	0.193

Les teneurs en Calcium et Magnésium en fonction des différentes eaux sont illustrées par la figure 3 ci-après :

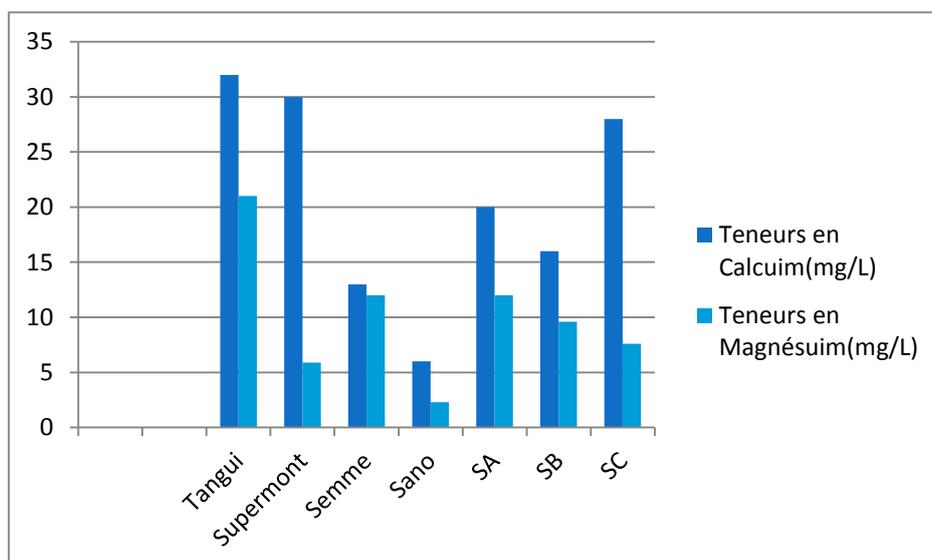


Figure 3: Teneurs en Calcium et Magnésium en fonction des eaux

En comparant les eaux de forage aux eaux minérales, on constate que les trois sites ont une teneur en Calcium et Magnésium appréciable que celles de Sano et sont inférieures à celles des autres eaux minérales. On note l'importance du Calcium et Magnésium dans l'organisme.

Le Calcium intervient en grande partie comme constituant dur dans les dans les tissus osseux et les dents (**Olivier et Satokokishimoto 2011**).

De ce fait, pour palier au problème de carence de ces éléments dans nos eaux de forage il serait préférable de consommer l'eau minérale Tangui.

Les teneurs en Sodium et Potassium en fonction de différentes eaux sont illustrées par la figure 4 ci-dessous

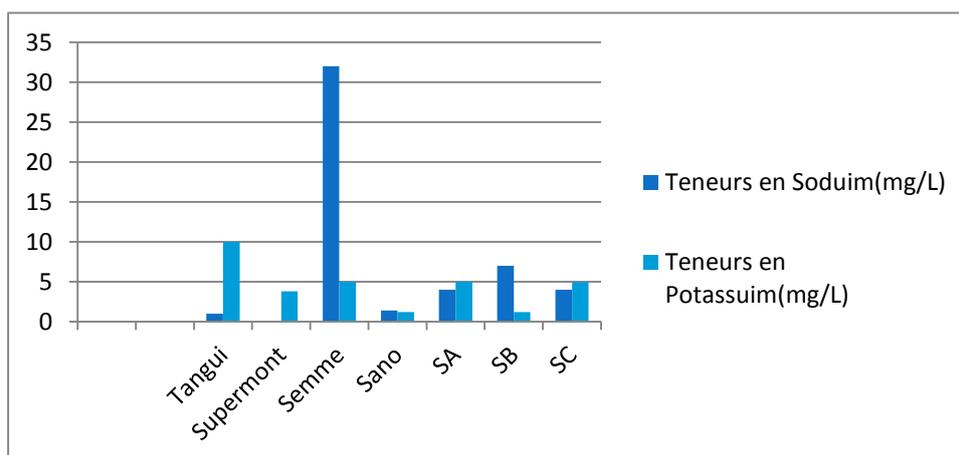


Figure 4: Teneurs en Sodium et Potassium en fonction des eaux

En dehors de l'eau minérale Semme (32 mg/L), les eaux de forage sont très riches (5 mg/L) en Sodium que les autres eaux minérales. La teneur en Potassium dans l'eau de forage est supérieure à celles de Sano et Supermont, mais inférieure à celles des autres eaux minérales. La figure 4 nous montre que les eaux de forage sont moyennes en Sodium et Potassium comparées aux autres eaux minérales.

En dehors de l'eau minérale Semme il est conseillé de consommer les eaux de forage riches en Sodium car, au niveau rénal, son élimination ou sa rétention est l'un des

mécanismes de régulation de la pression artérielle (Olivier et Satokokishimoto 2011).

Les teneurs en Chlorures en fonction des différentes eaux sont représentées par la figure 5 suivante :

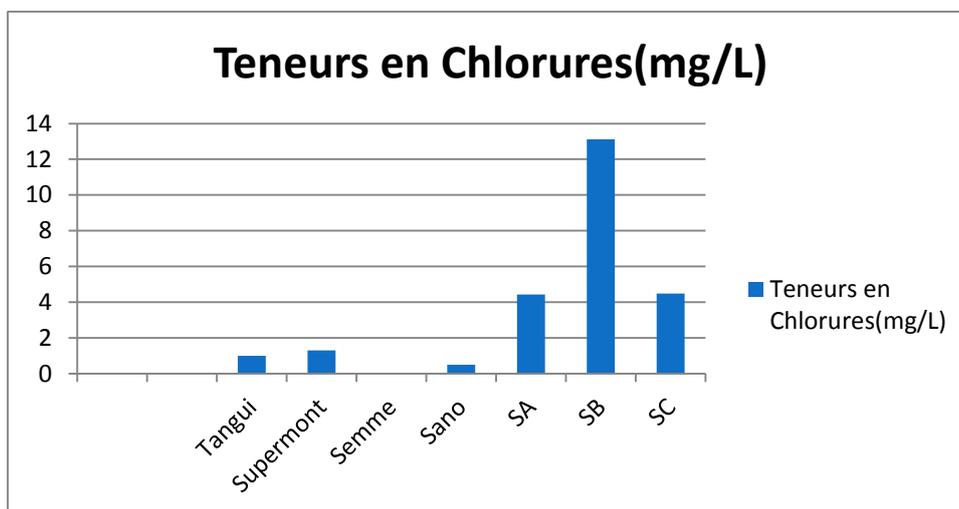


Figure 5: Teneurs en Chlores en fonction des eaux

Les ions Chlorures sont fortement représentés dans les eaux de forage par rapport aux eaux minérales. Cette forte présence des ions Chlorures peut s'expliquer lors du traitement de cette eau par les chlorures.

Les teneurs en Nitrates en fonction des différentes eaux sont illustrées par la figure 6 suivante :

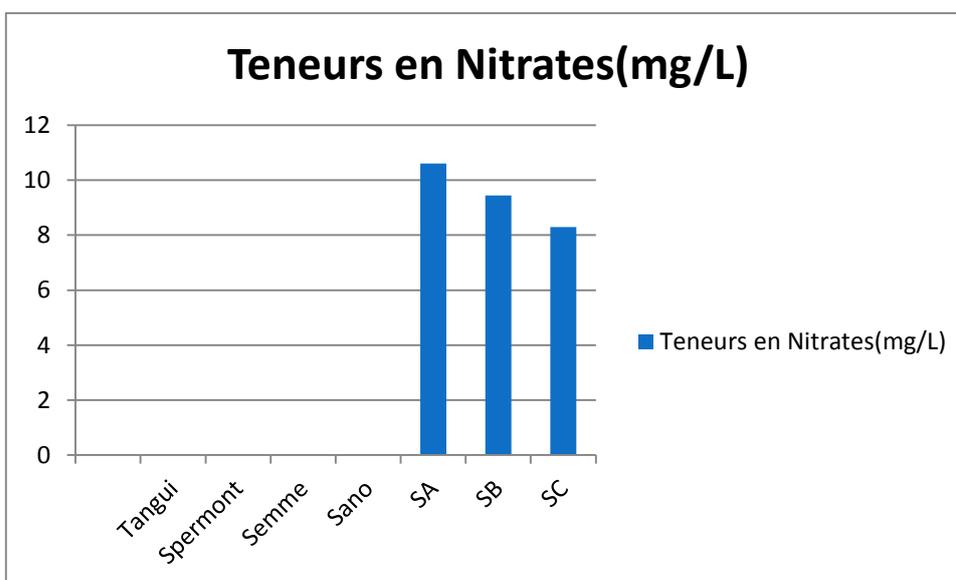


Figure 6: Teneurs en Nitrates en fonction des eaux

Les eaux de forages sont très riches en nitrates, tandis que les eaux minérales n'en contiennent pas. La présence significative de ces ions dans les eaux de forage est un indicateur de pollution. La présence de ces ions dans les eaux de forage s'explique par l'utilisation excessive des engrais qui s'infiltrent dans le sol et se retrouvent dans les eaux de forage.

Les teneurs en Hydrogénocarbonates en fonction des différentes eaux sont représentées par la figure 7 ci-dessous :

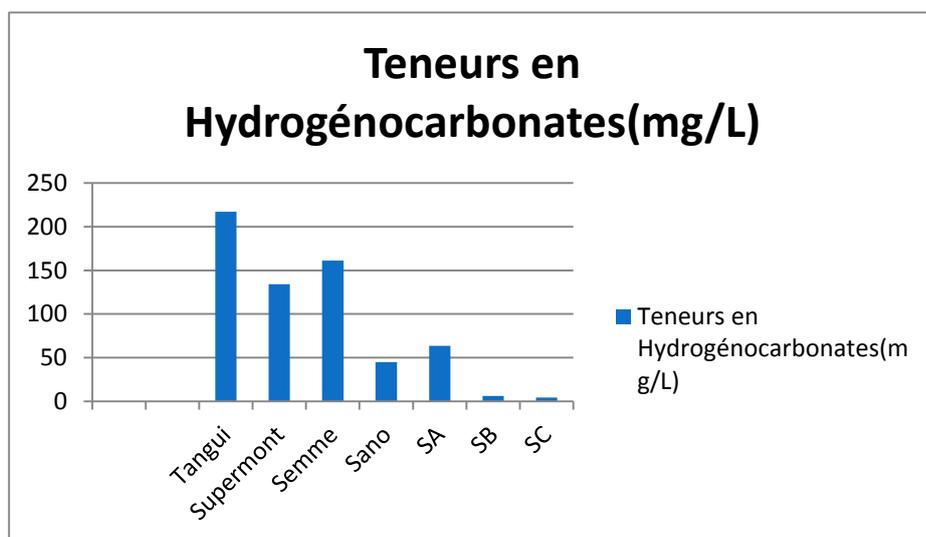


Figure 7: Teneurs en Hydrogénocarbonates en fonction des eaux

La teneur en hydrogénocarbonates du forage de site C est très inférieure à celle des eaux minérales. Celles des sites A et B sont supérieures à celle de l'eau minérale Sano et inférieures à celles des autres eaux minérales. La faible teneur des ions hydrogénocarbonates des eaux de forage s'explique par l'absence du CO₂ libre dans l'eau (Olivier et Satokokishimoto 2011).

Les teneurs en Fer total en fonction des différentes eaux sont représentées par la figure 8 suivante :

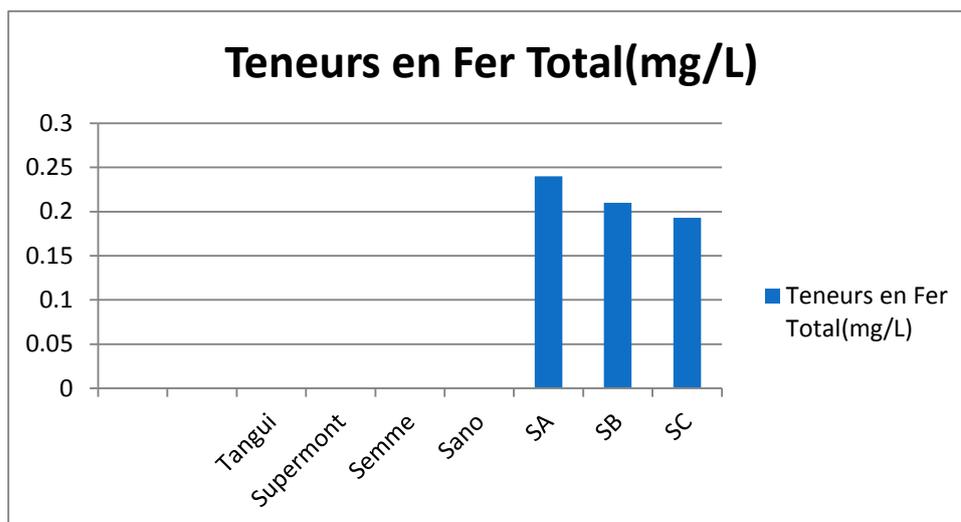


Figure 8: Teneur en Fer total en fonction des eaux

Le Fer total est présent dans les eaux de forage et absent dans les eaux minérales. Cette présence est un indicateur de pollution pour les eaux de forage.

Il ressort de la comparaison des teneurs des ions présents dans les eaux de forage à celles des eaux minérales vendues sur le marché Camerounais qu'elles contiennent les substances indésirables (NO_3^- et Fer total) qui sont un indicateur de pollution. En plus les eaux de forage sont pauvres en cations alcalis et moyens en métaux alcalins, on dit qu'elle est faiblement minéralisée. Pourtant ces éléments sont essentiels et entrent dans le bon fonctionnement de l'organisme.

Après l'interprétation des résultats obtenus, il ressort que les teneurs de la plupart des différentes substances analysées respectent les recommandations normatives.

INTÉRÊT PÉDAGOGIQUE

Dans cette partie, nous essayons d'établir un lien entre le présent travail de recherche et son apport pour notre future carrière d'enseignant.

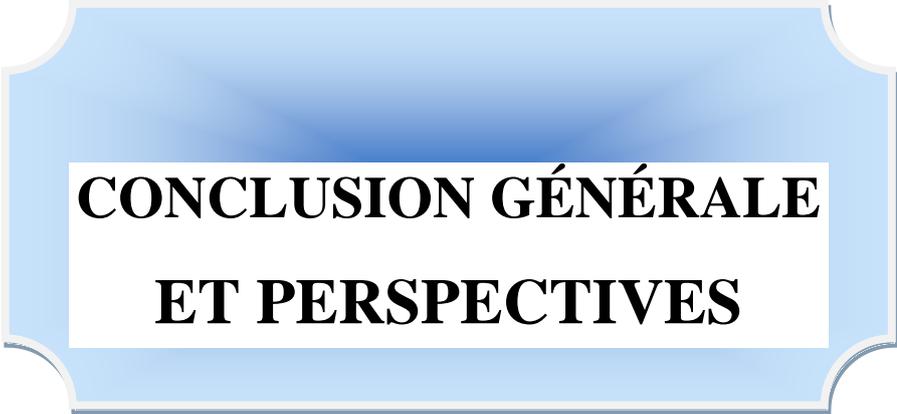
C'est ainsi que nous nous sommes rendus compte que l'étude bibliographique trouve son importance sur la préparation d'une leçon ; elle nécessite une grande capacité de synthèse des documents acquis lors de la rédaction et cultive. Elle nous donne également une attitude scientifique à savoir l'honnêteté intellectuelle.

La partie expérimentale a son apport sur la mise en œuvre d'une leçon de travaux pratiques. Cette partie permet également aux futurs enseignants que nous sommes de s'imprégner et de maîtriser les techniques de laboratoire, en l'occurrence l'analyse des constituants des eaux dans le cas général et en particulier les eaux de forage car en classe de Troisième et Seconde, nous verrons des tests d'identification des ions dont l'eau en contient une grande partie des ions (K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-).

La partie résultats et interprétations constitue un exercice de comparaison entre la littérature et les résultats obtenus ; cette partie nous a permis d'analyser, d'expliquer et de critiquer scientifiquement les résultats obtenus afin d'écarter certaines ambiguïtés.

La conclusion offre à l'enseignant l'importance d'évaluer et surtout de vérifier si à la fin d'une leçon, les objectifs visés ont été atteints.

En somme, ce travail nous a permis de développer en nous, les aptitudes et les attitudes scientifiques telles que la planification de procédures expérimentales, l'exploitation des résultats expérimentaux, l'honnêteté intellectuelle, l'esprit critique, le respect de l'évidence qui sont des valeurs indispensables à un enseignant des Sciences Physiques.



**CONCLUSION GÉNÉRALE
ET PERSPECTIVES**

Dans le souci de contribuer à l'amélioration de la qualité des eaux de consommation par les populations, d'en vulgariser l'accès pour un plus grand nombre de personnes en vue de garantir de meilleures conditions de vie et de santé, nous avons mené une étude visant à évaluer la potabilité de quelques eaux de forage du quartier Olembé en fonction des normes prévues par l'OMS et le Cameroun .

Aux vus des résultats obtenus, il apparaît que les consommateurs de ces eaux courent un risque pour la santé car l'analyse de ces forages montre qu'ils contiennent des éléments marquant la pollution d'une eau (NO_3^- , Fer Total). Pour régulariser cette situation, nous conseillons aux populations de procéder par une désinfection avant toute consommation. Les analyses quantitatives de quelques éléments mis en évidence (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , NO_3^- , Cl^- , Fer total) ainsi que les mesures de conductivité font apparaître que nos eaux sont très douces et peu minéralisées. Les mesures de pH mettent en évidence le caractère acide des eaux étudiées.

Ces eaux sont pauvres en Ca^{2+} et Mg^{2+} comparées à certaines eaux minérales vendues sur le marché Camerounais.

Pourtant ces éléments sont essentiels et entrent dans le bon fonctionnement de l'organisme.

Pour pallier au problème de carence, nous conseillons vivement aux populations de compenser cette insuffisance en consommant les aliments riches en Calcium et Magnésium. En plus ces eaux contiennent les substances indésirables (NO_3^- , Fer total) qui apparaissent en quantités conformes aux normes du Cameroun, et de l'OMS, mais leur présence même en faible proportion est un indicateur de pollution.

Globalement, nous pouvons émettre des réserves quant à la potabilité de ces eaux de forage compte tenu des teneurs de quelques paramètres supérieurs aux minima recommandés par les normes. Cependant, nos eaux semblent être

très peu nutritives à cause de sa faible minéralisation. Ceci pourrait se répercuter sur la santé des consommateurs.

Notons cependant que ces eaux de forage sont en raison de leurs douceurs convenables aux usages domestiques tels que le lavage et la cuisson. Les consommateurs peuvent cependant compenser le manque à gagner de l'eau par leur alimentation. A cet égard, un éventuel traitement s'avère nécessaire pour ajuster certains paramètres physico-chimiques de cette eau.

REFERENCES BIBIOGRAPHIQUES

Banton, O., Baongoy L.M.(1997). *Hydrogéologie multi sciences environnementales des eaux souterraines.* Québec (Canada) : PUQIAUPELF-UREF.

Beaux, J F. (1997).L'environnement Paris : Nathan

Burton,J. (2003). Integrated water resources management on a basin level: a training manual Canada: UNESCO

Colin,JJ .(2004) . Les eaux souterraines .Connaissance et gestion.

Dajoz,R .(1985).Précis d'écologie.Paris :Dunod.

Duchemin,J.(1998).Grilles de qualité des eaux d'alimentation humaine : paramètres et fréquences d'analyses des sources en fonction de substrats et de l'environnement.

Dupont,A .(1987).Hydraulique urbaine,captage et traitement des eaux.Tome 1.5^e édition paris :Eyrolles.

Fonkou, (1996). Epuration par voie naturelle des eaux du campus de l'université de Yaoundé 1 .Thèse de doctorat de 3^e cycle. Yaoundé (Cameroun) : Faculté des sciences UY1.

Fonteh, M.F. (2003). *Water for people and the environment.* Cameroon water development report:United Nations.Economic commission for Africa Addis Abeba, Ethiopia.

Gongwala.J .(2004).Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques des eaux du Cameroun : cas des sources « NYA » à melen(Yaoundé), mémoire de DI.P.E.SII, UY1 .

Gisel B. (2007).Pollution des eaux de rivières et impact sur les populations riveraines : casé la rivière Mgoua dans la zone industrielle de Douala.

Hach, (1997).Water analysis handbook. 3^eédition.Loveland Colorado (USA): HachCompany.

Joseph .Z,M .G.(2006).L'eau et ses secrets .Edition Désiris.

Kerspen. (1999). Les réseaux d'assainissement.Ouagadougou (Burkina fasso) :Ecole inter Etats des techniciens supérieurs de l'hydraulique et de l'équipement rural.

- Leroy, J.B. (1996).** La pollution des eaux 4^e édition. Paris : presse université de France.
- Loé, MF. (1996).** Mémorandum sur la situation environnemental de la ville de Douala (Cameroun) : communauté urbaine de Douala.
- Moore, J.w. (1987).** Diversity and indicator species as measures of water pollution in a subarctic lake. *Hydrobiologia* 66(1) p73-80 .
- Olivier. H, S. (2011).** L'eau, un bien public, paris, édition Charles Léopard Mayer .p32 .
- Organisation mondiale de la santé (OMS) . (2003).** L'eau pour les hommes, l'eau pour la vie. UNESCO-WWap .
- Patrice. S. (2014).** Quelle eau consommée ?, Biocontact, P.76.
- Pierre R, P.J. (2010).** Aide mémoire formulaire du froid, 14^e édition, Dunod p.9 .
- Tarda .H, (1992).** Chimie des eaux, édition le griffon d'argile ,p229.
- Tchakounte .T, (2005).** Contribution à l'étude des propriétés physico-chimiques des eaux du Cameroun : cas de la source « Dispensaire BAPIDE » à Eoug-ébé (Yaoundé) , mémoire de D.I.P.E.S.II, UY1 .
- Tegua. N. (2009).** Consommation à l'étude des propriétés physico-chimiques des eaux destinée à la consommation humaine dans la ville de Yaoundé. cas : Aquarel, Camwater, naturel fresh et wally water.
- Wéthé J. (1999).** Urbanisation et protection de la ressource en eau : Une approche par les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) appliqués à Yaoundé – Cameroun. Mémoire de fin d'études de 3^{ème} Cycle, en vue de l'obtention du Diplôme d'Études Professionnelles Approfondies (DEPA), Option : Gestion de l'Environnement. Université Senghor d'Alexandrie (Egypte). Avril 1999.



ANNEXES

I. Dosage complexométrique

I.1. Titre Hydrotimétrique total (THT)

I.1.1. Réactifs

- Solution d'acide Sulfurique (N/10)
- 10 mL de solution de tampon ammoniacale
- Noir Eriochrome T (NET)
- Complexon : 0.001N solution (d'EDTA)

I.1.2. Mode opératoire

- **Mode opératoire**

Introduire dans un erlenmeyer de 250ml d'eau de forage à analyser, 10ml de tampon ammoniacal, quelques graines de NET. La solution d'EDTA (0.001N) est ensuite ajoutée au contenu d'erlenmeyer goutte à goutte à goutte au moyen d'une burette. Une agitation du mélange est réalisée à l'aide d'un agitateur magnétique et d'un barreau aimanté. Le point équivalent est déterminé lorsque la solution vire du rouge vin au bleu.

I.2. Dureté Calcique (TH_{Ca})

I.2.1. Réactifs

- Solution d'Hydroxyde de sodium NaOH (1N)
- Murexide
- Complexon (EDTA)

I.2.2. Mode opératoire

Introduire dans un erlenmeyer de 250ml, 10ml d'eau de forage à analyser, 8 gouttes de sodes, quelques graines de murexide. La solution de EDTA(0.001) est ensuite ajoutée au contenu de l'erlenmeyer goutte à goutte au moyen de la burette. L'agitation du mélange est effectuée à l'aide d'un agitateur magnétique et d'un barreau aimanté. Le point équivalent est déterminé par le virage de la couleur rouge vin au violet.

II. Dosage du sodium et potassium

II.1. Solution d'acide chlorhydrique

II.2. Mode opératoire

- Prélever la gamme d'étalon
- Ajouter l'acide chlorhydrique à chaque solution
- Agiter et laisser au repos avant la mesure de l'absorbance
- Lire les teneurs en K^+ et Na^+ sur le tableau d'affichage de l'appareil.

III. Calcul de THT

$$C_m = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] \quad \text{en (mol/L)}$$

$$\text{A l'équivalence: } C_m V_m = C_o V_o \rightarrow C_m = \frac{C_o V_o}{V_m}$$

Où V_m = Volume du mélange prélevé

$$C_o = [EDTA] \text{ et } V_o = V_{EDTA}$$

$$C_m = n/V \text{ or } n = m/M \rightarrow C_m = m/MV \text{ or } P = m/V \rightarrow C_m = P/M \rightarrow$$

$$\underline{P = THT = MC_m} \quad \text{en mg/L}$$

Où M = masse molaire Calcium + Magnésium
